14th International Congress on

"Multidisciplinary Scientific Studies and Global Applications"

THE PROCEEDINGS BOOK

September 7–14, 2026
Vietnam

Vietnam

EDITOR
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

ISPEC INSTITUTE

Copyright © Liberty

THE PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL CONGRESS ON GLOBAL PRACTICE OF MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC STUDIES-XIV

September 7–14, 2026 Vietnam

EDITOR

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN

Date: 20.10.2026

Liberty Publishing House

Water Street Corridor New York, NY 10038

www.libertyacademicbooks.com

+1 (314) 597-0372

ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.

© Liberty Academic Publishers 2026

The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use, without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need to be licensed on the same terms.
adopted by Mariam Rasulan

ISBN: ISBN: 979-8-89695-587-0

ORGANIZING INSTITUTIONS

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

INTERNATIONAL CONGRESS ON GLOBAL PRACTICE OF MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC STUDIES-XIV

DATE AND PLACE

September 7–14, 2026
Vietnam

CONGRESS STATISTICS

215	39	72	143
Total Accepted Papers	Total Rejected Papers	Total Papers from Türkiye	Total International Papers

PARTICIPANT COUNTRIES (25)

Türkiye, TRNC, Tunisia, Nigeria, Romania, Morocco, Spain, Vietnam, Albania, Niger, Algeria, Italy, Belarus, Hungary, Georgia, Ukraine, Poland, Turkmenistan, India, Bangladesh, Pakistan, Iran, Indonesia, Canada, Malaysia

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process

PRESENTATION

Oral Presentations

HEAD OF CONGRESS

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN	*Siirt University, Türkiye*

HEAD OF ORGANIZING COMMITTEE

Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA	*Uşak University, Türkiye*

ORGANIZING COMMITTEE

Dr. Arzu ALTUNTAŞ	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Domenico SANTORO	*Mercatorum University, ITALY*
Dr. Luca GRILLI	*Università di Foggia, ITALY*
Dr. Jaehyun PARK	*Konkuk University, Department of Industrial Engineering, KOREA*
Dr. Natasa Vujica HERZOG	*University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, SLOVENIA*
Dr. Özlem KAYA	*Uşak University, Türkiye*
Asst. Prof. Dr. M. Osman ENGÜR	*Istanbul University, Türkiye*
Dr. Muhammed FAIZAN	*A Central University, INDIA*
Dr. Yanlin LI	*Hangzhou Normal University, CHINA*

SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. Abdurrahim YILMAZ	*Bolu Abant İzzet Baysal University, Türkiye*
Dr. Abdullah EREN	*Mardin Artuklu University, Türkiye*
Dr. Ahmet ÇELİK	*Adıyaman University, Türkiye*
Dr. Ahmet ERDAĞ	*Kafkas University, Türkiye*
Dr. Alamettin BAYAV	*Isparta University of Applied Sciences, Türkiye*
Dr. Ali Beyhan UÇAK	*Siirt University, Türkiye*
Dr. A. Konuralp ELİÇİN	*Dicle University, Türkiye*
Dr. Arzu ÇIĞ	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Ayhan DAĞDEVİREN	*Çankırı Karatekin University, Türkiye*
Dr. Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Belma DOĞAN ÖZ	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Fatih BÜYÜKFİLİZ	*Ministry of Agriculture and Forestry, Türkiye*
Dr. Fatih ÇIĞ	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Ferhat ÖZTÜRK	*Şırnak University, Türkiye*
Dr. Fırat PALA	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Fuat LÜLE	*Adıyaman University, Türkiye*
Dr. Funda KOÇER	*Atatürk University, Türkiye*
Dr. Hakan ÇELİKTEN	*Kafkas University, Türkiye*
Dr. Hasan KILIÇ	*Bingöl University, Türkiye*
Dr. Hüseyin ŞAHİN	*Tekirdağ Namık Kemal University, Türkiye*

Dr. Korkmaz BELLİTÜRK	*Tekirdağ Namık Kemal University, Türkiye*
Dr. Melekber SÜLÜŞOĞLU DURUL	*Kocaeli University, Türkiye*
Dr. Mesut BUDAK	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Nizamettin TURAN	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Nurhan KESKİN	*Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Türkiye*
Dr. Nusret ÖZBAY	*Bingöl University, Türkiye*
Dr. Ömer ACER	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Reşat ESGİCİ	*Dicle University, Türkiye*
Dr. Safiye SARI	*Atatürk University, Türkiye*
Dr. Seden TURAMBERK ÖZERDEN	*Final International University, Northern Cyprus*
Dr. Senem Yılmaz ÇETIN	*Dicle University, Türkiye*
Dr. Sevilay GÜL	*Tekirdağ Namık Kemal University, Türkiye*
Dr. Sipan SOYSAL	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Süleyman ŞENYURT	*Ordu University, Türkiye*
Dr. Şahin AY	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Tarkan AYAZ	*Şırnak University, Türkiye*
Dr. Yeter ÇİLESİZ	*Sivas University of Science and Technology, Türkiye*
Dr. Zekiye ŞENGÜL ABEDİ	*Siirt University, Türkiye*
Dr. Abdul Khaliq	*University of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad, PAKISTAN*
Dr. Adnan Abbas	*Nanjing university of information science and technology, Nanjing CHINA*
Dr. Ali Mekki	*University of Sfax, Biological Engineering-Environmental Bioprocesses and Soil Science, Sfax-TUNISIA*
Dr. Ajar Nath Yadav	*Eternal University, Department of Biotechnology, Himachal Pradesh-INDIA*
Dr. Ashokkumar Vallabhbhai Rajani	*Junagadh Agricultural University, College of Agricultuew, Dept. of Agril. Chem. & Soil Science, Gujarat-INDIA*
Dr. Barbara Wiśniowska-Kielian	*University of Agriculture in Krakow, Faculty of Agriculture and Economics, Department of Agricultural and Environmental Chemistry, Krakow-POLAND*
Dr. Babak SAFAEI	*Tsinghua University, CHINA*
Dr. Blend Ibrahim	*School of Tourism and Hospitality Management. Department of Tourism Girne American University, CYPRUS*
Dr. Hab. Barbara Sawicka	*University of Life Sciences in Lublin, Faculty of Agrobioengineering, Department of Plant Production Technology and Commodity Sciences, Lublin-POLAND*
M.Sc. Benjamin Bantchina	*Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Biosystems Engineering, Bursa-Türkiye*
Dr. Brygida Klemens	*Opole University of Technology, Faculty of Economics and Management, Opole-POLAND*
Dr. Grzegorz Pączka	*Rzeszów University, Department of Natural Theories of Agriculture and Environmental Education, Rzeszów, POLAND*
Dr. Fahrurrozi Fahrurrozi	*University of Bengkulu, Faculty of Agriculture, Dept. of Crop Production, Bengkulu-INDONESIA*
Dr. Faisal SULTAN	*Hazara University, PAKISTAN*
Dr. Francesco Nocera	*University of Catania, ITALY*
Dr. Gustavo BRUNETTO	*Federal University of Santa Maria. Santa Maria, BRAZIL*

Dr. Herák David	*Czech University of Life Sciences Prague, CZECH REPUBLIC*
Dr. Hüseyin Bozdağlar	*Girne American University, School of Tourism and Hospitality Cyprus*
Dr. Irshad Bibi	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Institute of Soil and Environmental Sciences, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. Iwan Setiawan, S.P., M.Si.	*Department of Agricultural Economics, Agricultural Faculty. Universitas Padjadjaran. Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21. Jatinangor. West Java. INDONESIA*
Dr. İsmet Esenyel	*Girne American University, School of Tourism and Hospitality, CYPRUS*
Dr. Jam Nazeer Ahmad	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Entomology, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. Jasmin Latoviç	*Southern Federal University, RUSSIA*
Dr. Khalid Hussain	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN*
Ph.D. Kusumiyati KUSUMIYATI	*Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Sumedang, Jatinangor. West Java, INDONESIA*
Dr. Mazhar Rafique	*University of Haripur, Faculty of Agriculture Sciences, Department of Soil & Climate Sciences-PAKISTAN*
Dr. Medeuova Galiya	*Kazakh National Women's Pedagogical Universty, KAZAKHSTAN*
Dr. Md. Iqbal HOSSAIN	*Bangladesh University, BANGLADESH*
Dr. Muhammad Arshad	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Entomology, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. Muhammad SAJJAD	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Faisalabad, Pakistan*
Dr. Muhammad Shahbaz Naeem	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. Mohammad Mehdizadeh	*Univesity of Mohaghegh, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ardabili-IRAN*
Dr. Muhammad Zahid Ihsan	*Islamia Univeristy of Bahawalpur, Cholistan Institute of Desert Studies, Bahawalpur-PAKISTAN*
Dr. Muhammad Adnan	*University of Swabi, Department of Agriculture, Swabi-PAKISTAN*
Dr. Muhammad Zubair Siddiqi	*Hankyong National University, Department of Biotechnology, SOUTH KOREA*
Dr. Muhammad Nurdin YUSUF	*Agribusiness Department. Agricultrural Faculty. University of Galuh. Jl. R.E. Martadinata Mekarjaya, Kec. Baregbeg. Kab. Ciamis. West Java, INDONESIA*
Dr. Mushtaque Ahmed Jatoi	*University of Zagreb, Department of Pomology, Zagreb, Croatia, Beijing, CHINA*
Dr. Nabeel Khan Niazi	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Institute of Soil and Environmental Sciences, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. Niteesh Kumar Upadhyay	*Galgotias University and South Ural State University RUSSIA*
Dr. Rana Nadeem Abbas	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. Rakesh GUPTA	*Delhi University, INDIA*
Dr. Safdar Bashir	*Ghazi University, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Soil and Environmental Sciences, Dera Ghazi Khan-PAKISTAN*
Dr. Sardar Alam Cheema	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. S. G. Antony Godson	*Department of Biotechnology, Hindusthan College of Arts & Science, Coimbatore, Tamilnadu, INDIA*
Dr. Shah Fahad	*University of Haripur, Department of Agronomy, Haripur-PAKISTAN*

Dr. Saddam Hussain	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Department of Agronomy, Faisalabad-PAKISTAN*
Dr. Shitnaan E. Wapmuk	*University of Jos, Plateau State, Nigeria*
M.Sc. Setyo Budi Kurniawan	*Universiti Kebangsaan Malaysia, Faculty of Engineering & Built Environment, Department of Chemical and Process Engineering, MALAYSIA*
Dr. Tahir Igbal	*Arid Agriculture University, Rawalpindi, PAKISTAN*
Dr. Wan Taek Im	*Hankyong National University, Department of Biotechnology, SOUTH KOREA*
Dr. Viliana Vasileva	*Agricultural Academy, Institute of Forage Crops, Forage Production and Livestock Department, Pleven-BULGARIA*
Dr. Yar Zar Chit	*Sagaing University, MYANMAR*
Dr. Zhongbing Chen	*Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Environmental Sciences, Prague-CZECH REPUBLIC*
Assist. Prof. Dr. Berfin KILINÇ	*Kırıkkale University, Delice Vocationsl School, Department of Plant Animal Production, Kırıkkale, Türkiye*
Dr. Zulfiqar Ahmad Dasti	*University of Agriculture, Faculty of Agriculture, Institute of Soil and Environmental Sciences, Faisalabad-PAKISTAN*

CONGRESS COORDINATOR

Prof. Dr. Seyithan SEYDOŞOĞLU

International Congress on

Global Practice of Multidisciplinary Scientific Studies-XIV

7-14 SEPTEMBER 2026 | VIETNAM

IN-PERSON SESSION - 1

10.09.2026	HALL-1

HANOI LOCAL TIME: 09:00-11:00
HCMC: Garden Plaza hotel

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Serap TAŞDEMİR

Authors	Affiliation	Presentation Title
Serap TAŞDEMİR	*Amasya University*	The United Kingdom's Network of Commitments Leading up to The Paris Peace Conference
Serap TAŞDEMİR	*Amasya University*	Assessment of Turkey in a British General Staff Report Prior to the Official Occupation of Istanbul
Fatma KOÇ Emine KOCA	*Ankara Hacı Bayram Veli University*	Sustainable Strategies in the Preservation of Clothing Culture and Textile Heritage
Emine KOCA Fatma KOÇ	*Ankara Hacı Bayram Veli University*	From Circular Economy to Circular Fashion: Policy Frameworks for The Textile and Fashion Industry
Sercan DAĞLI	*Artvin Coruh University*	The Culture of Falconry in the Eastern Black Sea Region: Conflicting Values and the Negotiation of Cultural Heritage
Ayşe Selin DÜLGER	*Ankara Haci Bayram Veli University*	A Comparative Assessment of Tourism Destinations in Vietnam in Terms of Climate Change Risks
Fatma TEZEL ŞAHİN Elmas HOLOĞLU Cansu TUTKUN	*Bayburt University*	An Examination of The Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program in terms of Education For Sustainability
İlknur KARALEZLI Melek ALTUNKAYA Muhammed Emin SAR	*Selçuk University*	Investigation of the Effects of Berberine on Hyperthyroidism-Induced Testicular Damage via GPX4, GJA1, and Bax Gene Expressions
İlknur KARALEZLI	*Selçuk University*	Biological and Therapeutic Potential of Kitaibelia balansae Boiss.Extracts:Antioxidant and Enzyme Inhibitory Activities

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

IN-PERSON SESSION - 1

10.09.2026	HALL-2

HANOI LOCAL TIME: 09:00-11:00
HCMC: Garden Plaza hotel

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA

Authors	Affiliation	Presentation Title
Ceyhun İLSEVER	*Istanbul Okan University*	User Experience-Focused Improvement Priorities in Urban Maritime Public Transport: The Case of Istanbul Bostancı
Fulya ÖNER ARMAĞAN Melek KARACA	*Erciyes University*	Enabling Pre-Service Science Teachers Create Lesson Modules Using the Flipped Learning Model: An Example from A Tubitak 3005 Project
Özlem KAYA	*Usak University*	The Effects of the Quiet Luxury Movement on Sustainable Fashion Design
Özlem KAYA	*Usak University*	Observational Assessment of Ergonomic Risks Related to Workstations and the Working Environment in the Leather Industry: A Case Study
Şükrü TÜZMEN	*Eastern Mediterranean University*	Molecular Approaches in the Diagnosis and Treatment of Genetic Disorders
Ulviye BUNYATOVA	*Baskent University*	White-Light-Responsive Functionalized Bionanocomposite for Tissue Regeneration
S. Hülya Erten Can Aslı Silkü Oflioğlu	*Dokuz Eylul University*	An Overview of The Oral and Dental Health Profile in Turkey
Fatma DEMİRKAYA MİLOĞU Yücel KADIOĞLU Bedirhan AGGUL Maryam HAMADI Esmanur TORAMAN Burak BAYRAK	*Atatürk University*	Analytical Quality by Design-Based and Chemometrics-Assisted Spectrophotometric Method for Simultaneous Determination of Enalapril and Hydrochlorothiazide: A Green Analytical Chemistry Approach

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

IN-PERSON SESSION - 1

10.09.2026	HALL-3

HANOI LOCAL TIME: 09:00-11:00
HCMC: Garden Plaza hotel

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Emine CİHAN

Authors	Affiliation	Presentation Title
Deniz ÇETİN	*Dokuz Eylül University*	Diagnosis and Management of Halitosis
Pelin CAN Deniz ÇETİN	*Istanbul Technical University*	Music in the Management of Dental Anxiety
Sevil AKÇAĞLAR Sevim AKÇAĞLAR	*Dokuz Eylül University*	Physics-Based Engineering Analysis of Green-Synthesized Agnp/Pes Mixed Matrix Membranes for Water Treatment
Sevil AKÇAĞLAR Sevim AKÇAĞLAR	*Dokuz Eylül University*	Antibiofouling Performance of Biogenic Agnp/Pes Nanocomposite Membranes
MELEK ALTUNKAYA Emine CIHAN	*Selçuk University*	Exercise Physiology and Current Clinical Assessment Approaches in The Pathophysiology of Cystic Fibrosis
Emine CİHAN Cansu Şahbaz PİRİNÇİ	*Selçuk University*	Living with Lipedema: A Review on the Evolving Role of Physiotherapy
Fatma HAKYEMEZ	*Selçuk University*	Evolving Dimensions of Clinical Competence in Paramaedics: Clinical Reasoning, Decision-Making, and Competency Assesment
Tayfun ACARER	*Piri Reis University*	Wireless Systems to be Established for the Continuous Monitoring and Transmission of Current and Wind Information in Nearby Sea Areas
Nadide Nabil KAMİLOĞLU Alkan KAMİLOĞLU Barış YILDIZ Serkan DEMİR	*Kafkas University*	The effect of chlorella vulgaris on oxidative stress, CYP2E1 and NF-KB in ethyl alcohol-induced liver toxicity
Alkan KAMİLOĞLU Nadide Nabil KAMİLOĞLU	*Kafkas University*	Investigation of the Effectiveness of Salicylic Acid Bandage Use in the Treatment of Early Diagnosed, Uncomplicated Interdigital Hyperplasia in Cattle

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via **https://zoom.us/join** site, enter ID instead of "Meeting ID
- or Personal Link Name" and solidify the session.
- The presentation will have **15 minutes** (including questions and answers).
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on at least %70 of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number, exp. Hall-1, Zhuldyz SAKHI

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

https://us02web.zoom.us/j/82955956031?pwd=WIJpty2rF7PmFOzvIKQBR1MGAyhO2Z.1

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-1

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Ferhat Atik

Authors	Affiliation	Presentation Title
Şeyda BÜKRÜCÜ KAZKONDU	*Zonguldak Bülent Ecevit University*	From Intervention Eras To Democratic Governance: The Evolution Of Military Discourse And Civil-Military Relations In Türkiye
Ferhat Atik	*Girne American University*	The Desire For Visibility And The Fear Of Disappearing On Social Media: A Theoretical Reading Of The Digital Subject
Z. Gönül BALKIR Ecem KOCAOĞLAN	*Cyprus Aydın University*	The Legal Duty Of Protection For Non-Human Entities And Its Limits
Z. Gönül BALKIR Ecem KOCAOĞLAN	*Cyprus Aydın University*	The Democratic Legitimacy Of The Algorithmic Economy: Habermas In The Age Of Digital Currency
Feyman APTULA Hülya ŞENOL	*Cyprus Health and Social Sciences University*	Examining The Relationship Between Teacher Performance, School Administrators' Leadership Styles And Technological Leadership Behaviors
Duygu HIZAL Hülya ŞENOL	*Cyprus Health and Social Sciences University*	Examining The Impact Of School Principals'; Management Styles On Teachers'; Attitudes Towards Virtual Reality And Entrepreneurial Behaviors
Zeynep KARAÇOR Burcu GÜVENEK Saim Mert KALIN	*Selcuk University*	Economic vulnerability and sustainable development in small-scale agricultural enterprises: a policy perspective
Zeynep KARAÇOR Burcu GÜVENEK Saim Mert KALIN	*Selcuk University*	The strategic role of cooperatives in sustainable rural development

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-2

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR

Authors	Affiliation	Presentation Title
Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR	*Siirt University*	The Importance of Alternative Oilseed Crops in Arid and Semi-Arid Areas: A Review on Safflower, Sesame, and Camelina
Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR	*Siirt University*	Sustainable Production in Oilseed Crops: Current Approaches and Future Perspectives
Korkmaz BELLİTÜRK Mehmet Fırat BARAN	*Tekirdağ Namık Kemal University*	Effective Fertilizer Management in Wheat
Korkmaz BELLİTÜRK Mehmet Fırat BARAN	*Tekirdağ Namık Kemal University*	Some Effects of Climate Change on Soil Management
Coşkun GÜLSER Füsun GÜLSER	*Ondokuz Mayıs University*	Remote Sensing Applications in the Determination of Plant Patterns
Siyami KARACA Füsun GÜLSER Metehan AYDIN	*Van Yuzuncu Yıl University*	Current Approaches To The Use Of Next-Generation Soil Amendments İn Good Agricultural Practices
Alper BAYDAR Yeşim BOZKURT Burak DALKILIÇ	*Siirt University,*	Calibration And Validation Stages In The Dssat Crop Simulation Model
Zeynep DUMANOĞLU Muhammed Emre ORMAN	*Bingol University*	Determination Of Some Agrotechnical Characteristics Of Seeds From Different Radish (Raphanus sativus L.) Species
Muhammed Emre ORMAN Zeynep DUMANOĞLU	*Bingol University*	The Role Of Beneficial Bacteria In Abiotic Stress Tolerance Of Legumes (Fabaceae): Current Status And Future Approaches

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-3

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Fedi Ben Dhaou

Authors	Affiliation	Presentation Title
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	*University of Sfax*	Time to Medical Consultation in Heart Failure: Gender Differences in Care-Seeking Behavior
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	*University of Sfax*	The Homemaker Phenotype: A High-Risk Profile for Non-Adherence in Heart Failure
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	*University of Sfax*	Epidemiological Profile of Heart Failure in Sfax: Age, Gender, and Comorbidity Burden
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	*University of Sfax*	Living Arrangements and Parental Supervision as Predictors of IGD in Tunisian Youth
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	*University of Sfax*	From Entertainment to Addiction: Gaming Disorder Among Tunisian Adolescents
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	*University of Sfax*	Internet Gaming Disorder and Its Association with Depression, Anxiety, and Stress Among Tunisian Adolescents
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	*University of Sfax*	Internet Gaming Disorder and Academic Performance Among Middle and High School Students in Tunisia

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-4

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Alexandra Pintea

Authors	Affiliation	Presentation Title
Tolulope Aremu	Federal University Oye-Ekiti	Impact of pharmacist's intervention on type 2 diabetes patients' outcomes
Sibgha Zia	Federal University Oye-Ekiti	Insecticidal Effect of Combretum indicum Ethanolic Plant Extract and Their ZnONPs Against Red Flour Beetle (Tribolium castaneum)
Mahmoud Elsaafin	George Emil Palade University of Medicine	Infrazygomatic Miniscrews in Orthodontic Practice: Concepts, Techniques, and Clinical Applications
Alexandra Pintea	Victor Babes University of Medicin and Farmacy of Timisoara	From Metabolic Control to Adaptive Capacity in Pediatric Type 1 Diabetes: An Integrative One Health Framework for Resilience and Antifragility
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax	Gender Disparities in Heart Failure Management: Evidence from a Large Tunisian Cohort
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax	Therapeutic Adherence in Heart Failure: A Gender-Sensitive Analysis at Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Feriel Bouzid Rania Gargouri Malik Saidi Najet Dhifaoui Mondher Kassis Bassem Abid Leila Abid	Higher Institute of Nursing Sciences of Sfax	Gender, Heart, and Treatments: When Therapeutic Adherence Beats to the Rhythm of Inequalities in Heart Failure Patients
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Higher Institute of Nursing Sciences of Sfax	Heart Failure with Preserved Ejection Fraction and Its Association with Poor Therapeutic Adherence

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-5

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Neha Berma

Authors	Affiliation	Presentation Title
Manal CHANA-YOURAF Mohamed DAROUICHE Hassan OUACHTAK Abdelaziz AIT ADDI Said ALAHIANE	*Ibn Zohr University*	Advanced Design of MOFs for Catalytic and Photocatalytic Applications in Organic Synthesis
Karatzia FANI Sonia GARCIA SEGURA	*University of Córdoba*	Group Dynamics and Conflict Management in Adult Education: Promoting Psychological Well-being and a Supportive Learning Environment
Hamza Bah Aboubaker Jiar Ezaddine Irrou Younesse Ait Elmachkouri Ali Oubella Rachid Azzallou Yahya Toubi	*Ibnou Zohr University*	Synthesis and Molecular Investigation of a New Heterocyclic Compound for Breast Cancer Research
Nguyen Thi Phuong Tran Le Nhat Quang	*University of Danang*	Assessment Of Physical Activity And Morphological–Functional Characteristics Following Enhanced Physical Activity Among Employees Of Danang Family Hospital
Kaouthar ELBIRGUI Saad HARRIZI Nour Elhouda DAOUDI Nadia IOUNES Samir IBENMOUSSA	*Faculty of Medicine and Pharmacy of Casablanca*	Traditional Uses, Bioactivity, and Toxicological Risk of the Genus Adenocarpus DC. (Fabaceae): A Systematic Review of the Evidence Supporting and Limiting Its Ethnomedicinal Use
Shamsuddeen Ahmad Kele Bashar Haruna Gulumbe Gadafi Nasir Abdulkareem T. Zakari Abdullahi Dauda Haliru Abdullahi Maryam Tiaminu Bolaji	*Federal University Birnin Kebbi*	Intestinal Parasites, Nutritional Status, and Related Factors Among Asymptomatic Pupils in Kalgo, Northern West Nigeria
Katerina Kasa Pajtim Lutaj	*University Trauma Hospital*	Long-Term Outcomes of Unilateral Anti-VEGF Therapy in Neovascular Age-Related Macular Degeneration; A Case Report and Literature Review
Nwawuba, I.N. Ijeh, I.I. Ejike, C.E.C.C. Okonkwo, C.O. Onyeonoro, U. Nnamudi, A.C. Ezeani, U.I. Osodeke, C.E. Ikechi, C.N. Nwofia B.O	*Michael Okpara University of Agriculture*	Biochemical and Anthropometric Correlates of Cardiometabolic Risk Among Young Adults in Abia State, Nigeria: A Community-Based Cross-Sectional Study
Neha Berma Abhinav Mishra Poonam Kumari	*Michael Okpara University of Agriculture*	Beyond Incineration: Evaluating Sustainable Biomedical Waste Management Pathways in India

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-6

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: DJEBAILI Manel

Authors	Affiliation	Presentation Title
Ayobami Josiah Aderemi Abdulrazaq Izuafa Oluwafemi Adebayo Oyewole	Federal University of Technology, Minna	Screening and Isolation of Chitosan-Producing Bacteria
Nafiou Sayabou ZANEIDOU Ayodele Adebayo ALLAGBE Franck AMOUSSOU	Université André Salifou (UAS)	Constructing Climate Crisis: A Multimodal Positive Discourse Analysis Of A Speech Delivered By Johan Rockstörm
DAHMANE Thoraya KACI Zakia AROUS Ali KARAHACENE Taher HALLI Latifa	Djilali Bounaama University	Antifungal Profile of Flavonoid Extracts Obtained from the Leaves Thymus algeriensis Boiss. et Reut.
DJEBAILI Manel	University Larbi Ben Mhidi	From Energy Estimates to Stability in Nonlinear Fractional Evolution Problems
Viviane DaSilva Brena Dias	University of Parma	Brain Dynamics in the School Context: Using qEEG Analysis for Learning Interventions
Ruslan SHEVERDIN Victor KAZAKEVICH	Belarusian State University	Features Of Renal And Lumbar Hemodynamics During Muscle Contraction And After Coffee Intake In Students
El Houssain Marouani Salma Ait El haj Chaima El Haydougui Imane Imilouane Abdessamad Mouhssine Adnane Hakem Brahim El Houate Omar El Hiba Abdelaati El Khiat	Chouaib Doukkali University	Acute Poisoning Cases in South-Eastern Morocco (2020–2025): Epidemiology, Clinical Presentation, and Therapeutic Management
Hadiza Kabir Matazu Abdullahi Balarabe Sallau Ibrahim Hamza Kankia Aisha Ibrahim Labaran Usman Bello	Hassan Usman Katsina Polytechnic	Proximate Nutrient Composition Of Selected Locally Produced Complementary Foods In Katsina State, Nigeria
Tsiiregzen Andarai Bayaraa Batnasan Purevsuren Buyantsog Endre Domokos	University of Pannonia	Temporal Variability in the Water Quality and Physicochemical Characteristics of Khyargas Lake, Mongolia

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-1

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Sevilay GÜL

Authors	Affiliation	Presentation Title
Sevilay GÜL Levent COŞKUNTUNA	*Tekirdağ Namık Kemal University*	Determination of the Nutrient Composition and Heavy Metal and Aflatoxin Levels in Cereal Grains Used in Animal Husbandry in Tekirdağ Province
Sevilay GÜL Levent COŞKUNTUNA	*Tekirdağ Namık Kemal University*	Alternative Protein Sources to Soybean Meal in Animal Nutrition: Current Approaches and Future Perspectives
Erhan KAHYA Yiğit ORUÇ	*Tekirdağ Namik Kemal University*,	Okra-Yolo: An Enhanced Yolov8s Framework For Accurate And Efficient Okra In Agricultural Environments
Emrah ALKAN Ali BEYHAN UÇAK	*Siirt University*	Direct Determination Of Plant Water Consumption Of Cucumber
Ali BEYHAN UÇAK	*Siirt University*	Direct Determination Of Plant Water Consumption Of Siirt Pistachio
Fırat PALA Hüsrev MENNAN	*Siirt University*	Weed Population Genetics
Fırat PALA Hüsrev MENNAN	*Siirt University*	Weed Reproduction And Dispersal
Arzu ALTUNTAŞ	*Siirt University*	Artificial Intelligence-Assisted Migration–Landscape Adaptation Index (Mlai): A Model Proposal For Turkish Cities
Arzu ALTUNTAŞ	*Siirt University*	Analysis Of Factors Determining Green Space Deficiency In Migration-Receiving Cities Using Explainable Artificial Intelligence (Shap)

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-2

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Aydın SELLİOĞ

Authors	Affiliation	Presentation Title
İlkay Özsev YÜKSEK	*İstanbul Technical University*	3d And 4d Body Scanning For Garment Fit And Body – Garment Interaction
Aydın SELLİOĞ	*Mersin University*	(Research Trends In Graduate Theses On Preschool Science Education: An Examination Through The Lens Of The Century Of Turkiye Education Model)
Koray DEDEOĞLU Serkan YILMAZSÖNMEZ Erdem AKYÜZ	*R & D Manager*	Evaluation Of Highly Anionic Polyphosphate Additives In Waterborne Paints Over A Wide Pvc Range In Terms Of In-Can Stability And Microbiological Activity
Tuğba GÜLEÇ	*Karamanoğlu Mehmetbey University*	Determination Of Coleoptile Length In Wheat Genotypes Under Different Temperatures And Sowing Depths
Hakan ÇELİKTEN	*Kafkas University*	The Effects Of Greenhouse Gases On Global Warming And Climate Change
Merve GÜLER Nuri Murat YAĞMURLU	*İnönü University*	A Numerical Study Using The Collocation Method With Cubic Hermite Basis Functions
Ruslan IBRAGIMOV Aygül Zara KEBİR	*Yildiz Technical University*	Effect Of Chemical Water Treatment Sludge On The Properties Of Normal-Weight Concrete
Rumeysa ALTINMAKAS Kamil EKICI	*Van Yüzüncü Yıl Universitesi*	The Determination Of Meat Quantity Ratios In Different Animal Species Using Molecular Methods

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-3

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Fedi Ben Dhaou

Authors	Affiliation	Presentation Title
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	Prevalence and Determinants of Poor Therapeutic Adherence in Heart Failure: A Retrospective Study
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	Physical Activity and Its Protective Role Against Poor Therapeutic Adherence in Heart Failure
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	Atrial Fibrillation and Therapeutic Adherence: A Protective Association in Heart Failure
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	Educational Level and Therapeutic Adherence: Does Health Literacy Matter in Heart Failure?
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	Ischemic vs. Non-Ischemic Heart Failure Etiology: Implications for Gender Distribution and Adherence
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	The Role of National Health Insurance in Promoting Therapeutic Adherence in Heart Failure
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	The Paradox of Gender and Adherence in Heart Failure: When Vulnerability Does Not Equal Non-Adherence
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	University of Sfax	Financial Dependency and Therapeutic Adherence in Heart Failure: Exploring Caregiver Dynamics

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-4

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Said Ait MESSAAD

Authors	Affiliation	Presentation Title
SK. Sushma Taj A.V.S.S.S. Gupta Dr. B. Maheshwari Reddy I. Mamatha V. Parimala B. Chaitanya K. Maheshwari	Iakob Gogebashvili Telavi State University	Central Composite Design Method Development And Validation Of Vimseltinib By Rp-Uplc By Analytical Quality By Design
Gela Azikuri	Iakob Gogebashvili Telavi State University	Aggression and Its Forms Among Different Age Groups in General Education
Mohammed El rhanbouri Mounia Amane Samia Boussaa Taoufik Abou El Hassan Hicham Nejmi	Cadi Ayyad University	The Association Between Frailty Evaluated by the Clinical Frailty Scale and Short-Term Mortality Among Older Patients in the Emergency Department: A Prospective Cohort Study in Morocco
Said AIT MESSAAD	Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Marrakech - Safi Annex	Knowledge, Attitudes, and Clinical Practices of Midwives Regarding Gestational Toxoplasmosis in Safi City, Morocco
Alexander PLAKIDA Oksana MOSKAL	Odessa National Medical University	Gut Microbiota And Chronic Low-Grade Inflammation In Obesity: Mechanistic Links And Clinical Implications
Monika LOPUSZANSKA-DAWID Kuba KORTA	Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw	Adult Lifestyle And Childhood Onychophagia
Umma Aliyu Idris Abdullahi Nasir Aliyu I. Yardua Ibrahim H. Kankia Salahuddeen Ya'u Mande Usman Umar Muhammad M. Usman	Umaru Musa Yar'adua University	In Vitro Antioxidant Activity Of Methanolic Leaf Extract Of Ficus Abutilifolia
ISAH IMAM PAIKO ASMA'Ú USMAN FARUK IMAM LUPMA	Federal University of Technology, Minna	Public Health Financing And Under-Five Mortality In Nigeria: An Ardl Time-Series Analysis, 2000–2025
Belhocine Chaima Belabbes Mohamed Bouderoua Kaddour Chaib Eddour Ahmed Readh	Higher School of Agronomy "Mohamed El Amjed Ben Abdel Malek"	Faba Beans In Human Nutrition: Nutritional Benefits, Antinutritional Factors And Health Perspectives

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-5

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Darius Dîrpeș

Authors	Affiliation	Presentation Title
Elina Teodorescu Mariana Păcurar	*UMF "Carol Davila" București*	The impact of obesity during the prepubertal and pubertal period on orthopedic treatment
Haliru Junaidu Fatahu Junaidu Ismail Muhammad Junaidu	*Usmanu Danfodiyo University Sokoto*	Spatial Multi-Omics of the Tumour Microenvironment: Deciphering Tumour Heterogeneity, Immune Escape and Therapeutic Resistance for Precision Oncology
Darius Dîrpeș Denisa Abrudan	*West University of Timișoara*	Rethinking Blockchain In Healthcare Hr: A Multi-Level Adoption Framework For Medical Credential Management
Dovletova Shirinjemal Dovletova Guljemal Muhammetdurdyyeva Mayajan	*Oguz Han Engineering and Technology University of Turkmenistan*	Sustainable Fabrication Of A Natural Polymer-Based Bioplastic Using Agar, Gelatin, And Glycerin: A Low-Cost Approach To Eco-Friendly Material Design
K. Uma Maheswari K. Gajalakshmi	*A.V.C. College of Engineering*	Deep Learning-Based Segmentation of Skin Lesions for Computer-Aided Diagnosis
Usman Zaliha Ndatsu Muhammad Baba Hauwakulu Saba Hajara Salihu	*Minna Umaru Sanda Ahmadu College of Education*	Effects of AI-powered visualization Tool on students understanding and retention of biology concept in senior secondary schools in Minna Metropolis.
Loubna Ferraj Meriem Bousseba Mly Lahcen Ouahidi Mohamed Kabriti Mohammed El Bouch Mustapha Hasnaoui	*Sultan Moulay Slimane University*	Organochlorine Pesticides in Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) from Al Massira Reservoir (Morocco): Distribution Patterns and Human Health Risk Assessment for Adults, High Fish Consumers and Children
Loubna Ferraj Meriem Bousseba Mly Lahcen Ouahidi Mohamed Kabriti Mohammed El Bouch Mustapha Hasnaoui	*Sultan Moulay Slimane University*	Relationship Between Persistent Organic Pollutants and Freshwater Fish Growth: A Random Forest and Linear Regression Analysis
CHARFAOUI Safae AMRANI Amina TAHANI Abdesselam	*University Mohamed I*	Encapsulation of Carvacrol in Alginate–Caseinate Capsules: Effect of Chitosan Coating

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

07.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-6

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Akmal Ahmed AAUB

Authors	Affiliation	Presentation Title
Mohamed Darouiche Manal Chana-Youraf Mohamed Rhaya Brahim Ennasraoui Said Alahiane Amane Jada Abdelaziz Ait Addi Hassan Ouachtak	*Ibn Zohr University*	Engineering MOF-Based Composites for Enhanced Elimination of Ciprofloxacin Contaminants in Water Treatment Processes
Shama ISLAM S. S. ASHRAF	*Jamia Hamdard*	Simulation-Guided Design and Performance Analysis of a MoS_2/PEDOT/PPy-PIL-Based Integrated Solar–Supercapacitor Energy Storage System
Akmal Ahmed AAUB	*Aviation and Aerospace University, Bangladesh (AAUB)*	Heart Failure Mortality Prediction Using Machine Learning: A Comprehensive Framework with Explainable AI
Priya Choudhary Pallavi Sachdeva	*University of Jammu*	Climate Change and the Ageing Mind: A Review of Eco-Anxiety and Environmental Distress among Older Adults
A. Aliyu A. I. Yaradua A. Nasir I. H. Kankia R. Nasir U. S. Zango M. M. Gumel M. Aliyu A. Y. Sani	*Al-Qalam University Katsina*	EVALUATION OF Aspergillus niger Fermented Millet Stalk For Safer Inclusion In Chicken Feed Formulation
EL BOUZIDI Asmae MAROUANE Saadia RHIHIL Abdallah	*Hassan II University of Casablanca*	Systemic Literature Review: Hospital information systems and its impact on hospital performance
Farrukh Mahfooz	*Bahria University*	Impact of Recurring Floods on Environment, Human Health, and Supply Chain Disruption: Evidence from Pakistan
Amina Taouli Smail Zaki	*Moulay Ismail University*	From Wasted Mechanical Noise to Sustainable Power: A Smart Piezoelectric Framework

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-1

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Semih AÇIKBAŞ

Authors	Affiliation	Presentation Title
Nalan TÜRKÖZ KARAKULLUKÇU Şükriye ÇAKMAK	Ondokuz Mayis University,	Stachys Annua L. As A Natural Additive For Biodiesel–Diesel Blends: Gc-Ms Profiling And Dsc Crystallization Behavior
Şükriye ÇAKMAK Nalan TÜRKÖZ KARAKULLUKÇU	Ondokuz Mayis University,	Antioxidant Activity Of *Mentha arvensis* L. Methanolic Extract And Its Effect On Biodiesel–Diesel Blends
Mehmet Arif ÖZYAZICI Semih AÇIKBAŞ Emircan SATAN	*Siirt University*	Effects Of Salt Stress On Germination And Seedling Growth Of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreber)
Gülen ÖZYAZICI Esra UÇAR	*Siirt University*	When Should Medicinal Plants Be Harvested? Temporal Variation In Bioactive Compound Accumulation
Gülen ÖZYAZICI Esra UÇAR	*Siirt University*	Essential Oil Content Or Composition In Medicinal And Aromatic Plants? From Production To Quality
Semih AÇIKBAŞ Mehmet Arif ÖZYAZICI	*Siirt University*	Forage Crops In Areas With Salinity Problems: An Evaluation From The Perspectives Of Rehabilitation And Sustainable Production
Özge UÇAR	*Siirt University*	Late-Season Heat Stress in Grain Legumes: Effects on Grain Filling, Yield, and Grain Quality
Özge UÇAR	*Siirt University*	Nodule senescence under heat stress: Premature cessation of nitrogen fixation in grain legumes
Göktuğ ŞEKER	*Munzur University*	Institutional History Of Political Parties With Parliamentary Groups In The 28th Legislative Term Of The TBMM: The Cases Of Ak Party, Chp, And Mhp

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-2

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. M. Aydın AKBUDAK

Authors	Affiliation	Presentation Title
BURCU GÜVENEK Zeynep Karaçor	*Selcuk University*	External Dependency and Supply Security in the Context of Sustainable Energy Policies in Turkey: The Role of Alternative Energy Sources
BURCU GÜVENEK Zeynep Karaçor	*Selcuk University*	Sustainable Development And Green Economy
Zeynep Karaçor Burcu GÜVENEK	*Selcuk University*	Monetary Policy Practices and Their Results in Combating Inflation in the Turkish Economy
Zeynep Karaçor Burcu GÜVENEK	*Selcuk University*	Fiscal Policy Practices in Economic Policy Implementation: The Case of Türkiye
M. Aydın AKBUDAK	*Akdeniz University*	Identification and Characterization of Slpr1.9 (Solyc08G068990) Orthologs in the Potato Genome
M. Aydın AKBUDAK	*Akdeniz University*	Identification and Characterization of Atbor1 Orthologs in Barley (*Hordeum vulgare*)

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-3

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Amit Dhar

Authors	Affiliation	Presentation Title
Falah Fatima Zahra Hamdane Hasna El. Ghailassi Touria	Hassan II University of Casablanca	Microstructural and Mechanical Characterization of Metakaolin-Based Geopolymers for Radiation Protection
Afsheen Mahmood	Khyber Girls Medical College	Effect Of Gender On The Outcome Of Acute Coronary Syndrome In Type 2 Diabetes Mellitus
A. Nashika Fathima A. Nusrath Unissa	BSA Crescent Institute of Science and Technology	Structural and Dynamic Impact of the G190A Mutation on Etravirine Binding to HIV-1 Reverse Transcriptase: An In Silico Study
Umar Bello	Federal University of Kashere	Environmental Taxation As A Tool For Achieving Sustainability In Nigeria: Between Fiscal Realities And Green Ambitions
Amit Dhar	National University	Multi-Parameter Computational Discovery of Novel Caffeine-Derived Lead Compounds Targeting PDE4D for Anti-Inflammatory and Antitumor Drug Development
Ibrahim Aisha Labaran Sakinatu Almustapha Aliyu Ibrahim Yar'adua Muhammad Isma'il Khadija Isma'il	Umaru Musa Yar'adua University	The effect of fermentation process on the anti-nutritional factors in the sugarcane tops
Mrs. A. Rajeswari	G. Venkataswamy Naidu College	Enhancing Blood Transfusion Safety Through Artificial Intelligence and Digital Monitoring Systems
Owoseni Sulaimon Kayode	Olabisi Onabanjo University	Perceived Social Support from Significant Others, Family, and Friends and Breastfeeding Difficulty Among Mothers: A Cross-Sectional Study
Dr. Nituja Singh Ms. Medha Malay	Symbiosis Law School, Symbiosis International University	An Emerging Dimension of Occupational Safety: Regulating Psychosocial Risks and Employee Mental Health in India - A Comparative Study of Australia and the UK

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-4

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Mahwish Salman

Authors	Affiliation	Presentation Title
Mahwish Salman	Government College University Faisalabad	Eco-Friendly Role Of Plant Growth-Promoting Endophytic Bacteria To Alleviate Drought Stress In Zea Mays
Arya Gupta Akriti Mishra Hina Vaish	S.H.S. CSJM University Kanpur	Correlation of Sleep Quality and Level of Physical Activity among Postmenopausal Women: an online cross-sectional survey
Parisa Zafari Nasrin Iranshahi	Hamadan University of Medical Sciences	Investigating the relationship between rheumatoid factor and anti-cyclic citrullinated peptide with FoxP3 gene expression in patients with rheumatoid arthritis
Parisa Zafari Nasrin Iranshahi	Hamadan University of Medical Sciences	Decreased Gene Expression of Epstein–Barr Virus-Induced Gene 3 (EBI-3) may Contribute to the Pathogenesis of Rheumatoid Arthritis
Rabab ALLILI Jamal MABROUKI Miloudia SLAOUI	Mohammed V University of Rabat	Food Security Under Climate and Resource Pressures: A Systems Approach to Resilience and Sustainability
Rufai Nasir Aliyu Ibrahim Yaradua Amina Yahaya Sani	Umaru Musa Yar'adua University	Biochemical Evaluation of Saccharomyces Cerevicea fermented millet (Pennisetum glaucum) stalk as Maize replacement in fish Meal Formulation on growth performance of African catfish
Dr. S. Gnaana Saraswathi	The Madura College	Student-Led Microgreen Cultivation As A Low-Cost Strategy For Nutrition Education And Community Health Promotion
Ahmad Raza Muhammad Tajammal Hussain	Govt College University Faisalabad	Climate Change and Food Security: Emerging Challenges for Food Quality, Safety, and Sustainable Food Systems
Imane OUMLIL Younes ZAID	Université Mohammed V de Rabat	Potential Role of Thyroxine (T4)-Integrin αvβ3 Signaling in Platelet Transcriptomic Reprogramming and Thyroid Cancer Progression

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-5

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Jean Richard Jokhu

Authors	Affiliation	Presentation Title
Jean Richard Jokhu	President University	From Social Influence to Impulsive Buying: Examining the Role of Buy Now, Pay Later Usage among Indonesian Consumers
Kosala D. Waduthanthri Purushothaman Kuppan Gregory S. Korbutt Andrew R. Pepper Larry D. Unsworth	University of Alberta	An Externally Triggered Drug Delivery Platform For Local Immunomodulation In Islet Transplantation
Resha Kasim Vellattu Chola Sirajudheen Palliyalil Basheer Meethale Chelaveettil	Pocker Sahib Memorial Orphanage College (Autonomous), University of Calicut	Eco-Friendly Sulphur-Doped Alginate–Silica–Biochar Composite For Safer Water Reclamation: Crystal Violet Adsorption And Mechanistic Study
B. Samaila S.U Wali S. Abdullahi	Federal University Birnin Kebbi	Radiogical Safety Of Drinking Water In Nigeria: An Assessment Of Radiological Contaminants And Risk To Populations
S. Madhupriya	N. M. S. S. Vellaichamy Nadar College	Rejuvenation Of Soil Using Phytochemical Method Via Enhancing Its Property By Addition Of Chelating Agent
Hafiz Muhammad Ishaq	Muhammad Nawaz Shareef University of Agriculture Multan	Alterations in Intestinal Microbial Diversity and Composition in Patients with Plaque Psoriasis
Muhammad Zulhussnain Kanwal Ranian Aftab Ahmad Muhammad Kashif Zahoor	Government College University Faisalabad	Genome Editing In Dengue Vector, Aedes Aegypti Using Crispr-Cas9 System To Replace Blood Sucking Females To Nectar Feeding Males
Kanwal Ranian Muhammad Zulhussnain Aftab Ahmad Muhammad Kashif Zahoor	Government College University Faisalabad	CRISPR-CAS9 Mediated Sex-Ratio Distortion For The Genetic Control Of Dengue Vector, Aedes aegypti

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-1 / HALL-6

Hanoi Local Time: 14:00-16:00 | Ankara Local Time: 10:00-12:00

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Dang Hoang Thai Hien

Authors	Affiliation	Presentation Title
Cherif Mohamed Sif Islam Kaouche Soumeya	University M'Hamed Bougara	Influence of Feeding Management on the Blood Biochemical Profile of Dairy Cows in Sétif area, Algeria
Maria EL OUAZZANI Abdelmajid HADDIOUI Naaila OUAZZANI Mustapha AFDALI	Sultan Moulay Slimane University	Olive Mill Wastewater: Physicochemical And Microbiological Characterization And Implications For Environmental And Public Health
Younesse EL-OUAZZANI Fouad MSANDA Khalil CHERIFI	Faculty of Sciences, Agadir	Medicinal Plants And Traditional Healthcare Practices In Taznakht, Morocco
Dang Hoang Thai Hien	Thai Binh Duong University	Application Of The Theory Of Planned Behaviour In Food Waste Research: A Bibliometric And Systematic Review
Gaikwad Prachi Prof. Rasal Pooja Dr. Gayke Amol Prof. Shinde Vikas	JES's SND College of Pharmacy	Pharmacogenomics In Personalized Medicine
S. Varshini A. Inbanathan A. Malathi A. Nusrath Unissa Hanna L. E.	BSA Crescent Institute of Science and Technology National Institute for Research in Tuberculosis	Analysis Of The Levels Of Cardiovascular-Related Biomarkers In Untreated And Treated Hiv Infection
Muhammad Riaz Baig Chughtai Satheesh Babu Natarajan Mazhar Ali	Lincoln University College Khairpur Medical College Hospital	Resistance-Based Cardiac Rehabilitation Improves Health-Related Quality of Life After Coronary Artery Bypass Grafting: A Focused Comparison with Conventional Care
Otuu Chidiebere Agha Eke Samuel Sunday Aturamu Samuel Sunday	Federal University Oye-Ekiti	Evaluation Of Malaria Parasites Infection In Relation To Platelets (Thrombocytes) And Lymphocytes Counts Among Patients Attending A Secondary Healthcare Facility In Ado-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.
Kannadasan Karuppaiah Ezhilvanan Mani Vinoth Raman	Melmaruvathur Adhiparasakthi Institute of Medical Sciences and Research	Early Wake-Up Behaviour and Its Association with Sleep Quality, Physical Activity, and Mental Well-Being: A Secondary Analysis of a Cross-Sectional Dataset

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-1

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION:

Authors	Affiliation	Presentation Title

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-2

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Fedi Ben Dhaou

Authors	Affiliation	Presentation Title
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax	Self-Esteem and Internet Gaming Disorder Among Adolescents: Findings from the Sfax Region of Tunisia
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax	Male Gender as a Dominant Risk Factor for Internet Gaming Disorder in Sfax Schools
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax	Early Internet Exposure and Gaming Disorder Risk in Adolescents: A Tunisian Perspective
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax	Gender Disparities in Internet Gaming Disorder Among Tunisian Adolescents: A School-Based Cross-Sectional Study
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax	In-Class Smartphone Use and Its Association with Internet Gaming Disorder Among Adolescents in Sfax
Yonca YILMAZ Hilal MEDETALİBEYOĞLU	*Kafkas University*	Synthesis, Spectroscopic Characterization And Dft Investigation Of A Novel Triazole-Containing Mannich Base
Hilal MEDETALİBEYOĞLU	*Kafkas University*	Molecular And Electronic Characterization Of A Novel 1,2,4-Triazol-5-One Schiff Base: An Integrated Experimental-Dft Study

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-3

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Majin Emmanuel Nmadu

Authors	Affiliation	Presentation Title
Nodar Sulashvili Margarita Beglaryan Nino Didbaridze Nana Gorgaslidze Lasha Tchelidze	Georgia University	Scientific Discourse On Epilepsy: Immunological And Other Pathogenetic Mechanisms, Diagnostic Challenges, Pharmacological Management, Drug-Related Complications, Current Advances In Diagnosis, Precision Therapeutics, Clinical Outcomes And Future Research Perspectives Worldwide
Magda Davitashvili Irina Imerlishvili Vira Kravchenko Marika Sulashvili Nato Alavidze Nino Abuladze David Aphkhazava Igor Seniuk Marina Giorgobiani Lela Grigolia Kakhaber Robakidze	Georgia University	Scientific Discourse On The Redefinition Of The Global Pharmacy Profession: An Evidence-Based Analysis Of Clinical Excellence, Pharmaceutical Innovation, Workforce Sustainability, Healthcare Integration, And Future Strategic Development
Majin Emmanuel Nmadu	Federal University of Technology Minna	Antibiotic Resistance Bacteria In The Environment: A Public Health Concern
Hafsat Nasir Nayaya Ibrahim Hamza Kankia Aliyu Ibrahim Yar'adua Ahmad Sulaiman Musa Abdulmajid Bashir	Al-Qalam University Katsina Umaru Musa Yar'adua University	Phytochemicals Screening and Antioxidant Activity of Fresh and Aged Garlic Extracts
Hasti Balali Ali Morabbi	University of Milan University of Milan	Transcriptomic Responses to SARS-CoV-2 Infection in Calu-3 Cells with Differential Expression
Sirchak Ye.S. Vashchenko I.O. Pushkash I.I. Sirchak S.S. Smolanka I.Yu.	Uzhhorod National University	Features Of Treatment At Patients With Metabolic-Associated Steatotic Liver Disease
Sirchak Ye.S. Chendey V.I. Stoika A.V. Chendey T.V.	Uzhhorod National University	The Role Of Tauroursodeoxycholic Acid In The Treatment Of Patients With Metabolic-Associated Steatotic Liver Disease
Sirchak Ye.S. Andriichuk A.Yu. Lemko I.I. Stan M.P. Barani V.Ye. Dubovenko D.O.	Uzhhorod National University	Factors Affecting Intestinal Injury In Patients With Autoimmune Thyroiditis
Christianah Afoluke Gegeleso Oluwarotimi John Joseph Olutayo Israel Falodun	University of Ibadan	Multiple Antibiotic Resistant Klebsiella pneumoniae Isolated from Faecal Samples in Selected Cattle Farms in Ibadan, Nigeria

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-4

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Asma Seemi Malik

Authors	Affiliation	Presentation Title
Oluwafemi Abel Agbetuyi Ademiju Adeolu Aganga Adetunmbi Tella Kehinde Luke Akinsola Tomilola Ayo Arilekolasi Olufunmilayo Temitope Folorunso	Federal University	Antimicrobial resistance in livestock: veterinary and one health perspectives-challenges, emerging strategies and approach towards animal production sustainability
Asma Seemi Malik Anam Afzal Amjad Mahmood	Lahore College for Women University	Determinants of Maternal Mortality in Pakistan: Evaluating the Effectiveness of Prenatal and Postnatal Healthcare Programs
Rukayya Gambo LAWAL Abdullahi Nasir Fatima Abdurrahman Aliyu Ibrahim Yaradua	Umaru Musa Yar'adua University	Hypolipidaemic Effects Of Methanolic Leaf Extract Of Anisopus mannii: Tlc Fractionation And Gc-Ms Characterization In Diet-Induced Hyperlipidemic Albino Rats
Abderrazzak Ihouaten Khadija El-Moustaqim Jamal Mabrouki	Mohammed V University in Rabat	Activated Sludge Processes for Sustainable Wastewater Treatment: Principles, Challenges and Recent Advances
Ahmad Sulaiman Musa Rukayya Gambo Lawal Dr. A.I. Yar'adua Dr. Akilu Abdullahi Sada Dr. Aminu Usman Dr. Zainab Suleiman	Umaru Musa Yar'adua University	Nutritional and Anti-Nutritional Evaluation of Locally Formulated Complementary Foods from Millet, Soybean, Groundnut and Sorghum for Enhanced Infant Nutrition
Sakinatu Almustapha Maryam Halliru Idris Dr. Aliyu Ibrahim Yar'adua Dr. Nasiruddeen Umar Matazu	Umaru Musa Yar'adua University	A Green Electrochemical Approach for Trace Lead Detection Using an EDTA-Cellulose Modified Carbon Paste Electrode
Maryam Halliru Idris Aliyu Ibrahim Yaradua Hadiza Kabir Matazu Hafsat Nasir Nayaya	Umaru Musa Yar'adua University	Effect of Aspergillus Niger Fermentation on Anti-Nutritional Factors of Millet (Pennisetum glaucum) Stalk
Bouslah Fatima Hajji Olfa	University of Carthage	The Use Of Oats For Human Consumption (Flour, Milk, And Oat-Based Malt Drink)

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-5

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Michael BASSEY

Authors	Affiliation	Presentation Title
Michael BASSEY Aniekan IKPE Imoh Ime EKANEM	Akwa Ibom State Polytechnic	Machine Vision-Based Road Sign Recognition for Low-Cost Autonomous Vehicles
Mohd Shahbaz Khan Sameer Babu M	Jamia Millia Islamia,	Podcast-Based Professional Development For Pre-Service English Teachers: A Systematic Review
Soukaina El Bourachdi Yassine Rakcho Ali Raza Ayub Abdelhay el Amri Mahdi Lechheb Amal Lahkimi	Sidi Mohamed Ben Abdellah University,	Eco-Friendly Synthesis of a Chitosan@TiO_2 Nanocomposite Using Ginger Extract: Enhanced Adsorption of Dyes, Real Wastewater Treatment, and DFT Insights
Mahnoor Khalid Hafiz Muzzammel Rehman	University of the Punjab	In Silico Admet Profiling Of Top-Ranked Pubchem Phytochemicals Targeting Dpre1 Of Mycobacterium Tuberculosis
Ștefania-Alina MORARU Elena-Camelia MORARU Valentin-Ionuț-Cosmin DUMITRESCU Gheorghe MILITARU	National University of Science and Technology Politehnica Bucharest,	The Impact Of Urbanization And Thermal Stress On The Global Agricultural Carbon Footprint
Ștefania-Alina MORARU Elena-Camelia MORARU Valentin-Ionuț-Cosmin DUMITRESCU Gheorghe MILITARU	National University of Science and Technology Politehnica Bucharest,	The Dual Impact Of Generative Ai On Academic Performance And Student Well-Being
Safiya Almajir Raubilu	Umaru Musa Yar'adua University	Decade Of Ethnobotanical Studies In Katsina State, Nigeria: Prospects And Challenges
Fatima Abdurrahman Umma Aliyu Idris Ahmad Sani Shehu	Umaru Musa Yar'adua University	Effect Of Aqueous Extract Of Combretum Sericeum Stem Bark On Relative Organ Weight In High-Fat Diet Fed Rats
A. SAIDI M. L. BELGHITI B. ELHILALI A. SOLTANI A. CHAHLAOUI	Université Moulay Ismail	Waterborne pathogens in the Khoumane wadi, Morocco: An integrated assessment of parasitic and bacteriological contamination and potential risks to public health

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

08.09.2026 / ONLINE / SESSION-2 / HALL-6

Hanoi Local Time: 16:30-18:30 | Ankara Local Time: 12:30-14:30

Zoom Meeting ID: 829 5595 6031 / Zoom Passcode: 070809

HEAD OF SESSION: Fedi Ben Dhaou

Authors	Affiliation	Presentation Title
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax	School-Level Risk Factors for Internet Gaming Disorder: Evidence from Sfax, Tunisia
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax	Family Structure, Parental Factors, and Internet Gaming Disorder Among Tunisian Adolescents
Fedi Ben Dhaou Zeineb Dammak Feriel Dhouib Maroua Trigui Zeinab Mallek Emna Mziou Ghada Nasri Mondher Kassis Kaouthar Jmal Hammami Ali Amouri Yosra Mejdoub	Habib Bourguiba University Hospital	Musculoskeletal Disorders in Hospital Nurses: How Widespread Are They and What Puts Nurses at Risk?
Fedi Ben Dhaou Zeineb Dammak Feriel Dhouib Maroua Trigui Zeinab Mallek Emna Mziou Ghada Nasri Mondher Kassis Kaouthar Jmal Hammami Ali Amouri Yosra Mejdoub	Habib Bourguiba University Hospital	When Nurses Can't Afford to Stay Home: The Intersection of Presenteeism, Musculoskeletal Disorders, and Workplace Stress

(All speakers required to be connected to the session 10 min before the session starts)
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics.

CONFERENCE GALLERY

LOTUS
VISIONS
- INTERNATIONAL EXHIBITION -

International Congress on
Global Practice of
Multidisciplinary
Scientific Studies-XIV
7-14 SEPTEMBER 2026
VIETNAM

TABLE OF CONTENTS

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Serap TAŞDEMİR	Assessment of Turkey in a British General Staff Report Prior to the Official Occupation of Istanbul	1
Fatma KOÇ Emine KOCA	Sustainable Strategies in the Preservation of Clothing Culture and Textile Heritage	3
Emine KOCA Fatma KOÇ	From Circular Economy to Circular Fashion: Policy Frameworks for The Textile and Fashion Industry	21
Sercan DAĞLI	The Culture of Falconry in the Eastern Black Sea Region: Conflicting Values and the Negotiation of Cultural Heritage	34
Ayşe Selin DÜLGER	A Comparative Assessment of Tourism Destinations in Vietnam in Terms of Climate Change Risks	36
Fatma TEZEL ŞAHİN Elmas HOLOĞLU Cansu TUTKUN	An Examination of The Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program in terms of Education For Sustainability	38
İlknur KARALEZLI Melek ALTUNKAYA Muhammed Emin SAR	Investigation of the Effects of Berberine on Hyperthyroidism-Induced Testicular Damage via GPX4, GJA1, and Bax Gene Expressions	48
İlknur KARALEZLI	Biological and Therapeutic Potential of Kitaibelia balansae Boiss.Extracts:Antioxidant and Enzyme Inhibitory Activities	50
Ceyhun İLSEVER	User Experience-Focused Improvement Priorities in Urban Maritime Public Transport: The Case of Istanbul Bostancı	52
Fulya ÖNER ARMAĞAN Melek KARACA	Enabling Pre-Service Science Teachers Create Lesson Modules Using the Flipped Learning Model: An Example from A Tubitak 3005 Project	53
Özlem KAYA	The Effects of the Quiet Luxury Movement on Sustainable Fashion Design	65
Özlem KAYA	Observational Assessment of Ergonomic Risks Related to Workstations and the Working Environment in the Leather Industry: A Case Study	71
Şükrü TÜZMEN	Molecular Approaches in the Diagnosis and Treatment of Genetic Disorders	78
Ulviye BUNYATOVA	White-Light-Responsive Functionalized Bionanocomposite for Tissue Regeneration	80
S. Hülya Erten Can Aslı Silkü Oflioğlu	An Overview of The Oral and Dental Health Profile in Turkey	81
Fatma DEMİRKAYA MİLOĞU Yücel KADIOĞLU Bedirhan AGGUL Maryam HAMADI Esmanur TORAMAN Burak BAYRAK	Analytical Quality by Design-Based and Chemometrics-Assisted Spectrophotometric Method for Simultaneous Determination of Enalapril and Hydrochlorothiazide: A Green Analytical Chemistry Approach	94
Deniz ÇETİN	Diagnosis and Management of Halitosis	96
Pelin CAN Deniz ÇETİN	Music in the Management of Dental Anxiety	101
Sevil AKÇAĞLAR Sevim AKÇAĞLAR	Physics-Based Engineering Analysis of Green-Synthesized Agnp/Pes Mixed Matrix Membranes for Water Treatment	107
Sevil AKÇAĞLAR Sevim AKÇAĞLAR	Antibiofouling Performance of Biogenic Agnp/Pes Nanocomposite Membranes	118
Fatma HAKYEMEZ	Evolving Dimensions of Clinical Competence in Paramaedics: Clinical Reasoning, Decision-Making, and Competency Assesment	135
Tayfun ACARER	Wireless Systems to be Established for the Continuous Monitoring and Transmission of Current and Wind Information in Nearby Sea Areas	137
Nadide Nabil KAMİLOĞLU Alkan KAMİLOĞLU Barış YILDIZ Serkan DEMİR	The effect of chlorella vulgaris on oxidative stress, CYP2E1 and NF-KB in ethyl alcohol-induced liver toxicity	139
Alkan KAMİLOĞLU Nadide Nabil KAMİLOĞLU	Investigation of the Effectiveness of Salicylic Acid Bandage Use in the Treatment of Early Diagnosed, Uncomplicated Interdigital Hyperplasia in Cattle	148
Şeyda BÜKRÜCÜ KAZKONDU	From Intervention Eras To Democratic Governance: The Evolution Of Military Discourse And Civil-Military Relations In Türkiye	149

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Ferhat Atik	The Desire For Visibility And The Fear Of Disappearing On Social Media: A Theoretical Reading Of The Digital Subject	150
Z. Gönül BALKIR Ecem KOCAOĞLAN	The Legal Duty Of Protection For Non-Human Entities And Its Limits	152
Z. Gönül BALKIR Ecem KOCAOĞLAN	The Democratic Legitimacy Of The Algorithmic Economy: Habermas In The Age Of Digital Currency	165
Feyman APTULA Hülya ŞENOL	Examining The Relationship Between Teacher Performance, School Administrators' Leadership Styles And Technological Leadership Behaviors	179
Duygu HIZAL Hülya ŞENOL	Examining The Impact Of School Principals'; Management Styles On Teachers'; Attitudes Towards Virtual Reality And Entrepreneurial Behaviors	181
Zeynep KARAÇOR Burcu GÜVENEK Saim Mert KALIN	Economic vulnerability and sustainable development in small-scale agricultural enterprises: a policy perspective	183
Zeynep KARAÇOR Burcu GÜVENEK Saim Mert KALIN	The strategic role of cooperatives in sustainable rural development	187
Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR	The Importance of Alternative Oilseed Crops in Arid and Semi-Arid Areas: A Review on Safflower, Sesame, and Camelina	191
Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR	Sustainable Production in Oilseed Crops: Current Approaches and Future Perspectives	198
Korkmaz BELLİTÜRK Mehmet Fırat BARAN	Effective Fertilizer Management in Wheat	204
Korkmaz BELLİTÜRK Mehmet Fırat BARAN	Some Effects of Climate Change on Soil Management	209
Coşkun GÜLSER Füsun GÜLSER	Remote Sensing Applications in the Determination of Plant Patterns	219
Siyami KARACA Füsun GÜLSER Metehan AYDIN	Current Approaches To The Use Of Next-Generation Soil Amendments İn Good Agricultural Practices	224
Alper BAYDAR Yeşim BOZKURT Burak DALKILIÇ	Calibration And Validation Stages In The Dssat Crop Simulation Model	232
Zeynep DUMANOĞLU Muhammed Emre ORMAN	Determination Of Some Agrotechnical Characteristics Of Seeds From Different Radish (Raphanus sativus L.) Species	239
Muhammed Emre ORMAN Zeynep DUMANOĞLU	The Role Of Beneficial Bacteria In Abiotic Stress Tolerance Of Legumes (Fabaceae): Current Status And Future Approaches	244
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Time to Medical Consultation in Heart Failure: Gender Differences in Care-Seeking Behavior	252
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	The Homemaker Phenotype: A High-Risk Profile for Non-Adherence in Heart Failure	254
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Epidemiological Profile of Heart Failure in Sfax: Age, Gender, and Comorbidity Burden	256

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Living Arrangements and Parental Supervision as Predictors of IGD in Tunisian Youth	258
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	From Entertainment to Addiction: Gaming Disorder Among Tunisian Adolescents	260
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Internet Gaming Disorder and Its Association with Depression, Anxiety, and Stress Among Tunisian Adolescents	262
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Internet Gaming Disorder and Academic Performance Among Middle and High School Students in Tunisia	264
Tolulope Aremu	Impact of pharmacist's intervention on type 2 diabetes patients' outcomes	266
Sibgha Zia	Insecticidal Effect of Combretum indicum Ethanolic Plant Extract and Their ZnONPs Against Red Flour Beetle (Tribolium castaneum)	267
Mahmoud Elsaafin	Infrazygomatic Miniscrews in Orthodontic Practice: Concepts, Techniques, and Clinical Applications	268
Alexandra Pintea	From Metabolic Control to Adaptive Capacity in Pediatric Type 1 Diabetes: An Integrative One Health Framework for Resilience and Antifragility	269
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Gender Disparities in Heart Failure Management: Evidence from a Large Tunisian Cohort	270
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Therapeutic Adherence in Heart Failure: A Gender-Sensitive Analysis at Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia	272

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Feriel Bouzid Rania Gargouri Malik Saidi Najet Dhifaoui Mondher Kassis Bassem Abid Leila Abid	Gender, Heart, and Treatments: When Therapeutic Adherence Beats to the Rhythm of Inequalities in Heart Failure Patients	274
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Heart Failure with Preserved Ejection Fraction and Its Association with Poor Therapeutic Adherence	276
Manal CHANA-YOURAF Mohamed DAROUICHE Hassan OUACHTAK Abdelaziz AIT ADDI Said ALAHIANE	Engıneerıng Mof-Based Composıtes For Enhanced Elımınatıon Of Cıprofloxacın Contamınants In Water Treatment Processes	278
Karatzia FANI Sonia GARCIA SEGURA	Group Dynamics and Conflict Management in Adult Education: Promoting Psychological Well-being and a Supportive Learning Environment	280
Hamza Bah Aboubaker Jiar Ezaddine Irrou Younesse Ait Elmachkouri Ali Oubella Rachid Azzallou Yahya Toubi	Synthesis and Molecular Investigation of a New Heterocyclic Compound for Breast Cancer Research	281
Nguyen Thi Phuong Tran Le Nhat Quang	Assessment Of Physical Activity And Morphological–Functional Characteristics Following Enhanced Physical Activity Among Employees Of Danang Family Hospital	282
Kaouthar ELBIRGUI Saad HARRIZI Nour Elhouda DAOUDI Nadia IOUNES Samir IBENMOUSSA	Traditional Uses, Bioactivity, and Toxicological Risk of the Genus Adenocarpus DC. (Fabaceae): A Systematic Review of the Evidence Supporting and Limiting Its Ethnomedicinal Use	283
Shamsuddeen Ahmad Kele Bashar Haruna Gulumbe Gadafi Nasir Abdulkareem T. Zakari Abdullahi Dauda Haliru Abdullahi Maryam Tiaminu Bolaji	Intestinal Parasites, Nutritional Status, and Related Factors Among Asymptomatic Pupils in Kalgo, Northern West Nigeria	284
Katerina Kasa Pajtim Lutaj	Long-Term Outcomes of Unilateral Anti-VEGF Therapy in Neovascular Age-Related Macular Degeneration; A Case Report and Literature Review	286
Nwawuba, I.N. Ijeh, I.I. Ejike, C.E.C.C. Okonkwo, C.O. Onyeonoro, U. Nnamudi, A.C. Ezeani, U.I. Osodeke, C.E. Ikechi, C.N. Nwofia B.O	Biochemical and Anthropometric Correlates of Cardiometabolic Risk Among Young Adults in Abia State, Nigeria: A Community-Based Cross-Sectional Study Advanced Design of MOFs for Catalytic and Photocatalytic Applications in Organic Synthesis	294
Neha Berma Abhinav Mishra Poonam Kumari	Beyond Incineration: Evaluating Sustainable Biomedical Waste Management Pathways in India	296
Ayobami Josiah Aderemi Abdulrazaq Izuafa Oluwafemi Adebayo Oyewole	Screening and Isolation of Chitosan-Producing Bacteria	297
Nafiou Sayabou ZANEIDOU Ayodele Adebayo ALLAGBE Franck AMOUSSOU	Constructing Climate Crisis: A Multimodal Positive Discourse Analysis Of A Speech Delivered By Johan Rockstörm	298

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
DAHMANE Thoraya KACI Zakia AROUS Ali KARAHACENE Taher HALLI Latifa	Antifungal Profile of Flavonoid Extracts Obtained from the Leaves Thymus algeriensis Boiss. et Reut.	299
DJEBAILI Manel	From Energy Estimates to Stability in Nonlinear Fractional Evolution Problems	301
Viviane DaSilva Brena Dias	Brain Dynamics in the School Context: Using qEEG Analysis for Learning Interventions	302
El Houssain Marouani Salma Ait El haj Chaima El Haydougui Imane Imilouane Abdessamad Mouhssine Adnane Hakem Brahim El Houate Omar El Hiba Abdelaati El Khiat	Acute Poisoning Cases in South-Eastern Morocco (2020–2025): Epidemiology, Clinical Presentation, and Therapeutic Management	309
Hadiza Kabir Matazu Abdullahi Balarabe Sallau Ibrahim Hamza Kankia Aisha Ibrahim Labaran Usman Bello	Proximate Nutrient Composition Of Selected Locally Produced Complementary Foods In Katsina State, Nigeria	311
Tsiiregzen Andarai Bayaraa Batnasan Purevsuren Buyantsog Endre Domokos	Temporal Variability in the Water Quality and Physicochemical Characteristics of Khyargas Lake, Mongolia	312
Sevilay GÜL Levent COŞKUNTUNA	Determination of the Nutrient Composition and Heavy Metal and Aflatoxin Levels in Cereal Grains Used in Animal Husbandry in Tekirdağ Province	313
Sevilay GÜL Levent COŞKUNTUNA	Alternative Protein Sources to Soybean Meal in Animal Nutrition: Current Approaches and Future Perspectives	314
Erhan KAHYA Yiğit ORUÇ	Okra-Yolo: An Enhanced Yolov8s Framework For Accurate And Efficient Okra In Agricultural Environments	316
Emrah ALKAN Ali BEYHAN UÇAK	Direct Determination Of Plant Water Consumption Of Cucumber	331
Ali BEYHAN UÇAK	Direct Determination Of Plant Water Consumption Of Siirt Pistachio	335
Fırat PALA Hüsrev MENNAN	Weed Population Genetics	340
Fırat PALA Hüsrev MENNAN	Weed Reproduction And Dispersal	352
Arzu ALTUNTAŞ	Artificial Intelligence-Assisted Migration–Landscape Adaptation Index (Mlai): A Model Proposal For Turkish Cities	361
Arzu ALTUNTAŞ	Analysis Of Factors Determining Green Space Deficiency In Migration-Receiving Cities Using Explainable Artificial Intelligence (Shap)	369
İlkay Özsev YÜKSEK	3d And 4d Body Scanning For Garment Fit And Body – Garment Interaction	378
Aydın SELLİOĞ	(Research Trends In Graduate Theses On Preschool Science Education: An Examination Through The Lens Of The Century Of Turkiye Education Model)	380
Koray DEDEOĞLU Serkan YILMAZSÖNMEZ Erdem AKYÜZ	Evaluation Of Highly Anionic Polyphosphate Additives In Waterborne Paints Over A Wide Pvc Range In Terms Of In-Can Stability And Microbiological Activity	382
Tuğba GÜLEÇ	Determination Of Coleoptile Length In Wheat Genotypes Under Different Temperatures And Sowing Depths	384
Hakan ÇELİKTEN	The Effects Of Greenhouse Gases On Global Warming And Climate Change	391
Merve GÜLER Nuri Murat YAĞMURLU	A Numerical Study Using The Collocation Method With Cubic Hermite Basis Functions	396
Ruslan IBRAGIMOV Aygül Zara KEBİR	Effect Of Chemical Water Treatment Sludge On The Properties Of Normal-Weight Concrete	402
Rumeysa ALTINMAKAS Kamil EKICI	The Determination Of Meat Quantity Ratios In Different Animal Species Using Molecular Methods	409

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Prevalence and Determinants of Poor Therapeutic Adherence in Heart Failure: A Retrospective Study	410
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Physical Activity and Its Protective Role Against Poor Therapeutic Adherence in Heart Failure	412
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Atrial Fibrillation and Therapeutic Adherence: A Protective Association in Heart Failure	414
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Educational Level and Therapeutic Adherence: Does Health Literacy Matter in Heart Failure?	416
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Ischemic vs. Non-Ischemic Heart Failure Etiology: Implications for Gender Distribution and Adherence	418
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	The Role of National Health Insurance in Promoting Therapeutic Adherence in Heart Failure	420
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	The Paradox of Gender and Adherence in Heart Failure: When Vulnerability Does Not Equal Non-Adherence	422
Fedi Ben Dhaou Salma Charfeddine Maroua Trigui Rania Gargouri Emna Mziou Zeinab Mallek Mondher Kassis Leila Abid	Financial Dependency and Therapeutic Adherence in Heart Failure: Exploring Caregiver Dynamics	424

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
SK. Sushma Taj A.V.S.S.S. Gupta B. Maheshwari Reddy I. Mamatha V. Parimala B. Chaitanya K. Maheshwari	Central Composite Design Method Development And Validation Of Vimseltinib By Rp-Uplc By Analytical Quality By Design	426
Gela Azikuri	Aggression and Its Forms Among Different Age Groups in General Education	427
Mohammed El rhanbouri Mounia Amane Samia Boussaa Taoufik Abou El Hassan Hicham Nejmi	The Association Between Frailty Evaluated by the Clinical Frailty Scale and Short-Term Mortality Among Older Patients in the Emergency Department: A Prospective Cohort Study in Morocco	429
Said AIT MESSAAD	Knowledge, Attitudes, and Clinical Practices of Midwives Regarding Gestational Toxoplasmosis in Safi City, Morocco	430
Alexander PLAKIDA Oksana MOSKAL	Gut Microbiota And Chronic Low-Grade Inflammation In Obesity: Mechanistic Links And Clinical Implications	431
Monika LOPUSZANSKA-DAWID Kuba KORTA	Adult Lifestyle And Childhood Onychophagia	432
Umma Aliyu Idris Abdullahi Nasir Aliyu I. Yardua Ibrahim H. Kankia Salahuddeen Ya'u Mande Usman Umar Muhammad M. Usman	In Vitro Antioxidant Activity Of Methanolic Leaf Extract Of Ficus Abutilifolia	433
ISAH IMAM PAIKO ASMA'Ú USMAN FARUK IMAM LUPMA	Public Health Financing And Under-Five Mortality In Nigeria: An Ardl Time-Series Analysis, 2000–2025	434
Belhocine Chaima Belabbes Mohamed Bouderoua Kaddour Chaib Eddour Ahmed Readh	Faba Beans In Human Nutrition: Nutritional Benefits, Antinutritional Factors And Health Perspectives	435
Elina Teodorescu Mariana Păcurar	The impact of obesity during the prepubertal and pubertal period on orthopedic treatment	436
Haliru Junaidu Fatahu Junaidu Ismail Muhammad Junaidu	Spatial Multi-Omics of the Tumour Microenvironment: Deciphering Tumour Heterogeneity, Immune Escape and Therapeutic Resistance for Precision Oncology	437
Darius Dîrpeș Denisa Abrudan	Rethinking Blockchain In Healthcare Hr: A Multi-Level Adoption Framework For Medical Credential Management	438
Dovletova Shirinjemal Dovletova Guljemal Muhammetdurdyyeva Mayajan	Sustainable Fabrication Of A Natural Polymer-Based Bioplastic Using Agar, Gelatin, And Glycerin: A Low-Cost Approach To Eco-Friendly Material Design	460
K. Uma Maheswari K. Gajalakshmi	Deep Learning-Based Segmentation of Skin Lesions for Computer-Aided Diagnosis	465
Usman Zaliha Ndatsu Muhammad Baba Hauwakulu Saba Hajara Salihu	Effects of AI-powered visualization Tool on students understanding and retention of biology concept in senior secondary schools in Minna Metropolis.	466
Loubna Ferraj Meriem Bousseba Mly Lahcen Ouahidi Mohamed Kabriti Mohammed El Bouch Mustapha Hasnaoui	Organochlorine Pesticides in Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) from Al Massira Reservoir (Morocco): Distribution Patterns and Human Health Risk Assessment for Adults, High Fish Consumers and Children	467
Loubna Ferraj Meriem Bousseba Mly Lahcen Ouahidi Mohamed Kabriti Mohammed El Bouch Mustapha Hasnaoui	Relationship Between Persistent Organic Pollutants and Freshwater Fish Growth: A Random Forest and Linear Regression Analysis	468

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
CHARFAOUI Safae AMRANI Amina TAHANI Abdesselam	Encapsulation of Carvacrol in Alginate–Caseinate Capsules: Effect of Chitosan Coating	469
Shama ISLAM S. S. ASHRAF	Simulation-Guided Design and Performance Analysis of a MoS_2/PEDOT/PPy-PIL-Based Integrated Solar–Supercapacitor Energy Storage System	470
Akmal Ahmed AAUB	Heart Failure Mortality Prediction Using Machine Learning: A Comprehensive Framework with Explainable AI	471
Priya Choudhary Pallavi Sachdeva	Climate Change and the Ageing Mind: A Review of Eco-Anxiety and Environmental Distress among Older Adults	472
A. Aliyu A. I. Yaradua A. Nasir I. H. Kankia R. Nasir U. S. Zango M. M. Gumel M. Aliyu A. Y. Sani	EVALUATION OF Aspergillus niger Fermented Millet Stalk For Safer Inclusion In Chicken Feed Formulation	473
EL BOUZIDI Asmae MAROUANE Saadia RHIHIL Abdallah	Systemic Literature Review: Hospital information systems and its impact on hospital performance	474
Farrukh Mahfooz	Impact of Recurring Floods on Environment, Human Health, and Supply Chain Disruption: Evidence from Pakistan	475
Amina Taouli Smail Zaki	From Wasted Mechanical Noise to Sustainable Power: A Smart Piezoelectric Framework	476
Nalan TÜRKÖZ KARAKULLUKÇU Şükriye ÇAKMAK	Stachys Annua L. As A Natural Additive For Biodiesel–Diesel Blends: Gc-Ms Profiling And Dsc Crystallization Behavior	477
Şükriye ÇAKMAK Nalan TÜRKÖZ KARAKULLUKÇU	Antioxidant Activity Of Mentha arvensis L. Methanolic Extract And Its Effect On Biodiesel–Diesel Blends	479
Mehmet Arif ÖZYAZICI Semih AÇIKBAŞ Emircan SATAN	Effects Of Salt Stress On Germination And Seedling Growth Of Tall Fescue (Festuca arundinacea Schreber)	481
Gülen ÖZYAZICI Esra UÇAR	When Should Medicinal Plants Be Harvested? Temporal Variation In Bioactive Compound Accumulation	486
Gülen ÖZYAZICI Esra UÇAR	Essential Oil Content Or Composition In Medicinal And Aromatic Plants? From Production To Quality	497
Semih AÇIKBAŞ Mehmet Arif ÖZYAZICI	Forage Crops In Areas With Salinity Problems: An Evaluation From The Perspectives Of Rehabilitation And Sustainable Production	508
Göktuğ ŞEKER	Institutional History Of Political Parties With Parliamentary Groups In The 28th Legislative Term Of The TBMM: The Cases Of Ak Party, Chp, And Mhp	518
BURCU GÜVENEK Zeynep Karaçor	External Dependency and Supply Security in the Context of Sustainable Energy Policies in Turkey: The Role of Alternative Energy Sources	526
BURCU GÜVENEK Zeynep Karaçor	Sustainable Development And Green Economy	531
Zeynep Karaçor Burcu GÜVENEK	Monetary Policy Practices and Their Results in Combating Inflation in the Turkish Economy	535
Zeynep Karaçor Burcu GÜVENEK	Fiscal Policy Practices in Economic Policy Implementation: The Case of Türkiye	541
M. Aydın AKBUDAK	Identification and Characterization of Slpr1.9 (Solyc08G068990) Orthologs in the Potato Genome	547
M. Aydın AKBUDAK	Identification and Characterization of Atbor1 Orthologs in Barley (Hordeum vulgare)	552
Falah Fatima Zahra Hamdane Hasna El. Ghailassi Touria	Microstructural and Mechanical Characterization of Metakaolin-Based Geopolymers for Radiation Protection	558
Afsheen Mahmood	Effect Of Gender On The Outcome Of Acute Coronary Syndrome In Type 2 Diabetes Mellitus	559
A. Nashika Fathima A. Nusrath Unissa	Structural and Dynamic Impact of the G190A Mutation on Etravirine Binding to HIV-1 Reverse Transcriptase: An In Silico Study	560

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Umar Bello	Environmental Taxation As A Tool For Achieving Sustainability In Nigeria: Between Fiscal Realities And Green Ambitions	561
Amit Dhar	Multi-Parameter Computational Discovery of Novel Caffeine-Derived Lead Compounds Targeting PDE4D for Anti-Inflammatory and Antitumor Drug Development	562
Ibrahim Aisha Labaran Sakinatu Almustapha Aliyu Ibrahim Yar'adua Muhammad Isma'il Khadija Isma'il	The effect of fermentation process on the anti-nutritional factors in the sugarcane tops	563
A. Rajeswari	Enhancing Blood Transfusion Safety Through Artificial Intelligence and Digital Monitoring Systems	564
Owoseni Sulaimon Kayode	Perceived Social Support from Significant Others, Family, and Friends and Breastfeeding Difficulty Among Mothers: A Cross-Sectional Study	565
Nituja Singh Medha Malay	An Emerging Dimension of Occupational Safety: Regulating Psychosocial Risks and Employee Mental Health in India - A Comparative Study of Australia and the UK	566
Mahwish Salman	Eco-Friendly Role Of Plant Growth-Promoting Endophytic Bacteria To Alleviate Drought Stress In Zea Mays	569
Arya Gupta Akriti Mishra Hina Vaish	Correlation of Sleep Quality and Level of Physical Activity among Postmenopausal Women: an online cross-sectional survey	570
Parisa Zafari Nasrin Iranshahi	Investigating the relationship between rheumatoid factor and anti-cyclic citrullinated peptide with FoxP3 gene expression in patients with rheumatoid arthritis	571
Parisa Zafari Nasrin Iranshahi	Decreased Gene Expression of Epstein–Barr Virus-Induced Gene 3 (EBI-3) may Contribute to the Pathogenesis of Rheumatoid Arthritis	572
Rabab ALLILI Jamal MABROUKI Miloudia SLAOUI	Food Security Under Climate and Resource Pressures: A Systems Approach to Resilience and Sustainability	573
Rufai Nasir Aliyu Ibrahim Yaradua Amina Yahaya Sani	Biochemical Evaluation of Saccharomyces Cerevicea fermented millet (Pennisetum glaucum) stalk as Maize replacement in fish Meal Formulation on growth performance of African catfish	574
S. Gnaana Saraswathi	Student-Led Microgreen Cultivation As A Low-Cost Strategy For Nutrition Education And Community Health Promotion	575
Ahmad Raza Muhammad Tajammal Hussain	Climate Change and Food Security: Emerging Challenges for Food Quality, Safety, and Sustainable Food Systems	576
Imane OUMLIL Younes ZAID	Potential Role of Thyroxine (T4)-Integrin αvβ3 Signaling in Platelet Transcriptomic Reprogramming and Thyroid Cancer Progression	577
Jean Richard Jokhu	From Social Influence to Impulsive Buying: Examining the Role of Buy Now, Pay Later Usage among Indonesian Consumers	578
Kosala D. Waduthanthri Purushothaman Kuppan Gregory S. Korbutt Andrew R. Pepper Larry D. Unsworth	An Externally Triggered Drug Delivery Platform For Local Immunomodulation In Islet Transplantation	579
Resha Kasim Vellattu Chola Sirajudheen Palliyalil Basheer Meethale Chelaveettil	Eco-Friendly Sulphur-Doped Alginate–Silica–Biochar Composite For Safer Water Reclamation: Crystal Violet Adsorption And Mechanistic Study	581
B. Samaila S.U Wali S. Abdullahi	Radiogical Safety Of Drinking Water In Nigeria: An Assessment Of Radiological Contaminants And Risk To Populations	582
S. Madhupriya	Rejuvenation Of Soil Using Phytochemical Method Via Enhancing Its Property By Addition Of Chelating Agent	593
Hafiz Muhammad Ishaq	Alterations in Intestinal Microbial Diversity and Composition in Patients with Plaque Psoriasis	594
Muhammad Zulhussnain Kanwal Ranian Aftab Ahmad Muhammad Kashif Zahoor	Genome Editing In Dengue Vector, Aedes Aegypti Using Crispr-Cas9 System To Replace Blood Sucking Females To Nectar Feeding Males	595
Kanwal Ranian Muhammad Zulhussnain Aftab Ahmad Muhammad Kashif Zahoor	CRISPR-CAS9 Mediated Sex-Ratio Distortion For The Genetic Control Of Dengue Vector, Aedes aegypti	596

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Cherif Mohamed Sif Islam Kaouche Soumeya	Influence of Feeding Management on the Blood Biochemical Profile of Dairy Cows in Sétif area, Algeria	597
Maria EL OUAZZANI Abdelmajid HADDIOUI Naaila OUAZZANI Mustapha AFDALI	Olive Mill Wastewater: Physicochemical And Microbiological Characterization And Implications For Environmental And Public Health	598
Younesse EL-OUAZZANI Fouad MSANDA Khalil CHERIFI	Medicinal Plants And Traditional Healthcare Practices In Taznakht, Morocco	599
Dang Hoang Thai Hien	Application Of The Theory Of Planned Behaviour In Food Waste Research: A Bibliometric And Systematic Review	600
Gaikwad Prachi Rasal Pooja Gayke Amol Shinde Vikas	Pharmacogenomics In Personalized Medicine	612
S. Varshini A. Inbanathan A. Malathi A. Nusrath Unissa Hanna L. E.	Analysis Of The Levels Of Cardiovascular-Related Biomarkers In Untreated And Treated Hiv Infection	613
Muhammad Riaz Baig Chughtai Satheesh Babu Natarajan Mazhar Ali	Resistance-Based Cardiac Rehabilitation Improves Health-Related Quality of Life After Coronary Artery Bypass Grafting: A Focused Comparison with Conventional Care	614
Otuu Chidiebere Agha Eke Samuel Sunday Aturamu Samuel Sunday	Evaluation Of Malaria Parasites Infection In Relation To Platelets (Thrombocytes) And Lymphocytes Counts Among Patients Attending A Secondary Healthcare Facility In Ado-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.	615
Kannadasan Karuppaiah Ezhilvanan Mani Vinoth Raman	Early Wake-Up Behaviour and Its Association with Sleep Quality, Physical Activity, and Mental Well-Being: A Secondary Analysis of a Cross-Sectional Dataset	616
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Ameni Becha Riel Bougdar Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Self-Esteem and Internet Gaming Disorder Among Adolescents: Findings from the Sfax Region of Tunisia	617
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Male Gender as a Dominant Risk Factor for Internet Gaming Disorder in Sfax Schools	619
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Early Internet Exposure and Gaming Disorder Risk in Adolescents: A Tunisian Perspective	621
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Gender Disparities in Internet Gaming Disorder Among Tunisian Adolescents: A School-Based Cross-Sectional Study	623

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	In-Class Smartphone Use and Its Association with Internet Gaming Disorder Among Adolescents in Sfax	625
Yonca YILMAZ Hilal MEDETALİBEYOĞLU	Synthesis, Spectroscopic Characterization And Dft Investigation Of A Novel Triazole-Containing Mannich Base	627
Hilal MEDETALİBEYOĞLU	Molecular And Electronic Characterization Of A Novel 1,2,4-Triazol-5-One Schiff Base: An Integrated Experimental-Dft Study	628
Nodar Sulashvili Margarita Beglaryan Nino Didbaridze Nana Gorgaslidze Lasha Tchelidze Magda Davitashvili Irina Imerlishvili Vira Kravchenko Marika Sulashvili Nato Alavidze Nino Abuladze David Aphkhazava Igor Seniuk Marina Giorgobiani Lela Grigolia Kakhaber Robakidze	Scientific Discourse On Epilepsy: Immunological And Other Pathogenetic Mechanisms, Diagnostic Challenges, Pharmacological Management, Drug-Related Complications, Current Advances In Diagnosis, Precision Therapeutics, Clinical Outcomes And Future Research Perspectives Worldwide	629
Nodar Sulashvili Margarita Beglaryan Nino Didbaridze Nana Gorgaslidze Lasha Tchelidze Magda Davitashvili Irina Imerlishvili Vira Kravchenko Marika Sulashvili Nato Alavidze Nino Abuladze David Aphkhazava Igor Seniuk Marina Giorgobiani Lela Grigolia Kakhaber Robakidze	Scientific Discourse On The Redefinition Of The Global Pharmacy Profession: An Evidence-Based Analysis Of Clinical Excellence, Pharmaceutical Innovation, Workforce Sustainability, Healthcare Integration, And Future Strategic Development	637
Majin Emmanuel Nmadu	Antibiotic Resistance Bacteria In The Environment: A Public Health Concern	682
Hafsat Nasir Nayaya Ibrahim Hamza Kankia Aliyu Ibrahim Yar'adua Ahmad Sulaiman Musa Abdulmajid Bashir	Phytochemicals Screening and Antioxidant Activity of Fresh and Aged Garlic Extracts	683
Hasti Balali Ali Morabbi	Transcriptomic Responses to SARS-CoV-2 Infection in Calu-3 Cells with Differential Expression	684
Sirchak Ye.S. Vashchenko I.O. Pushkash I.I. Sirchak S.S. Smolanka I.Yu.	Features Of Treatment At Patients With Metabolic-Associated Steatotic Liver Disease	685
Sirchak Ye.S. Chendey V.I. Stoika A.V. Chendey T.V.	The Role Of Tauroursodeoxycholic Acid In The Treatment Of Patients With Metabolic-Associated Steatotic Liver Disease	686
Sirchak Ye.S. Andriichuk A.Yu. Lemko I.I. Stan M.P. Barani V.Ye. Dubovenko D.O.	Factors Affecting Intestinal Injury In Patients With Autoimmune Thyroiditis	687

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Christianah Afoluke Gegeleso Oluwarotimi John Joseph Olutayo Israel Falodun	Multiple Antibiotic Resistant Klebsiella pneumoniae Isolated from Faecal Samples in Selected Cattle Farms in Ibadan, Nigeria	688
Oluwafemi Abel Agbetuyi Ademiju Adeolu Aganga Adetunmbi Tella Kehinde Luke Akinsola Tomilola Ayo Arilekolasi Olufunmilayo Temitope Folorunso	Antimicrobial resistance in livestock: veterinary and one health perspectives-challenges, emerging strategies and approach towards animal production sustainability	689
Asma Seemi Malik Anam Afzal Amjad Mahmood	Determinants of Maternal Mortality in Pakistan: Evaluating the Effectiveness of Prenatal and Postnatal Healthcare Programs	690
Rukayya Gambo LAWAL Abdullahi Nasir Fatima Abdurrahman Aliyu Ibrahim Yaradua	Hypolipidaemic Effects Of Methanolic Leaf Extract Of Anisopus mannii: Tlc Fractionation And Gc-Ms Characterization In Diet-Induced Hyperlipidemic Albino Rats	691
Abderrazzak Ihouaten Khadija El-Moustaqim Jamal Mabrouki	Activated Sludge Processes for Sustainable Wastewater Treatment: Principles, Challenges and Recent Advances	692
Ahmad Sulaiman Musa Rukayya Gambo Lawal A.I. Yar'adua Akilu Abdullahi Sada Aminu Usman Zainab Suleiman	Nutritional and Anti-Nutritional Evaluation of Locally Formulated Complementary Foods from Millet, Soybean, Groundnut and Sorghum for Enhanced Infant Nutrition	693
Sakinatu Almustapha Maryam Halliru Idris Aliyu Ibrahim Yar'adua Nasiruddeen Umar Matazu	A Green Electrochemical Approach for Trace Lead Detection Using an EDTA-Cellulose Modified Carbon Paste Electrode	694
Maryam Halliru Idris Aliyu Ibrahim Yaradua Hadiza Kabir Matazu Hafsat Nasir Nayaya	Effect of Aspergillus Niger Fermentation on Anti-Nutritional Factors of Millet (Pennisetum glaucum) Stalk	695
Bouslah Fatima Hajji Olfa	The Use Of Oats For Human Consumption (Flour, Milk, And Oat-Based Malt Drink)	696
Michael BASSEY Aniekan IKPE Imoh Ime EKANEM	Machine Vision-Based Road Sign Recognition for Low-Cost Autonomous Vehicles	697
Mohd Shahbaz Khan Sameer Babu M	Podcast-Based Professional Development For Pre-Service English Teachers: A Systematic Review	698
Soukaina El Bourachdi Yassine Rakcho Ali Raza Ayub Abdelhay el Amri Mahdi Lechheb Amal Lahkimi	Eco-Friendly Synthesis of a Chitosan@TiO_2 Nanocomposite Using Ginger Extract: Enhanced Adsorption of Dyes, Real Wastewater Treatment, and DFT Insights	699
Mahnoor Khalid Hafiz Muzzammel Rehman	In Silico Admet Profiling Of Top-Ranked Pubchem Phytochemicals Targeting Dpre1 Of Mycobacterium Tuberculosis	700
Ștefania-Alina MORARU Elena-Camelia MORARU Valentin-Ionuț-Cosmin DUMITRESCU Gheorghe MILITARU	The Impact Of Urbanization And Thermal Stress On The Global Agricultural Carbon Footprint	710
Ștefania-Alina MORARU Elena-Camelia MORARU Valentin-Ionuț-Cosmin DUMITRESCU Gheorghe MILITARU	The Dual Impact Of Generative Ai On Academic Performance And Student Well-Being	711
Safiya Almajir Raubilu	Decade Of Ethnobotanical Studies In Katsina State, Nigeria: Prospects And Challenges	712
Fatima Abdurrahman Umma Aliyu Idris Ahmad Sani Shehu	Effect Of Aqueous Extract Of Combretum Sericeum Stem Bark On Relative Organ Weight In High-Fat Diet Fed Rats	713

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
A. SAIDI M. L. BELGHITI B. ELHILALI A. SOLTANI A. CHAHLAOUI	Waterborne pathogens in the Khoumane wadi, Morocco: An integrated assessment of parasitic and bacteriological contamination and potential risks to public health	714
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	School-Level Risk Factors for Internet Gaming Disorder: Evidence from Sfax, Tunisia	715
Fedi Ben Dhaou Maroua Trigui Zeinab Mallek Feriel Bouzid Riel Bougdar Ameni Becha Mondher Kassis Yosra Mejdoub Bassem Abid	Family Structure, Parental Factors, and Internet Gaming Disorder Among Tunisian Adolescents	717
Fedi Ben Dhaou Zeineb Dammak Feriel Dhouib Maroua Trigui Zeinab Mallek Emna Mziou Ghada Nasri Mondher Kassis Kaouthar Jmal Hammami Ali Amouri Yosra Mejdoub	Musculoskeletal Disorders in Hospital Nurses: How Widespread Are They and What Puts Nurses at Risk?	719
Fedi Ben Dhaou Zeineb Dammak Feriel Dhouib Maroua Trigui Zeinab Mallek Emna Mziou Ghada Nasri Mondher Kassis Kaouthar Jmal Hammami Ali Amouri Yosra Mejdoub	When Nurses Can't Afford to Stay Home: The Intersection of Presenteeism, Musculoskeletal Disorders, and Workplace Stress	721
Ruslan SHEVERDIN Victor KAZAKEVICH	Features Of Renal And Lumbar Hemodynamics During Muscle Contraction And After Coffee Intake In Students	723
MELEK ALTUNKAYA Emine CIHAN	Exercise Physiology and Current Clinical Assessment Approaches in The Pathophysiology of Cystic Fibrosis	724
Emine CİHAN Cansu Şahbaz PİRİNÇİ	Living with Lipedema: A Review on the Evolving Role of Physiotherapy	731
Serap TAŞDEMİR	The United Kingdom’s Network of Commitments Leading up to The Paris Peace Conference	737

İSTANBUL'UN RESMİ İŞGALİ ÖNCESİNDE İNGİLİZ GENELKURMAY RAPORUNDA TÜRKİYE DEĞERLENDİRMESİ BİR İSTİHBARAT RAPORUNUN IŞIĞINDA ÜÇ AKTÖR: BRİTANYA, İSTANBUL HÜKÜMETİ VE ANKARA HAREKETİ

ASSESSMENT OF TURKEY IN A BRITISH GENERAL STAFF REPORT PRIOR TO THE OFFICIAL OCCUPATION OF ISTANBUL

Prof. Dr. Serap TAŞDEMİR
Faculty of Humanities and Social Sciences, Amasya University, Amasya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1559-828X

ÖZET

Wilson Prensipleri çerçevesinde barış sağlayıcı bir mütarekeye imza atma niyetiyle Limni Adası Mondros Limanı'na giden Osmanlı Heyeti, burada umduğunu bulamamış; daha öncesinde Londra'da hazırlanıp Amiral Calthorpe'a iletilen maddelerden oluşan mütareke metnini, 30 Ekim 1918'de Limni adasının Mondros Limanı'nda demirli İngiliz zırhlısı Agamemnon'da imzalamıştı. Türk ordusunun tasfiyesini hedefleyen ve Anadolu'nun işgaline meşruiyet kazandırmaya çalışan bir metin olarak hayata geçirilmek istenen Mondros Mütarekesi'nin mürekkebi kurumadan, 13 Kasım 1918 tarihinde, 61 parçadan oluşan İtilaf donanması –içlerinde Yunan savaş gemileri de vardı- Dolmabahçe önünden geçerek limana demir attığında başkent İstanbul şehri fiilen işgale uğramıştı. Aralık 1918 başında şehrin çeşitli kesimleri İtilaf kesimleri arasında paylaştırılarak –Yüksek komiserlikler oluşturularak- bir işgal idaresi tesis edildi. Saray ve İstanbul Hükümeti'nin işgaller karşısındaki teslimiyetçi tutumu, İtilaf Devletleri'nin baskısıyla birleştiğinde, Anadolu halkının bağımsızlık mücadelesi Mustafa Kemal Paşa önderliğinde bir iradeyle gerçekleştirildi. Başkent İstanbul'un fiili işgali sonrası ortaya çıkan yeni siyasi-askeri dengede, Birleşik Krallık Savaş Bakanlığı Genelkurmay Başkanlığı tarafından 15 Mart 1920 tarihinde iki bölüm ('Bölüm I – Bilgi';'Bölüm II – Operasyonlar') ve 4 ekten oluşan (Ek A – Müttefik birliklerinin ve güçlerinin ülke ve konuma göre dağılımını gösteren tablo;'Ek B' – Ermeni ordusunun mevcut personel ve teçhizat tablosu; 'Ek C' – Türkler tarafından resmi olarak bildirilen Türk ordusunun ve silahlarının konumlarını gösteren tablo; 'Ek D' – Aralık ve Ocak 1919-20 tarihlerinde İzmir çevresindeki Yunan Hattı'nın Türk tarafında yaptığı gezi sırasında edindiği izlenimleri kaydeden bir İngiliz yarbayın raporu.) bu belgede değerlendirilmektedir. Rapor, 15 Mart 1920 tarihi itibariyle Türkiye'deki durumu ayrıntılarıyla ele almakta ve Türkiye'ye çok ağır bir barış antlaşması sunulmasının hem Türkler hem de Müttefikler için olası sonuçlarını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, raporun kendi başlık sırası izlenerek, her bölüme değindiği konular, bu değerlendirmenin Mondros öncesindeki gizli anlaşmalar zinciri ve Sevr tasarımıyla ilişkisi ve Anadolu'nun bakış açısı ve uygulamaları dönemin ana belgeleri ile karşılaştırılarak ele alınacaktır.

Anahtar Sözcükler: Mondros Mütarekesi, Mustafa Kemal Paşa, Milliyetçi Hareket, Gizli Antlaşmalar, Ermeni Sorunu.

ABSTRACT

The Ottoman delegation, which traveled to the Port of Mondros on the island of Limni with the intention of signing a peace-promoting armistice in accordance with the Wilson Principles, did not find what it had hoped for there; Instead, on October 30, 1918, they signed the armistice text—composed of provisions prepared earlier in London and conveyed to Admiral Calthorpe—aboard the British battleship Agamemnon, anchored in the port of Mondros on the island of Lemnos. Before the ink on the Mondros Armistice—a document intended to be implemented as a means to dismantle the Turkish army and legitimize the occupation of Anatolia—had even dried, on November 13, 1918, a 61-vessel Allied fleet—which included Greek warships —sailed past Dolmabahçe and anchored in the harbor, the capital city of Istanbul was effectively occupied. In early December 1918, various parts of the city were divided among the Allied powers—with high commissions established—and an occupation administration was set up. The submissive stance of the Palace and the Istanbul Government toward the occupations, combined with pressure from the Allied Powers, led the people of Anatolia to wage their struggle for independence under the leadership of Mustafa Kemal Pasha.

In the new political and military balance that emerged following the de facto occupation of the capital, Istanbul, the General Staff of the United Kingdom's War Office issued a document on March 15, 1920, consisting of two sections ("Section I – Information"; " Section II – Operations") and four appendices (Appendix A – A table showing the distribution of Allied troops and forces by country and location; "Appendix B" – A table of the Armenian Army's current personnel and equipment; "Appendix C" – a table showing the locations of the Turkish army and its weapons as officially reported by the Turks; 'Appendix D' – a report by a British major recording his observations during a tour of the Greek line around Izmir from the Turkish side in December and January 1919–20.) are evaluated in this document. The report examines the situation in Turkey in detail as of March 15, 1920, and outlines the potential consequences for both the Turks and the Allies of imposing a very harsh peace treaty on Turkey. In this study, following the report's own sectioning, each section will be examined in terms of the topics it addresses, its relationship to the chain of secret agreements preceding the Armistice of Mudros and the Treaty of Sèvres, and the perspectives and practices in Anatolia, all compared with the primary documents of the period.
Keywords: Armistice of Mudros, Mustafa Kemal Pasha, Nationalist Movement, Secret Agreements, Armenian Question.

GİYİM KÜLTÜRÜ VE TEKSTİL MİRASININ KORUNMASINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR STRATEJİLER

SUSTAINABLE STRATEGIES IN THE PRESERVATION OF CLOTHING CULTURE AND TEXTILE HERITAGE

Prof. Dr. Fatma KOÇ
Department of Fashion Design, Faculty of Art and Design, Ankara Hacı Bayram Veli University, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-3267-5366

Prof. Dr. Emine KOCA
Department of Fashion Design, Faculty of Art and Design, Ankara Hacı Bayram Veli University, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6607-5652

ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı; Birleşik Krallık ve Finlandiya örnekleri üzerinden tekstil ve giysi kültürü mirasının korunmasında farklı kültürel bağlamların oluşturduğu uygulama pratiklerini ortaya koymak ve bu pratiklerin sürdürülebilirlik potansiyellerini karşılaştırmalı bir çerçevede değerlendirmektir. Her iki ülke de *"2003 UNESCO Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi'ni"* onaylamış olmakla birlikte, bu onayın pratik uygulamalara yansıma biçimi ülkeden ülkeye belirgin farklılıklar göstermektedir. Bu çalışma, söz konusu coğrafyaların kültürel ve yerel dinamiklerine dayanarak giyinme kültürü ve tekstil mirasının korunmasına yönelik stratejilerin farklılıklarını ve benzerliklerini incelemeyi hedeflemektedir. Araştırma, bildiri kısıtları nedeniyle yalnızca iki ülkede tekstil ve giysi mirasını koruma altına alan kurumsal yapılar ve uygulamalarla sınırlandırılmıştır. Çalışma kapsamında, yerel halk geleneklerinin korunmasındaki yasal ve kendine özgü yapısal mekanizmaları ve koruma pratikleriyle karşılaştırılacaktır. İngiltere'de yasal koruma, akademik işbirlikleri ve bölgesel müze projeleri, Finlandiya'da ise girişimcilik stratejileri ve üniversite temelli kültürlerarası projeler ele alınacak, her iki ülkenin zanaat mirasını modern tasarım pratiğiyle bütünleştiren ve birbirini tamamlayıcı sürdürülebilirlik modellerine nasıl dönüştüğü ortaya konulacaktır. Bu çerçevede söz konusu iki modelin karşılaştırmalı analizi, zengin bir giyim ve tekstil mirası birikimine sahip olan ancak bütüncül bir kurumsal koruma altyapısını henüz tam olarak geliştirememiş ülkeler bağlamında kavramsal bir yol haritası sunarak bu ülkelerin ileride geliştirecekleri kurumsal koruma tasarım süreçlerine ışık tutması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Giysi mirası, kültür, koruma, tekstil, Birleşik Krallık, Finlandiya, sürdürülebilirlik,

Abstract

The principal aim of this study is to examine, through the cases of the United Kingdom and Finland, the practice-based applications that different cultural contexts generate in the preservation of textile and clothing heritage, and to evaluate the sustainability potential of these practices within a comparative framework. Although both countries ratified the 2003 UNESCO Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage, the manner in which this ratification translates into practical implementation displays marked variations from one country to another. Drawing upon the cultural and local dynamics of these two geographies, this study seeks to investigate the differences and similarities between the strategies employed in the preservation of dressing culture and textile heritage. In view of the limitations of the conference paper format, the research is confined solely to the institutional structures and practices that safeguard textile and clothing heritage in each of the two countries. The legal and culturally specific structural mechanisms through which local craft traditions are preserved will be compared in relation to the distinctive preservation practices of each country. Legal protection frameworks, academic collaborations, and regional museum projects in the United Kingdom, alongside entrepreneurship strategies and university-based intercultural projects in Finland, will be examined in order to reveal how each country transforms its craft heritage into complementary sustainability models integrated with contemporary design practice.

In this context, the comparative analysis of the two models under consideration is intended to provide a conceptual roadmap for countries that possess a rich heritage of clothing and textile traditions but have not yet fully developed a comprehensive institutional infrastructure for the safeguarding of that heritage, thereby illuminating the institutional preservation design processes that such countries may develop in the future.
Keywords: Clothing heritage, culture, preservation, textile, United Kingdom, Finland, sustainability

Giriş

Toplumsal kimliği, belleği ve aidiyet duygusunu şekillendiren giysi ve giyinme kültürü, giysilerin üretiminde kullanılan tekstil malzemeleri ve üretim teknikleri ile giyinme pratiklerinin kuşaklar arası aktarımı yoluyla somut olmayan kültürel mirasın gelecek nesillere taşınmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Bu bağlamda giysiler, bireysel ve toplumsal kimliğin estetik bir dışavurumu olarak işlev görürken, kültürel biçim ve motiflerin modern tekstil tasarımlarına entegrasyonu için mirasın koruması ve sürekliliğinin sağlanması stratejik bir gereklilik haline gelmektedir. Günümüzde geleneksel giyim kültürü ve tekstil sanatları ile bunlara ilişkin uygulamalar, etnik kültürel çeşitliliği sergilemek ve kültürel alışverişi teşvik etmek amacıyla önemli bir mecra olarak kabul edilebilir. Geleneksel teknikler ve özgün uygulamalar, yalnızca estetik unsurlar değil, aynı zamanda kültürel, tarihsel, ekonomik ve toplumsal dönüşümlerin birer temsilcisi olarak güncel moda formlarının şekillendirilmesinde temel bir kaynak oluşturmaktadır. İlham verebilecek uygulamaların ve inançların merkezinde kültürün yer aldığı düşünüldüğünde, yaratıcı veya sanatsal ifade biçimi olarak kültürün tasarım süreçlerine entegre edilmesi, kültürel sürdürebilirliğin önemli argümanlarından biri olarak görülebilir. Koca (2026:30) yaptığı bir çalışmada *"tasarımlarla yansıtılan anlatılar, değerler ve eylemler, sürdürülebilir kalkınmanın kültürel açıdan daha hassas bir anlayışının ortaya çıkmasını sağlarken, sanatın, kültürün ve kültürel politikanın rollerinin açıklığa kavuşturulmasına da katkıda bulunulabilecektir"* şeklindeki söylemi ile kültürel sürekliliğin önemini vurgulamıştır.

Zanaat genellikle belirli bir yerle yoğun bir kişisel veya sembolik ilişkiyi temsil eder. Bu yer duygusu, doğası gereği, büyük ölçüde nesnel analize meydan okur ve her kişi için olduğu kadar her yer için de benzersizdir. Bununla birlikte, çağdaş zanaatın ve zanaat pratiğinin önemini ve nasıl evrimleştiğini anlamamız için, bu ilişkilerin 21. yüzyıl üretimi bağlamında ne anlama gelebileceğini sorgulamak önemlidir. Yerin artık önemli olmadığı iddialarına rağmen, zanaat da dahil olmak üzere çoğu kültürel üretim biçimi merkezi olmaya devam etmektedir (Brown,2014:6). Günümüzde tasarımcıların geleneksel ögeleri tasarımlarına dâhil etme çabası, kültürel mirasın sadece estetik bir meta olarak tüketilmesine yol açabilmekte, bu da zanaatın taşıdığı derin toplumsal belleğin ve özgünlük değerinin sürdürülebilirliğini tehlikeye atmaktadır (Tatlıdil ve Şahin, 2019: 318). Küreselleşme süreci içinde tüketim alışkanlıkları, kitle kültürü ve tekdüze yaşam tarzları, ulusal kültürlerin zayıflamasına, dolayısıyla kültürel değerlerin yozlaşmasına veya kaybolmasına yol açmaktadır (Koca ve diğ., 2015:127). Yerel kültüre ait el sanatlarının ele geçirilmesi ve ticarileştirilmesi, yerli toplumlar arasında kültürel farklılığın zayıflamasına ve kademeli olarak ortadan kaybolmasına yol açabilir. Ticari aktörlerin, kültürel önemlerini tanımadan geleneksel tasarımları benimsemesi, el sanatlarının ilk bağlamından, öneminden ve değerinden koparılmasına neden olur. Bahsedilen olgu, zanaatkârlar ile toplumların kültürel mirasları arasında bir kopmaya, öz saygıda ve toplumsal kimlikte bir düşüşe yol açma potansiyeline sahiptir (Geismar, 2005: 441). Endüstri Devrimi sonrası ortaya çıkan seri üretim mekanizmaları, yerel kültüre ait el sanatı ve el yapımı ile gerçekleştirilen pek çok ürünü fiziksel birer nesneye indirgemiş, bu ürünlerin zanaat alanı ile üreticilerine yüklenen bağlamsal bilincin yitirilmesine neden olmuştur. Geleneksel üretimde eşya ile insan arasında kurulan derin bağ, endüstriyel süreçlerde yerini *"hızlı üretim-hızlı tüketim"* döngüsüne bırakılmış bu durum, geçmişle bugün arasında köprü kuran el sanatlarının üretimden kalkması ve toplumsal bellekten silinmesi riskini oluşturmuştur.

Yerel ve ulusal kültüre ait el sanatları mirası küresele sadece ticari işlevsel ürünler şeklinde değil imgeler ve simgeler şeklinde hazırlayıp bunları planlı biçimde sunmak gerekmektedir (Oğuz, 2002: 5). Zengin kültürel mirası ve kendine özgü sanatsal özellikleri ile karakterize edilen yerel kültürlere ait el sanatları, birçok yerli ve bölgesel toplum için hayati bir unsur olmuştur. Küreselleşme olgusu ile birlikte kültürel ürünlerin giderek ticarileşmesi, yerel el sanatları bağlamında üretilen ürünlerin, bu ürünlerin üzerinde yer alan motiflerin, biçimsel formların ve üretici zanaatkarların özel tekniklerinin sömürülmesi sorununu beraberinde getirmiştir.

Geleneksel ve yerel kültürel ürünlerde kalite ile özgünlükten taviz verilmeden korunması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması, bu ürünlerin kültürel miras olarak korunmasını sağlamakla

kalmamakta aynı zamanda üretici ve tüketicilerin de korunmasını mümkün kılmaktadır (Giray, ve diğ. 2012: 109). Küresel değişimlerin geleneksel değerler üzerindeki etkilerini anlamak ve yok olma riski taşıyan el sanatı ve bunlara bağlı somut olmayan kültürel mirası gelecek kuşaklara aktarmak için inovatif stratejiler geliştirmek açısından son derece önemlidir. Söz konusu koruma ve sürdürülebilirlik yaklaşımları toplumların kültürel, siyasi, toplumsal yaklaşımları, estetik algısı, sanata ve santçıya verdiği değer vb. gibi nedenlere dayalı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle Doğu ve Batı medeniyetlerinin somut veya somut olmayan kültür varlıklarını, geleneksel el sanatları, giyim kuşam ve tekstil ürünleri gibi değerlerine sahip çıkması, koruma ve sürdürülebilir yaklaşımları arasındaki çalışma stratejileri oldukça çeşitlilik ve farklılıklar göstermektedir.

Doğu'nun süreç odaklı koruma felsefesinin dünyadaki en somut ve öncü örneği olarak kabul gören Japonya'nın *"Yaşayan İnsan Hazineleri"* yaklaşımı, Batı'nın nesneyi donduran müzeleme anlayışının aksine bu sistem, zanaatı sanatçının bedeni ve becerisiyle bir bütün olarak kabul eder ve koruma yaklaşımlarında insan ve süreç odaklı modelleri merkeze almaktadır. Özellikle Japonya gibi Doğu toplumlarında gelişen ve UNESCO'nun *"Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi"*ne temel teşkil eden yaklaşım, tekstili sadece fiziksel bir nesne olarak değil; onu üreten beceri, bilgi ve toplumsal pratikler bütünü olarak ele almaktadır (Parry-Williams, 2015: 167). Bu yaklaşım, zanaatkârı ve üretim sürecini koruma merkezine alarak sürdürülebilirliği *"yaşayan bir gelenek"* üzerinden kurgular. Batı medeniyetinde ise, özellikle Avrupa müzecilik geleneğinde ise 2003 yılında Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu (UNESCO) tarafından kabul edilen Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi'nin yaşatarak koruma yaklaşımı benimsenmiştir. Sözleşme'de koruma terimi somut olmayan kültürel mirasın yaşayabilirliğini güvence altına alma olarak açıklanmıştır (Oğuz, 2018: 202-203). 2003 UNESCO Sözleşmesi ile birlikte ürün odaklı arşivleme anlayışından, zanaatkârın bilgi ve becerisini merkeze alan yaşayan bir koruma modeline doğru dönüşüm gözlemlenmektedir (Baki Nalcıoğlu, 2025: 91). Batı merkezli koruma felsefesini dönüştüren en önemli kurumsal araçtır. Bu sözleşme, mirası *"toplulukların, grupların ve bireylerin kültürel miraslarının bir parçası olarak kabul ettikleri uygulamalar, temsiller ve beceriler"* olarak tanımlayarak Japonya'nın 1950'lerde başlattığı anlayışı küresel bir standart haline getirmiştir (Parry-Williams, 2015). Batı eksenli kurumsal yaklaşımlar, başlangıçta nesne odaklı olsa da zamanla UNESCO standartları üzerinden Doğu yaklaşımıyla bütünleşmiştir. Ancak Batı eksenli koruma ve sürdürülebilir yaklaşım *"Standartlar, Etiketleme ve Akademik Koruma (Eğitim Odaklılık)"* üzerinde daha çok yoğunlaşmıştır. Batı yaklaşımında zanaat, tasarımcı için bir değer yaratma aracı olarak konumlandırılır. Sürdürülebilirlik kavramı altında, yerel zanaatların modern koleksiyonlara entegre edilmesi, bu mirasa çağdaş bir kimlik kazandırma çabası olarak görülmelidir. Ancak bu durum, bazen zanaatın özgün bağlamından koparılması riskini de beraberinde getirmektedir.

2. Metaryal ve Yöntem

Bu çalışmanın temel amacı; Birleşik Krallık ve Finlandiya örnekleri üzerinden tekstil ve giysi kültürü mirasının korunmasında farklı kültürel bağlamların oluşturduğu uygulama pratiklerini ortaya koymak ve bu pratiklerin sürdürülebilirlik potansiyellerini karşılaştırmalı bir çerçevede ele alarak analiz etmektir. Araştırma kapsamına dahil edilen her iki ülke coğrafyalarının kültürel ve yerel dinamiklerine dayanarak giyinme kültürü ve tekstil mirasının korunmasına yönelik stratejilerin farklılıkları ve benzerlikleri ilgili literatür üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Araştırma, bildiri kısıtları nedeniyle yalnızca Birleşik Kralık ile Finlandiya'da uygulanan tekstil ve giysi mirasını koruma altına alan kurumsal yapılar ve uygulamalarla sınırlandırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen bilgiler, yerel halk geleneklerinin korunmasındaki yasal ve kendine özgü yapısal mekanizmaları ve koruma pratikleriyle karşılaştırılmıştır. Birleşik Krallık'ta yasal koruma, akademik işbirlikleri ve bölgesel müze projeleri, Finlandiya'da ise girişimcilik stratejileri ve eğitim temelli kültürlerarası projeler ele alınacak, her iki ülkenin zanaat mirasını modern tasarım pratiğiyle bütünleştiren ve birbirini tamamlayıcı sürdürülebilir koruma modellerine nasıl dönüştüğü üzerinde durulacaktır.

3. Bulgular ve Tartışma

Geleneksel el sanatlarının korunması ve sürdürülebilirliği için kapsamlı politikaların geliştirilmesi ve uygulanması, kültürel kimliğin ve ekonomik kalkınmanın ayrılmaz bir parçası olarak görülmelidir. Böylece, yerel el sanatları ürünlerinin özgün kimliği korunarak, küresel tüketici pazarlarında rekabetçi bir konum elde edilmesi mümkün olacaktır. Bu bağlamda, el sanatlarının üretim süreçlerinde sanayileşme ve teknolojik ilerlemelerin yarattığı tehditlere karşı turizmin artan ilgisiyle birleşen yeni talep dinamikleri kültürel kimliğin sürdürülebilirliğini sağlamak adına önem arz etmektedir.

Bu çerçevede moda ve tekstil tasarımı alanındaki sürdürülebilirlik çabaları, kültürel mirasın korunmasını yalnızca geçmişin tekrarı olarak değil, zanaat pratiklerinin çağdaş tasarım stratejilerle yeniden yorumlandığı dinamik bir gelişim süreci olarak ele almaktadır. İngiltere'de *"Savile Row terzilik geleneği", "Harris Tweed el dokuma geleneği", "Victoria ve Albert Müzesi'nin konservasyon uygulamaları"* ile *"Campaign for Wool girişimi"* daha çok endüstriyel aktörler ile marka arşivleri ekseninde şekillenirken, Finlandiya'da bütüncül yaklaşım *"üniversitelerin zanaat ve tasarım eğitimi"* programlarının yanı sıra *"Sámi geleneksel giysilerinin"* korunmasına yönelik kültürlerarası projeler ve *"Finlandiya Wiki-envanteri kültürel arşivi"* aracılığıyla akademik düzeyde kurumsallaşmıştır. Her iki ülkenin de amacı aynı olmasına rağmen zanaat kültürünün korunması ve sürdürülebilirliği birbirini tamamlayıcı yapısal mekanizmalarla sürdürülmektedir. Her iki ülke de *"2003 UNESCO Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi'ni"* onaylamış olmakla birlikte, bu onayın pratik uygulamalara yansıma biçimi ülkeden ülkeye belirgin farklılıklar göstermektedir.

3.1. Birleşik Krallık (İngiltere):Yaratıcı Endüstriler ve Sivil Toplum Odaklı Koruma ve Sürdürülebilirlik Stratejileri

Birleşik Krallık'ta yerel sanatların ve tekstil ve giysi mirasının korunması devletin merkezi müdahalesinden ziyade, vakıflar, gönüllü sivil toplum kuruluşları ve bu kapsamda oluşturulmuş *"yaratıcı endüstriler"* politikaları üzerinden şekillenmektedir. Birleşik Krallığın el sanatlarını koruma ve sürdürme yaklaşımı, zanaatı *"yaratıcı ekonominin bir girdisi"* ve *"sivil toplumun bir sorumluluğu"* olarak tanımlanır. Doğu'nun devlet eliyle yürüttüğü *"insan odaklı"* koruma yerine, Birleşik Krallık'ta *"piyasa uyumu ve devletin desteği ile birlikte gerçekleştirilen gönüllü katılımı"* ön plandadır. Birleşik Krallık'ta kültürel, eğitim ve ekonomik kalkınma politikalarıyla ilişkili değerli bir sektör olarak yaratıcı endüstriler ve beceri eğitimi politika söyleminde zanaatın rolünü vurgulayan politikalar geliştirilmeye devam etmektedir.

"Birleşik Krallık El Sanatları (Zanaat) Konseyi'nin (UK Crafts Council)" ,"Birleşik Krallık Heritage Crafts Association'nin (HCA) (Miras El Sanatları Derneği)i" ve *"National Trust (Ulusal Güven Vakfı)"* savunuculuk çalışmalarını ve *"Birleşik Krallık İşletme, Yenilik ve Beceri Bakanlığı (BIS), Dijital, Kültür, Medya ve Spor Bakanlığı (DCMS)", "Yaratıcı ve Kültürel Beceriler Bakanlığı (CCSkills)"*'ndan ortaya çıkan politikaları değerlendirildiğinde Birleşik Krallık'ta yaratıcı endüstrilere odaklanan son ekonomik politika, zanaat ve teknik becerilerin geliştirilmesinin hayati önemini kabul eden bir beceri ve istihdam gündemine doğru kaydığını söyleyebiliriz.

3.1.1. Üç Kademeli Yönetim Mekanizması: Birleşik Krallık, kültürel miras koruması için olgun bir organizasyonel yönetim sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, kültürel miras korumasından sorumlu en yüksek yetkili kurum olan *"Dijital, Kültür, Medya ve Spor Bakanlığı (DCMS)"* ile *"yerel yönetimler"* ve *"sivil toplum kuruluşlarının"* iş birliğine dayalı üç katmanlı üç kademeli bir yönetim mekanizması ile yönetilmektedir. Birleşik Krallık'ta, kültürel mirasın ana sahibi halktır ve halk katılımı gönüllüler, sivil toplum kuruluşları, teknik personel, sosyal hizmet uzmanları veya kurumlar vb. unsurlardan oluşmaktadır (He&, Shu, & Zhang, 2022: 3130). Bu üç kademeli yönetim mekanizması, merkezi düzeyde kültürel mirasın ulusal korumasından sorumlu *"Dijital, Kültür, Medya ve Spor Bakanlığı (DCMS)",* yerel yönetimlerin günlük planlama ve uygulama yetkileri ile sivil toplum kuruluşlarının gönüllü katılımı, teknik danışmanlık ve fon toplama çabalarından oluşur (Uluç & Balaban, 2019:351). Bu üç kademeli mekanizma, yerel el sanatlarının korunmasında etkili olmakta, örneğin, merkezi DCMS'in stratejik rehberliği altında yerel yönetimler İskoçya'nın Kuzey Adaları'nda *"Fair Isle örgücülüğü"* ve *"Shetland danteli"* gibi tekstil pratiklerini kolektif ağlarla günlük yaşamın parçası haline getirerek sürdürürken (McHattie et al., 2018, 2019).

"UK National Trust (*Ulusal Güven Vakfı)"* gibi Sivil Toplum Kuruluşlarının gönüllü katılımıyla geleneksel zanaat becerilerini yaşatmakta ve *"Heritage Crafts Association'nin (HCA)* (*Miras El Sanatları Derneği)i" "Kırmızı Liste*"siyle tehlike altındaki el sanatlarını izleyerek farkındalık oluşturmaktadır (Jakob & Thomas, 2015: 499).

Bu yapıda devlet, doğrudan zanaatkârı fonlamak yerine, kamu katılımını ve gönüllülüğü teşvik eden bir kolaylaştırıcı rol üstlenmiştir. Bu yaklaşım, özellikle el sanatlarının sürdürülebilirliğini, ekonomik değer yaratma kapasitesi üzerinden değerlendiren ilk kez Birleşik Krallık'ta ortaya çıkan *"yaratıcı endüstri"* perspektifiyle desteklenmektedir (British Council, 2026). Yaratıcı endüstri kavramı daha sonra farklı ülkeler tarafından, bilgisayar oyunları, yaratıcı teknolojiler, moda, film, TV, sanat, tasarım ve el sanatları gibi çok çeşitli yaratıcı faaliyetlerin ekonomik değeri fark edildikçe dünya çapında yaygınlaşarak geliştirilmiştir.

Birleşik Krallık'taki birçok kültür ve miras kuruluşu, müzeleri, tarihi evleri ve doğal manzarayı işletmek ve korumak için gönüllülere güvenmektedir. Birleşik Krallık, özellikle miras sektöründe, gönüllülük konusunda güçlü bir geleneğe sahiptir, burada *"National Trust (Ulusal Güven Vakfı)", "Heritage Crafts Association'nin (HCA) (Miras El Sanatları Derneği)"* gibi gönüllü kuruluşlar, doğal çevreyi korumak ve paylaşmakla ilgilenen az sayıda insan tarafından kurulmuştur (Walker et al., 2019:28-29).

Bu bağlamda, *"UK Crafts Council'in (El Sanatları (Zanaat) Konseyi)"* zanaattaki el ile tekrarlı yapıma ve deneye dayanan emek-yoğun süreçlerin endüstriye transferinde yöntem eksikliği bulunduğunu 2016 raporunda ortaya koymuştur (Warburton, 2016, Aktaran: Oral, 2024: 165;). Birleşik Krallık'ta zanaatkarlık konusunda normatif bir tanım bulunmamaktadır. Bununla birlikte, telif hakkı, tasarım ve patentleri düzenleyen 1988 tarihli *"Telif Hakkı, Tasarım ve Patent Yasası (CDPA)",* kapsamını belirtmese de, sanatsal zanaatkarlık eserleri kategorisini koruma altına alınabilir olarak kabul etmektedir. Buna ek olarak, Birleşik Krallık'ta fikri mülkiyet hukuku, özellikle telif hakkı, endüstriyel tasarım ve patent yasaları aracılığıyla el sanatlarının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır (Olarte Parada, 2026:129). Bu hukuki çerçeve, yaratıcı endüstriler içindeki zanaatkârların eserlerini izinsiz çoğaltma ve ticarileşmeye karşı koruma altına alırken, aynı zamanda inovasyonu ve ticarileşmeyi de teşvik etmektedir (Ghose & Aamir Ali, 2023:481). Bu durum, Birleşik Krallık modelinin kültürel politikaları ele alırken, sanat ve kültür ile eğlence ve telif hakkı arasında net bir ayrım güden Amerikan modeline benzediğini, ancak aynı zamanda kültürel misyonu vurgulayan Avrupa modelinin sosyal içerme stratejilerini de barındırdığını göstermektedir (Silva et al., 2024: 6043). Birleşik Krallık'ta 1990'lardan itibaren *"bilgi tabanlı ekonomi"* konseptinin yükselişiyle birlikte yaratıcı endüstriler, el sanatlarını da kapsayacak şekilde ivme kazanmış, 2001'de *"bireysel ilham, yetenek ve beceriden doğan ve fikri mülkiyetin üretimi ve kullanımı yoluyla zenginlik ve istihdam yaratabilen bir faaliyet"* olarak tanımlayan *"Creative Industries Task Force Mapping Document* (*Yaratıcı Endüstriler Görev Gücü Haritalama Belgesi)"* ile geleneksel ve el emeğine dayalı sektörler arasında yeni bir bağ kurulması hedeflenmiştir (Manfredi Latilla et al., 2018: 1319).

3.1.2. Somut Olmayan Mirasın Geç Kabülü

Birleşik Krallık, *"UNESCO Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi"*'ni Haziran 2024 tarihinde resmen onaylamıştır (Braber & Howard, 2024:1). Bu tarih, İngiltere'nin kültürel miras politikasında yaklaşık 20 yıl süren bir direncin ardından gerçekleşen tarihi bir dönüm noktasını işaret eder. İngiltere hükümeti, uzun süre mirası sadece kaleler ve anıtlar gibi somut ve sabit terimlerle tanımlayan hakim bir miras söylemine odaklamıştır (Hill et al., 2018: 43). Doğu Asya'nın merkeziyetçi ve devlet odaklı koruma politikalarının aksine, Birleşik Krallık'ta kültürel mirasın korunması büyük ölçüde hayır kurumları (charities) ve özel kuruluşlar tarafından yürütülen, desantralize bir yapı sergiler (Lee, 2020). Japonya ve Güney Kore'nin aksine, Birleşik Krallık uzun süre UNESCO'nun *"Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi"*'ne taraf olmamış, ancak son yıllarda, yerel zanaatların yaşayan bir kültür olarak korunmasına yönelik politikalar, koruma anlayışını *"muhafaza (conservation)"* ile*"sürdürülebilir kullanım ve yaşatmaya (protection, use and preservation)"* doğru bir yönelime doğru değiştirmiştir (He&, Shu, & Zhang, 2022: 3130).

Birleşik Krallık ile birlikte, Somut Olmayan Kültürel Miras sözleşmesini yerli halklarıyla olan tarihi ve hukuki açıdan karmaşık ilişkilerini nasıl etkileyebileceğini öngöremeyen ABD, Kanada, Avustralya ve Yeni Zelanda gibi ülkeler de Sözleşmeyi imzalamadığını belirtmişlerdir.

Bu nedenle, somut olmayan mirasın halihazırda telif hakları gibi mevcut yasal araçlarla korunduğu savunularak sözleşmenin imzalanması 2024 yılına kadar ertelenmiştir (Collins & Craig, 2025) Sözleşmenin onaylanmadığı dönemde, somut olmayan mirasın korunması büyük ölçüde sivil toplum kuruluşlarının çabalarıyla yürütülmüştür. Örneğin, *"Heritage Crafts Association"* gibi gönüllü kurumlar, resmi bir devlet envanterinin yokluğunda *"Kırmızı Liste"* aracılığıyla tehlike altındaki zanaatları takip ederek bu boşluğu doldurmaya çalışmıştır (Crouzet et al., 2025: 370). Haziran 2024'teki bu onay ile birlikte Birleşik Krallık, artık kendi ulusal *"UNESCO Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması"* envanterini oluşturma ve zanaat becerilerini somut yapılarla (binalar, müzeler) eşit statüde değerlendirme yükümlülüğü altına girmiştir (Ramsay: 2025).
Bu adım, özellikle İskoçya ve Galler gibi yerel mirasın korunmasına daha fazla önem veren bölgeler ile merkezi hükümet politikalarının uyumlu hale gelmesine olanak tanıyacaktır Özetle, Birleşik Krallık'ın somut olmayan mirası tanıması Haziran 2024 itibarıyla resmileşmiş olup, bu durum el sanatlarının sadece birer *"obje"* değil, *"yaşayan birer kültür"* olarak kurumsal koruma altına alınmasının önünü açmıştır (Collins & Craig, 2025). Bu yaklaşım, geleneksel bilginin bilgi tabanlı ekonomi içerisindeki değerini artırarak hem kültürel sürekliliği hem de inovasyonu desteklemektedir. Somut olmayan mirasın korunmasında yalnızca müzeleştirme yerine, yaşayan becerilerin güncel üretim süreçlerine entegre edilmesiyle yerel zanaatkarlığın yaratıcı ekonominin temel bir unsuru haline getirilmesini mümkün kılmaktadır (Gülüm, 2021:473).

3.1.3. Yaratıcı Endüstriler ve Geleneksel Zanaatlar

"Yaratıcı Endüstriler" kavramı ilk kez 1997'de kültür desteği ve finansmanı geleneğine sahip İngiltere'de kültür alanının giderek artan özelleştirilmesi ortamında, bir politika çerçevesi olarak Kültür, Medya ve Spor Bakanlığı (DCMS) tarafından kurulmuştur (Garnham, 2005:17 and Flew & Cunningham, 2010: 115).
Birleşik Krallık, *"yaratıcı endüstrier"* kavramını kurumsallaştıran ilk ülkedir ancak, geleneksel zanaatların *"ekonomik değer"* üzerinden mi yoksa *"geleneğin sürdürülmesi"* adına mı korunacağı konusunda bir sonuca ulaşılamamıştır (Walker, et all 2019:33). DCMS tarafından tanımlanan *"yaratıcı endüstriler"* terimi, *"görsel sanatlar", "müzik", "moda", "mimari", "reklamcılık ve spor"* alanalarının da içinde olduğu on üç endüstriyi içermektedir (Galloway & Dunlop, 2007:21).
İngiltere'nin geliştirdiği *"yaratıcı endüstriler"* modeli, ilerleyen süreçte Avustralya'dan Çin'e kadar birçok ülke için bir referans model haline gelmiştir (Silva et al., 2023:6028). 2000'li yıllarda, *"UNESCO 2007"* ve *United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) (Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Örgütü)",* küresel olarak yaratıcı endüstrilere yeni veriler ve önem kazandıran raporlar yayınlayarak, yaratıcı ekonomi için yeni bir temel çerçeve oluşturmuştur (Flew & Cunningham, 2010:116).
Günümüzde İngiltere'de yaratıcı endüstriler; Geleneksel sanatları modern girişimcilikle birleştiren bir *"sosyal girişimcilik"* yapısı sunması ve üniversiteler ile sanayi arasında bilgi transferi sağlayarak, *"yaratıcı çalışan"* arzının sürekliliğini garanti altına alması açısından son derece önemlidir. 1990'ların sonlarında, Birleşik Krallık'ın *"yaratıcı bir ulus"* olarak yeniden markalaşmasına katkıda bulunan *"Cool Britannia"* söylemi, İngiliz kültürel ürünlerinin uluslararası ilgi ve beğeni kazanmıştır. 1990'ların sonunda İngiliz kültürel ürünlerinin dünya çapında kazandığı popülarite, *"Cool Britannia"* söylemiyle bu endüstrilerin ulusal bir gurur ve ekonomik güç kaynağı olarak konumlanmasını sağlamıştır (Samdanis and Lee, 2017:892)
1971 yılında kurulan *"UK Crafts Council (Birleşik Krallık El Sanatları (Zanaat) Konseyi)"* "*ince işçilik eserlerinin yaratılmasını ilerletmek ve teşvik etmek ve halkın zanaatkarların çalışmalarına ve bu eserlerin halka erişilebilirliğine olan ilgisini geliştirmek, teşvik etmek ve artırmak"* amacıyla Kraliyet Tüzüğü (Royal Charter) altında kurulmuş ulusal bir kuruluştur (Crafts Council 2005). Kraliyet Tüzüğü ile tanımlanan UK Crafts Council'in (Birleşik Krallık El Sanatları Konseyi) tanımında görev alanı ve dolayısıyla *"ince işçilik"* kelimeleri, özel bir değer kazanmıştır. El sanatları açısından *"tasarımcı-üretici"* kavramı, el becerisi ve sanatsal yeteneğiyle çalışmalarının kalitesini belirleyen *"zanaatkâr, sanatçı ve tasarımcı"* arasındaki bağın önemi vurgulanmıştır. Bununla birlikte, zaman içinde UK Crafts Council'in *"ince işçilik"* tanımı, günümüzün *"yaratıcı endüstrilerinin"* görev alanına yanıt verecek şekilde değiştirilmiştir.

Örneğin, *"UK Crafts Council"* ile *"Yaratıcı ve Kültürel Beceriler Bakanlığı (CCSkills)"* ile işbirliği içinde 2009 yılında yayınladığı *"El Sanatları Planında",* el sanatları sektörünü on bir (seramik, cam, grafik el sanatları, miras ve geleneksel el sanatları, demir ve taş, mücevher ve gümüşçülük, müzik aleti yapımı, hayvan doldurma, tekstil ve deri, oyuncak ve otomatlar, ahşap) el sanatları disiplininde faaliyet gösteren bireyler ve işletmelerden oluşmuş olarak görmektedir. (Creative &Cultural Skills & Crafts Council 2009: 14, Jakob, D., & Thomas, N. J. 2017: 499'den).

3.1.4. Sivil Toplum Örgütleri (STK) - (Non-Governmental Organization (NGO)) ve Gönüllülük Kültürü

İngiltere'deki *"aşağıdan yukarıya"* (bottom-up) ilerleyen el sanatlarını koruma ve sürdürülebilirliğini oluşturma modelini, devletin daha pasif bir rol üstlendiği, sivil toplumun ve gönüllülük ağlarının merkezi rolünün daha geniş olduğu bir çerçevede oluşturulmaktadır. *"UK Heritage Crafts Association"* gibi gönüllü kuruluşlar devletle ortak çalışarak, "*The Heritage Crafts Red List of Endangered Crafts*"* (Tehlike Altındaki El Sanatları Kırmızı Listesi) yayımlamakta ve yok olma tehlikesi altındaki el sanatı miras ürünlerinin üretimine ve zanaat alanlarına fon sağlamaktadır. İngiltere El sanatı kültürel mirasının korunmasının bir *"toplumsal sorumluluk"* ve *"yaratıcı girişimcilik"* alanı olarak görüldüğü Batılı yaklaşımın en somut örneğini sunmaktadır. Japonya'daki devlet destekli *"İnsan Hazineleri"* sisteminin yerini İngiltere'de The Heritage Crafts Association'nin (HCA) (Miras El Sanatları Derneği) gibi güçlü sivil toplum kuruluşları ve National Trust (Ulusal Güven Vakfı), gibi devasa gönüllü ağları almıştır.
Bu gönüllü ağı, sadece fiziksel mekanların korunmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda zanaat bilgisinin deneyim odaklı bir şekilde toplumun farklı kesimlerine aktarılmasını sağlar (Lithgow & Timbrell, 2014; Whiteside, 2021). İngiltere'nin UNESCO Somut Olmayan Kültürel Miras Sözleşmesi'ni yakın zamana kadar onaylamamış olması, bu alandaki boşluğun sivil toplum ve *"Heritage Alliance"* gibi koalisyonlar tarafından doldurulmasına yol açmıştır (Walker et al., 2019).

3.1.5. The Heritage Crafts Association (HCA)* Kırmızı Liste ve Sistematik İzleme

"The Heritage Crafts Association (HCA) (Miras El Sanatları Derneği)" 2009 yılında *"yaşayan mirasımızın temel bir parçası olarak miras el sanatlarını desteklemek ve tanıtmak"* amacıyla kurulmuştur. *"Çağdaş ve yenilikçi"* ile *"geleneksel ve miras*" el sanatları arasındaki örgütsel ayrım, el sanatının şu anda ne anlama geldiğine dair tanımlayıcı politikalara işaret etmektedir. 1997'den itibaren *"el sanatları",* Birleşik Krallık Kültür, Medya ve Spor Bakanlığı (DCMS) tarafından tanımlanan 13 yaratıcı endüstriden biri olarak dahil edilmiştir. Bu tanımlama, hem *"UK Crafts Council'in (El Sanatları (Zanaat) Konseyi)"*'nin hem de *"The Heritage Crafts Association (HCA) (Miras El Sanatları Derneği)"*'nin politika alanına girmesini sağlamıştır (Jakob, D., & Thomas, N. J. 2017: 500).
Birleşik Krallık, risk altındaki el sanatları uygulamalarını sistematik olarak belirleyen ve izleyen *"The Heritage Crafts Association (HCA) (Miras El Sanatları Derneği)"* tarafından yürütülen*"Tehlike Altındaki El Sanatları Kırmızı Listesi"* aracılığıyla geleneksel el sanatlarını ve uygulayıcı zanaatkarlarını, yerel el yapımı ürünleri korumaya ve sürdürülebilirliğini yönelik ulusal bir yaklaşım sergilemektedir (Lewis and Carpenter, 2025:5) HCA tarafından yayımlanan *"Tehlike Altındaki Zanaatlar Kırmızı Listesi"*, zanaatları nesiller arası aktarım riskine göre *"yaşayabilir", "tehlike altında" ve "kritik tehlike altında"* olarak sınıflandırır (Crouzet et al., 2025:370). Örneğin; cam oyma (glass engraving), geleneksel sepetçilik veya eldiven yapımı gibi teknikler bu listede *"kritik"* olarak tanımlanarak, bu becerilerin modern eğitim sistemine entegre edilmesi ve acil fon desteği sağlanması için kurumsal bir baskı oluşturulması sağlanır (Kelly, 2024:10).
Geleneksel zanaatkarlığı korumaya yönelik ulusal bir yaklaşımı, *"UK Crafts Council'in (El Sanatları (Zanaat) Konseyi)"* tarafından sürdürülen ve risk altındaki zanaatkarlık uygulamalarını sistematik olarak tanımlayan ve izleyen *"Tehlike Altındaki Zanaatkarlıklar Kırmızı Listesi"* aracılığıyla örneklemektedir (Guo & Ahn, 2021:40; The Heritage Crafts Association 2025). Bu listede Gansey knitting, Fair Isle Knitting, Harris tweed weaving, Shetland lace knitting, Welsh double cloth weaving, Sporran making gibi çok sayıda geleneksel el yapımı tekstil ve giyim sanatı da yer almaktadır.

* (https://heritagecrafts.org.uk/skills/redlist/)
* https://heritagecrafts.org.uk/wp-content/uploads/2025/05/Red-List-2025-publication.pdf

Dernek koruma altına aldığı zanaatkarlık uygulamalarını *"bir miras el sanatı, el sanatları becerilerini bir sonraki nesle aktaracak yeterli sayıda zanaatkar varsa yaşayabilir olarak kabul edilir"* şeklinde tanımlamaktadır. (Heritage Crafts Association[*]) İlk olarak 2017'de yayınlanan *"Tehlike Altındaki El Sanatları Kırmızı Listesi",* geleneksel el sanatlarını, somut olmayan kültürel mirasın korunması ilkelerine dayanarak, bir sonraki nesle aktarma olasılıklarına göre sıralayan türünün ilk raporu olarak sunulmuştur. Bu çalışma, geleneksel el sanatları alanında faaliyet gösteren ve UNESCO tarafından da akredite edilmiş tek İngiliz sivil toplum kuruluşu olan *"Heritage Crafts Association (HCA)"* tarafından yürütülmüştür (Lewis and Carpenter, 2025). Bu sistem, zanaatı devletin kutsadığı *"statik bir hazine"* olarak değil, piyasa koşullarında ve toplumsal ilgiyle hayatta tutulması gereken dinamik bir *"yaratıcı endüstri"* bileşeni olarak konumlandırır. The Heritage Crafts Association (HCA), özellikle *"Kırmızı Liste"* aracılığıyla yok olma tehlikesi altındaki geleneksel zanaatları (sepetçilik, dokuma teknikleri, cam işçiliği vb.) takip ederek kurumsal bir farkındalık oluşturduğu ve kültürel mirasın korunmasına olduğu kadar sürdürülebilirliğne de önemli ölçüde katkı sağlamkata ve örnek oluşturmaktadır.

3.1.6. Bölgesel Kolektifler ve Yerel Miras

İskoçya'nın Kuzey Adaları gibi bölgelerde el sanatı üretimi, merkezi politikaların aksine yerel kolektif ağlar ve yerleşik ilişkiler üzerinden sürdürülmektedir. Bu yerel yapılar, zanaatın gündelik yaşamın bir parçası olarak (lived experience) kalmasını sağlayarak özgünlüğün korunmasında kritik rol oynar (McHattie & Champion, & Johnson, 2019:306). Bu tür uygylamalar kültürel sürdürülebilirlik, yerel kültürel biçimleri ve öğeleri nesiller boyunca canlı tutmayı amaçlayan kozmopolit yerelciliği vurgulamıştır (Irwin, 2015). Yerel mirasın korunması ve sürdürülebilirliğinde kullanılan yaklaşımlar, zanaatkârlar ve tasarımcılar arasındaki etkileşimi artırarak, teknolojinin kullanımı ile birlikte inovatif yöntemleri de dahil ederek ekosistemin daha da güçlendireceği söylenebilir. Benzer şekilde ülkenin, bazı merkezlerinde uygulanan *"Zanaat Kasabaları"* modeli, yerel kimlik unsurlarını turizm ve yaratıcı ekonomi ile bütünleştirerek zanaatkârlığın ekonomik canlılığını pekiştiren modeller olarak kabul görmüştür.

Güçlü kültürel bağa sahip yerel geleneksel el sanatları, bu eğilime yanıt vermek için özellikle iyi bir konumdadır. El sanatları ve zanaatkarlık büyük saygı görmüş ve sınırlarını genişleterek dünyanın Somut Olmayan Kültürel Mirasının korunması gibi alanları da kapsamıştır (UNESCO 2026). Bu bağlamda yaratıcı endüstrilerin bir bileşeni haline gelmiştir ve tasarım araştırmacıları el sanatları uygulamalarına artan bir ilgi göstermiştir. El sanatlarının değeri, sosyal tasarım, sürdürülebilirlik için tasarım, uygulama odaklı tasarım araştırması ve ortak tasarım gibi farklı bakış açılarından tartışılmıştır (Guo & Ahn, 2021:40). Aynı zamanda, Birleşik Krallık, kültürel mirasın iyi bir şekilde kullanılmasını ve gelecek nesillere aktarılmasını sağlamak amacıyla, gençlere yönelik *"Youth Roots"* ve genel halka yönelik *"Our History My Heritage"* gibi bir dizi kültürel miras eğitim programına sahiptir. Birleşik Krallık'ta kültürel mirasın sürdürülebilir gelişimine tipik bir örnek 1998'den beri John Mc Carran Architects, hem alan yenilenmesi hem de çevre yönetimine dayalı bağlantılı yenileme ve sürdürülebilir kalkınma modelini benimseyerek yapıcı koruma üzerinde çalışmalar sürdürmektedir (He&, Shu, & Zhang, 2022: 3130).

3.1.7. Coğrafi İşaretleme (CI) Sınırları

Avrupa Birliği ve dolayısıyla Birleşik Krallık sisteminde, Coğrafi İşaretler tarihsel olarak sadece tarım ürünleri ve içeceklerle sınırlı kalmıştır.Yerel tekstil ve el sanatlarının bu tescil sistemine dâhil edilmesi, özgünlüğün hukuki olarak korunması noktasında halen tartışılan ve genişletilmeye çalışılan bir alandır. Birleşik Krallık'ta coğrafi işaret sistemi tarihsel olarak tarım ürünleri ve gıdalarla sınırlı olduğundan, tekstil, nakış ve giyim gibi el sanatı ürünleri bu yasal koruma kapsamına dâhil edilmemiştir (Covarrubia, 2019:448). Bu nedenle, Shetland danteli veya Fair Isle örgücülüğü gibi köklü tekstil pratikleri coğrafi işaret tescili yerine, daha çok kolektif yerel ağlar, markalaşma stratejileri ve sivil toplum girişimleri üzerinden özgünlüklerini ve ekonomik değerlerini korumaya çalışmaktadır. Native Shetland Wool[*], geleneksel yöntemlerle üretilen ve coğrafi işaret statüsüne sahip nadir tekstil ham maddelerinden biridir.

[*] https://heritagecrafts.org.uk/categories-of-risk/
[*] https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5fd36537e90e0766326f7f6f/pfn-nativeshetlandwool-pdo.pdf

Her Eylül ayında Shetland adaları genelinde Shetland Yün Haftası düzenlenmektedir (McHattie et al., 2018:47-49). Zappalaglio et al. (2019) yapmış oldukları çalışmada Birleşik Krallık, coğrafi işaret sistemini 1990'lı yıllarda, Avrupa Birliği'nin 1992 tarihli 2081/92 sayılı tüzüğü ile tarım ürünleri ve gıda maddelerine yönelik bir koruma mekanizması olarak benimsediğini ve ulusal hukukuna entegre etttiğini ve sistemin tarım dışı ürünlere yani el sanatlarına ilişkin korumanın da geliştirilmesinin gerekliliğini savunmuşlardır. Ayrıca Covarrubia, (2019:466) çalışmasında bu sistemin kurulduğu tarihten bu yana yalnızca tarımsal kökenli ürünleri kapsayacak şekilde yapılandırılmış olduğunu, tekstil, el sanatları ve giyim gibi geleneksel zanaat pratiklerinin, sistemin sunduğu korumadan mahrum kalmasına neden olduğu gerekçesi ile söz konusu ürünlerin korunmasında hukuksal bir boşluk oluştuğunu belirtmiştir.

3.1.8. Parlamento Yasası ile Koruma: Harris Tweed

Birleşik Krallık'taki en güçlü yasal koruma örneği Harris Tweed® kumaşıdır. Bu ürün, diğer el sanatlarından farklı olarak doğrudan bir Parlamento Yasası olan Harris Tweed Act 1993 ile korunmaktadır (Steed et al., 2025). Diğer GI'lardan farklı olarak, 20th July 1993* tarihinde *"Harris Tweed'in özgünlüğünü, standardını ve itibarını teşvik etmek ve korumak amacıyla bir Harris Tweed Otoritesi kurulmasını; Harris Tweed'in tanımını; tanıma girmeyen malzemenin Harris Tweed olarak satışının önlenmesini; Otoritenin The Harris Tweed Association Limited'in halefi olmasını ve bununla ilgili diğer amaçları düzenleyen bir Kanun" "Harris Tweed Act 1993"* olarak doğrudan parlamento tarafından koruma altına alınmıştır. Bu yasa, ürünün sadece Dış Hebridler'de dokunabileceğini ve zanaatın teknik standartlarını yasal olarak tanımlamıştır (Harris Tweed Act 1993 CHAPTER xi)

3.1.9. UK Crafts Council (Birleşik Krallık Zanaat (El Sanatları) Konseyi)

1971 yılında kurulan Birleşik Krallık Zanaat Konseyi, 'ince işçilik eserlerinin yaratılmasını ilerletmek ve teşvik etmek ve halkın zanaatkarların çalışmalarına ve bu eserlerin halka erişilebilirliğine olan ilgisini geliştirmek, teşvik etmek ve artırmak' amacıyla Kraliyet Tüzüğü altında kurulmuş ulusal bir kuruluştur Birleşik Krallık yaklaşımı, zanaatı yaratıcı ekonominin bir girdisi ve sivil toplumun bir sorumluluğu olarak tanımlar. Doğu'nun devlet eliyle yürüttüğü insan odaklı koruma yerine, İngiltere'de piyasa uyumu ve gönüllü katılımı ön plandadır. Craft UK, el sanatları sektörünün çeşitli alanlarından kuruluşları bir araya getiren bir ağdır. Craft UK ayrıca, ağ içinde öğrenmeyi ve deneyim paylaşımını teşvik etmek amacıyla, ağın ilgisini çeken belirli konular üzerinde odak grupları da düzenlemektedir (UK Crafts Council 2005)*. UK Crafts Council'in görev alanı ve dolayısıyla 'ince işçilik' kelimeleri, özel bir değer kazanmıştır. UK Crafts Council Birleşik Krallık el sanatları sektörünün ulusal düzeydeki en büyük savunucusudur. CCSkills ile işbirliği içinde 2009 yılında yayınladığı El Sanatları Planında, el sanatları sektörünü seramik, cam, grafik el sanatları, miras ve geleneksel el sanatları, demir ve taş, mücevher ve gümüşçülük, müzik aleti yapımı, hayvan doldurma, tekstil ve deri, oyuncak ve otomatlar, ahşap olmak üzere on bir el sanatları disiplininde faaliyet gösteren bireyler ve işletmeler olarak tanımlamıştır (Creative &Cultural Skills & Crafts Council, 2009: 14 aktaran Jakob & Thomas, 2017:498). Konsey, *"Making Value", "Consuming Craft"* ve *"Craft in an Age of Change"* gibi geniş kapsamlı haritalama çalışmaları ve etki raporları yayımlayarak sektörün ekonomik büyüklüğünü verilerle ortaya komuştur (Brown, 2014:4).

3.1.10. İşbirlikçi Dijital Envanter İskoçya envanteri (the Scottish Inventory):

İşbirlikçi dijital envanterin ilk örneği İskoçya envanteridir. 2008 yılında, Müzeler ve Galeriler İskoçya, İskoçya'nın somut olmayan kültürel mirasının envanterini oluşturmak için Napier Üniversitesi'nden bir araştırma ekibini görevlendirdi. Projeye liderlik eden Alison ve Alistair McCleery, katılımcı bir dijital arşiv oluşturma planlanmıştır. Geleneksel yöntem ve araçların yetersizliği göz önüne alındığında, araştırmacılar iki tür girişim uyguladılar: wiki sistemine dayalı bir web sitesi başlattılar ve paralel olarak, içeriği zenginleştirmek için odak grupları düzenlediler. *"En uygun çözüm erişilebilirlik ve dinamizm olmak üzere iki gereksinimi karşılayan çözüm özel bir wiki"* olarak görülmüştür (McCleery ve McCleery, 2017: 191). Bir Wiki'ye kıyasla, İskoç envanteri, her öğe için doldurulması gereken sabit alanlara (kategori ve konum gibi) sahip, envanter kaydına benzer şekilde, içeriğin daha yapılandırılmış bir şekilde organize edilmesine olanak tanıyan daha pratik bir envanterlelme yntemi olarak görülmüştür (Severo & Filipponi, 2017: 6).

* https://www.legislation.gov.uk/ukla/1993/11/enacted
* https://www.craftscouncil.org.uk/stories/

3.2. Finlandiya: Demokratik Katılım ve El Sanatları Eğitimi Odaklı Koruma ve Sürdürülebilirlik Stratejileri

Finlandiya'da "käsityö" (el sanatı) eğitimi, sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde temel eğitim sisteminin ayrılmaz bir parçası haline getirilmiş ve nesillerin bu konudaki duyarlılığı ve farkındalığının artırılması oluşturulmuştur. Finlandiya'da el sanatları eğitimi, eğitim müfredatının bir parçası olarak devlet tarafından desteklenmektedir. Finlandiya'nın el sanatlarını kurumsal koruma sürdürülebilirliğinin sağlanmasıve stratejisi, UNESCO standartlarını yerel *"bottom-up"* (aşağıdan yukarıya) bir sivil katılım modeliyle birleştirilmiştir.

3.2.1. UNESCO 2003 Sözleşmesi ve Ulusal Yürütücü (National Board of Antiquities)

Finlandiya, UNESCO Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi'ni 2013 yılında onaylamıştır. Bu belge, taraf devletleri somut olmayan kültürel mirası koruma, tanıma, belgeleme ve envanterini çıkarma yükümlülüğü altına sokmaktadır. Koruma ayrıca bu mirasın korunmasını, araştırılmasını ve geliştirilmesini de gerektirmektedir. Implementation of the Convention in Finland is the responsibility of the *"National Board of Antiquities (Ulusal Antik Eserler Konseyi)"* Ajans, koruma süreçlerini sadece devlet eliyle değil, toplulukların aktif katılımıyla yönetmektedir. Somut ve soyut ile kültürel ve doğal miraslar arasındaki ayrımın yerli halklar söz konusu olduğunda gelecek nesillerin mirasla etkileşim kurabilmesi ve önceki nesillerle bağlantı kurabilmesi için yerli halkların kültürel miraslarını koruma konusunda gerçek iradenin yerliliğin gerçekliği açısından değerlendirilmesi ve dünyayı kavramanın farklı bir yolunu gerektirdiğini ve yerli bir halkın kültürel mirasını koruma çabalarının, açıkça halkın kendi ontolojilerine ve bu ontolojilere saygıya dayanmalıdır (Valkonen et. all., 2017:154).

3.2.2. The Wiki-inventory for Living Heritage (Wiki-Envanteri) (WLH 2016)

Finlandiya'nın kurumsal koruma yaklaşımının en özgün aracı, 2016 yılında *"Finnish Heritage Agency"* tarafından kullanıma sunulan dijital ve iş birlikli bir platform olan *"The Wiki-inventory for Living Heritage (WLH 2016)"* dir (Severo & Filipponi, 2017). Bu platform, yerel toplulukların ve zanaatkârların kendi miraslarını bizzat tanımlamalarına, belgelemelerine ve koruma önerileri sunmalarına olanak tanıyan demokratik bir arayüz işlevi görür (Mäkelä, 2021:90). Wiki, adaylıklar etrafında demokratik tartışmayı teşvik etmek için tasarlanmıştır, The National Council of Antiquities ise platformun moderatörü ve yöneticisi olarak hareket eder. Bununla birlikte, somut olmayan kültürel mirasın seçimi için Finlandiya sistemi wiki kadar açık değildir. Her miras kategorisine bağlı küçük insan gruplarının ve miras seçim sürecinde denetleyici bir rol oynaması gereken bir uzman grubunun oluşturulmasına dayanmaktadır (Severo & Filipponi, 2017: 6).

Finlandiya'daki uygulamasının bir parçası olan, wiki tabanlı Finlandiya envanteri olan *"The Wiki-inventory for Living Heritage (WLH 2016)",* Finlandiya'da somut olmayan kültürel mirasın envanterleme süreci katılımcı bir şekilde yürütülmektedir. Finnish Heritage Agency wiki sayfasını yönetmekte ve sözleşmenin uygulayıcısı olarak hareket etmektedir; ancak farklı topluluklar, gönderenlerin somut olmayan kültürel miras olarak gördükleri konular hakkında WLH'ye girişler sunmaktadır. WLH ve gönderilen girişler, Ulusal Yaşayan Kültürel Miras Envanteri ve UNESCO listeleri için girişlerin seçildiği bir temel oluşturmaktadır. Wiki envanterinin ve girişlerinin kurumsal düzeyde nasıl çerçevelendiğinin önemli bir örneğidir. Finnish Heritage Agency, gönderenlerin girişlerini düzenleyebilecekleri çerçeveler, yönergeler ve söylemsel kayıtlar sağlamaktadır (Mäkelä, 2021:90). Finlandiya envanteri* Şubat 2016'dan beri çevrimiçi olarak kullanılabilen işbirlikçi bir dijital platforma dayanmaktadır. *"National Board of Antiquities (Ulusal Antik Eserler Konseyi)" "MediaWiki"* yazılımını kullanan bir MediaWiki (Yaşayan Miras için Wiki-envanteri) sağlamayı tercih etmiştir. MediaWiki yalnızca kayıtlı kullanıcılar tarafından düzenlenebilir, ancak kayıt formu herkese açıktır (Severo & Filipponi, 2017: 6).

Finlandiya'da envanter çalışması iki düzeyde gerçekleştirilmiştir. Wiki tabanlı Yaşayan Miras Envanteri, Finlandiya'daki somut olmayan kültürel miras örneklerini sunmaktadır. Açık, wiki tabanlı bir envanter, farklı topluluklara kendi somut olmayan kültürel miraslarını sunma fırsatı vermektedir. Aynı zamanda, envanter yaşayan mirasın çeşitliliğinin korunmasına katkıda bulunma fırsatı da sağlamaktadır. Envanter, sürekli olarak tamamlanan ve güncellenen canlı bir belge niteliğindedir (MediaWiki, 2026). Yerel toplulukların ve zanaatkârların kendi yerel kültürlerine ait olan somut olmayan kültürel miraslarını

* https://wiki.aineetonkulttuuriperinto.fi/

bizzat tanımlamalarına, belgelendirmelerine, koruma ve sürdürülebilirliğinde öneriler sunmalarına olanak tanıyan önemli bir platformdur. Envanterde, UNESCO tarafından belirlenen başlıklarla festivities and practices, music and dance, performing arts, oral traditions, crafts, food traditions, games and playing, nature and the universe, good practices gibi kategoriler yer almaktadır. Özellikle el sanatlarının içeriğinde keçe, dokuma, geleneksel giysiler, örgü, vb. eserin tanıtımı, bunların üretim süreçleri ile geleneksel özellikleri bu sistemle kayıt altına alınmıştır.
Wiki, adaylıklar etrafında demokratik tartışmayı teşvik etmek için tasarlanmıştır, "*National Board of Antiquities (Ulusal Antik Eserler Konseyi)"* ise platformun moderatörü ve yöneticisi olarak hareket eder. Bununla birlikte, somut olmayan kültürel mirasın seçimi için Finlandiya sistemi wiki kadar açık değildir. Her miras kategorisine bağlı küçük insan gruplarının ve miras seçim sürecinde denetleyici bir rol oynaması gereken bir uzman grubunun oluşturulmasına dayanmaktadır (Severo & Filipponi, 2017: 6). Tüm girişler bu başlıkların altına eklenmiştir. Yayınlanan girişler çoğunlukla gönderenler tarafından yazılmış ve üretilmiştir, ancak *"Finnish Heritage Agency (Finlandiya Miras Ajansı)"* personeli bunları yönetir ve gönderenlerden örneğin referans listelerini genişletmelerini veya diğer önemli bilgileri eklemelerini isteyebilir (Mäkelä, 2021:93). Kapsamlı eğitim reformları ile zanaatkârlık becerileri, temel müfredatın ayrılmaz bir parçası haline getirilerek genç nesillerin yerel tekniklerle erken yaşta bağ kurması teşvik edilmektedir. Bu yaklaşım, dijitalleşmenin sağladığı geniş erişim olanaklarıyla geleneksel el sanatlarını modernize ederken, topluluk temelli eğitim projeleri sayesinde kültürel aktarımın sürekliliğini teminat altına almaktadır (Zhang, 2024:93).

3.2.3. Eğitim Müfredatında El Sanatları

Japonya ve Güney Kore'nin usta odaklı sistemine karşılık Finlandiya, el sanatlarını kurumsal olarak ulusal eğitim müfredatının bir parçası haline getirmiştir. El sanatları (käsityö), Finlandiya okullarında *"yaparak öğrenme"* prensibiyle öğretilen standart bir ders olup, çocuklara erken yaşta geleneksel teknikler ve malzeme bilgisi aşılanmaktadır. Bu yaklaşım, zanaatın sadece profesyonel bir meslek değil, sürdürülebilir bir yaşam biçimi ve kültürel bir değer olarak korunmasını sağlamaktadır (Väänänen & Pöllänen, 2021). Finlandiya eğitim sisteminin benzersiz özelliklerinden biri, temel eğitimdeki tüm öğrencilerin el sanatlarıyla tanışmasıdır. Müfredata göre el sanatları eğitiminin amacı, el becerilerinin, yaratıcılığın, problem çözme ve tasarım bilgisinin yanı sıra geleceğin tüketicilerinin ihtiyaç duyduğu eleştirel düşünme yeteneğinin geliştirilmesini içermektedir. Finlandiya'da, sürdürülebilir el sanatları politikası ve genel olarak el sanatları süreci ile ilişkili olarak ele alınmıştır (Väänänen et all., 2018: 965). Finlandiya'da el sanatları, kapsamlı okullarda (7-15 yaş) sağlam bir şekilde yerleşmiştir; üst kademede (7-9. sınıflar) en az üç, alt kademede ise sekiz ders saati zorunludur. Sanat ayrı bir ders olup, alt ve üst kademelerde sırasıyla üç ve altı ders saati olmak üzere zorunlu bir derstir. Finlandiya'da el sanatları eğitimi, tekstil (dikiş, nakış, dokuma ve nadiren el işi heykelciliği) ve teknik işlerden (ahşap, metal ve elektronik) oluşmaktadır (Lepistö, & Lindfors, 2015:1). Teknik işlerde eğitim gören öğrenciler, torna tezgahı, testere, matkap ve bükme makinesi gibi büyük makineleri kullanmayı öğrenirler. Finlandiya'da el sanatları öğretimi, tarihsel olarak devletin ve ulusun başarısı için gerekli olan işlevselliğe ve öğrenme becerilerine dayanmaktadır. Huovio'nun bildirdiğine göre, 1860'lardaki kıtlık nedeniyle ulusun tüm yönlerinin, hatta sanatın bile, ulusun ekonomik sağlığına katkıda bulunması gerektiği bir dönemde, yükseköğretim düzeyinde el sanatları eğitiminin kurulması gerçekleşmiştir (Garber, 2002:141),

3.2.4. Sami Kültürü ve Yerli Hakları

Finlandiya'nın kurumsal yapısı, yerli halk olan Samilerin geleneksel el sanatlarını (Duodji) korumak için özel bir çerçeve sunar. Sami Somut Olmayan Kültürel Mirasının yönetimi, Finlandiya Anayasası ve uluslararası deklarasyonlar uyarınca Sami Parlamentosu ile koordineli bir şekilde yürütülmektedir.

Bu, etnik tekstil mirasının (örneğin geleneksel Sami kıyafetleri ve nakışları) özgünlüğünün bizzat miras sahipleri tarafından korunmasını yasal bir statüye kavuşturmaktadır (Valkonen et. all., 2017:153). *"Arctic by the Nordic Culture Fund"* tarafından finanse edilen "*Handmade in Arctic Norden (2017–2018)"* adlı uluslararası işbirliği projesinin tematik vurgusu *"el sanatları"* olmuştur. Projenin yürütülmesi sırasında, Arktik sanat ve tasarımında ve Samilerin geleneksel el sanatlarına (Duodji) dayalı yöntem ve malzemeleri sunmak, incelemek ve değerlendirmek için sergiler ve bir katalog üretilmiştir. Ana odak noktası, çağdaş sanat ve sanat eğitimi üzerine yenilikçi araştırmaları teşvik etmek olmuştur (Härkönen, et. all.2018:4). Akrabalık temelli etnik tanıma sistemi, Sámi toplumunda sözlü ve somut bir gelenek ve yaşayan bir uygulamadır; bize kim olduğumuzu, nereden geldiğimizi ve kimlerin bize ait olduğunu anlatır. Bu sistem, Sámi topluluklarının uyumunu, birliğini ve sınırlarını bilmenin, sürdürmenin ve düzenlemenin geleneksel bir yoludur ve nesilden nesile aktarılır. Zenginliği ve inceliğiyle, birçok yerel Sámi topluluğunda meydana gelen modernleşme ve sosyal değişime rağmen hala işleyen bir kültürel uygulama olan yerli bir bilgi sistemi olarak kabul edilebilir (Valkonen et. all., 2017:155).

3.2.5. Karelya Giysi Mirası ve Sürdürülebilirlik

Finlandiya tekstil mirasının önemli bir parçası olan yün ve keten odaklı Karelya kostümleri, usta-çırak ilişkisinden ziyade aile içindeki *"sözlü gelenek"* ve eğitim kurumlarındaki *"araştırma odaklı uygulama"* ile yaşatılmaktadır (Portelli et al., 2024). Karelya kıyafeti; Finlandiya ulusal kostümlerinin temelini oluşturan Doğu Karelya kadınlarının geleneksel halk giysileridir. Finlandiya'nın bu bölgesindeki kostümler en uzun geleneğe sahiptir ve çağdaş Avrupa etkilerinden nispeten etkilenmemiştir. Pamuk, yün veya ketenden yerel olarak üretilen bu giysiler Finlandiya ve Rusya arasında yer alan Karelya bölgesinde yaşayan Karelya halkıyla bağlantılı geleneksel bir giysidir. Coğrafi konumu nedeniyle Finlandiya ve Rusya'dan kültürel etkiler almış bir giysi geleneğini oluşturur. Karelya kıyafetleri, dokuma, nakış ve tekstil el sanatlarına dayalı olarak üretilmiştir. Karelia'daki kadınlar, yaşlı kadınlardan, annelerden ve büyükannelerden miras kalan uzmanlık ve kalıpları kullanarak bu giysileri ipliğinin üretilmesinden, renklendirilmesine, kumaşının dokunmasından ve üzerindeki işlemelere kadar tüm aşamaları geleneksel kurallara uygun olarak kendileri üretmişlerdir. Karelya'da, her kadının ihtiyaç duyulan tüm tekstilleri yapması ve işlemesi bir ayrıcalık olarak sunulmuş ve giysilerin tüm özellikleri en iyi şekilde korumuştur; (Portelli et al., 2024: 5314.)

Finlandiya'nın yerel kültürünün yeniden değerlendirilmesi ve zanaatın modern ve eski Fin kültürü arasındaki bağlantılardan biri olarak algılanması yoluyla ulus inşası sürecine dahil edilmesi gerekliliğinin önemi keşfedilmiştir (Ashby, 2010:351). Söz konusu yöntem, geleneksel tekniklerin çağdaş sanat pratikleriyle harmanlanarak yerel kültürün sürdürülebilir bir şekilde geleceğe taşınmasına ve kültürel mirasın interaktif bir etkileşim alanı haline gelmesine olanak tanımaktadır (Härkönen et al., 2018). Bununla birlikte, 1879 yılında kurulan *"Friends of Finnish Handicrafts (Suomen Käsityön Ystävät)"* gibi köklü sivil toplum kuruluşlarının asırlık arşivleme ve tasarım geliştirme çalışmaları, geleneksel zanaatların toplumsal bilinci artırmada üstlendiği rolü pekiştirmiştir. Amaçları, Finlandiya kadınlarını geleneksel tekstil tekniklerini ve desenlerini koruma davasına yönlendirmekti. Kuruluş, hem Fince konuşan hem de İsveççe konuşan topluluklardan kadınları harekete geçirmede başarılı oldu. 1874'te kurulan *"İsveç El Sanatları Dostları Derneği (Handarbetets Vänner)",* Fin kadınlarını örnek alabileceği geçerli bir model olarak gösterdi. Tekstil ve kostümler için ücretsiz desenler, *"Society of Finnish Women, Koti ja Yhteiskunta (Home and Society)"* 'da düzenli bir ek olarak yer alarak ücretsiz olarak dağıtılmıştır (Ashby, 2010:351). Bu model, dijital envanterleme araçlarının pedagojik süreçlerle entegre edilmesi sayesinde, kültürel mirasın yalnızca arşivlenen bir değer değil, gündelik yaşam pratiği içerisinde sürekli yeniden üretilen yaşayan bir olgu olarak kalmasını sağlamaktadır (Kokko & Räisänen, 2019: 39-40). Finlandiya'nın yaklaşımı, zanaatı yaygın eğitim ve dijital topluluk katılımı üzerinden kurumsallaştırmıştır. Doğu'nun hiyerarşik usta-çırak modelinden farklı olarak Finlandiya, yerel sanatların özgünlüğünü demokratik bir tartışma ve eğitim süreci olarak kurgulayarak sürdürülebilirliği toplumsal tabana yaymaktadır. Bu yaklaşım, somut olmayan kültürel mirasın yalnızca teknik bir aktarım değil, aynı zamanda toplumsal aidiyet ve estetik değerlerin kuşaklar arası sürekliliğini sağlayan canlı bir hafıza inşası olduğunu kanıtlamaktadır

4. Sonuç

Günümüzün giderek küreselleşen dünyasında, etnik kültürel çeşitliliği sergilemek ve kültürel alışverişi teşvik etmek için önemli bir platform haline gelmiştir. Sosyal ve ekonomik düzeylerde de geleneksel el sanatları yeri doldurulamaz bir değere sahiptir. Birçok topluluk için geçim kaynağı ve ekonomik fırsatlar sağlamanın yanı sıra, yerel ekonomilerin gelişimini ve turizm endüstrisinin refahını da teşvik ederler. Bu karşılaştırmalı çerçeve, iki ülkenin giysi kültürü ve tekstil mirasını koruma ve sürdürmeye yönelik pratiklerinin birbirini ne ölçüde tamamlayıcı sunduğunu, yasal düzenlemelerden eğitim müfredatlarına, dijital arşivlemeden kültürlerarası tasarım projelerine uzanan çok katmanlı mekanizmaların ortak bir sürdürülebilirlik anlayışı etrafında nasıl kesiştiğini ortaya koymaktadır. Doğu-Batı ekseninde geleneksel tekstil zanaatlarının korunmasında belirgin bir ayrışma göze çarpmakta olup, Japonya, Güney Kore, Hindistan, Çin gibi Doğu ülkelerinde dijital arşivleme ve kırsal canlandırma stratejileri kültürel sürdürülebilirliği ön plana çıkarırken, Birleşik Krallık ve Avrupa'da ticarileşme, yenilikçi ürün tasarımı ve kullanıcı odaklı sürdürülebilirlik modelleri ekonomik değer yaratmaya odaklandığı bilinmektedir.
Giysi ve tekstil mirasının kültürel birikimini gelecek nesillere aktarırken, aynı zamanda modern tasarım yaklaşımlarıyla geleneksel teknikleri birleştirerek, bu sanatların güncel estetik ve işlevsel beklentilere yanıt vermesini sağlamalıdır. Bu, sürdürülebilir üretim metodolojileri, hizmet tasarımı ve dijital imalat gibi unsurları benimseyerek kültürel hassasiyetleri çağdaş toplumun gereksinimleriyle bağdaştıran yeni bir tasarım paradigması gerektirmektedir. İngiltere ve Finlandiya Giysi ve Tekstil Mirasının Korunmasında Sürdürülebilir Stratejilerin Karşılaştırılması ile ilgili özetlenmiş bilgiler Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. İngiltere ve Finlandiya Giysi ve Tekstil Mirasının Korunmasında Sürdürülebilir Stratejilerin Karşılaştırılması

Analiz Kriterleri	**BİRLEŞİK KRALLIK**	**FİNLANDİYA**
Yasal/Uluslararası Çerçeve	UNESCO 2003 Sözleşmesi'nin geç tarafıdır; müze ve kurumsal inisiyatifler daha ağırlıklıdır	UNESCO Somut Olmayan Kültürel Miras Sözleşmesi'ni 2013 yılında onaylamıştır
Ana Koruma Odağı	Koruma odağında Tekstil ve giysi koleksiyonlarında müzeleştirme, materyal bilimi ve uzman konservatörlük yer almaktadır	Koruma programları eğitim ile yaygınlaştırılmaktadır. El sanatları eğitimi, kuşaklararası aktarım ve kültürel canlandırma (revitalisation) ön plandadır
Eğitim Temelli Yaklaşım	Centre for Textile Conservation — Birleşik Krallığın bünyesindeki tekstil mirasının nesne merkezli ve bilim-tarih entegrasyonu kapsamında ele almak, tekstile özgü eğitim programları ile korunması ve sürdürülebilirliğini desteklemek Geleneksel üretim yöntemlerini ve becerilerindeki eğitim kayıpları, uzman küratörlük/konservatörlük pozisyonlarında yeterli uzmanların yetiştirilmesindeki güçlükler ve sorunların giderilememesi	Temel eğitimde zorunlu tekstil/zanaat eğitimi verilmektedir. Zanaatın zorunlu eğitime entegrasyonu geleneğin aktarımının omurgasını oluştrmaktadır UNESCO 2003 kriterlerinin öğretmen eğitimine tam yansıtılamadığı, geleneklerin daha çok öğrenci motivasyonuna bağlı olarak sürdürülebilirliğindeki güçlükler ve sorunların oluşması
Kurumsal Model	Victoria & Albert Müzsi ulusal/uluslararası turne sergileri, moda sergileri, dijital manken üretimi, proje bazlı koruma kültürü gibi kurumsal modeller denenmektedir	Finlandiya Ulusal Müzesi (Craft Museum of Finland) müze anlatılarının demokratikleştirilmesi, tekstil mirasının yeniden müzakere edilmesinde etkilidir
Örtük Bilgi Yaklaşımı	Birleşik Krallık'ta tekstil koruma uzmanlarının ve zanaatkarların sürekli	Geleneksel becerilerin çağdaş sanat ve el sanatları

	kayıp tehdidi ile karşı karşıya olması, tekstil konservatörlüğü ve küratörlük pozisyonlarındaki uzmanların bilgiyi aktarabilmeleri için getirilen çözüm önerileri	aracılığıyla yeniden üretilmesi, yer-bazlı ve kuşaklararası diyaloğun oluşturulması için yapılan çalışmalar
Sürdürülebilirlik Boyutu	Miras tasarım stratejileri geliştirmek ve koleksiyonlarda uzman kaybının önlenmesinde sürdürülebilir programlar geliştirmek	Üretim-tüketim döngüsünde yeniden kullanım (remake, renewal, repair, refashion); eski ürünlerin yeniden değerlendirilmesi yerel ekonomi ve çevresel etki vurgusu ile çalışmalar yürütmek
Tasarım Miras Stratejisi	Geçmişte kullanılan tarihi ürünlerin yeniden üretimi ile "permanent valorisation" (kalıcı değerleme) dayanıklı tüketim stratejileri geliştirmek	Tekstil, giysi ve el sanatı ürünlerde sürdürülebilir zanaat kavramının gelişimini desteklemek
Topluluk ve Aktarım	Ülke genelinde bölgesel müzelerde yetkinlik kaybına karşı yetiştirilen uzmanların aktarımını sağlayarak işbirliği yapmak ve projeleri destekleyerek mirasın korunması ve sürdürülebilirliğini sağlamak	Fin/Lapland'da kültürel canlandırma, dekolonizasyon, kuşaklararası ve kültürlerarası diyalog/kadınların öncülüğünde "craft activism" geleneği sürdürme ve koruma programları geliştirmek ve desteklemek
Coğrafi/Çevresel Yaklaşım	Kentsel müze merkezli modelleri yaygınlaştırmak ve turne ve sergi odaklı sürdürülebilir koruma programları düzenlemek	Kuzey Kutup Bölgesi'nde yerli koyun ırklarının korunması, döngüsel ekonomi, yerel ekosistem /yer-bazlı el sanatlarını sürdürülebilir koruma programları geliştirmek
Dijital ve Yenilikçi Araçlar	Ülke çapında geliştirilen müzelerde teknolojinin sunduğu olanakları kullanarak dijital yöntemler geliştirmek, BBC ile işbirliği yaparak video/arşiv çalışmaları ile ilgili projeler geliştirmek	Dijital çerçeveler ve grafik-tabanlı derin öğrenme yaklaşımlarına geçiş sağlamak için çalışmalar yürütmek ve projeler geliştirmek ve desteklemek
Sürdürülebilir Giysi Tekstil Geçişi	Hızlı moda karşıtı el işçiliğinin yoğun olduğu yavaş moda stratejilerinin farkındalığının artırılması için çalışmalar yürütmek, kalıcı değerleme ile miras ekonomisi oluşturmak	Finlandiya Arktik bölgesinde döngüsel tekstil üretimi, doğal boya süreçleri ve yerli lif kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir kılmak için çalışmalar yürütmek ve çevresel ayak izinin azaltılması için farkındalık oluşturmak

KAYNAKÇA

Ashby C. (2010). Nation Building and Design: Finnish Textiles and the Work of the Friends of Finnish Handicrafts, Journal of Design History, Volume 23, Issue 4, December 2010, Pages 351–365, https://doi.org/10.1093/jdh/epq029

Baki Nalcıoğlu, Z. S. (2025). "Zanaatkârları Müzeler Aracılığıyla Desteklemek: Ekonomüzeler", Millî Folklor 147 (Güz 2025): 81-94

Braber, N. & Howard, V. (2024): "Language Heritage and the UK Public: Successes and Challenges of the UK Heritage Sector", *Heritage & Society*: s. 1-21 DOI: 10.1080/2159032X.2024.2382625

British Council (2026). Available at https://creativeconomy.britishcouncil.org/guide/what-creative-economy/.(Accessed 10.May.2026)

Brown, J. (2014). Making it local: what does this mean in the context of contemporary craft? London: Crafts Council.

Collins, S. & Craig I. (2025) "Ar Dàimhean is Dualchas: Safeguarding Scotland's Intangible Cultural Heritage". *Scottish Affairs.* 34 (4): s.461-480. https://doi.org/10.3366/scot.2025.0565

Covarrubia, P. (2019). "Geographical Indications of Traditional Handicrafts: A Cultural Element in a Predominantly Economic Activity." *GRURRR. Gewerblicher Rechtsschutz Und Urheberrecht,Rechtsprechungs-Report/GRUR-DVD/GRUR-CD/IIC/Gewerblicher Rechtsschutz und Urheberrecht/Gewerblicher Rechtsschutz Und Urheberrecht. Internationaler Teil*, 50(4): s. 441- 466. https://doi.org/10.1007/s40319-019-00810-3

Crafts Council, (2005). *The Crafts Council Royal Charter 1982* (as amended 2000 and 2005).United Kingdom.

Crafts Council, (2014). *Measuring the craft economy: defining and measuring craft: report* 3[online]. London: Crafts Council Available from: http://www.craftscouncil.org.uk/content/files/Measuring_the_craft_economy-v4.pdf

Crouzet, L. & Pöllinger, A.L. & Langenberg, S. (2025). "Craft and Repair Heritage: From Capture to Dissemination in Digital Space" *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVIII-M-9-2025 30th CIPA Symposium* "Heritage Conservation from Bits: From Digital Documentation to Data-driven Heritage Conservation", 25–29 August 2025, Seoul, Republic of Korea. s. 367-374

Ersöz Uzar, N. S. (2022). "Geleneksel El Sanatları İçin Sürdürülebilir Güncel Tasarım Deneme Uygulamaları". *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 24, Özel Sayı, s. 351-377 https://doi.org/10.16953/deusosbil.1189916

Flew, T., & Cunningham, S. D. (2010). "Creative Industries After the First Decade of Debate". *The Information Society,* 26 (2): 113–123. https://doi.org/10.1080/01972240903562753

Galloway, S. & Dunlop, S. 2007. "A critique of definitions of the cultural and creative industries in public policy", *International Journal of Cultural Policy,* 13(1): s..17-31.

Garber, E. (2002), Craft Education in Finland: Definitions, Rationales and the Future. International Journal of Art & Design Education, 21: 132-145. https://doi.org/10.1111/1468-5949.00308

Garnham, N. (2005). "From Cultural to Creative İndustries: An Analysis of the İmplications of the "Creative İndustries" Approach to Arts and Media Policy Making in The United Kingdom", *International Journal of Cultural Policy,* 11(1), pp.15-29.

Geismar, H. (2005). "Copyright in context: carvings, car-vers, and commodities in Vanuatu". American Ethnologist, 32, (3),s. 437-459, http://www.jstor.org/stable/3805295.

Ghose, A., & Ali, S. M. (2023). "Protection And Preservation Of Traditional Cultural Expressions & Traditional Knowledge İn Handicraft İndustry: Advocating The Need For A Global Cultural Policy Framework", *Revista De Direito Internacional,* 20 (2),472-497. https://doi.org/10.5102/rdi.v20i2.9109

Giray, H. & Özkan, F. Z., & Oran, H. (2012). Yerel ürünlerin ekonomik kalkınmadaki önemi. Verimlilik Dergisi, 4, 109-115. https://izlik.org/JA42LG27CE

Guo, J., & Ahn, B. (2021). Collaborative Design Intervention in the Traditional Chinese Handicraft Sector for Enhancing Cultural Sustainability: New Channel Social Innovation Project . *Archives of Design Research,* 34 (4): s. 39-53. http://dx.doi.org/10.15187/adr.2021.11.34.4.39

Gülüm, E. (2021). "Somut Olmayan Kültürel Miras - Kültürel Yaratıcı Endüstriler Etkileşimlerine Kültürel İstatistikler Çerçevesi'nden Bakmak". *Motif Akademi Halkbilimi Dergisi,* 14(34): s468-483. https://doi.org/10.12981/mahder.874738

Härkönen, E. & Huhmarniemi, M. & Jokela,T. (2018) "Crafting Sustainability: Handcraft in Contemporary Art and Cultural Sustainability in the Finnish Lapland", "Sustainability", 10, 1907 : s. 1-14 doi:10.3390/su10061907

He, Y. & Shu L,. & Zhang, J. (2022). "Exploring the Sustainable Development Models of Cultural Heritage in Major International Countries". Advances in Economics, Business and Management Research/ICFIED ATLANTIS PRESS. V. 211, pp. 3129- 3132 https://doi.org/10.2991/aebmr.k.220307.512

Hill, E. C. & Craith, M.N. & Clopot, C. (2018). International Journal of Cultural Property (2018) 25:35–58. Printed in the USA.Copyright International Cultural Property Society. s. 35-58 doi:10.1017/S0940739118000024

Irwin, T. (2015). "Transition design: A proposal for a new area of design practice, study, and research". *Design and Culture,* 7 (2): s. 229-246. https://doi.org/10.1080/17547075.2015.1051829

Jakob, D., & Thomas, N. J. (2017). Firing up craft capital: the renaissance of craft and craft policy in the United Kingdom. International Journal of Cultural Policy, 23(4), 495–511. https://doi.org/10.1080/10286632.2015.1068765

Kelly, J. (2024). "Cross-Cultural Histories and Traditions Between the Cut and Engraved Glass Scenes of the UK and Japan". *Arts,* 13(5), 161: s. 1-21 . https://doi.org/10.3390/arts13050161

Koca, E. (2026). Kültürel Sürdürülebilirlik Bağlamında Türkiye Tekstil ve Moda Alanında Gelişmeler. ODAK içinde (pp. 27-30). İstanbul: Kültür Medeniyet Vakfı Yayınları, Matsis Matbaa AŞ.

Koca, E., Koç, F., Kaya, Ö., (2015), "Yöresel Dokumaları Güncel Tasarımlarda Yorumlamak "Kargı Bezi Örneği"", *ASOS Journal, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi,* Y 3, (9): s. 125-133.

Kokko, S., & Räisänen, R. (2019). Craft education in sustaining and developing craft traditions : Reflections from Finnish craft teacher education. Työväentutkimus Vuosikirja, 26(1), 27. http://hdl.handle.net/10138/304217

Lee, H. K. (2020). Making creative industries policy in the real world: differing configurations of the culture-market-state nexus in the UK and South Korea. International Journal of Cultural Policy, 26(4), 544–560. https://doi.org/10.1080/10286632.2019.1577401

Lepistö, J., & Lindfors, E. (2015). From Gender-segregated Subjects to Multi-material Craft: Craft Student Teachers'Views on the Future of the Craft Subject. FormAkademisk, 8(4). Pp.1-20 https://doi.org/10.7577/formakademisk.1313

Lewis, M. & Carpenter, D. (2025) *The Red List of Endangered Crafts* (2025 edition), Heritage Crafts Association, https://heritagecrafts.org.uk/wp-content/uploads/2025/05/Red-List-2025-publication.pdf

Lithgow, K., & Timbrell, H. (2014). "How better volunteering can improve conservation: why we need to stop wondering whether volunteering in conservation is a good thing and just get better at doing it well". *Journal of the Institute of Conservation,* 37 (1): s. 3–14. https://doi.org/10.1080/19455224.2013.873730

Mäkelä, H. H. (2021). "Digesting the Finnish Nature and Past: Food, Pastness, and the Naturalness of the National in the Wiki-Inventory for Living Heritage". Journal of Ethnology and Folkloristics, 15(2), 89–111. https://doi.org/10.2478/jef-2021-0019

Manfredi Latilla V. & Frattini F. & Messeni Petruzzelli A., &Berner M. (2018). "Knowledge Management, Knowledge Transfer and Organizational Performance in The Arts and Crafts İndustry: A Literature Review". *Journal Of Knowledge Management*, 22 (6): s.1310-1331. DOI: https://doi.org/10.1108/JKM-08-2017-0367

Mc Hattie, L.-S., Champion, K., & Broadley, C. (2018). Craft, Textiles, and Cultural Assets in the Northern Isles: Innovation From Tradition in the Shetland Islands. *Island Studies Journal,* 13(2), 39–54. https://doi.org/10.24043/isj.47

McCleery, A. & Mc Cleery, A. (2017). "Inventorying intangible heritage: the approach in Scotland", *In Patrimoine Culturel Immatériel Et Numérique,* Severo, M., Cachat, S. (Eds.), L'Harmattan, Paris: s. 183-198.

Oğuz, M. Ö. (2018). *Somut olmayan kültürel miras nedir?* Ankara: Geleneksel Yayıncılık.

Oğuz, M.Ö. (2002). "Ulusal Kalıtın Küreselleştirilmesi ve Türk El Sanatları", *Milli Folklor Dergisi,* 14(54): s.5-10.

Olarte Parada, G. (2026). "La Protección Jurídica De Las Artesanías: Tensiones Y Soluciones En El Derecho De Autor De Colombia, La Unión Europea Y El Reino Unido" . Revista La Propiedad Inmaterial. 41; 119–141. DOI:https://doi.org/10.18601/16571959.n41.05.

Oral-Karakoç, H. (2024) "Mimarlıkta Zanaat Bilgisinin Dijitalleştirilmesi: Çevrimler ve Aktarımlar". *JCoDe: Journal of Computational Design*, 5(2): s. 163-182. https://doi.org/10.53710/jcode.1505957

Öter, Z. & Ünal, E. (2017). "Somut Olmayan Kültürel Mirasın Beypazarı Turizm Destinasyonundayerel Ekonomiye Katkıları" International Journal of Contemporary Tourism Research 1 (1) s. 26 – 37

Parry-Williams, T. (2015). Made-By-Hand: [Re]Valuing Traditional (Japanese) Textile Practices for Contemporary Design. *Craft Research, 6*(2), 165- 186. https://doi.org/10.1386/crre.6.2.165_186

Portelli, L. & Arvanitidou, Z. & McSweeney, K. & Räisänen, R. (2024). Tradition in Action-Traditional Costume Innovations. Heritage, 7(10), 5307. https://doi.org/10.3390/heritage7100250

Ramsay, E. M. M. (2025). *Craft as Culture, Not Artefact: An Analysis of the Role of Museums and Heritage Centres in Scotland in Heritage Craft Safeguarding.* University of Tartu Faculty of Arts and Humanities Institute of Cultural Research Master's Thesis

Samdanis, M. & Lee, S. H. (2017) "Access Inequalities in the Artistic Labour Market in the UK: A Critical Discourse Analysis of Precariousness, Entrepreneurialism and Voluntarism". *European Management Review,* 16: s. 887-907. ISSN 1740-4754.

Schweizerische E., (2014). "Vorschlagsliste des immateriellen Kulturerbes in der Schweiz". *The Nara Document On Authenticity*, 1994.

Scott, K., & Marr, M. (2012). Shetland textiles sector: a review. Shetland Islands Council. https://www.shetland.gov.uk/economic_development/documents/ShetlandTextileRe

Severo, M., & Filipponi, F. (2017). The Documentary Paradox of Digital Inventories of Intangible Cultural Heritage. HAL (Le Centre Pour La Communication Scientifique Directe). https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01699314

Silva S. R. & Marques C. S. E. & Galvão A. R. (2024). "Where Is the Rural Creative Class? A Systematic Literature Review About Creative Industries in Low-Density Areas", *Journal of the Knowledge Economy,* 15: s. 6026–6056. https://doi.org/10.1007/s13132-023-01341-6

Steed J. & Cross K., & Wılson B. (2025) "Weaving a Community: Securing the Intangible Cultural Heritage Created by Harris Tweed®", *Intangible Cultural Heritage and New Methodological Frameworks* (Edited by Eleftheria Rania Kosmidou and Leslie Grace McMurtry). by Routledge. s. 121-138.

Tatlıdil, Ü. & Şahin,Y. (2019), Giyim Kültürü ve Modanın Konuları Üzerine, Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7, (96) s. 317-323. https://doi.org/10.29228/asos.36690

The Heritage Crafts Association (2025). https://heritagecrafts.org.uk/wp-content/uploads/2025/05/Red-List-2025-publication.pdf

Uluç, A., & Balaban, M. Ş. (2019). The Comparison of Institutional Frameworks Regarding Risk Management for Conservation of Cultural Heritage by Focusing on UNESCO World Heritage Sites: The Cases of the UK, Japan and Turkey. Resilience, 3(2), 247–267.

UNESCO (2026) Convention for the Safeguarding of the Intangible Cultural Heritage. Available online: https://www.unesco.org/en/legal-affairs/convention-safeguarding-intangible-cultural-heritage (accessed on 20 May2026).

Väänänen N, Vartiainen L, Kaipainen M, Pitkäniemi H, Pöllänen S (2018), "Understanding Finnish student craft teachers' conceptions of sustainability". International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 19 No. 5 pp. 963–986, doi: https://doi.org/10.1108/IJSHE-11-2017-0200

Valkonen S. & Valkonen J. & Lehtola V.P. (2017). An Ontological Politics of and for the Sámi Cultural Heritage – Reflections on Belonging to the Sámi Community and the Land", Indigenous Peoples' Cultural Heritage: Rights, Debates and Challenges, (Edt. Alexandra Xanthaki, Sanna Valkonen, Leena Heinämäki and Piia Nuorgam). Published by Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands.pp. 149-174

Walker, S. & Mullagh, L. & Evans, M., & Wang, Y. (2019). "Design ecologies: sustaining ethno-cultural significance of products through urban ecologies of creative practice". *International Journal of Anthropology and Ethnology,* 3(1). https://doi.org/10.1186/s41257-019-0025-7

Warburton, A. (2016). "Innovation through craft: Opportunities for growth". 49. craftscouncil.org.uk/archive

MediaWiki (2026). https://wiki.aineetonkulttuuriperinto.fi/wiki/Esittely/en

Zappalaglio, A. & Guerrieri, F. & Carls, S. (2020). "Sui Generis Geographical Indications for the Protection of Non-Agricultural Products in the EU: Can the Quality Schemes Fulfil the Task?". *IIC.* 51: s. 31–69 (2020). https://doi.org/10.1007/s40319-019-00890-1

Zhang, Y. F. (2024). “The Expression of Meaningfulness of Traditional Embroidery in Contemporary Fiber Art: A Case Study of the Works of Korean Artist Zhang Yinglan”. *Art Education*, (01): s. 168-171.

DÖNGÜSEL EKONOMİDEN DÖNGÜSEL MODAYA: *TEKSTİL VE MODA ENDÜSTRİSİ İÇİN POLİTİKA ÇERÇEVELERİ*

FROM CIRCULAR ECONOMY TO CIRCULAR FASHION: POLICY FRAMEWORKS FOR THE TEXTILE AND FASHION INDUSTRY

Prof. Dr. Emine KOCA
Department of Fashion Design, Faculty of Art and Design, Ankara Hacı Bayram Veli University, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6607-5652

Prof. Dr. Fatma KOÇ
Department of Fashion Design, Faculty of Art and Design, Ankara Hacı Bayram Veli University, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-3267-5366

Özet

Sürdürülebilirlik odaklı çabalarla elde edilen sonuçların yalnızca çevresel boyutlarla değil, aynı zamanda sürdürülebilir bir ekonomi kavramıyla da ilişkili olduğunun farkına varılması, tüm sektörlerde sistemik bir dönüşümü zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, tekstil ve moda sektöründe döngüsel ekonomi sistem düşüncesi yaklaşımına doğru dönüşümlerin istikrarlı bir şekilde arttığı açıktır.Döngüsel ekonomi kaynakların sürekli dolaşımını hedefleyen makro bir model sunarken, döngüsel moda bu modelin ürün ve üretim süreçlerindeki uygulama biçimini sistemine entegre etmeye başlamıştır. Böylece moda endüstrisinde ürünün estetik değeri kadar yaşam döngüsü, kullanım süresi ve kullanım sonrası dönüşüm potansiyeli de önem kazanmıştır. Bu durum, döngüsel ekonominin yalnızca çevresel bir yaklaşım değil; aynı zamanda küresel ekonomik ve politik dönüşüm modeli olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır. Döngüsel ekonomi yaklaşımı, sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda uluslararası kurumlar, çevre ajansları ve hükümetler tarafından giderek daha fazla desteklenen bir politika alanı hâline gelmiştir. United Nations, European Parliament, European Commission ve United Nations Environment Programme gibi kurumlar döngüsel ekonomi ve sürdürülebilirlik ilişkisini destekleyen stratejik belgeler yayımlamıştır. Ancak, tüm sektörlerde olduğu gibi tekstil ve moda sektöründe de bu dönüşümün sağlanabilmesinde küresel ölçekte döngüsel ekonomi politikalarının belirlediği ve sürekli geliştirdiği çerçeveler önemli rol oynarken, hedeflenen düzeye tam olarak ulaşılmamış olması da önemli bir göstergedir.

Bu çalışmada, döngüsel ekonomi kavramı ve tekstil ve moda endüstrisine yönelik sürdürülebilirlik politikaları bağlamında, moda sektöründeki dönüşümü teorik olarak ortaya koymak amaçlanmıştır. Böylece, doğrusal ve döngüsel ekonominin çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan farklılıkları ortaya konularak, uluslararası kuruluşlar, hükümetler ve sivil toplum organizasyonları tarafından geliştirilen politika belgeleri, manifestolar ve eylem planları ele alınarak, endüstrinin mevcut durumu ve döngüsel moda sistemlerinin geleceğine ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmak hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: döngüsel ekonomi, döngüsel moda, politika, sürdürülebilirlik

Abstract

The recognition that the outcomes achieved through sustainability-oriented efforts are associated not only with environmental dimensions but also with the concept of a sustainable economy has made a systemic transformation imperative across all industries. In this context, it is evident that transformations toward a circular economy systems-thinking approach within the textile and fashion industry have been increasing steadily. While the circular economy provides a macro-level model that promotes the continuous circulation of resources, circular fashion integrates this model into product design and production processes. Consequently, within the fashion industry, not only the aesthetic value of products but also their life cycle, duration of use, and post-use transformation potential have become increasingly significant. This development demonstrates that the circular economy should be regarded not merely as an environmental approach but also as a model of global economic and political transformation. In line with the Sustainable Development Goals, the circular economy has increasingly become a policy domain supported by international organizations, environmental agencies, and governments.

Institutions such as the United Nations, the European Parliament, the European Commission, and the United Nations Environment Programme have published strategic documents supporting the relationship between the circular economy and sustainability. Nevertheless, as in many other sectors, although the policy frameworks established and continuously developed through global circular economy initiatives play a critical role in facilitating this transition within the textile and fashion industry, the fact that the intended level of transformation has not yet been fully achieved remains a significant indicator of the challenges ahead.

This study aim

To provide a theoretical examination of the transformation of the fashion industry within the context of the circular economy concept and sustainability policies developed for the textile and fashion industry. Accordingly, by comparing the environmental, social, and economic characteristics of linear and circular economic models, the study examines policy documents, manifestos, and action plans developed by international organizations, governments, and non-governmental organizations. In doing so, it seeks to present a comprehensive evaluation of the current state of the industry and the future prospects of circular fashion systems.

Keywords: circular economy, circular fashion, politics, sustainability.

1.Giriş

İklim krizi, doğal kaynakların tükenmesi, atıklar ve karbon emisyonlarının artışı; doğrusal üretim modelinin sürdürülemez olduğunu ortaya koymuş ve 21. yüzyılda doğrusal ekonomi modeline alternatif olarak döngüsel ekonomi yaklaşımı gelişmeye başlamıştır. Dünya, Çevre ve Kalkınma Komisyonu (WCED), Birleşmiş Milletler, Avrupa Birliği, Avrupa Parlamentosu ve bağlı organları gibi uluslararası kurumlar ve komisyonları gibi kuruluşlar, hükümetler ve sivil toplum organizasyonları tarafından geliştirilen politika belgeleri, manifestolar ve eylem planları; döngüsel ekonominin sürdürülebilir kalkınmanın temel araçlarından biri hâline geldiğini göstermektedir. Özellikle kaynak verimliliği, atık yönetimi, sürdürülebilir tasarım ve düşük karbonlu üretim sistemleri üzerinden şekillenen bu yaklaşım, geleceğin ekonomik ve çevresel dönüşüm süreçlerinde merkezi bir rol üstlenmektedir.

Geleneksel moda endüstrisi, ham madde çıkarımından atık üretimine kadar uzanan doğrusal bir yol boyunca faaliyet göstermiş; ham maddelerin çıkarılması, bunların nihai ürünlere dönüştürülmesi ve kullanımdan sonra bertaraf edilmesi süreçlerini içeren doğrusal bir iş modelini izlemiştir. Ancak, ürünlerin, bileşenlerin ve malzemelerin mümkün olduğunca uzun süre sistem içerisinde tutulmasını amaçlayan döngüsel ekonomi kavramı çerçevesinde geliştirilen politikalar, tekstil ve moda endüstrisinde de kaynakların daha verimli kullanımını ve yenileyici uygulamaları önceliklendiren döngüsel ekonomiyle uyumlu bir sisteme geçişi zorunlu kılmıştır. Bu da endüstride üretimden tüketime kadar tüm sistemi dönüştüren yeni bir sistem düşüncesinin gerekliliğini ortaya koymuştur. Birçok işletme dayanıklı ve zamansız ürünler tasarlayarak tüketim sıklığını azaltmayı, atık kavramını ortadan kaldırılmayı, yeniden kullanım, geri dönüşüm ve yeniden üretim gibi süreçleri sistemin merkezine yerleştirmeye başlamıştır. Fakat, belirli periyotlarla geliştirilen ve sözleşmelerle bağlayıcılığı olan eylemlerin hedeflenen düzeye ulaşmadığı yapılan birçok araştırma ile ortaya konulmaktadır. Bu konuda Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) çerçevesinde, ülkelerin ulusal emisyon envanterleri geliştirmeye başlaması ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için gerçekleştirilen eylemler önemli bir örnek teşkil etmektedir. Ancak, küresel sera gazı emisyonlarına en büyük katkıyı sağlayan fosil CO2 emisyonlarını azaltma anlaşmalarına rağmen özellikle 21. yüzyılın başından beri Dünya genelinde istikrarlı bir şekilde artmaya devam ettiği görülmektedir. Küresel ekonomiye önemli bir katkı sağlayan tekstil ve moda endüstrisinin de bu konuda öncül alanlardan biri olduğu ilgili araştırmaların sonuçlarında açıkça görülebilmektedir.

Fletcher ve Tham (2019:20), son on yıllarda moda ve sürdürülebilirliğe yönelik farkındalık, ilgi, bilgi, önlemler ve teknolojilerdeki önemli artışa rağmen; çevresel etki düzeylerinde net bir azalma görülmediğini belirtmektedir. GFA- Global Fashion Agenda (2019) Pulse of Fashion 2019 güncellemesi'ne göre; hızla büyüyen moda endüstrisinin sürdürülebilirlik ilerlemesi önceki yıla göre üçte bir oranında yavaşlamıştır ve olumsuz çevresel ve sosyal etkileri dengelemek için sürdürülebilir çözümler yeterince hızlı uygulanmamaktadır.

Küresel bir sivil toplum kuruluşları konfederasyonu olan Oxfam (Oxford Committee for Famine Relief) (2019) tarafından yapılan bir araştırmaya göre, İngiltere'de satın alınan yeni giysiler, bir araba ile Dünya'nın etrafını altı kez dolaşmanın neden olduğu karbon emisyonundan daha fazla karbon

emisyonuna neden olmaktadır. Tekstil endüstrisi, nakliye ve havacılık endüstrilerinin toplamından daha fazla sera gazı emisyonu üretmektedir. Küresel Atmosferik Araştırmalar için Emisyon Veritabanı EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research) Dünya genelindeki tüm ülkelerin sera gazı emisyonları 2025 Raporu'na (European Commission, 2025:9) göre; 2024 yılında küresel sera gazı emisyonları (arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık hariç) 2023'e kıyasla %1,3 artarak 53,2 Gt CO_2 eşdeğerine ulaşmıştır.

Hammadde çıkarımından üretime kadar tekstil üretimi, moda endüstrisinin sera gazı emisyonlarının %92'sini oluşturmakta ve atık bertarafı bu emisyonları daha da artırmaktadır. Açık alana atık bırakılması ise zararlı mikroplastiklerin çevreye salınmasına yol açarak riski daha da artırmaktadır. Gelişen trendler ve değişen tüketici alışkanlıklarının doğrudan bir sonucu olarak, küresel elyaf üretimi 2000 yılından bu yana iki katından fazla artarak hem tüketim kalıplarını hem de atıkları artırmıştır. Tekstil atıklarındaki artış, önemli ekonomik ve çevresel yükler getirmektedir. 2024 yılında, atılan giysilerin yaklaşık %80'i çöplüklere veya yakma tesislerine giderken, sadece %12'si yeniden kullanılmış ve %1'den çok daha azı yeni tekstil liflerine geri dönüştürülmüştür (Sajdeh et al., 2025:2-3). Dönüşüm konusunda önde gelen bir danışmanlık firması olan Boston Consulting Group'un (BCG, 2025), 2024 yılında Dünya genelinde atılan giysi miktarının 120 milyon metrik tona ulaşmış olduğunu belirtmesi, moda tüketiminin ne kadar dramatik bir şekilde değiştiğinin açık bir göstergesidir.

Moda endüstrisinin hammaddesi olan tekstillerin üretiminden, ürüne dönüşme sürecine kadar kullanılan su miktarı, boyar maddeler ve kimyasallar dikkate alındığında hasarın boyutu daha açık ortaya çıkmaktadır. European Parliamentary Research Service EPRS bilimsel öngörü raporunda (2020) Avrupalıların %11'i ve Dünya nüfusunun %25'i su kıtlığından etkilenirken, tek bir pamuklu gömlek üretmek için 2700 litre tatlı suya ihtiyaç duyulduğu ve bu miktarın, bir kişinin 2,5 yıllık içme suyu ihtiyacına eşdeğer olduğu, moda endüstrisinin yılda 1,5 trilyon litre su tükettiği belirtilmektedir (Woensel & Lipp, 2020). Dolayısıyla, enerji yoğun tekstil üretiminin büyük ölçüde fosil yakıtlara bağımlı olması nedeniyle, küresel karbon emisyonlarına büyük katkıda bulunması, tekstil üretiminde yoğun su kullanımı, kimyasal tüketimi ve kullanım ömrü kısa ürünlerin hızla atığa dönüşmesi, mevcut ekonomik modelin sürdürülebilir olmadığını ortaya koymuştur. Modada artan malzeme tüketimi talebi, hızlı ürün eskimesi ve sürekli artan kaynak tüketimine dayalı üretimin diğer sektörlere göre oranı açık şekilde görülebilmekte ve bunun da ekonomik büyüme sistemleriyle yakından bağlantılı olduğu da ortaya çıkmaktadır.

McKinsey & Company ve The Business of Fashion tarafından yayınlanan "Modanın Durumu 2023" raporu, moda yöneticilerinin %79'unun sürdürülebilirlik standartlarının eksikliğini, tüketicilerin sürdürülebilirlik çabalarına ilişkin algılarını iyileştirmenin önündeki en büyük engel olarak gördüğünü ortaya koymuştur (Whieldon vd., 2023). Benzer şekilde, Chicago merkezli küresel bir yönetim danışmanlık firması olan Kearney (2025) tarafından yayınlanan beşinci Döngüsel Moda Endeksi'ne (CFX 2025) göre, döngüselliğe doğru yıllık ilerlemenin büyük ölçüde durakladığı belirtilerek, moda markalarının yalnızca %4'ü döngüsellik konusunda lider olarak sınıflandırılmış, markaların yaklaşık %70'inin yalnızca orta düzeyde bir bağlılık gösterdiği ve bu konuda stratejilerini hızlandıran şirket sayısının sınırlı olduğu vurgulanmıştır. Tüm bulgular, sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi girişimlerinin arkasındaki artan ivmeye rağmen, sistem düşüncesinin moda endüstrisine henüz yeterince yerleşmediğini göstermektedir. Bu nedenle, sektör, üretici, tasarımcı ve tüketici gibi tüm paydaşların döngüselliğe yönelik farkındalık düzeylerinin artırılarak, benimsenmesi ve üretimden üretim sonrası tüm süreçlere entegre edilmesi gerekliliği çalışmanın çıkış noktasını oluşturmuştur.

Bu çalışma kapsamında**,** döngüsel ekonomi kavramı ve tekstil ve moda endüstrisine yönelik sürdürülebilirlik politikaları bağlamında, moda sektöründeki dönüşümü teorik olarak ortaya koymak amaçlanmıştır. Böylece, doğrusal ve döngüsel ekonominin çevresel, sosyal ve ekonomik açıdan farklılıkları ortaya konularak, uluslararası kuruluşlar, hükümetler ve sivil toplum organizasyonları tarafından geliştirilen politika belgeleri, manifestolar ve eylem planları ele alınmıştır.

Ayrıca, endüstrinin mevcut durumu ve döngüsel moda sistemlerinin geleceğine ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmak hedeflenmiştir.

2. Metaryal ve Yöntem

Döngüsel ekonomi kavramı ve tekstil ve moda endüstrisine yönelik sürdürülebilirlik politikaları bağlamında, moda sektöründeki dönüşümün teorik olarak ortaya koyulmasının amaçlandığı çalışmada, tarama modeli benimsenmiştir. İlgili literatür ve politika belgeleri incelenerek, döngüsel ekonomi kavramı, geliştirilen politikalar ve moda sektöründeki karşılığı açıklanmış ve döngüsel modaya geçişte döngüsel tasarımın önemi vurgulanarak yorumlanmıştır. Bu bağlamda; dögüsel ekonomi modelinin tekstil ve moda alanındaki karşılığı, bu kapsamda geliştirilen politikalar ve döngüsel tasarım ve moda olmak üzere üç başlık altında altında ele alınarak mevcut durum ve geleceğe yönelik yordamalar yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Tüm endüstrilerde uzun yıllar uygulanan geleneksel (doğrusal) modelin, doğal kaynakların tüketimi ve çevre kirliliğini artırarak insan yaşamına doğrudan etki eden iklim krizine yol açtığına yönelik farkındalık, bu durumun ekonomik sürdürülebilirlik açısından da önemli olduğunu ortaya koymuş ve döngüsel ekonomi kavramının önemini artırmıştır. Bir sistem düşüncesi değişimini gerektiren bu dönüşümün, kaynakların yeniden kullanımını sağlayarak ekosistemi korurken, ekonomik değer yaratılacağına yönelik çalışmalar tekstil ve moda sektöründe de belirli düzeylerde karşılık bulmuş ve bu yönde gelişmeler artarak devam etmektedir. Bu bağlamda, öncelikle döngüsel ekonomi modelinin doğrusal modelden farklılığını bilmek ve moda için döngüsel ekonominin öneminin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

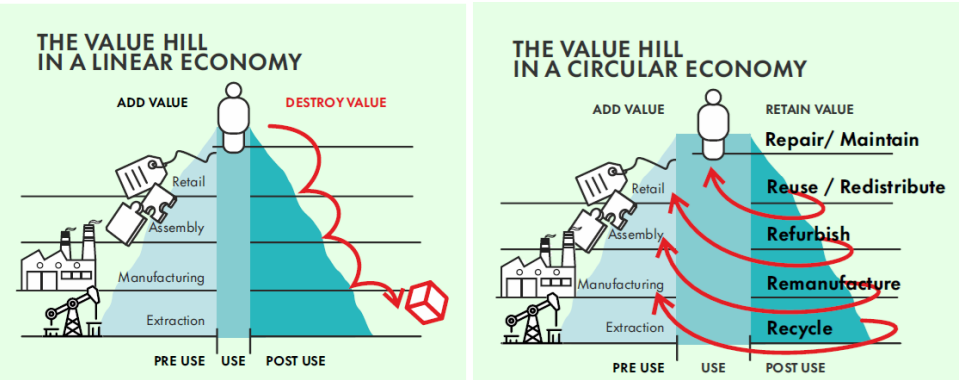
3.1. Döngüsel Ekonomi Modeli ve Modada döngüsellik

Kullanımdan sonra atılma modelini izleyen ve eskimeyi teşvik eden geleneksel doğrusal ekonomi modelinin aksine döngüsel ekonomi, kaynak verimliliğini en üst düzeye çıkarmayı, atığı ve çevresel etkiyi en aza indirmeyi, böylece doğal kaynak tüketimini ve atık oluşumunu azaltmayı, ürünlerin ömrünü uzatmayı ve tasarım ve üretim yöntemlerinde yeniliği teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Chapman, 2005:77). Ellen MacArthur Foundation (2013) döngüsel ekonomiyi "tasarımdan itibaren atığı ortadan kaldırmayı amaçlayan, niyet ve tasarım açısından onarıcı veya yenileyici bir endüstriyel sistem" olarak tanımlamaktadır. Webster (2015: 16) için ise tasarım gereği onarıcı olan ve ürünleri, bileşenleri ve malzemeleri her zaman en yüksek fayda ve değerde tutmayı amaçlayan bir ekonomidir. Yuan vd. (2008:5), döngüsel ekonominin özünü, malzemelerin döngüsel (kapalı) akışı ve hammaddelerin ve enerjinin çoklu aşamalardan geçerek kullanılmasının oluşturduğunu vurgulamaktadır. Bocken vd. (2016: 309) döngüsel ekonominin özelliklerini, "kaynak döngülerini yavaşlatan, kapatan ve daraltan tasarım ve iş modeli stratejileri" olarak tanımlayarak kategorize etmektedir. Döngüsel ekonomiye yönelik tanımların çeşitliliği artırılabilmekle birlikte tümünün, kaynak ve ürün yaşam döngüleri en yüksek düzeyde korunurken, atık ve yeni kaynak kullanımının en aza indirgendiği üretken bir sisteme işaret ettiği görülebilmektedir. Bu sistemin bileşenleri olarak; uzun ömürlü tasarım, onarım, yeniden kullanım, yeniden üretim, yenileme ve geri dönüşüm yöntemlerini söylemek mümkündür.

Döngüsel ekonomi düşünce lideri Stahel'in (2016: 435) ekonomik mantığı değiştirecek bir alternatif olarak sunduğu; yeniden kullanılabilir olanı yeniden kullanma, yeniden kullanılamayanı geri dönüştürme, bozulanı onarma ve onarılamayanı yeniden üretme ilkelerine dayalı döngüsel ekonomi kavramı, hizmet ömrünü tamamlamış ürünleri başkaları için kaynaklara dönüştürerek endüstriyel ekosistemlerdeki döngüleri kapatarak, atıkları en aza indirmeyi amaçlamaktadır.

Resim 1. Döngüsel Ekonomi Modeli (European Parliament, 2023).

Stahel'in düşüncesine göre; onarım odaklı bir ekonomi iş yaratır, yerel zanaat işletmelerini güçlendirir ve ülkeleri hammadde ithalatına daha az bağımlı hale getirir. Sürdürülebilirliğin tam karşılığının verildiği bu durumu, değer tepesi diyagramı ile açık şekilde ortaya koymuştur (Resim 2). Stahel'in bu yaklaşımının, günümüzde Avrupa ve Dünya çapındaki döngüsel ekonomi politikalarının temel dayanaklarından biri haline geldiğini geliştirilen politika ve stratejilerde görmek mümkündür (Bonsen, 2025).



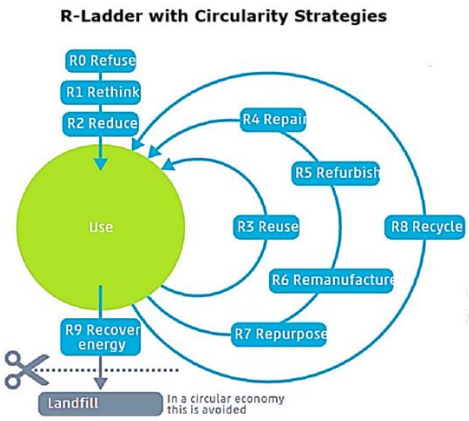
Resim 2. Doğrusal ve Döngüsel Ekonomiler Bağlamında "Değer Tepesi" (Value Hill) kavramı (Stahel, 2016).

Resim 2'deki değer tepesinde, doğrusal modelde ürünler atık haline gelmekte ve uygun şekilde toplandıktan sonra geri dönüşüm, enerji geri kazanımı veya bertaraf için imha edilmek üzere atık yönetim sistemine girmektedir. Döngüsel modelde ise kullanım sonrası aşamada döngüyü yavaşlatmak ve ürünü mümkün olduğunca uzun süre en yüksek değerinde tutmak için ürünlerin ve malzemelerin yeni değer yaratmak üzere yeniden amaçlandırılması gibi diğer uygulamalar önemli hale gelmektedir. Bir başka deyişle, doğrusal modelde ürünün değeri hızla düşerken, döngüsel modelde ürünün değerini korumak için çeşitli stratejiler uygulanarak pramidin tabanına doğru ürün miktarı ve değer kaybı azalmaktadır.

Bir ürünün yaşam döngüsündeki değerinin izlediği yolu temsil eden değer tepesinde ürün ömrünün üç aşamaya ayrıldığı görülmektedir. Ürünün üretildiği, pazarlara dağıtıldığı ve tepeye doğru tırmanışa başladığı "kullanım öncesi" aşama, tüketici tarafından satın alındığı ve değerinin en yüksek olduğu "kullanım" aşaması ve ürünün artık tüketici için kullanışlı olmadığı "kullanım sonrası" aşama. Değer tepesinin en yüksek noktasında ürün maksimum değere sahiptir.

Çünkü tüketici tarafından satın alındığında ve kullanım aşamasına girdiğinde en yüksek değerine ulaşır ve kullanım sonrası aşamada değer kaybetmeye başlar. Ürünün değerini mümkün olduğunca korumak için pramidin tabanındaki kullanım sonrası atık noktasına ulaşmadan, çeşitli geri kazanım stratejilerinden oluşan döngülerin uygulanması gerekmektedir. Ellen MacArthur Foundation (2013a:30) için geçerli olan dört basit döngüsel değer yaratma ilkesinin: iç çemberin gücü, daha uzun süre döngü yapmanın gücü, kademeli kullanım ve gelen malzeme/ürün ikamesinin gücü, saf, toksik olmayan veya en azından daha kolay ayrılabilen girdilerin ve tasarımların gücü olarak sıralandığı dikkate alındığında, bu ilkelerin Stahel'in değer tepesi konseptine dayandığı ortaya çıkmaktadır.

3R ilkesine dayanan döngüsel ekonomi kavramı, atık yönetimi konusunda farklı fikirlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Bir yandan atık yönetimi, 5R ve 10R hiyerarşilerinin önerileriyle genişletilirken, diğer yandan geri kazanım sürecinin R aşamalarının önemli bir bölümünü kapsayacak şekilde tanımlanmıştır. Hammadde kullanımını azaltmak için çeşitli R-stratejilerini içeren bir döngüsellik merdiveni (R-merdiveni) geliştirilmiştir. PBL- Hollanda Çevre Değerlendirme Ajansı'na (2018) göre, döngüsel ekonomi için on eylem stratejisi bulunmaktadır: reddetmek, yeniden düşünmek, azaltmak, yeniden kullanmak, onarmak, yenilemek, yeniden üretmek, yeniden amaçlandırmak, geri dönüştürmek ve geri kazanmak. Ancak, genel olarak incelendiğinde üç strateji üzerine temellendiği söylenebilir. Atık ve kirliliği ortadan kaldırmak için tek tip malzemelere veya ikincil hammaddelerin kullanımına geçişi teşvik edecek uygulamaları düşününerek, diğerlerini reddetmek, yani "düşünce sistemini değiştirmek" önemlidir. Ürünü atmak ve yenisiyle değiştirmek yerine, ürünün "onarımına" büyük önem vererek iade ve yeniden kullanım kültürünü yaratmak ikinci strateji olarak benimsenmektedir. Ürünün tüm bileşenleri ve malzemeleri de dahil olmak üzere tamamının "yeniden kullanılması" ise üçüncü strateji olarak geliştirilmiştir.



Resim 3. R-merdiveni döngüsellik stratejileri (PBL, 2018:11)

Resim 3'deki döngüsellik merdiveninde kaynak çıkarımını, birincil malzeme talebini ve atık üretimini önlemek için çeşitli döngüsellik stratejileri mevcuttur. Bu döngüsellik stratejileri arasında bir öncelik sırası da vardır. Genel bir kural olarak, daha fazla döngüsellik daha fazla çevresel kazanım anlamına gelmektedir. R-merdiveninin, bir stratejinin merdivende ne kadar yukarıda olursa o kadar döngüsel olduğunu belirten, döngüsellik ölçütü işlevini gördüğünü söylemek mümkündür. Bu da beşikten beşiğe tasarım felsefesinin uygulandığı anlamına gelmektedir.

Michael Braungart ve Bill McDonough tarafından geliştirilen "beşikten beşiğe" tasarım felsefesi, endüstriyel ve ticari süreçlerde yer alan tüm malzemeleri besin maddesi olarak kabul eder ve teknik ve biyolojik olmak üzere iki ana kategorisi vardır. Beşikten Beşiğe çerçevesi, olumlu etkiye sahip ürünler açısından etkinliğe odaklanan tasarıma odaklanır; bu da onu olumsuz etkileri azaltmaya odaklanan geleneksel tasarım yaklaşımından temelden ayırır (Ellen MacArthur Foundation, 2013a:27). Braungart ve ark. (2008:152-155) "beşikten mezara" malzeme akışları ile "beşikten beşiğe" döngüsel akışlar arasında ayrım yaparak, akış modellerindeki farklılığı açıkça ortaya koymaktadırlar. Beşikten mezara malzeme akışlarını temel alan, geri dönüştürülebilirliği artırmaya ve ürün ömrünü uzatmaya yönelik stratejiler, kaynakların atık statüsünü kazanma süresini uzatmayı amaçlasa da; malzemeler yine de çöplüklere veya yakma fırınlarına gider.

Ömürleri uzatılmıştır, ancak kaynak statüleri korunmamıştır. Beşikten beşiğe malzeme akışı sağlıklı metabolizmaları üretmeye yönelik bir dizi stratejiyi kapsar. Amaç, malzemelerin beşikten mezara akışını en aza indirmek veya geciktirmek değil, malzemelerin kaynak statüsünü korumasını ve zaman içinde geri dönüşüm sağlayan döngüsel, beşikten beşiğe metabolizmalar üretmektir. Sıfır atık özelliği, malzemelerin kaynak statüsünü koruma çabalarının doğal bir yan etkisi olarak ortaya çıkmıştır. Bütün stratejilerin belirli düzeylerde moda endüstrisinde karşılık bularak, bu bilincin benimsenmesi ve önemine yönelik çabaların devam ettiği görülebilmektedir.

Moda için döngüsel bir ekonomi, ürünlerin daha fazla kullanılmasını, tekrar üretilebilir olmasını ve güvenli, geri dönüştürülmüş veya yenilenebilir girdilerden, yenileyici yöntemlerle üretilmesini sağlar. Bu sayede sektör, yalnızca bakir malzeme talebini azaltmak, atık ve kirliliği ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda toprak sağlığını iyileştirir, karbonu tutar ve biyolojik çeşitliliği aktif olarak yeniden inşa eder (Ellen MacArthur, 2024:95-96). Döngüsellik açısından moda endüstrisinin temel sorunun yalnızca üretim biçimi değil, değer kaybı hızı olduğu da bir gerçektir. Özellikle hızlı moda uygulamalarının yaygınlaşması tüketicilerin giysi satın alma aralıklarını sıklaştırarak, her yeni tasarımın satın alınmasını teşvik edilmesi ile oluşturulan sürekli tüketim döngüsünü, "planlı ve yapay eskime" olarak görmek mümkündür. Tüketici davranışını değiştiren bu eğilim yeni ürünlere yönelik beklentiler yaratarak, hızlı ve tek kullanımlık tüketim kültürünü de teşvik etmekte ve modern tüketici kültürünü şekillendirmektedir. Sonucunda ise bir satın alma ve atma kısır döngüsü yaratmaktadır. Hızlı modanın karakteristik özelliği olan bu durum, bir giysinin satış yerinden çöpe gidecek yolunu daha da kısaltmaktadır. Bu süreç yalnızca doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi artırmakla kalmaz, aynı zamanda önemli miktarda atık da üretir. Ürünlerin ömrünü kısaltarak aşırı tüketimi ve atık birikimini teşvik eden bu stratejinin karşısında döngüsel ekonominin ilkelerine uygun yeniden kullanım, onarım ve geri dönüşüm uygulamalarının benimsendiği stratejiler geliştirilmesi moda sektörünün döngüselliğe geçişinde önemlidir. Bu stratejilerinin amacı, malzemelerin beşikten mezara akışını en aza indirmek değil, döngüsel tasarım ile beşikten-beşiğe (C2C) bir akış oluşturmaktır. Ellen MacArthur Foundation (2013b: 54), özellikle kullanım süresi genellikle teknik ömür sınırlamalarından ziyade moda tarafından belirlenen tekstil ürünlerinin, bu kademeli fırsatlara harika bir örnek teşkil ettiğini ve bu nedenle birçok politika alanı içinde önemli yer bulduğunu belirtmektedir.

3.2.Döngüsel Ekonomiye Geçiş Politikalarında Tekstil ve Moda Endüstrisi

European Parliament (2009), dayanıklılık, onarılabilirlik ve geri dönüştürülebilirlik de dahil olmak üzere döngüsel ürün tasarımı gerekliliklerini belirten Eko-tasarım Direktifi' ile sürdürülebilirliği ve döngüsel ekonomiyi teşvik eden düzenlemeleri genel olarak desteklemiştir.

Birleşmiş Milletler üye devletlerinin tamamı tarafından 2015 yılında kabul edilen 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Gündeminin 17 Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi içeren acil eylem çağrısında; 12. hedef sürdürülebilir tüketim ve üretim modellerini sağlamayı amaçlamaktadır. Uygulamalarda "daha azıyla daha fazlasını ve daha iyisini yapmayı", kaynak kullanımını, bozulmayı ve kirliliği tüm yaşam döngüsü boyunca azaltarak ekonomik faaliyetlerden elde edilen net refah kazanımlarını artırmayı ve yaşam kalitesini yükseltmek gözetilmiştir (Unıted Nations, 2026).

2015 yılında Avrupa Komisyonu (European Commission, 2026) Avrupa'nın döngüsel ekonomiye geçişini teşvik etmeye, küresel rekabet gücünü artırmaya, sürdürülebilir ekonomik büyümeyi desteklemeye ve yeni iş imkanları yaratmaya yönelik önlemleri içeren ilk döngüsel ekonomi eylem planını (Circular Economy Action Plan) kabul etmiştir. Plan, ürünlerin yaşam döngüsünü uzatmayı, atıkları azaltmayı ve sürdürülebilir üretim-tüketim sistemleri oluşturmayı hedeflemiştir 2019'da ilk döngüsel ekonomi eylem planındaki 54 eylemin tamamının hayata geçirilmesi ile Avrupa Komisyonunca kabul edilen raporda olumlu sonuçlara ulaşılmıştır. Daha fazla geri dönüşüm ve yeniden kullanım yoluyla ürün yaşam döngülerinin tamamlanmasına yardımcı olarak, Avrupa'nın geçişini hızlandırmaya katkıda bulunulduğu ve hem çevreye hem de ekonomiye fayda sağlandığı görülmüştür.

AB girişimi olan "Avrupa Sürdürülebilir Giyim Eylem Planı" (**European Sustainable Clothing Action Plan),** tasarımdan kullanım sonuna kadar tekstillerin yaşam döngüsü boyunca sürdürülebilirliğini 2019 yılına kadar önemli ölçüde iyileştirmek için başlatılmıştır. European Commissionu (2025a) döngüsel ekonomi (CE) ile sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin birbiri ile ilişkili olduğunu vurgulamakta, özellikle sürdürülebilir üretim ve tüketim yöntemlerinin hedeflerin başarılmasına katkı sağlayacağını belirtmektedir.

LIFE Programme kapsamında, giyim üretimi ve tüketimiyle ilişkili çevresel etkileri azaltmak için 2015 yılında başlatılan LIFE ECAP projesi, döngüsel iş düşüncesini ve ekonomik büyümeyi teşvik edecek AB çapında bir çerçeve sağlamayı amaçlamıştır. ECAP eylemleri, üretim, tüketim ve bertaraf alanlarındaki temel zorlukları sistematik olarak ele alarak giyim atıklarını azaltmanın iş gerekçesini ölçülebilir bir şekilde göstermiştir. ECAP, genel amacına ulaşmış ve döngüsel yaklaşım, tüketiciler ve genel kamuoyu, tasarımcılar, uluslararası markalar da dahil olmak üzere perakende işletmeleri, üretim, yeniden kullanım ve geri dönüşüm kuruluşları, belediyeler ve yerel ve ulusal hükümetler ile AB'nin de aralarında bulunduğu paydaşlar tarafından başarıyla benimsenmiştir. 2019 da sonlanan projenin olumlu etkileri, 2019 tarihli bir Avrupa Komisyonu çalışma belgesinde, tekstilleri "döngüsel ekonomi için öncelikli ürün kategorisi" olarak tanımlanmasına zemin hazırlamıştır.

2020'de kabul edilen ikinci Döngüsel Ekonomi Eylem Planı, Avrupa'nın sürdürülebilir büyüme gündemi olan Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın temel yapı taşlarından biridir. Eylem planında 3.5. Tekstil başlığı altında önerilen strateji, sektörde endüstriyel rekabet gücünü ve inovasyonu güçlendirmeyi, tekstil geri dönüşüm pazarı da dahil olmak üzere sürdürülebilir ve döngüsel tekstiller için AB pazarını desteklemeyi, hızlı modaya çözüm bulmayı ve yeni iş modellerini teşvik etmeyi amaçlamaktadır (European Commission, 2020). AB'nin döngüsel ekonomiye geçişi, doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı azaltmak, biyolojik çeşitlilik kaybını durdurmak, 2050 yılına kadar iklim nötrlüğüne ulaşmak ve daha dirençli ve rekabetçi bir Avrupa inşa etmek için çok önemlidir. Sürdürülebilir bir ürün politikası çerçevesi (A sustainable product policy framework), daha az atık, daha fazla değer, uygulama ve araçlar başlıkları altında düzenlenen bu plan kapsamında, öngörülen yasal düzenlemelerin çoğu kabul edilerek yürürlüğe girmiştir (European Commission, 2026a). Bu politika çerçevesinde özellikle dayanıklı, tamir edilebilir ve geri dönüştürülebilir ürün tasarımlarının teşvik edilmesi amaçlanmaktadır.

Tekstil sektörü, AB döngüsel ekonomi eylem planında kilit bir değer zinciri olarak tanımlanmıştır ve Avrupa Komisyonu'nun 2022 AB sürdürülebilir ve döngüsel tekstil stratejisi ve AB sürdürülebilir ürünler girişimine katkıda bulunmak ve tekstillerde döngüselliği artırmak için tasarım ilkeleri ve önlemler belirlemiştir. ETC/CE 2022/2 raporunda önemli bir önlem; ürün dayanıklılığını, onarılabilirliğini ve geri dönüştürülebilirliğini iyileştirmek ve yeni ürünlerde ikincil hammaddelerin kullanımını sağlamak için tekstil ürünlerinin döngüsel tasarımdır (Duhoux et. al., 2022).

2023 yılında Atık Çerçeve Direktifi'nin (Waste Framework Directive) revizyonu kapsamında, Avrupa Komisyonu tekstiller için uyumlu Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) düzenlemeleri önermiştir. Bu girişim, tekstillerin toplanması, ayrıştırılması, yeniden kullanılması ve geri dönüştürülmesine odaklanan bir ekonomi oluşturmayı ve aynı zamanda ürünlerin döngüsellik göz önünde bulundurularak tasarlanmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Atık Çerçeve Direktifi , 2025 yılından itibaren AB üye devletlerinin kullanılmış tekstiller için ayrı toplama sistemleri kurmasını zorunlu kılmaktadır. Bu, Avrupa'daki tekstil atıklarının oluşumu, toplama sistemleri, işleme kapasitesi ve kullanılmış tekstiller için farklı sınıflandırmaların mevcut durumuna genel bir bakış sunmaktadır. Ayrıca, ihracatı, yakmayı veya depolamayı artırmadan, tekstillerin döngüselliğini teşvik etmek için ayrı toplama sistemleri uygulanırken, dikkate alınması gereken faktörleri belirlemektedir (EEA,2024).

Avrupa Parlamentosu döngüsel ekonomiyi iklim nötrlüğü hedefleriyle ilişkilendirmiştir. Parlamento raporlarında, Avrupa'nın 2050 karbon nötr hedeflerine ulaşabilmesi için üretim ve tüketim sistemlerinin döngüsel modele dönüşmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu bağlamda eko-tasarım stratejileri, sürdürülebilir tekstil politikaları ve genişletilmiş üretici sorumluluğu uygulamaları ön plana çıkmaktadır. Dünya Ekonomik Forumu (World Economic Forum) ve Ellen MacArthur Foundation gibi kuruluşlar da döngüsel ekonomi kavramının küresel ölçekte yaygınlaşmasında etkili olmuştur. Döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırmak amacıyla 2010 yılında kurulan Ellen MacArthur Foundation, kuruluşundan bu yana, küresel bir düşünce lideri olarak döngüsel ekonomiyi iş dünyası, hükümet ve akademi genelindeki karar vericilerin gündemine taşıyan önemli bir kuruluştur. Yayımladığı raporlar, moda sektöründe döngüsel dönüşümün teorik altyapısının oluşmasında önemli rol oynamış ve özellikle moda üzerine hazırladığı manifestolar ve iş birlikleriyle endüstriyel dönüşüm çağrısında bulunmaktadır. Ellen MacArthur Foundation'un "Fashion Commitments" projesi; Dünyanın en büyük moda üreticilerini bir araya getirerek "atıkların tamamen ortadan kaldırıldığı bir moda endüstrisi" vizyonunu yayan en güçlü döngüsel ekonomi manifestolarındandır.

Moda Paktı, Textile Exchange gibi bazı girişimler yaptıkları işbirlikleri ve projeleri ile moda alanında döngüselliğe katkı sunmaktadırlar.

2019'da Biarritz'deki G7 zirvesi vesilesiyle başlatılan Moda Paktı, 17 ülkeden 75 şirkete kadar büyüyerek, bugün yaklaşık 160 markayı veya hacim olarak küresel moda endüstrisinin %30'unu temsil etmektedir. Moda Paktı, 16 CEO'dan oluşan bir yönlendirme komitesi tarafından denetlenmekte olup, bu komite, kolektif içindeki STK odaklı uygulama organı olan işletme komitesi'ndeki 21 sürdürülebilir kalkınma direktörü ile yakın işbirliği içinde çalışmaktadır. Tekstilden tekstile (T2T) geri dönüştürülmüş elyaf, ikinci el butikler, geleceğin tedarikçisi girişimi ile daha az enerji ve daha temiz enerji kullanımına odaklanan, moda işletmelerinin doğayla olan ilişkilerini yeniden düşünmeyi sağlayan projeleri ile modanın döngüselliğine olumlu kakılar sunmaktadır (The Fashion Pact, 2026). Küresel ölçekte faaliyet gösteren kâr amacı gütmeyen önde gelen bir kuruluş olan Textile Exchange (2026) ise 20 yılı aşkın süredir malzeme sürdürülebilirliği standartlarını geliştirme araştırmaları ve raporları ile malzeme üretimi, sürdürülebilirlik gelişimi ve ortaya çıkan sektör trendlerini uygulanabilir bilgilere dönüştürmektedir. Tedarik zincirinin en başından itibaren daha bilinçli üretime yönelik 800'den fazla marka, üretici, perakendeci ve diğer paydaşlardan oluşan büyüyen bir topluluğa rehberlik ederek destek vermektedir.

2022 yılında BM Genel Kurulu tarafından kabul edilen ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı (UN-Habitat) tarafından desteklenen "Uluslararası Sıfır Atık Günü", sürdürülebilir üretim ve tüketim modellerini teşvik etmek ve hiçbir malzeme veya kaynağın israf edilmemesi için yaşam döngüsü yaklaşımına geçişi özendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, AB'nin Sürdürülebilir Ürünler için Eko-tasarım Tüzüğü (ESPR- Eco-design for Sustainable Products Regulation) kapsamında, satılmayan giyim, aksesuar ve ayakkabıların imhasını önlemeye yönelik yeni tedbirler, Temmuz 2026'dan itibaren büyük şirketler için uygulanmaya başlanacak olması (European Commission 2024) modada döngüselliği teşvik ve destekleyen girişimler olarak devam etmektedir.

Günümüzde, moda sektöründe döngüsel ekonomi yaklaşımı, sürdürülebilir moda politikalarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), moda endüstrisinin yüksek karbon salımı, su tüketimi ve tekstil atıkları nedeniyle sürdürülebilir üretim modellerine geçmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda, sektörün daha döngüsel çözümler kullanmasını destekleyerek bu çevresel etkiyi azaltmak için çalışmaktadır (UNEP, 2026). Bu doğrultuda yeniden kullanım, geri dönüşüm, yavaş moda (slow fashion), ürün yaşam döngüsünün uzatılması ve sürdürülebilir malzeme kullanımı gibi uygulamalar desteklenmektedir. Moda sektörünün hammaddesini sağlayan birçok tekstil şirketi karbon ayak izlerini ölçmelerine ve azaltmalarına yardımcı olan platformlarla stratejik ortaklıklar kurmaktadır.Döngüsel ekonomi kavramının yaygınlaştırılmasıyla eş zamanlı olarak ortaya çıkan yeni teoriler ve kavramlar, döngüsel ekonomi kavramını daha da iyileştirmeye ve geliştirmeye katkıda bulunmaktadır. Bu gelişme, moda tasarımında döngüsel moda ve döngüsel üretim/tasarım kavramları ile karşılık bulmuştur. Kearney'in (2025) Döngüsel Moda Endeksi'nde de (CFX 2025), döngüsel tasarım, malzeme yeniden kullanımı ve geri dönüşüm, sektörde döngüselliği ilerletmenin en önemli yolları olarak tanımlanmıştır.

3.3.Döngüsel Tasarım ve Moda

Tasarım, döngüsel ekonomiye geçişte önemli enstrumanlardan biridir. Döngüselliğin gerekliliği olan, yeniden kullanılabilirlik, onarılabilirlik, yenilenebilirlik, ve sökülebilirlik gibi malzeme seçimleri ve kullanılacak tekniklere yönelik önemli kararlar, tasarım aşamasında alınır. Bu aşamada, bakım kolaylığı için fonksiyonel, modüler ayrım ve sıra dışı sökme özellikleri gibi birçok seçeneğin dikkate alınması modada döngüsellik için önemlidir. Çünkü tasarım kararları uygulandıktan sonra olumsuz etkilerini ortadan kaldırmanın hem zaman hem süreç hem de verimlilik açısından oldukça zor olduğu yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur. Radjou ve Prabhu (2015), bir ürünün yaşam döngüsü maliyetlerinin ve çevresel ayak izinin %70'inden fazlasının tasarım aşamasında belirlendiğini belirtmektedir. Bu nedenle giysilerin döngüsel bir sisteme geri döndürülebilmesini sağlamak, döngüsel tasarım modelleri geliştirme yeteneğiyle bağlantılıdır. Döngüsel tasarım modelleri, bir ürünün geliştirme aşamasına odaklanarak, ürünlerin daha uzun ömürlü ve bakımı, onarımı, yükseltilmesi, yenilenmesi, yeniden üretilmesi veya geri dönüştürülmesi daha kolay olacak şekilde tasarlanmasını amaçlamaktadır. Moda endüstrisi açısından değerlendirildiğinde döngüsel tasarım; sürdürülebilir malzeme seçiminden sıfır atık üretim sistemlerine, modülerlikten yenilenebilir tasarım yöntemlerine ve geri dönüştürülebilirlikten yeniden kullanıma kadar gibi birçok stratejiyi kapsamaktadır.

Bu yaklaşım yalnızca çevresel sürdürülebilirliği değil, aynı zamanda etik üretim, kullanıcı katılımı ve yeni estetik anlayışlarını da kapsamaktadır.

Döngüsel modelin temel ilkelerinin tümünün tasarım odaklı olduğu dikkate alındığında; tasarım sürecinin planlanması ve uygulanmasının önemi ve çok yönlü etkileri olduğu ortaya çıkmaktadır. Fletcher ve Grose'a (2012:27) göre sürdürülebilir ve döngüsel moda anlayışı yalnızca çevreci üretim teknikleriyle sınırlı değildir; aynı zamanda tüketim kültürünü dönüştüren yeni tasarım ve kullanım modellerini de içermektedir. Bu nedenle döngüsel moda yaklaşımı, ürün merkezli düşünceden sistem odaklı düşünceye geçişi temsil etmektedir. Dolayısıyla, döngüsel tasarımın, çevresel etkiyi en aza indirmek ve ürünlerin yeniden kullanımını ve geri dönüşümünü sağlamak için gerekli olan teknik faktörleri (malzemeler ve üretim süreçleri) göz önünde bulundurmakla ilgili olduğu kadar, modanın yönünü belirleyici düşünce, davranış ve ortak algıları değiştirmekle de ilgili olduğunu söylemek mümkündür (Koca ve Koç, 2023:79, 88).

Döngüsel moda uygulamaları çevresel olmanın ötesinde kültürel ve estetik boyutlarıyla da insanların yaşamına dokunmaktadır. Birçok dögüsel moda şirketinin tasarımlarının bileşeni haline gelmiş yerel ve geleneksel el sanatları, dokuma, süsleme ve tekniklerin kullanılması kültürel mirasın korunmasına da katkı sağlamaktadır. Örneğin, "Türk kadınlarının giysilerinin tasarım ve üretimlerinde çeşitli nedenlere bağlı olarak geliştirdikleri tasarrufa ve ekonomikliğe yönelik uygulamaları giysilere estetik ve kültürel bir değer de yüklemiştir (Koç ve Koca, 2019:225). Aynı şekilde, Türk kadınlarının yaygın kullanıldığı "kırkyama", "kırk pare" gibi isimlerle anılan geleneksel birleştirme tekniği; artık veya eski küçük kumaş parçalarının yan yana dikilerek yüzey oluşturulduğu bir ileri dönüşüm uygulamasıdır. Bir başka geleneksel el dikiş tekniği olan "oyulgama" hem birleştirme hem de süsleme dikişi olarak kullanılmıştır. Günümüzde bu tekniklerin *boro* ve *sashiko* adıyla Japon kültürüne özgü teknikler olarak döngüsel tasarımlarda kullanıldığı ve bu geleneksel izler giysilere yeni bir kültürel değer kazandırırken, estetik anlayışın yeniden tanımlanmasını da katkı sağladığı söylenebilir. Ayrıca, tasarımcıları, kullanıcısı ile giysi arasında yalnızca görsel çekicilikten değil, taşıdığı anlamdan da kaynaklanan duygusal dayanıklılığı artıracak tasarım stratejileri geliştirmeye yönlendirebilecektir. Bu da giysi satınalma sıklığını azaltacabilecek ve döngüselliğin ilkelerine hizmet edecektir. Diğer yandan, döngüsel moda sistemini kültürel etkileşim ve ilişkiler ağı olarak konumlandıracaktır. Döngüsel moda kültürü, tüketicilerin giysileri yalnızca geçici tüketim nesneleri olarak değil, değer taşıyan ve yaşam döngüsü boyunca korunması gereken ürünler olarak görmesini de teşvik etmektedir. Bu yaklaşım, geçmişte yaygın olan tamir etme, dönüştürme ve yeniden kullanma alışkanlıklarının yeniden önem kazanmasını sağlamaktadır. Böylece döngüsel moda, tüketim kültüründen bakım kültürüne doğru bir dönüşümü desteklemektedir (Fletcher ve Tham, 2019:48). Döngüsel moda kapsamında işletmeler için potansiyel bir alternatif kavram, ürün-hizmet sistemleridir (product-service systems PSS). PSS'ler, doğal kaynaklara bağımlılığı azaltırken aynı zamanda ürün çeşitliliğini artırmak için kiralama, iyileştirme, yeniden tasarım veya ödünç verme gibi uygulamalar gerçekleştirilmektedir. İkinci el kullanım, paylaşım ekonomisi ve giysi kiralama gibi uygulamalar da sahiplik anlayışını dönüştürmektedir. Bu durum, modanın bireysel tüketimden çok ortak kullanım ve kolektif sorumluluk anlayışı çerçevesinde değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır (Armstrong vd., 2014:1). Bu bağlamda döngüsel tasarım, döngüsel ekonominin tasarım alanındaki uygulama biçimi olarak değerlendirilebilir. Başka bir deyişle, döngüsel ekonomi makro ölçekte ekonomik sistemi ifade ederken, döngüsel tasarım bu sistemin ürün, hizmet ve üretim süreçleri düzeyindeki karşılığını oluşturduğu söylenebilir.

Döngüsel yaklaşım, doğası gereği yenilikçi ve yenileyici olan giysi tasarımın özgünlük ve ayırtedicilik niteliklerine değer kazandıracağı gibi, kaynaklardan maksimum değeri elde etmek için ürün ömrünün sonunda yenilenmesini sağlayacak bir sistem kurarak operasyonel verimliliği de sağlayacaktır. Bu da sektörde yaratacağı sinerji ile bertaraf masraflarını önemli ölçüde azaltarak yeni gelir kaynakları ve marka değerini artırmak gibi yeni fırsatlar anlamını taşımaktadır. Günümüzde döngüsel tasarım uygulamaları ile özdeşleşmiş ve tanınırlığını sağlamış markaların sayısı yavaş ta olsa her geçen gün artmaktadır. Patagonia, Eileen Fisher ve MUD Jeans gibi küresel öncüler, döngüsel tasarım uygulamaları ile dünya çapında tanınırlık kazanmış en önemli markalar arasında yer almaktadır. Cradle to Cradle sertifikalı ürünleriyle döngüsel moda markası olarak tanınan "Detto Fatto" sadece döngüsel tasarımları ile değil, Dünya çapındaki müşterilerine marka düzeyinde, tedarik zinciri düzeyinde ve iletişim hizmetleri sunarak, müşterilerinin sürdürülebilir bir şekilde faaliyet gösterme yeteneklerini hızlandırma misyonunu da yerine getirmektedir.

Türkiye'de döngüsel dönüşüm hareketini başlatarak ilk döngüsel mağazasını açan "Nivogo" marka imajı ve değeri kazanmış ülkemizdeki öncü örneklerdendir. Topladığı ürünleri yenileyerek yeni tüketicilerle buluşturan marka, atık olarak görülen giysileri değere dönüştürmektedir. Yerel ve global öncü moda markaları döngüsel moda portföyüne katmaya devam eden marka, fazla stoklardan sezon iadelerine, partnerlerine yenileme yoluyla yepyeni bir değer yaratma fırsatı sunmaktadır. Bunların yanı sıra moda yaşam döngüsünün tüm aşamalarında döngüselliğe yönelik iyileştirme fırsatları konusunda farkındalık yaratan, teşvik edici ve yaygınlaştırıcı önemli proje ve araştırmalar mevcuttur ve sayıları artmaya devam etmektedir.

Sonuç olarak döngüsel modanın kültürel ve estetik boyutu, sürdürülebilirlik hedeflerinin ötesinde moda sisteminin değerler dünyasını yeniden şekillendirmektedir. Tüketim odaklı moda kültüründen bakım, onarım ve uzun ömürlülük kültürüne geçiş; kusursuzluk estetiğinden yaşanmışlık ve dönüşüm estetiğine yönelim; döngüsel modanın kültürel ve estetik dönüşümünün temel göstergeleri olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle döngüsellik için iş modellerinin inovasyonu moda sektöründeki şirketler açısından rekabet avantajlarının sürdürülebilirliği için de temel unsurlardan biri olarak görülmekte ve çeşitli döngüsel tasarım stratejileri geliştirmektedirler. Dolayısıyla, içeriğinde pek çok bileşeni barındıran döngüsel tasarım; döngüsel ekonomi ilkelerinin tasarım sürecine entegre edildiği uygulama pratiğinin kısa bir ifadesi olarak da düşünülebilir. Bu modelde, mevcut ürün merkezli odaktan, daha sistem tabanlı bir tasarım yaklaşımına geçmek için öncelikle düşüncede bir dönüşümü gerektirmesi endüstrideki geçişin istenen düzeye ulaşmamasında önemli etkenlerden biri olarak görülmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Döngüsel ekonomi kavramı ve tekstil ve moda endüstrisine yönelik sürdürülebilirlik politikaları bağlamında, moda sektöründeki dönüşümü teorik olarak ortaya koymanın amaçlandığı çalışmada; Doğrusal üretimden döngüsel yaklaşıma geçiş, çevresel kirlilik, kaynakların tükenmesi ve hızlı moda ile hızlanan aşırı tüketim kültürüne karşı geliştirilen akademik ve pratik bir yanıt niteliği taşıdığı gözlenmiştir. Döngüsel ekonomi modeli paralelinde geliştirilecek olan döngüsel üretim yaklaşımlarının tasarım, üretim ve tüketim süreçleri boyunca bütüncül bir dönüşüm gerektirdiği ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, döngüsel dönüşümün başarısının büyük ölçüde tasarım aşamasında alınan kararlarla belirlendiğini ve ürünün tüm yaşam döngüsünü etkilediğini göstermektedir.

Araştırma kapsamında ulaşılan önemli bir sonuç; geliştirilen güçlü politika ve eylem planlarına rağmen, hedeflere tam olarak ulaşılamamış olmasıdır. Günümüzde dünya genelinde birçok markanın bu yönde geliştirdiği girişimlerin somut sonuçlar üretmeye başladığı görülmekle birlikte, farkındalık kampanyaları, sınırlı koleksiyonlar ve yerel ölçekte yürütülen geri dönüşüm projeleri gibi pilot uygulamalardan, tüm değer zincirini kapsayan ölçeklenebilir sistemlere geçişin henüz yeterince hızlanmadığı anlaşılmaktadır. Döngüsel dönüşümün başarısının büyük ölçüde tasarım aşamasında alınan kararlarla belirlendiğini gösterdiği dikkate alındığında; döngüsel moda yaklaşımlarının tasarım, üretim ve tüketim süreçleri boyunca bütüncül bir dönüşüm gerektirdiğini ortaya koymaktadır. Bu dönüşüm, tekstil ve moda endüstrisinde ürünün yalnızca fiziksel bir nesne olarak değil, yaşam döngüsü boyunca ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Böylece tasarım, yalnızca estetik bir üretim süreci olmaktan çıkarak, malzeme seçiminden kullanım sonrası dönüşüm süreçlerine uzanan sistemsel bir düşünme biçimine dönüşmesi gerekmektedir. Ayrıca, döngüsel modanın yalnızca bir anlatı veya pazarlama yaklaşımı olmaktan çıkarak, üretim altyapısına entegre edilmiş sistematik bir modele dönüşmesini gerekli kılmaktadır.

Döngüsel moda yaklaşımı, ürünlerin tasarım aşamasından itibaren biyolojik ve teknik döngülerinin birlikte düşünülmesini içeren bütüncül bir sistem anlayışına dayanmaktadır. Bu bakış açısına göre, tasarım sürecinde döngüsel yaşam senaryoları dikkate alınarak geliştirilen ürünler, gelecekteki üretim sistemlerinin bir parçası haline gelmekte ve kaynak döngüsünü sürekli beslemektedir. Böylece atık oluşumu en başından azaltılmakta, kirliliğin önlenmesi mümkün hale gelmekte ve doğanın tasarım yoluyla yeniden desteklenmesi sağlanmaktadır. Bu bağlamda, döngüsel modanın dijitalleşmesinin ulaşacağı boyut da dikkate alınarak; gelecekte sektörün tüm paydaşlarının sistem düşüncesini benimsemesi ve yenileyici bir gelecek için sorumlu tasarım anlayışını geliştirmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşımın, geleceğin ekonomik ve çevresel dönüşüm süreçlerinde merkezi bir rol üstleneceği yadsınamaz bir gerçektir.

Döngüsel iş modellerinin ana akım haline gelmesini sağlayacak stratejilerin geliştirilmesi, diğer markaların da sahip oldukları kaynakları ve teknolojik imkânları daha sürdürülebilir bir dönüşüm için kullanmalarını teşvik edecek ve böylece gerçek anlamda bir sistemsel değişim mümkün olabilecektir.

Gelecek araştırmalarda ise döngüsel tasarım uygulamalarının ölçülebilirliği, tüketici davranışları üzerindeki etkileri ve dijital izlenebilirlik sistemlerinin rolü daha ayrıntılı biçimde ele alınabilir. Sonuç olarak moda endüstrisi, yalnızca üretim biçimlerini değil, aynı zamanda değer yaratma ve tasarım anlayışını da yeniden tanımlamak durumundadır.

Kaynakça

Armstrong, C. M., Niinimäki, K., Kujala, S., Karell, E. & Lang, C. (2014). Sustainable product-service systems for clothing: Exploring consumer perceptions of consumption alternatives in Finland. *Journal of Cleaner Production*, 97, 01–10. http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.046

BCG- Boston Consulting Group (2025). *Spinning Textile Waste into Value*. https://www.bcg.com/publications/2025/spinning-textile-waste-into-value

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering, 33*(5), 308–320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124

Bonsen, Z., E. (2025). *Walter R. Stahel: der Architekt der Kreislaufwirtschaft*. https://sustainableswitzerland.ch/artikel/sustainable-shapers-2025-walter-stahel-id.4219

Braungart M., Bondesen, P., Kälin A., Gabler, B.& *EPEA* (2008). *Specific Public Goods for Economic Development: With a Focus on Environment* (pp.139-175). Together for a Sustainable Future içinde Vienna: Unıted Natıons Industrıal Development Organızatıon

Chapman, J. (2005). *Emotionally durable design: Objects, experiences and empathy*. Earthscan.

Duhoux, T., Blévennec K. L., Manshoven S., Grossi F., Arnold M., Mortensen L., F. (2022). *ETC/CE Report 2/2022: Textiles and the Environment - The role of design in Europe's circular economy*. https://www.eionet.europa.eu/etcs/etc-ce/products/etc-ce-products/etc-ce-report-2-2022-textiles-and-the-environment-the-role-of-design-in-europes-circular-economy

EEA-European Environment Agency (2024). *Management of Used and Waste Textiles in Europe's Circular Economy*. https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/management-of-used-and-waste-textiles-in-europes-circular-economy

Ellen MacArthur Foundation (2013). Towards the circular economy Vol. 1: *Economic business rationale for an accelerated transition.* https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an

Ellen MacArthur, E. (2013a). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23-44.

Ellen MacArthur Foundation (2013b). *Towards the circular economy Vol. 3: How it works up close, Case examples of circular products.* https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an

EMF-Ellen MacArthur Foundation (2024). *The Fashion ReModel*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-fashion-remodel/overview?gad_source=1&gad_campaignid=22979926758&gbraid=0AAAACb4JAcqU7qJSg5XiMXrbLr2eMQBR&gclid=Cj0KCQjwlerQBhDMARIsAB16H-W6jdwBScq3RvHop5-1NcONLkcv9R56VzkIwJ2y2M9lDoQ7rC7Aa9kaApvCEALw_wcB

European Commission (2020). *A new Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe.* https://eur-lex.europa.eu/legal- content/EN/TXT/?qid= 1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN

European Commission (2024). *Ecodesign for Sustainable Products Regulation.* https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy/ecodesign-sustainable-products-regulation_en

European Commission (2025). GHG *Emıssıons of All World Countrıes, JRC Scıence For Polıcy Report-2025*- EUR 40443. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2025

European Commission (2025a). *European Sustainable Clothing Action Plan. LIFE ECAP on LIFE Public Database*. https://webgate.ec.europa.eu/life/publicWebsite/project/LIFE14-ENV-UK-000257/european-sustainable-clothing-action-plan#

European Commission (2026). *First Circular Economy Action Plan.* https://environment .ec.europa.eu/topics/circular-economy-topics/first-circular-economy-action-plan_en

European Parliament (2009). *Ecodesign Directive 2009/125/EC*. https://eur-lex.europa. eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32009L0125

European Parliament (2023). *Circular Economy: Definition, İmportance and Benefits. https://* www.europarl.europa.eu/topics/en/article/20151201STO05603/circular-economy-definition-importance-and-benefits

Fletcher, K. & Grose, L. (2012). *Fashion and Sustainability: Design for Change*. London: Laurence King Publishing.

Fletcher, K. & Tham, M. (2019). *Earth Logic Fashion Action Research Plan*. London: The J. J. Charitable Trust.

GFA Global Fashion Agenda. (2019). *Pulse of the Fashion Industry*. https://globalfashionagenda.org/pulse-of-the-industry/

Kearney (2025). *The Kearney CFX 2025 report: circular fashion growing but still not at scale*. https://www.kearney.com/industry/consumer-retail/article/the-kearney-cfx-2025-report-circular-fashion-growing-but-still-not-at-scale

Koca, E., Koç, F. (2023). Sürdürülebilirlik Bağlamında Kumaş Artıkları ile Döngüsel Tasarımlar: Kolaj Ceket Örnekleri (73-106), *21. Yüzyılda Sanat Yorumları* içinde. Ankara: Iksad Publications. ISBN: 978-625-367-455-7

Koç F., Koca, E. (2019). Türk Halk Giysilerinin Biçimlendirilmesinde Tasarrufa Yönelik Terzilik Uygulamaları. *Ankara Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi* 4-6 Ekim Ankara, pp.223-235

Oxfam (2019).*Fast fashion produces more carbon emissions per minute than driving a car around the world six times*. https://www.oxfam.org.uk/mc/wk76b9/

PBL [Planbureau voor de Leefomgeving] Netherlands Environmental Assessment Agency (2018). ***Circulaire economie:*** *wat we willen weten en kunnen meten. Den Haag. PBL-publicatienummer: 2970, RIVM rapportnummer 2017-0203*

Radjou, N., Prabhu, J. (2015). *Frugal Innovation: How to do more with less*. Hachette India ISBN: 9350099861, 9789350099865

Sajdeh, R., Martinez-Pardo, C., Felde, A. M., Lange, T., Tieri, E., & Evans, E. (2025). *Spinning Textile Waste into Value.* https://www.bcg.com/publications/2025/spinning-textile-waste-into-value

Stahel, Walter R. (2016). *Circular Economy. Nature*, 531 (7595), 435-438. https://doi.org/10.1038/531435a

Textilexchange (2026). *We're guiding a global community towards more purposeful materials production*. https://textileexchange.org/our-story/

The Fashion Pact (2026). Circular Economy. https://www.thefashionpact.org/area-of-action/circular-economy/

UNEP (2026). *Minimizing fashion's environmental footprint.* https://www.unep.org/annualreport/2025/stories/minimizing-fashions-environmental-footprint

Unıted Nations (2026). *The 17 Goals.* https://sdgs.un.org/goals

Webster, K. (2015). *The Circular Economy: A Wealth of Flows.* UK Isle of Wight:Ellen MacArthurFoundation. ISBN 0992778425, 9780992778422

Whieldon, E., Costello, L. & Rossi, S. (2023*). Fast on fashion, slow on sustainability: Clothing companies and the circular economy.* https://www.spglobal.com/sustainable1/en/insights/fast-on-fashion-slow-on-sustainability-clothing-companies-and-the-circular-economy

Woensel, L. & V., Lipp, S.S.(2020). *AT A GLANCE Scientific Foresight: What if?* EPRS | European Parliamentary Research Service, Scientific Foresight Unit (STOA), PE 656.296. https://www.europarl.europa.eu › thinktank › document

Yuan, Z., Bi, J. & Moriguichi, Y., 2008. The Circular Economy: A NewDevelopment Strategy in China. *J. Ind. Ecol.* 10, 4–8.

DOĞU KARADENIZ'DE ATMACACILIK KÜLTÜRÜ: ÇATIŞAN DEĞERLER VE KÜLTÜREL MIRASIN MÜZAKERESI

THE CULTURE OF FALCONRY IN THE EASTERN BLACK SEA REGION: CONFLICTING VALUES AND THE NEGOTIATION OF CULTURAL HERITAGE

Res. Asst. Dr. Sercan DAĞLI
Department of Sociology, Faculty of Arts and Sciences, Artvin Çoruh University, Artvin, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2261-9774

Özet

Atmacacılık kadim Anadolu medeniyetlerinden başlayarak kültürel yaşamın önemli bir parçası olmuştur. Osmanlı Devleti'nde kurumsallaşan atmacacılık, hem merkezde kurulan Atmacacı, Doğancı, Şahinci gibi ocaklarda hem de taşradaki benzer teşkilatlanmalar ile varlığını sürdürmüştür. Türkiye'de genel olarak unutulmuş olan bu gelenek Doğu Karadeniz'de halen kuşaklar boyunca aktarılmakta ve yabani atmacaların izin verilen bir dönemde yakalanması, eğitilmesi, avcılıkta kullanılması ve doğaya salınmasını içeren köklü bir kültürel pratik olarak varlığını sürdülmektedir. Bölge insanının yerel kültürel birikimi, kültürel kimliği ve doğayla kurduğu ilişkinin önemli bir parçası olan atmacacılık, son yıllarda yaban hayatının korunması konusundaki tartışmaların odağında yer almaktadır. Doğa Derneği'nin 2021-2022 Av Dönemi Merkez Av Komisyonu (MAK) Kararı'nın iptali istemiyle açılan davada bölgede atmacaların yakalanması için kullanılan "ğaço/ciciyen" olarak bilinen kızıl sırtlı örümcek kuşunun yakalanmasının Danıştay tarafından yasaklanması ile tartışmalar yoğunlaşmıştır. Bölgede faaliyet gösteren Atmacacılar Dernekleri tarafından yapılan itirazlar sonucunda 4915 sayılı Kara Avcılığı Kanunu kapsamında yapılan değişiklikle "geleneksel avcılık" faaliyetleri kapsamına alınan atmacacılığın, 2025-2026 MAK kararı ile yakalama, bulundurma ve atmaca ile avlanma konularında usul ve uygulamaları belirlenmiştir. UNESCO tarafından somut olmayan kültürel miras statüsünde bulunan atmacacılık (falconry) etrafındaki tartışmalar kültürel miras ile hayvan hakları ve refahı etrafında şekillenmektedir. Bu çalışmada, atmacalılık kültürünün taşıdığı bu çatışan değerlerin farklı toplumsal aktörler tarafından nasıl anlamlandırılıp, müzakere edildiği incelenecektir. Nitel araştırma yaklaşımı kullanılarak fenomenolojik desen üzerinden tasarlanacak çalışmanın sahası Hopa, Arhavi, Fındıklı ve Ardeşen ilçelerinde yapılacaktır. Atmacacılar, ilgili kurumlar, yerel halk ve hayvan ve çevre hakları konusunda faaliyet gösteren aktörlerle yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılarak verilerin toplanılması planlanmaktadır. Saha verilerinin yargı kararları, kurumsal belgeler, mevzuatlar ve haberler gibi dökümanlar tarafından desteklenmesi düşünülmektedir. Literatürdeki araştırmalar kültürel mirasın ve yaban hayatının korunması üzerine yoğunlaşırken bu çalışmada farklı görüşlerin ve çatışan değerlerin müzakere süreçleri ele alınarak literatüre katkı sağlaması hedeflenmektedir.
Anahtar Kelimeler: atmacacılık, kültür çalışmaları, insan-hayvan ilişkileri

Abstract

Falconry has been an important part of cultural life since the ancient civilizations of Anatolia. Institutionalized during the Ottoman Empire, falconry continued to thrive both in the central "ocak" (guilds) such as the Atmacacı, Doğancı, and Şahinci, as well as in similar organizations in the provinces. Although this tradition has generally been forgotten in Turkey, it continues to be passed down through generations in the Eastern Black Sea region, where it persists as a deep-rooted cultural practice involving the capture of wild falcons during a permitted period, their training, use in hunting, and release back into the wild. Falconry, an integral part of the local cultural heritage, cultural identity, and the relationship with nature for the people of the region, has been at the center of debates on wildlife conservation in recent years. Debates intensified following the Council of State's ban on the capture of the red-backed shrike -known locally as "ğaço / ciciyen"- which is used to catch falcons in the region, in a lawsuit filed by the Nature Association seeking the annulment of the Central Hunting Commission (MAK) Decision for the 2021–2022 Hunting Season. As a result of objections raised by falconry associations operating in the region, falconry was included within the scope of "traditional hunting" activities through amendments made under the Land Hunting Law No. 4915; the procedures and practices regarding the capture, possession, and hunting with falcons were established by the 2025–2026 MAK decision.

Debates surrounding falconry—which is recognized by UNESCO as intangible cultural heritage—are shaped by tensions between cultural heritage and animal rights and welfare. This study will examine how these conflicting values inherent in falconry culture are interpreted and negotiated by various social actors. Designed as a qualitative study using a phenomenological approach, the research will be conducted in the districts of Hopa, Arhavi, Fındıklı, and Ardeşen. Data will be collected through semi-structured interviews with falconers, relevant institutions, local residents, and actors active in the fields of animal and environmental rights. It is anticipated that the field data will be supported by documents such as court rulings, institutional records, legislation, and news reports. While existing research in the literature has focused on the protection of cultural heritage and wildlife, this study aims to contribute to the literature by examining the negotiation processes of differing perspectives and conflicting values.
Keywords: falconry, cultural studies, human-animal relations

VİETNAM'DA TURİZM DESTİNASYONLARININ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ RİSKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

A COMPARATIVE ASSESSMENT OF TOURISM DESTINATIONS IN VIETNAM IN TERMS OF CLIMATE CHANGE RISKS

Asst. Prof. Dr. Ayşe Selin DÜLGER
Department of Tourism Management, Faculty of Tourism, Ankara Hacı Bayram Veli University, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8897-013X

Özet
İklim değişikliği ile turizm arasında çift yönlü bir ilişki bulunmaktadır. Özellikle planlamasız gerçekleştirilen turizm faaliyetleri iklim değişikliğinin etkilerini hızlandırırken iklim değişikliği de turizm sektörünü çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları ile etkilemektedir. Deniz seviyesi yükselmesi, kıyı erozyonu, aşırı yağışlar, tropikal fırtınalar, taşkınlar, kuraklık, sıcaklık artışı ve biyolojik çeşitlilik kaybı gibi iklim değişikliğinin sebep olduğu riskler özellikle kıyı destinasyonlarının sürdürülebilirliğini ve burada gerçekleştirilen turizm faaliyetlerini tehdit etmektedir. Güneydoğu Asya anakarasının en doğusunda bulunan ve önemli bir turizm ülkesi olan Vietnam, özellikle uzun kıyı şeridine sahip olması sebebiyle iklim değişikliğinin etkilerine karşı yüksek düzeyde kırılganlık göstermektedir. Buna rağmen mevcut literatürde belirli destinasyonlar özelinde yapılmış çalışmalar olduğu fakat ülke genelindeki turizm destinasyonlarının iklim değişikliği riskleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirildiği bir çalışmanın olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmanın amacı, Vietnam'ın en popüler turizm destinasyonları olan Ha Long Bay, Hoi An Ancient Town, Da Nang, Nha Trang, Phu Quoc, Mekong Deltası, Imperial City of Huế, Sa Pa, Phong Nha-Ke Bang National Park ve Trang An Landscape Complex'in iklim değişikliği risklerinin belirlenmesi ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş ve doküman incelemesi yapılmıştır. Araştırmanın veri kaynaklarını 2015 yılında IPCC tarafından yayımlanan Fifth Assessment Report (AR5) and its implication to Vietnam Raporu, 2020 yılında Ministry of Industry and Trade of the Socialist Republic of Vietnam tarafından yayımlanan 2021 yılında Dünya Bankası tarafından yayımlanan Climate Risk Country Profile Vietnam raporu, 2023 yılında UNEP tarafından yayımlanan Vietnam's Climate Risks and Best Practices for TCFD Disclosure Raporu, 2026 yılında Germanwatch tarafından yayımlanan Climate Rick Index 2026 Raporu oluşturmaktadır. Raporlardan elde edilen veriler içerik analizi ile incelenerek her bir destinasyonun maruz kaldığı iklim riskleri, bu risklerin turizm faaliyetleri üzerindeki etkileri açısından değerlendirilecektir. Çalışmanın, Vietnam'daki turizm destinasyonlarının maruz kaldıkları iklim değişikliği risklerini bütüncül bir yaklaşım ile ortaya koyarak Vietnam'da turizmin sürdürülebilir bir şekilde gelişmesine yönelik öneriler sunması beklenmektedir.
Anahtar Kelimeler: iklim değişikliği, sürdürülebilir turizm, Vietnam

Abstract
There is a two-way relationship between climate change and tourism. In particular, tourism activities carried out without proper planning accelerate the effects of climate change, while climate change also affects the tourism sector in environmental, economic, and social terms. Risks caused by climate change—such as sea-level rise, coastal erosion, extreme rainfall, tropical storms, floods, drought, rising temperatures, and loss of biodiversity—pose a particular threat to the sustainability of coastal destinations and the tourism activities conducted there. Located at the easternmost tip of mainland Southeast Asia and a major tourism destination, Vietnam exhibits a high level of vulnerability to the effects of climate change, particularly due to its extensive coastline. Nevertheless, it was concluded that while there are studies focusing on specific destinations in the existing literature, there is no study that comparatively evaluates tourism destinations across the country in terms of climate change risks. The objective of this study is to identify and comparatively assess the climate change risks facing Vietnam's most popular tourism destinations: Ha Long Bay, Hoi An Ancient Town, Da Nang, Nha Trang, Phu Quoc, the Mekong Delta, the Imperial City of Huế, Sa Pa, Phong Nha-Ke Bang National Park, and the Trang An Landscape Complex.

To this end, a qualitative research approach was adopted and a literature review was conducted. The data sources for the study included the Fifth Assessment Report (AR5) published by the IPCC in 2015 and its implications for Vietnam, the 2021 “Climate Risk Country Profile: Vietnam” report published by the World Bank in 2021, the “Vietnam’s Climate Risks and Best Practices for TCFD Disclosure” report published by UNEP in 2023, and the “Climate Risk Index 2026” report published by Germanwatch in 2026. The data obtained from these reports will be analyzed using content analysis to assess the climate risks faced by each destination and their impacts on tourism activities. The study is expected to identify the climate change risks faced by tourism destinations in Vietnam through a holistic approach and to offer recommendations for the sustainable development of tourism in Vietnam.
Keywords: climate change, sustainable tourism, Vietnam

TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ OKUL ÖNCESİ EĞİTİM PROGRAMININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK EĞİTİMİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

AN EXAMINATION OF THE CENTURY OF TÜRKIYE EDUCATION MODEL PRESCHOOL EDUCATION PROGRAM IN TERMS OF EDUCATION FOR SUSTAINABILITY

Prof. Dr. Fatma TEZEL ŞAHİN
Division of Preschool Education, Department of Basic Education, Gazi Faculty of Education, Gazi University, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2098-2411

Graduate Student Elmas HOLOĞLU
Institute of Graduate Studies, Bayburt University, Bayburt, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-0130-705X

Assoc. Prof. Dr. Cansu TUTKUN
Division of Preschool Education, Department of Basic Education, Faculty of Education, Bayburt University, Bayburt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2722-2274

Özet
Bu araştırmanın amacı, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Okul Öncesi Eğitim Programı'nı sürdürülebilirlik eğitiminin kapsamı, görünürlüğü ve uygulamaya yansıma biçimleri açısından incelemektir. Araştırma nitel araştırma desenlerinden doküman incelemesine göre yürütülmüştür. Veri kaynağını Millî Eğitim Bakanlığı tarafından yayımlanan 2024 Okul Öncesi Eğitim Programı oluşturmuştur. Programın amaçları, temel ilkeleri, alan becerileri, öğrenme çıktıları, okuryazarlık becerileri, Erdem-Değer-Eylem Çerçevesi, öğrenme ortamları ve örnek planları betimsel içerik analiziyle incelenmiştir. Kodlamada çevresel, ekonomik ve toplumsal sürdürülebilirlik boyutları ile farkındalık, bilgi, beceri, değer ve eylem düzeyleri esas alınmıştır. Bulgular, sürdürülebilirliğin programda bağımsız bir okuryazarlık alanı olarak tanımlandığını ve özellikle fen alanı, sürdürülebilirlik okuryazarlığı, temizlik, tasarruf, sorumluluk ve okul dışı öğrenme bağlamlarında ele alındığını göstermiştir. Çevresel boyutta geri dönüşüm, atık yönetimi, doğal kaynakların korunması, iklim değişikliği, kirlilik, doğaya duyarlılık ve açık hava deneyimleri öne çıkmaktadır. Ekonomik boyutun daha çok tasarruf, bilinçli tüketim ve israftan kaçınma; toplumsal boyutun ise iş birliği, sorumluluk, aile-toplum katılımı ve gelecek nesillere karşı duyarlılık üzerinden yapılandırıldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte sürdürülebilirliğin çevresel boyutunun diğer boyutlara göre daha belirgin olduğu; çocukların karar alma, yerel sorunlara çözüm üretme ve uzun süreli eylem projelerine katılımına yönelik açıklamaların sınırlı kaldığı görülmüştür. Sonuç olarak programın erken çocuklukta sürdürülebilirlik eğitimi için güçlü bir kavramsal temel sunduğu, ancak dengeli ve eylem odaklı uygulamalar için öğretmenlere örnek etkinlikler, değerlendirme ölçütleri ve proje önerileri sağlanmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, okul öncesi eğitim, sürdürülebilirlik eğitimi, program incelemesi, doküman analizi

Abstract
This study aimed to examine the Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program in terms of the scope, visibility, and practical representation of education for sustainability. The study was conducted through document analysis, a qualitative research method. The data source was the 2024 Preschool Education Program published by the Ministry of National Education. The program's aims, basic principles, domain-specific skills, learning outcomes, literacy skills, Virtue-Value-Action Framework, learning environments, and sample plans were examined using descriptive content analysis. The coding framework included the environmental, economic, and social dimensions of sustainability, together with the levels of awareness, knowledge, skills, values, and action.

The findings showed that sustainability is defined as an independent literacy area and is addressed particularly through science skills, sustainability literacy, cleanliness, thrift, responsibility, and out-of-school learning. Recycling, waste management, protection of natural resources, climate change, pollution, sensitivity to nature, and outdoor experiences were prominent in the environmental dimension. The economic dimension was mainly structured around thrift, conscious consumption, and avoidance of waste, whereas the social dimension was represented through cooperation, responsibility, family and community participation, and concern for future generations. However, the environmental dimension was more visible than the economic and social dimensions, and explanations concerning children's participation in decision-making, generating solutions to local problems, and engaging in long-term action projects were limited. In conclusion, the program provides a strong conceptual foundation for education for sustainability in early childhood. Nevertheless, sample activities, assessment criteria, and locally grounded project suggestions may help teachers implement the program in a more balanced and action-oriented manner.
Keywords: Century of Türkiye Education Model, preschool education, education for sustainability, curriculum review, document analysis

Introduction

Sustainable development is widely understood as a holistic approach that meets present needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs and therefore requires environmental, social, and economic dimensions to be considered together. In the United Nations 2030 Agenda for Sustainable Development, education is positioned not only as a distinct goal but also as a key transformative force that enables progress toward the other Sustainable Development Goals. Target 4.7 of Goal 4 on quality education calls for all learners to acquire, by 2030, the knowledge and skills needed to promote sustainable development (United Nations, 2015). UNESCO (2020) likewise emphasizes that education for sustainable development should go beyond the transmission of knowledge by fostering cognitive, socio-emotional, and behavioral learning outcomes that enable individuals to contribute to transformation in their daily lives and communities.

Early childhood is a critical developmental period during which the foundations of values, attitudes, and everyday habits related to sustainable living are established. Tendencies such as forming relationships with nature, caring for living things, using resources carefully, sharing, fairness, cooperation, and responsibility begin to develop in the early years of life. Education for sustainability in early childhood should therefore not be limited to knowledge about environmental protection; it should support children in recognizing, in developmentally appropriate ways, the relationships among natural, social, and economic systems, thinking about problems, participating in decision-making processes, and taking meaningful action (Siraj-Blatchford et al., 2010). Core characteristics of early childhood education, including play, inquiry, direct experience, family participation, and interaction with the immediate environment, provide important opportunities for sustainability education to be implemented in concrete and experiential ways.

Nevertheless, education for sustainability in early childhood has long been closely associated with environmental education, with topics such as spending time in nature, recycling, and protecting living things often receiving greater visibility than social and economic sustainability. Davis (2009) found that much of the early childhood literature focused on education about or in the environment, whereas studies of education for the environment, in which children are positioned as active agents capable of contributing to change, remained limited. Hedefalk et al. (2015) similarly identified different teaching approaches in research on education for sustainable development in early childhood and emphasized the need for further examination of practices that can foster children's action competence. This makes it necessary to evaluate not only which sustainability topics are included in curricula but also how the child is positioned and what opportunities for participation are provided.

National curricula are key policy documents that shape how sustainability is translated into educational practice. Concepts, learning outcomes, values, teaching processes, and assessment tools explicitly included in a curriculum guide teachers' classroom practices. Studies examining preschool curricula across countries have shown that sustainability is often represented implicitly and that children are not always sufficiently visible as decision-makers, participants, and agents of change for a sustainable future (Weldemariam et al., 2017). Comparing curriculum documents from China and Norway, Li et al.

(2019) found that the emphasis placed on the environmental, economic, and sociocultural dimensions of sustainability varies according to cultural and institutional context, and that approaches to working with families and communities also shape curricular understandings of sustainability. In their examination of the Swedish preschool curriculum, Borg and Pramling Samuelsson (2022) highlighted the importance of making all three dimensions of sustainability visible in an integrated manner while explicitly supporting children's participation and agency at the curriculum level.

Published in Türkiye in 2024, the Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program was designed as a skills-based and holistic curriculum that connects Turkish language, mathematics, science, social, movement and health, art, and music domain skills with conceptual skills, social-emotional learning skills, dispositions, values, and literacy skills. Within the program structure, sustainability literacy is presented as an independent literacy area, while values such as sensitivity, responsibility, thrift, and cleanliness are directly or indirectly associated with sustainability (Millî Eğitim Bakanlığı [MEB], 2024). Learning outcomes in the science and social domains address recycling, the use of natural resources, climate change, pollution, and environmental problems; learning environments emphasize outdoor and out-of-school learning; and the planning process highlights family and community participation. This scope makes the program an important subject of examination from the perspective of education for sustainability in early childhood.

The purpose of this study was to examine the Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program in terms of the scope, visibility, integration, and action orientation of education for sustainability. Accordingly, the following questions were addressed: (1) In which structures and components of the program is sustainability represented explicitly or implicitly? (2) How are the environmental, economic, and social dimensions of sustainability represented in the program? (3) How is sustainability-related content structured at the levels of awareness, knowledge, skills, values, and action? (4) What are the program's strengths and areas for development with respect to children's participation, decision-making, generating solutions to local problems, and engaging in long-term action?

Materials and Methods

The study was conducted using document analysis, a qualitative research method. Document analysis involves the systematic review, evaluation, and interpretation of written materials related to a research problem (Bowen, 2009). This method was selected because it enables the aims, content, pedagogical approach, and implementation expectations of a curriculum to be analyzed as an integrated whole.

The data source was the 353-page Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program published by the Ministry of National Education in 2024. The review covered the program's aims and basic principles; its overall structure; the seven domain skills and their learning/sub-learning outcomes; social-emotional learning skills; conceptual skills; dispositions; the Virtue-Value-Action Framework; literacy skills; differentiation; planning and implementation; family/community participation; in-school and out-of-school learning environments; assessment; monthly and daily sample plans; and the value and literacy tables included in the appendices. Because the program is a publicly available official document, ethics committee approval was not required for this study.

Descriptive content analysis was used to analyze the data. The analytical framework was developed on the basis of the environmental, economic, and social dimensions of sustainability and the awareness, knowledge, skills, values, and action levels of education for sustainability. The environmental dimension encompassed natural resources, living things, ecosystems, climate, pollution, waste, recycling, reuse, outdoor environments, and relationships with nature. The economic dimension included thrift, waste avoidance, the distinction between needs and wants, conscious consumption, product choice, and efficient use of resources. The social dimension included justice, equality, solidarity, health, responsibility, family-community cooperation, shared living, and intergenerational responsibility. Children's choices, decision-making, problem identification, solution generation, project implementation, and evaluation of outcomes were coded under action and participation.

The analysis was conducted in two stages. In the first stage, the program was searched for the Turkish equivalents of key expressions such as sustainability, recycling, waste, thrift, wastage, conscious consumption, climate, natural resources, pollution, outdoor, responsibility, cleanliness, family participation, and community participation.

In the second stage, the sections containing these keywords were reread in context. Uses of the same words that were unrelated to sustainability were excluded, whereas content related to one of the three dimensions was coded even when the term sustainability was not explicitly used. The unit of analysis was a sentence, explanatory paragraph, learning/sub-learning outcome, value-related action, planning component, or activity example. A single text unit could be coded under more than one dimension and learning level.

A visibility level was used to interpret the findings. A dimension represented through explicit statements, learning outcomes, and implementation examples in at least four different program components was classified as having 'high' visibility; regular representation in two or three components was classified as 'moderate'; and representation in only one component or predominantly implicit treatment was classified as 'limited'. To enhance the traceability of the review, the findings identify relevant program sections and page numbers and consider both supportive and limiting examples. This study examines the opportunities afforded by the official curriculum text and does not provide direct evidence of how teachers implement the program in classrooms.

Table 1. Analytical framework for education for sustainability

Analytical dimension	Scope	Indicator codes	Learning level
Environmental	Relationship with natural systems and responsible use of environmental resources	Natural resources, climate, pollution, living things, recycling, waste, reuse, outdoor learning	Awareness, knowledge, skills, values, action
Economic	Responsible production-consumption and use of limited resources	Thrift, avoidance of waste, needs-wants distinction, conscious consumption, efficient use, product choice	Awareness, knowledge, skills, values, action
Social	Well-being, justice, participation, and shared responsibility in communal life	Cooperation, equality, solidarity, health, responsibility, family-community participation, future generations	Awareness, knowledge, skills, values, action
Child agency	Children's capacity to influence matters concerning their everyday lives	Choice, decision-making, question generation, problem identification, solution development, projects, and evaluation	Participation and action
Holistic integration	Interrelationships among environmental, economic, and social dimensions	Interdisciplinary links, value-skill-literacy integration, local and everyday-life contexts	Transfer and change

Findings and Discussion

Positioning Sustainability as an Explicit Program Component

The Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program explicitly positions sustainability as a literacy area. In the diagram describing the program structure, sustainability literacy is listed alongside information, digital, visual, cultural, citizenship, and data literacies (MEB, 2024, p. 14). In Appendix 16, sustainability literacy is structured under two integrated skills: 'understanding sustainability and sustainable development' and 'understanding sustainable and unsustainable systems.' At the preschool level, the process components are expressed as becoming aware of sustainable and unsustainable processes and identifying these processes (MEB, 2024, pp. 336-337).

This explicit naming is significant because cross-national research indicates that sustainability is often represented indirectly rather than stated explicitly in early childhood curricula (Weldemariam et al., 2017).

Despite this structural visibility, the program recommends that all literacy skills at the preschool level be addressed at the 'awareness' level, while functionality and action-oriented levels are developed at later stages of education (MEB, 2024, p. 110). This approach is developmentally understandable insofar as it avoids placing abstract and complex expectations on young children. However, it creates a tension between the program's broader orientation toward skills and action and the predominantly awareness-based positioning of sustainability literacy. The early childhood sustainability education literature emphasizes that action need not involve complex political or technical interventions. Turning off unused lights, reorganizing material use, caring for a shared garden, making joint decisions about ways to reduce waste, or sharing a local problem with families are developmentally appropriate examples of action competence in early childhood (Hedefalk et al., 2015; Siraj-Blatchford et al., 2010). Accordingly, domain skills and value-related actions in the program should be integrated so that sustainability literacy extends beyond awareness.

Sustainability is also linked to the Virtue-Value-Action Framework. The value of sensitivity includes valuing all living and non-living entities and caring about sustainability; thrift involves using material resources in a planned manner, avoiding waste, and becoming a conscious consumer; cleanliness involves contributing to quality of life and sustainability by caring for the cleanliness of one's environment; and responsibility involves fulfilling duties toward oneself and one's surroundings (MEB, 2024, pp. 107-108). In the appendices, these values are translated into observable actions such as choosing domestically produced products and products that contribute to sustainability, participating in efforts to prevent food waste, implementing energy-saving plans, keeping natural resources clean, recognizing the importance of effective waste management, and making efforts to leave a clean environment for future generations (MEB, 2024, pp. 330-332). Linking sustainability to everyday behavior rather than treating it as a separate topic is one of the program's strengths.

Environmental Sustainability

The environmental dimension is the most visible and extensively addressed dimension of sustainability in the program. Direct learning outcomes in the science domain include classifying materials for recycling, observing the effects of human behavior on the environment, evaluating personal use of natural resources based on data, predicting future problems arising from climate change, pollution, and resource depletion, questioning the importance of plants for sustainable living, explaining ways in which materials can be reused, and sharing views on the sustainable use of natural resources (MEB, 2024, pp. 49-53). Explanations accompanying these outcomes recommend classroom recycling bins, water-saving activities, recycling projects, and a water-conservation campaign. Environmental sustainability is therefore addressed not only at the level of knowledge but also through skills such as observation, classification, prediction, model building, use of evidence, inquiry, and communication.

The social domain extends environmental content through geographical inquiry and fieldwork. Children are expected to investigate geographical events in their immediate surroundings, such as climate change, flooding, and deforestation, and to observe examples of positive and negative uses of natural resources in environments such as forests, natural parks, lakes, and rivers (MEB, 2024, p. 57). This approach creates a connection between global environmental problems and children's immediate surroundings. Place-based and field-based experiences are important for education for sustainability in early childhood because they enable children to perceive a problem not as a distant and abstract issue but as part of the environment in which they live. Place-based learning likewise emphasizes sustained engagement with the local context as children develop the capacity to contribute to change.

The program's principles regarding learning environments also support environmental sustainability. It recommends establishing an outdoor learning center and, when conditions permit, ensuring that children spend a certain part of the day outdoors (MEB, 2024, p. 9). The section on out-of-school learning environments includes natural areas, museums, science centers, and community institutions and emphasizes planning, safety, observation, and reporting processes. In the music center, making simple instruments from waste and leftover materials is directly associated with creativity, sustainability, and recycling (MEB, 2024, pp. 127-128).

These elements demonstrate that sustainability can be embedded not only in the content of planned activities but also in the organization and use of the learning environment.

The strength of the environmental dimension derives from the diversity of its pedagogical forms. The program includes direct experiences in nature, scientific inquiry, reuse, data-based evaluation, fieldwork, project ideas, artistic production, and value-related actions. However, environmental content is distributed across different sections and may remain fragmented unless teachers deliberately connect these elements. For example, a recycling activity may remain at the level of sorting materials unless it is linked to consumption choices, resource use, family practices, and the local waste system. The literature cautions that equating sustainability primarily with recycling and nature activities can narrow the field and obscure its social and economic dimensions (Davis, 2009; Borg & Pramling Samuelsson, 2022). The program's rich environmental content should therefore be used not as the entirety of education for sustainability but as an entry point to integrated learning.

Economic Sustainability: Thrift and Conscious Consumption

The economic dimension is represented mainly through finance-related content in the social domain and the value of thrift. In the social domain, children are expected to become familiar with the concepts of money, price, products, and services through symbolic play, temporary market centers, and everyday-life examples. They are encouraged to use piggy banks, distinguish between needs and wants, and question whether they genuinely need a product they like. The program explicitly emphasizes avoiding waste and developing awareness of thrift (MEB, 2024, p. 69). These experiences can support early understandings of consumption, limited resources, and decision-making without relying on abstract economic concepts that are developmentally inappropriate.

The value of thrift presented in the appendices gives the economic dimension a stronger sustainability orientation. Actions in this category include prioritizing needs when choosing products, preferring domestically produced products and products that contribute to sustainability, recognizing the harms of waste, participating in efforts to prevent food waste, using time efficiently, implementing energy-saving plans, and using possessions efficiently (MEB, 2024, pp. 330-331). Thus, thrift is not treated solely as saving money; it is connected to consumption ethics, energy use, and efficient use of material resources.

Nevertheless, the economic dimension is developed less systematically and more narrowly than the environmental dimension. Economic sustainability is addressed primarily at the level of individual thrift and consumer choice. Sharing resources, repairing instead of purchasing new items, common use, product life cycles, labor, fair production, and the relationship between local production and community well-being are not treated as sustained curricular content. In early childhood, these topics could be addressed through concrete practices such as a toy-sharing library, a repair workshop, exchange of unused materials, tracing where food comes from, or planning a classroom activity with limited resources. Such practices could support children in understanding the economic dimension not merely as personal thrift but as responsible participation in systems of production and consumption.

Social Sustainability: Values, Cooperation, Family, and Community

The social dimension is represented through values, social-emotional learning, democratic classroom relationships, health, cooperation, family participation, and community partnerships. The program expects educational environments to respond to individual differences, be inclusive and democratic, and support children's social acceptance and positive character development (MEB, 2024, pp. 8-10). The Virtue-Value-Action Framework includes values such as justice, family integrity, friendship, sensitivity, compassion, freedom, respect, responsibility, and helpfulness. These values are associated with equality, solidarity, respect for rights, care for all living things, and responsibility toward society and the environment (MEB, 2024, pp. 107-109). This broad value base supports the sociocultural dimension of sustainability.

Family and community participation is an important structural component of the program. Monthly and daily plans are expected to include family/community participation, and educational processes are to be supported through family communication, family education, participation inside and outside the classroom, home visits, field trips, and community partnerships (MEB, 2024, pp. 114-123). Community participation is defined as the connections and collaborations established among preschool institutions, families, and community organizations to support children's health and skill development.

Partnerships with municipalities, universities, libraries, museums, non-governmental organizations, and health and social service institutions are explicitly recommended. These mechanisms provide a suitable infrastructure for locally grounded sustainability projects.

However, the examples in the family and community participation section are generally broad and are not consistently linked to sustainability outcomes. The program establishes an organizational channel but largely leaves the content of sustainability-based collaboration to the teacher. A family water-use diary, neighborhood waste map, visit to a local producer, school garden, biodiversity observation route, or a campaign conducted jointly with a municipality could connect social participation with environmental and economic learning. International curriculum analyses indicate that family and community participation is a distinctive factor in adapting sustainability to the local context of early childhood education (Li et al., 2019). The program's strong participation infrastructure should therefore be supported with concrete examples of sustainability-focused practice.

Levels of Awareness, Knowledge, Skills, Values, and Action

When the program is examined in terms of learning levels, sustainability-related content appears strong at the levels of awareness, knowledge, skills, and values. Awareness is explicitly emphasized within sustainability literacy. Knowledge is supported through explanations of recycling, environmental problems, natural resources, prices, needs, and waste. Skills are developed through observation, classification, data collection, prediction, model building, use of evidence, geographical inquiry, communication, and problem solving. The value dimension is supported through sensitivity, thrift, cleanliness, and responsibility. Some statements also extend to behavioral and action levels, including participating in efforts to prevent food waste, implementing energy-saving plans, demonstrating exemplary waste-management behaviors, organizing a water-conservation campaign, developing a recycling project, and revising a model on the basis of results.

Despite these action-oriented examples, action is not equally systematic throughout the program. Some outcomes use strong verbs such as 'participates,' 'implements,' 'protects,' 'makes an effort,' 'proposes a model,' and 'revises the model.' However, the planning and assessment sections do not provide a specific process for monitoring children's sustainability-related decisions, contributions, and changes over time. In other words, opportunities for action exist, but they are not organized into a consistent progression of identifying a problem, investigating it, making decisions together, taking action, evaluating results, and sustaining action. Hedefalk et al. (2015) emphasize that action competence does not simply mean that children perform a predetermined 'correct' behavior; it requires opportunities to encounter different perspectives, discuss them, and exert influence on the issue.

The role assigned to the child therefore presents a mixed picture. Overall, the program adopts a child-centered, play-based, and inquiry-oriented approach and encourages children to ask questions, make choices, propose solutions, and share their views. It also calls for democratic environments in which children can express their ideas independently. These principles support child agency. In sustainability-related examples, however, the teacher often predetermines the problem, the appropriate behavior, and the intended outcome. Opportunities for children to decide which local problem is important, discuss alternative solutions, make collective decisions, or communicate their findings to community stakeholders are less visible. According to Borg and Pramling Samuelsson (2022), child agency in education for sustainability involves ensuring that children's voices are heard, enabling them to make choices and decisions about everyday life, and supporting their capacity to act. From this perspective, the program's child-centered principles should be translated more explicitly into sustainability-specific participation processes.

Table 2. Sustainability-related content across program components

Program component	Prominent sustainability-related content	Analytical assessment
Program structure and literacy	Sustainability literacy as an independent area; awareness of sustainable/unsustainable processes and systems (pp. 14, 110, 336-337).	The explicit structural position is strong; preschool process components are narrow and awareness-focused.

Program component	Prominent sustainability-related content	Analytical assessment
Science and social domain skills	Recycling, reuse, natural resources, climate change, pollution, human impacts, plants for sustainable living, fieldwork, and data-based assessment (pp. 49-57).	The environmental dimension has high visibility and is integrated with inquiry skills.
Virtue-Value-Action Framework	Sensitivity, responsibility, thrift, and cleanliness; food and energy conservation, conscious product choice, waste management, and future generations (pp. 107-109, 326-332).	There are strong links between values and everyday behaviors, including observable action statements.
Learning environments	Outdoor learning center, regular outdoor experiences, out-of-school settings, and reuse of waste materials in learning centers (pp. 9, 124-133).	Supports experiential and place-based learning; implementation depends on local opportunities.
Planning and assessment	Integration of literacies, values, and family/community participation into monthly and daily plans; skill observation forms and reports (pp. 114-123, 134-139).	An integration infrastructure exists, but there are no sustainability-specific assessment criteria.
Family and community participation	Partnerships with families, municipalities, universities, museums, NGOs, and health and social service institutions (pp. 118-123).	High potential for local action; examples of sustainability-focused partnerships are limited.
Sample plans and appendices	Sustainability literacy in plans; projects, thrift, and waste-related practices in value actions (pp. 140-244, 325-337).	Initial examples are available, but long-term and child-led projects are not modeled systematically.

Holistic Evaluation of the Three Dimensions

The analysis shows that the program includes all three dimensions of sustainability, although they are not equally visible. Environmental sustainability has high visibility because it appears in domain learning outcomes, explanations, learning environments, values, project examples, and plans. Economic sustainability has moderate visibility and is structured mainly around thrift, avoidance of waste, and conscious consumption. Social sustainability also has moderate visibility through values, inclusive and democratic environments, health, cooperation, and family/community participation. However, social sustainability is rarely named directly as a distinct dimension, and its relationship with environmental and economic issues is mostly left implicit.

One of the program's strongest features is its potential for horizontal integration. Water, for example, can be linked to scientific observation, data collection, mathematical representation, expression through language, art, responsibility, thrift, family participation, and a local community project. Similarly, food waste can be addressed through health, conscious consumption, data literacy, family routines, social solidarity, and environmental impacts. The program's holistic, child-centered, and skills-based architecture therefore provides a suitable foundation for integrated education for sustainability. However, because there is no explicit integrated sustainability planning model, responsibility for making these connections remains with the teacher.

This finding is consistent with international curriculum research. Weldemariam et al. (2017) found that sustainability ideas were dispersed and implicit in many curricula, requiring practitioners to interpret how such content should be integrated.

Borg and Pramling Samuelsson (2022) likewise underscore the importance of recognizing the environmental, social, and economic dimensions together with children's agency in preschool education for sustainability. By explicitly naming sustainability literacy and linking values to actions, the Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program represents an important step. Realizing this potential, however, requires guidance on how to design integrated, locally meaningful learning sequences grounded in children's participation.

Table 3. Overall visibility, strengths, and areas for development

Dimension	Visibility and strengths	Areas for development
Environmental - High	Rich outcomes related to resources, recycling, climate, and pollution; opportunities for outdoor and inquiry-based learning.	Avoid reducing sustainability to recycling; connect environmental problems with consumption, justice, and community systems.
Economic - Moderate	Thrift, needs-wants distinction, conscious consumption, food/energy conservation, and efficient use of resources.	Include sharing, repair, product life cycles, local production, and shared-resource management.
Social - Moderate	Justice, cooperation, health, responsibility, inclusion, and a strong family/community participation structure.	Make sustainability links explicit; add examples related to intergenerational responsibility and local social issues.
Child agency/action - Limited-Moderate	Opportunities for inquiry, problem solving, model development, campaigns, and projects.	Establish an identify-investigate-decide-act-evaluate cycle; increase child decision-making and long-term projects.
Holistic integration - Moderate	The skill-value-literacy architecture enables interdisciplinary planning.	Provide integrated activity sequences, assessment criteria, and locally adaptable project models.

Conclusion and Recommendations

The Century of Türkiye Education Model Preschool Education Program provides a strong conceptual and pedagogical foundation for education for sustainability in early childhood. Sustainability is explicitly named as a literacy area; environmental issues are linked to science and social domain skills; and the values of sensitivity, responsibility, thrift, and cleanliness are supported through observable actions. The program also offers important opportunities for practice through outdoor learning, out-of-school environments, family/community participation, project-based learning, use of data, and values education. These features can be regarded as an important advance compared with curricular frameworks in which sustainability remains entirely implicit.

The environmental dimension is more visible than the economic and social dimensions. Recycling, reuse, natural resources, climate change, pollution, living things, and outdoor experiences are addressed in detail. Economic sustainability is represented primarily through thrift, conscious consumption, and avoidance of waste, whereas social sustainability is represented through justice, cooperation, health, responsibility, and family/community participation. Although all three dimensions are present, their interdependence is not consistently articulated. Sustainability literacy is generally positioned at the awareness level, while action-oriented outcomes are distributed across other sections of the program. Consequently, implementation may vary according to teachers' knowledge and their capacity to establish interdisciplinary connections.

The program's approach to child agency is promising but requires greater clarity. Children are encouraged to ask questions, make observations, propose models, explain their views, and participate in certain thrift or waste-management practices.

However, in sustainability-related examples, children are not consistently positioned as co-decision-makers who identify local problems, discuss alternatives, select actions, and evaluate change over time. Connecting the program's democratic, child-centered, and inquiry-oriented principles to an explicit cycle of participation and action could strengthen the transformative potential of education for sustainability. Several recommendations can be made on the basis of the findings.

First, an implementation guide should be developed to show how the environmental, economic, and social dimensions can be integrated within developmentally appropriate learning sequences. Second, the program should provide project examples adaptable to different local contexts, including water use, food waste, biodiversity, clean energy, repair and reuse, local production, shared spaces, and neighborhood well-being. Third, each project model should include children's questions, decision points, family/community roles, documentation, and assessment stages. Fourth, sustainability-specific observation indicators could be added to existing assessment tools; these indicators should address not only knowledge but also resource-use habits, cooperation, reasoning, participation, and reflection on the outcomes of actions. Fifth, teacher education and professional development should address the holistic meaning of sustainability, ways of discussing uncertain or contested issues with young children, and approaches to supporting child agency without transferring adult anxieties to children.

Finally, sustainability should be treated not as a collection of activities conducted on particular days or weeks but as an ongoing culture of the preschool institution. Material use, food-related practices, water and energy routines, outdoor spaces, purchasing decisions, relationships with families, and community partnerships should be consistent with the learning experiences offered to children.

Future research could examine how teachers understand the sustainability components of the program, how these components are enacted in classrooms, children's participation in local projects, and the effectiveness of sustainability-related assessment tools. Comparisons with previous preschool curricula in Türkiye and with curricula from other countries could also clarify the distinctive contributions and implementation needs of the 2024 program.

References

Borg, F., & Pramling Samuelsson, I. (2022). Preschool children's agency in education for sustainability: The case of Sweden. European Early Childhood Education Research Journal, 30(1), 147-163. https://doi.org/10.1080/1350293X.2022.2026439

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. Qualitative Research Journal, 9(2), 27-40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Davis, J. (2009). Revealing the research 'hole' of early childhood education for sustainability: A preliminary survey of the literature. Environmental Education Research, 15(2), 227-241. https://doi.org/10.1080/13504620802710607

Hedefalk, M., Almqvist, J., & Östman, L. (2015). Education for sustainable development in early childhood education: A review of the research literature. Environmental Education Research, 21(7), 975-990. https://doi.org/10.1080/13504622.2014.971716

Li, M., Zhang, Y., Yuan, L., & Birkeland, Å. (2019). A critical analysis of education for sustainability in early childhood curriculum documents in China and Norway. ECNU Review of Education, 2(4), 441-457. https://doi.org/10.1177/2096531119893483

Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli: Okul öncesi eğitim programı [Century of Türkiye Education Model: Preschool education program]. https://tymm.meb.gov.tr/ogretim-programlari/ders/okul-oncesi

Siraj-Blatchford, J., Smith, K. C., & Pramling Samuelsson, I. (2010). Education for sustainable development in the early years. World Organisation for Early Childhood Education (OMEP).

UNESCO. (2020). Education for sustainable development: A roadmap. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802

United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. https://sdgs.un.org/2030agenda

Weldemariam, K., Boyd, D., Hirst, N., Sageidet, B. M., Browder, J. K., Grogan, L., & Hughes, F. (2017). A critical analysis of concepts associated with sustainability in early childhood curriculum frameworks across five national contexts. International Journal of Early Childhood, 49, 333-351. https://doi.org/10.1007/s13158-017-0202-8

BERBERİNİN HİPERTİROİDİYE BAĞLI TESTİS HASARINDAKİ ETKİLERİNİN GPX4, GJA1 VE BAX GEN İFADELERİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF BERBERINE ON HYPERTHYROIDISM-INDUCED TESTICULAR DAMAGE VIA GPX4, GJA1, AND BAX GENE EXPRESSIONS

Lecturer İlknur KARALEZLİ
Vocational School of Health Services, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5278-9064

Asst. Prof. Dr. Melek ALTUNKAYA
Vocational School of Health Services, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6228-7831

Dr. Muhammed Emin SARI
Department of Medical Biology, Faculty of Medicine, Necmettin Erbakan University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4921-5312

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, deneysel hipertiroidi oluşturulan sıçanların testis dokularında antioksidan savunma (GPX4), hücreler arası iletişim (GJA1) ve apoptoz (BAX) ile ilişkili genlerin mRNA seviyelerindeki değişimleri ve Berberis vulgaris tedavisinin bu gen ekspresyonları üzerindeki olası koruyucu etkisini incelemektir. Çalışmada 36 adet erkek sıçanlar rastgele 6 gruba ayrılmıştır: kontrol, hipertiroidi, B. vulgaris 50 mg/kg, B. vulgaris 100 mg/kg, hipertiroidi + B. vulgaris 50 mg/kg ve hipertiroidi + B. vulgaris 100 mg/kg. Deneysel hipertiroidi modelini indüklemek amacıyla sıçanlara 21 gün süresince intraperitoneal yolla 400 µg/kg L-tiroksin uygulandı. Aynı 21 günlük periyotta, B. vulgaris ekstresi gavaj yoluyla (50 veya 100 mg/kg/gün dozlarında) verildi. Deney bitiminde eksize edilen testis dokularından RNA izolasyonu gerçekleştirildi ve GPX4, GJA1 ile BAX genlerinin bağıl ekspresyon seviyeleri GAPDH referans geni kullanılarak kantitatif RT-qPCR ile analiz edildi. Deneysel hipertiroidi grubunda GPX4, GJA1 ve BAX genlerinin transkripsiyon seviyelerinde kontrol grubuna kıyasla belirgin baskılanma gözlendi ($p<0.05$). Hipertiroidi+ B. vulgaris 50 mg/kg grubunda bu baskılanma devam etti ve gen seviyeleri düşük kalarak iyileşme sağlanamadı. Buna karşın, hipertiroidi + 100 mg/kg berberin uygulanan grupta hipertiroidi grubuna kıyasla GJA1 ve BAX gen ekspresyonlarında istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulundu ($p<0.05$). GPX4 ekspresyonunda ise artış eğilimi izlenmekle birlikte, bu durum istatistiksel anlamlılığa ulaşmamıştır. Deneysel hipertiroidi, testis dokusunda antioksidan kapasite, hücre sinyalizasyonu ve apoptotik yolaklarda görevli faktörler üzerinde yaygın bir transkripsiyonel baskılanmaya yol açmaktadır. Düşük doz (50 mg/kg) B. vulgaris tedavisi bu hücresel disfonksiyonu geri çevirmede yetersiz kalırken; yüksek doz (100 mg/kg) uygulama, hipertiroidinin neden olduğu gen regülasyon defektlerine (özellikle GJA1 geninde) karşı testis dokusunda doza bağımlı ve kısmi bir koruyucu etkinlik sergilemektedir. Elde edilen bu transkripsiyonel bulguların fonksiyonel düzeydeki karşılıklarının tam olarak aydınlatılabilmesi adına, hücresel düzeydeki sonuçların protein analizleri, histopatolojik değerlendirmeler ve çoklu referans gen validasyonu ile destekleneceği ileri çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hipertiroidi, Berberis vulgaris, Testis, Gen ekspresyonu, GPX4, GJA1, BAX.

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the changes in mRNA levels of genes related to antioxidant defense (GPX4), intercellular communication (GJA1), and apoptosis (BAX) in the testis tissues of rats with experimentally induced hyperthyroidism, and the possible protective effect of Berberis vulgaris treatment on these gene expressions. In the study, 36 male rats were randomly divided into 6 groups: control, hyperthyroidism, B. vulgaris 50 mg/kg, B. vulgaris 100 mg/kg, hyperthyroidism + B. vulgaris 50 mg/kg, and hyperthyroidism + B. vulgaris 100 mg/kg. To induce the experimental hyperthyroidism model, 400 µg/kg L-thyroxine was administered intraperitoneally to the rats for 21 days. During the same 21-day period, B. vulgaris extract was given via gavage (at doses of 50 or 100 mg/kg/day).

At the end of the experiment, RNA isolation was performed from the excised testis tissues, and the relative expression levels of GPX4, GJA1, and BAX genes were analyzed by quantitative RT-qPCR using the GAPDH reference gene. In the experimental hyperthyroidism group, a significant suppression in the transcription levels of GPX4, GJA1, and BAX genes was observed compared to the control group ($p<0.05$). In the hyperthyroidism + B. vulgaris 50 mg/kg group, this suppression continued, and gene levels remained low with no recovery achieved. In contrast, a statistically significant increase was found in GJA1 and BAX gene expressions in the hyperthyroidism + 100 mg/kg berberine administered group compared to the hyperthyroidism group ($p<0.05$). Although an upward trend was observed in GPX4 expression, this did not reach statistical significance. Experimental hyperthyroidism leads to widespread transcriptional suppression of factors involved in antioxidant capacity, cell signaling, and apoptotic pathways in the testis tissue. While low-dose (50 mg/kg) B. vulgaris treatment remains insufficient to reverse this cellular dysfunction, high-dose (100 mg/kg) administration exhibits a dose-dependent and partial protective efficacy in the testis tissue against gene regulation defects (especially in the GJA1 gene) caused by hyperthyroidism. In order to fully elucidate the functional counterparts of these transcriptional findings, further studies are needed in which the cellular-level results are supported by protein analyses, histopathological evaluations, and multiple reference gene validation.
Keywords: Hyperthyroidism, Berberis vulgaris, Testis, Gene expression, GPX4, GJA1, BAX.

KİTAİBELİA BALANSAE BOİSS. EKSTRAKTLARININ ANTİOKSİDAN VE ENZİM İNHİBİTÖR AKTİVİTELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

BIOLOGICAL AND THERAPEUTIC POTENTIAL OF KITAIBELIA BALANSAE BOISS.EXTRACTS:ANTIOXIDANT AND ENZYME INHIBITORY ACTIVITIES

Lecturer Dr. İlknur KARALEZLİ
Vocational School of Health Services, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5278-9064

ÖZET

Tıbbi ve aromatik bitkiler, içerdikleri fenolik bileşikler, flavonoidler ve diğer sekonder metabolitler nedeniyle önemli doğal biyoaktif madde kaynaklarıdır. Özellikle bitki kökenli antioksidanların oksidatif stresin azaltılmasındaki potansiyel rolleri ve çeşitli enzimler üzerindeki inhibitör etkileri, bu bitkilerin farmasötik ve nutrasötik açıdan değerlendirilmesine yönelik ilgiyi artırmıştır. Serbest radikallerin aşırı üretimi ile antioksidan savunma sistemleri arasındaki dengenin bozulması sonucu ortaya çıkan oksidatif stres; diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, nörodejeneratif hastalıklar, inflamatuvar bozukluklar ve yaşlanma süreçleriyle ilişkilendirilmektedir.

Malvaceae familyasına ait *Kitaibelia balansae* Boiss., Türkiye florasında doğal olarak bulunan ve halk hekimliğinde çeşitli iç ve dış ağrıların giderilmesinde kullanılan otsu bir bitkidir. Bununla birlikte, türün farklı polaritelere sahip çözücülerle elde edilen ekstraktlarının antioksidan özellikleri ve özellikle enzim inhibitör aktivitelerine ilişkin bilimsel veriler oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada, *Kitaibelia balansae*'nin etil asetat, metanol ve su ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid içeriklerinin belirlenmesi, farklı in vitro yöntemlerle antioksidan kapasitelerinin değerlendirilmesi ve α-amilaz, α-glukozidaz ve tirozinaz enzimleri üzerindeki inhibitör etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, *Kitaibelia balansae*'nin farklı polaritelere sahip çözücülerle hazırlanan ekstraktlarının farklı düzeylerde antioksidan ve enzim inhibitör aktivitelere sahip olduğu ortaya konulmuştur. Su ekstraktının yüksek toplam fenolik içeriğinin yanı sıra DPPH, ABTS, FRAP ve CUPRAC testlerinde güçlü antioksidan aktivite göstermesi, polar fenolik bileşiklerin türün antioksidan kapasitesinde önemli bir role sahip olabileceğini düşündürmektedir.

Buna karşılık etil asetat ekstraktı özellikle α-amilaz, α-glukozidaz ve tirozinaz inhibisyonu açısından öne çıkmıştır. Bu bulgular, antioksidan aktiviteden sorumlu bileşenler ile enzim inhibisyonundan sorumlu bileşenlerin farklı polarite özelliklerine sahip olabileceğine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, *K. balansae*'nin doğal antioksidan ve enzim inhibitörü bileşiklerin keşfi açısından umut verici bir bitkisel kaynak olabileceği düşünülmektedir. Özellikle α-amilaz ve α-glukozidaz üzerindeki inhibitör etkileri nedeniyle antidiyabetik potansiyeli, tirozinaz inhibisyonu nedeniyle ise dermatolojik ve kozmetik uygulamalardaki potansiyeli ileri araştırmalarda değerlendirilmelidir. Türün aktif bileşenlerinin tanımlanması, etki mekanizmalarının ortaya konulması ve biyolojik etkinliğinin doğrulanması amacıyla ileri fitokimyasal analizlere, in vivo deneylere ve toksikolojik çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Kitaibelia balansae*, antioksidan aktivite, enzim inhibisyonu, α-amilaz, α-glukozidaz, tirozinaz, fenolik bileşikler, flavonoidler.

ABSTRACT

Medicinal and aromatic plants are important natural sources of bioactive compounds due to their phenolic compounds, flavonoids, and other secondary metabolites. In particular, the potential roles of plant-derived antioxidants in mitigating oxidative stress and their inhibitory effects on various enzymes have increased interest in the pharmaceutical and nutraceutical applications of these plants. Oxidative stress, which results from an imbalance between excessive free radical production and antioxidant defense systems, has been associated with diabetes, cardiovascular diseases, neurodegenerative disorders, inflammatory conditions, and aging processes.

Kitaibelia balansae Boiss., a member of the Malvaceae family, is an herbaceous plant that occurs naturally in the flora of Türkiye and has traditionally been used in folk medicine to alleviate various internal and external pains.

However, scientific data regarding the antioxidant properties and, particularly, the enzyme inhibitory activities of extracts obtained from this species using solvents of different polarities remain limited.
This study aimed to determine the total phenolic and flavonoid contents of ethyl acetate, methanol, and aqueous extracts of Kitaibelia balansae, to evaluate their antioxidant capacities using different in vitro assays, and to investigate their inhibitory effects on α-amylase, α-glucosidase, and tyrosinase.
The findings demonstrated that Kitaibelia balansae extracts prepared using solvents of different polarities exhibited varying levels of antioxidant and enzyme inhibitory activities. In addition to its high total phenolic content, the aqueous extract exhibited strong antioxidant activity in the DPPH, ABTS, FRAP, and CUPRAC assays, suggesting that polar phenolic compounds may play an important role in the antioxidant capacity of this species.
In contrast, the ethyl acetate extract was particularly prominent in terms of α-amylase, α-glucosidase, and tyrosinase inhibition. These findings indicate that the compounds responsible for antioxidant activity and those contributing to enzyme inhibition may possess different polarity characteristics.
In conclusion, K. balansae may represent a promising plant source for the discovery of natural antioxidant and enzyme-inhibitory compounds. Its potential antidiabetic properties, associated with the inhibition of α-amylase and α-glucosidase, as well as its potential applications in dermatological and cosmetic fields due to tyrosinase inhibition, warrant further investigation. Further phytochemical analyses, in vivo studies, and toxicological evaluations are required to identify the active constituents, elucidate their mechanisms of action, and confirm the biological efficacy of this species.
Keywords: Kitaibelia balansae, antioxidant activity, enzyme inhibition, α-amylase, α-glucosidase, tyrosinase, phenolic compounds, flavonoids.

KENT İÇİ DENIZ TOPLU TAŞIMACILIĞINDA KULLANICI DENEYIMI ODAKLI İYILEŞTIRME ÖNCELIKLERI: İSTANBUL BOSTANCI ÖRNEĞI

USER EXPERIENCE-FOCUSED IMPROVEMENT PRIORITIES IN URBAN MARITIME PUBLIC TRANSPORT: THE CASE OF ISTANBUL BOSTANCI

Dr. Ceyhun İLSEVER
Department of Architecture, Faculty of Art, Design and Architecture, İstanbul Okan University, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0826-1873

Özet
Kent içi deniz toplu taşımacılığı, kıyı kentlerinde hareketlilik, erişilebilirlik, kamusal alan ve günlük kentsel deneyimin önemli bir bileşenidir. Bu çalışma, İstanbul'daki Bostancı Vapur İskelesi ve çevresini ele almaktadır. Alan, kara ulaşımı açısından güçlü bir erişilebilirliğe sahip olmasına rağmen deniz ulaşımı hizmetlerinin sınırlı olduğu bir bölgedir. Çalışmanın amacı, kullanıcı deneyimi odaklı iyileştirme önceliklerini, mevcut koşullara ilişkin memnuniyet ile deniz ulaşımını etkileyen hizmet kriterlerinin algılanan önemini karşılaştırarak belirlemektir. Yapılan anketin verileri; toplu taşıma entegrasyonu, fiziksel erişim, fiyatlandırma, arazi kullanımı uyumu, konfor, güvenlik, bilgilendirme ve mekânsal okunabilirlik olmak üzere sekiz kriter üzerinden analiz edilmiştir. Memnuniyet ile algılanan önem arasındaki fark "öncelikli müdahale açığı" olarak tanımlanmış ve iyileştirilmesi gereken alanlar belirlenmiştir. Sonuçların tutarlılığını sağlamak için güvenilirlik testleri ve sağlamlık kontrolleri yapılmıştır.
Bulgular, tüm kriterlerde algılanan önemin memnuniyetten yüksek olduğunu göstermektedir. En büyük ve en tutarlı açıklar fiyatlandırma, toplu taşıma entegrasyonu ve konfor alanlarında; ardından bilgilendirme ve yön bulma/okunabilirlikte görülmektedir. Bu sonuçlar, deniz ulaşımının bağımsız bir hat olarak değil, günlük kentsel hareketlilik sisteminin bütünleşik bir parçası olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. Çalışma, entegrasyonun güçlendirilmesi, erişilebilirliğin artırılması, konforun iyileştirilmesi ve mekânsal okunabilirliğin geliştirilmesinin kullanıcı deneyimini önemli ölçüde artıracağını ve Bostancı'nın kent içi deniz ulaşımındaki rolünü güçlendireceğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kent içi deniz toplu taşımacılığı; kullanıcı deneyimi; ulaşım entegrasyonu; Bostancı Vapur İskelesi

Abstract
Urban maritime public transport is a key element of mobility, accessibility, public space, and everyday urban experience in coastal cities. This study focuses on the Bostancı Ferry Pier in Istanbul and its surrounding area, which is characterized by strong accessibility through land-based transport but relatively limited maritime service frequency and quality. The main objective is to identify user experience–oriented improvement priorities by comparing user satisfaction with existing conditions and the perceived importance of service criteria in influencing maritime transport use. Survey data were analyzed using eight criteria: public transport integration, physical accessibility, pricing, land use compatibility, comfort, safety, information provision, and spatial legibility. The difference between satisfaction levels and perceived importance was defined as the "priority intervention gap," allowing the identification of areas requiring urgent improvement. Reliability tests and robustness checks were conducted to ensure the consistency and stability of the results.
Findings indicate that perceived importance consistently exceeds user satisfaction across all evaluated criteria. The most significant and stable gaps are observed in pricing, public transport integration, and comfort, followed by information quality and wayfinding/legibility. These results suggest that maritime transport should not be considered an isolated ferry operation but rather an integrated component of the broader daily urban mobility system. The study concludes that enhancing integration with other transport modes, improving affordability, increasing comfort, and strengthening spatial legibility are critical for improving user experience. Addressing these priorities can significantly enhance the role and development potential of Bostancı as an important kent içi maritime transport node within Istanbul's multimodal transport network.
Keywords: Urban maritime public transport; user experience; transport integration; Bostancı Ferry Pier

FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARINA TERS YÜZ ÖĞRENME MODELİNE DAYALI DERS MODÜLÜ GELİŞTİRME YETKİNLİĞİ KAZANDIRILMASI: BİR TÜBİTAK 3005 PROJESİ ÖRNEĞİ

ENABLING PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS CREATE LESSON MODULES USING THE FLIPPED LEARNING MODEL: AN EXAMPLE FROM A TUBITAK 3005 PROJECT

Prof. Dr. Fulya ÖNER ARMAĞAN
Department of Mathematics and Science Education, Faculty of Education, Erciyes University, Kayseri, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2085-1390

Dr. Melek KARACA
Independent Researcher, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6957-5932

Özet
Bu araştırmanın amacı, fen bilgisi öğretmen adaylarına Ters Yüz Öğrenme Modeline (TYÖM) dayalı ders modülleri hazırlama yetkinliği kazandırmayı hedefleyen bir TÜBİTAK 3005 projesinin yöntemsel ve uygulamalı çerçevesini sunmaktır. Araştırmanın çalışma grubunu, amaçlı örnekleme yöntemlerinden uygun örnekleme ile seçilen Erciyes Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliği Anabilim Dalı'nda öğrenim gören 3. ve 4. sınıf öğretmen adayları oluşturmaktadır. Araştırmada, nicel ve nitel yöntemlerin bir arada kullanıldığı karma araştırma yönteminin gömülü deseni işe koşulmuştur. Projenin birincil veri kaynağını eylem araştırması kapsamında toplanan nitel veriler oluştururken, ikincil veri kaynağını ise tek gruplu deneysel desen kapsamında elde edilen nicel veriler oluşturmaktadır. Nitel veriler, süreç içerisinde uygulanan "doküman analizi formu" ve atölye çalışmaları sonrasında gerçekleştirilen "yarı yapılandırılmış görüşme formu" aracılığıyla toplanmıştır. Nicel veriler ise proje kapsamında özgün olarak geliştirilen "Ters Yüz Öğrenme Ölçeği" ve "Modül Hazırlama Yetkinlik Ölçeği" ile ön test-son test düzeninde elde edilmiştir. Nitel verilerin analizinde içerik analizi gerçekleştirilirken, nicel verilerin analizinde SPSS 27, LISREL 8.80 ve Microsoft Excel programlarından yararlanılmıştır. Proje sürecinde öğretmen adaylarına Web 2.0 ve Web 3.0 araçlarıyla desteklenmiş örnek bir modül tanıtılmış ve kendi modüllerini geliştirmeleri sağlanmıştır. Elde edilen ders modüllerinin açık erişimli bir web platformunda paylaşılması planlanmaktadır. Bu çalışma, öğretmen adaylarının dijital pedagojik yetkinliklerini artırmanın yanı sıra, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından "Nitelikli Eğitim" maddesine ve 12. Kalkınma Planı politikalarına katkı sunması bakımından yüksek yaygın etki potansiyeline sahiptir.
Anahtar Kelimeler: Ters Yüz Öğrenme Modeli, Modül Geliştirme, Fen Bilgisi Öğretmen Adayları, TÜBİTAK 3005, Karma Yöntem

Abstract
The aim of this study is to present the methodological and practical framework of a TÜBİTAK 3005 project aimed at providing pre-service science teachers with the competence to develop lesson modules based on the Flipped Learning Model (FLM). The study group consists of 3rd and 4th-year pre-service science teachers studying at Erciyes University, selected through convenience sampling, a purposive sampling method. An embedded design, one of the mixed research methods combining quantitative and qualitative approaches, was utilized. The primary data source of the project comprises qualitative data collected within the scope of action research, while the secondary data source consists of quantitative data obtained within a single-group experimental design. Qualitative data were collected through a "document analysis form" administered during the process and a "semi-structured interview form" conducted after the workshops. Quantitative data were gathered in a pretest-posttest design using the "Flipped Learning Scale" and "Module Development Competence Scale," which were uniquely developed within the project. Content analysis of the qualitative data was performed, while quantitative data were analyzed using SPSS 27, LISREL 8.80, and Microsoft Excel. During the project, a sample module supported by Web 2.0 and Web 3.0 tools was introduced to the pre-service teachers, enabling them to develop their own modules. The resulting lesson modules are planned to be shared on an open-access web platform.

In addition to enhancing pre-service teachers' digital pedagogical competencies, this study has a high potential for widespread impact by contributing to the "Quality Education" goal of the Sustainable Development Goals and the policies of the 12th Development Plan.
Keywords: Flipped Learning Model, Module Development, Pre-service Science Teachers, TÜBİTAK 3005, Mixed Methods

Giriş

Öğrencilerin 21. yüzyıl ve eğitim teknolojilerini kullanma becerilerini geliştirmek günümüzde giderek önem kazanmaya başlamıştır (Ananiadou & Claro, 2009; Kostaris vd., 2017). Bilimsel ve teknolojik gelişmeler öğrencilerin öğrenmelerini kolaylaştıran ve bireysel farklılıklarını dikkate alan teknolojik uygulamaların kullanımını yaygınlaştırmıştır (Blau & Shamir-Inbal, 2017; Persico & Pozzi, 2015). Bu durum da günümüzde çoklu öğrenme ortamlarının önem kazanmasını, yüz yüze ile uzaktan eğitimi entegre eden öğrenme modellerinin yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır (Banditvilai, 2016; Cheng vd., 2019; Wei vd., 2020). Bu modellerden birisi de teknoloji ile birleştirilen harmanlanmış öğrenme modellerinden Ters Yüz Öğrenme Modelidir (TYÖM) (Cheng vd., 2019). Öğretmenin rehber olduğu süreçte öğrencilere evde ve okulda zengin öğrenme fırsatlarının sunulması gerekmektedir (Grabau, 2015). Bu şekilde öğrenciler öğrenmelerini düzenleyebilmekte ve öğrenme sürecinde aktif olabilmektedir. Nitekim alan yazında sınıf içi ve sınıf dışı öğrenme ortamlarının iyi organize edildiği TYÖM'nin öğrenciye birçok açıdan katkı sunduğu yer almaktadır (Bond, 2020; Jdaitawi, 2020). TYÖM'nin akademik başarıyı olumlu etkilediği ve kalıcı öğrenmeyi sağladığı vurgulanmaktadır (Peterson, 2016; Touchton, 2015).

Alan yazında TYÖM, öğrencilere 21. yy becerilerini kazandırmada etkili ve gelecekte kullanımı giderek artacak çok değerli bir model olarak görülmektedir. Yapılan literatür taraması ve öğretmenlerle yapılan ihtiyaç analizi görüşmelerinden elde edilen verilere göre sahadaki fen bilimleri öğretmenlerinin ters yüz öğrenme ile ilgili MEB kazanımlarına uygun içerik bulmakta zorlandıkları ve özellikle okul dışı zamanlarda anlık dönüt için ekstra zaman ve çaba harcamak durumunda kaldıkları belirlenmiştir. Analiz sonuçlarına göre sahada görev yapan öğretmenlerden az bir miktarı yeni/alternatif öğrenme modellerini öğrenip, araştırıp kullanmaya isteklilerdir. Öte yandan, bu istek ve çaba çoğu zaman bireysel düzeyde kalmakta ve yanlış/eksik uygulamalara neden olabilmektedir. Ne yazık ki saha çalışmaları bize tablonun böyle olmadığını, TYÖM uyguladığını zanneden iyi niyetli eğitimcilerin okul dışı uygulamalarda anlık dönüt vermediklerini, klasik ödev mantığı ile hareket ettiklerini göstermektedir. Anlık dönüt veren çok az sayıdaki eğitimcinin de dinlenme saatlerinden ekstra fedakârlık ve çaba gösterdiği bilinmektedir. Fen eğitiminde TYÖM kullanılırken iş birliği yapamama, zamanı verimli kullanamama, anlık dönüt verememe ve derse hazır gelememe gibi zorluklarla karşılaşılmaktadır. Sahadaki öğretmenlerin MEB kazanımlarına uygun içerik bulmakta zorlandıkları, ders dışı uygulamalarda klasik ödev mantığıyla hareket ettikleri ya da anlık dönüt vermek için ekstra zaman harcadıkları görülmektedir. Buna ek olarak, yakın zamanda sahada görev yapacak öğretmen adaylarının da öğrenme süreçlerinde teknoloji kullanım yeterliklerinin istenilen düzeyde olmadığı tespit edilmiştir (Yontar, 2019).

Bu araştırmanın amacı, fen bilgisi öğretmen adaylarına ortaokul fen bilimleri öğretim programı kazanımlarına ve TYÖM'e uygun ders içeriği ve modülleri hazırlama yetkinliği kazandırmayı hedefleyen bir TÜBİTAK 3005 projesinin yöntemsel, uygulamalı çerçevesini ve bulgularını sunmaktır. Proje kapsamında öğretmen adaylarının teknoloji farkındalığı ile yetkinliklerinin artırılması, hazırlanan modüllerin açık erişimli bir web platformunda yayınlanarak öğretmenlerin kullanımına sunulması ve öğretim programı hazırlayıcılarına örnek teşkil etmesi hedeflenmiştir.

Yöntem

Araştırma Deseni

Araştırmada nicel ve nitel yöntemlerin bir arada kullanıldığı karma araştırma yönteminin **gömülü deseni** kullanılmıştır. Projenin birincil veri kaynağını eylem araştırması kapsamında toplanan nitel veriler, ikincil veri kaynağını ise tek gruplu deneysel desen kapsamında elde edilen nicel veriler oluşturmaktadır. Araştırma kapsamında belirlenen problem durumu ve çözümüne yönelik eylem planının ana hatları şöyledir:

1.Araştırma probleminin belirlenmesi: Proje kapsamında alanında uzman üç fen eğitimcisi tarafından yapılan literatür taraması ve ön görüşmeler sonucunda, ters yüz öğrenme modelini kullanmanın fen eğitiminin amaçlarına ulaşma noktasında olumlu katkı sağladığı ancak öğretmenlerin elinde MEB öğretim programına uygun bir içerik olmadığı için ekstra zaman ve çaba harcamak durumunda kaldıkları ve anlık dönüt vermede zorlandıkları belirlenmiştir.

2.Eylem planının hazırlanması: Projede fen bilgisi öğretmen adaylarına, ortaokul fen bilimleri öğretim programı kazanımlarına ve ters yüz öğrenme modeline uygun ders içeriği hazırlama ve uygulama yetkinliği kazandırılmasının bahsi geçen problemi çözeceği önerilmektedir. Bu projede, öğretmen adayları tarafından ortaokulun 5, 6, 7 ve 8. sınıf düzeyini kapsayan ve fizik, kimya, biyoloji ünitelerinden birer tane ortaokul MEB ünitelerini içeren Fen Bilimleri Modülleri hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda, modül hazırlama yetkinliği kazanan öğretmen adaylarının sahada aktif görev aldıklarında deneyim kazandıkları için içerik üretmenin püf noktalarını bilmenin konforunu yaşayacakları umulmaktadır. Böylece sadece bilişsel yönde değil duyuşsal, psikomotor ve 21. yüzyıl becerileri kazandırma yönünde de öğrencilerin gelişimi sağlanması hedeflenmiştir.

3.Eylem planının uygulanması: Planlanan eylem planının ilk aşamasında alanında uzman fen eğitimcileri tarafından fen bilimleri öğretim programındaki "Asitler ve Bazlar" konusunu içeren ters yüz öğrenmeye dayalı örnek modül, proje sürecinde geliştirilecek olan "Modül Hazırlama Kılavuzu" kullanılarak hazırlama aşamaları ile gösterilmiştir. Bu uygulama ile özellikle ders öncesi süreçte anlık dönütün nasıl verileceği uygulamalı olarak gösterilmiştir. Ayrıca ters yüz öğrenme modüllerine yapay zeka odaklı uygulamaların (gamma.app; Gemini; ChatGBT; canva) entegresinin nasıl sağlanacağı açıklanmıştır. Özellikle ders öncesi ve ders esnasında öğrenme durumlarında ve ölçme/değerlendirme sürçlerinde yapay zeka uygulamalarının kullanımı uygulamalı olarak anlatılmıştır. Nitekim bu uygulamalarla teknolojiyi derslerine entegre etmede zorluk çeken (Akarsu & Güven, 2014; Sakız, 2024) fen bilimleri öğretmenlerinin yapay zeka odaklı teknolojiyi derslerinde kullanma becerisinin kazandırılması hedeflenmektedir.
Projede "Modül Hazırlama Kılavuzu" proje ekibinin yaptıkları ön doküman analizinden elde ettikleri veriler, ters yüz öğrenmeye ilişkin alan yazın taraması sonucu belirlenen problemler özellikle dikkate alınarak tasarlanmıştır. MEB kazanımlarına ek olarak konuya uygun duyuşsal, psikomotor ve 21. yüzyıl becerilerini kapsayan ek kazanımların nasıl yazılması gerektiği, etkinliklerin ters yüz öğrenmenin kilit noktalarına uygun olarak nasıl hazırlanacağı/üretileceği, ders öncesi, esnası ve sonrası etkinliklerin nasıl planlanması gerektiği, bireysel ve grup etkinliklerinin nerede, ne zaman kullanılacağı, süreç ve sonucu kapsayan ölçme-değerlendirmenin nasıl yapılması gerektiği gibi noktalar dikkate alınarak modül hazırlamanın bütün incelikleri katılımcılara ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Verilen modül hazırlama eğitiminden sonra katılımcılardan MEB fen bilimleri öğretim programında yer alan konulardan seçim yapmaları ve aldıkları eğitim doğrultusunda ters yüz öğrenmeye dayalı modül hazırlamaları istenmiştir. Katılımcılar bu süreçte yalnız bırakılmamış aksine her an proje ekibinin rehberliği ile desteklenmişlerdir. Katılımcılar, proje kapsamında "Modül Hazırlama Kılavuzu"nu kullanarak ters yüz öğrenmeye dayalı modül hazırlama sürecini yaparak-yaşayarak deneyimlemişlerdir.

4.Eylem planının değerlendirilmesi: Projenin nicel boyutu kapsamında, eylem planının etkililiğinin değerlendirilmesi için katılımcılara proje kapsamında hazırlanan, pilot çalışması (Kapsam, yapı ve ölçüt geçerliği, güvenirlik kontrolleri) yapılan ve yayın sürecinde olan "Modül Hazırlama Yetkinlik Ölçeği" uygulanmıştır. Buna ek olarak, ters yüz öğrenmeye dayalı hazırlanan modüller proje ekibi dışından olan fen eğitimi uzmanları tarafından yine proje kapsamında hazırlanan "Modül Değerlendirme Rubriği" ile değerlendirilmiş ve katılımcıların dönüt/düzeltmelere göre modül üzerinde çalışmaları istenmiştir. Ayrıca, projenin başlangıcında ve sonunda "Ters Yüz Öğrenme Ölçeği" uygulanarak öğretmen adaylarının algılarının değişme durumu belirlenmiştir.

5.Yeni eylem planının hazırlanması: Eylem planı başarılı olduğu için yeni bir eylem planına ihtiyaç duyulmamıştır.

Çalışma Grubu
Amaçlı örnekleme yöntemlerinden uygun örnekleme ile seçilen, Erciyes Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliği Anabilim Dalı'nda öğrenim gören 3. ve 4. sınıf düzeyindeki toplam 24 öğretmen adayı (19 kadın, 5 erkek) oluşturmaktadır. Katılımcılar, proje yürütücüsü tarafından açılan seçmeli derse gönüllü olarak katılmış ve 14 haftalık süreci eksiksiz tamamlamıştır. Katılımcıların TYÖM deneyimine sahip olma durumları ön görüşme kapsamında sorulmuştur.

Veri Toplama Araçları
Araştırmanın verileri, Ekinci ve arkadaşları (2023) tarafından hazırlanan "Ters Yüz Öğrenme Ölçeği" ve proje ekibi tarafından yapılandırmacı felsefeye uygun olarak hazırlanan, aşağıda taslak halleri ayrıntılı bir şekilde açıklanan ve proje sürecinde geliştirilip son halleri verilen "Modül Değerlendirme Rubriği" ve "Modül Hazırlama Yetkinlik Ölçeği" ile toplanmıştır. Proje öncesinde ve sonrasında araştırmacılar tarafından hazırlanan yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla katılımcılarla odak grup görüşmeleri gerçekleştirilmiştir.

Modül Değerlendirme Rubriği: Rubrik "alternatif ölçme değerlendirme araçlarından biri olup, bir çalışmayı değerlendirmek için gerekli kriterleri içeren puanlama cetveli olarak" tanımlanmaktadır (Andrade, 2000). Belirlenen standartlara sahip nitelikli çalışmalar ortaya koymak için tercih edilen Rubrikler ölçme değerlendirmenin yanı sıra ayrıntılı geri bildirim verebilmeyi de sağlar. Bu sayede yapılan çalışmaların güçlü ve zayıf yönleri net bir biçimde görülebilir (Andrade, 2000). Bu bağlamda, proje kapsamında öğretmen adayları tarafından hazırlanan ters yüz öğrenmeye dayalı modüllerin, MEB öğretim programına ve amaçlarına uygunluğunu çok yönlü olarak değerlendirmek amacıyla literatür destekli bir rubrik hazırlanmıştır. Rubrik hazırlanmadan önce proje ekibi tarafından modüler eğitim, modül destekli eğitim, modül değerlendirme, mikro öğretim gibi anahtar kelimeler kullanılarak literatür taraması yapılmıştır. Bu taramadan elde edilen ve projenin amacına uygunluğu proje ekibi tarafından kontrol edilen 85 maddelik bir madde havuzu oluşturulmuştur (Alpay, 2022; Gömleksiz ve Erten, 2010; Sevimli, 2020). Madde içerikleri incelenirken ters yüz öğrenmenin tanımı ve boyutları da göz önünde bulundurulmuştur. Başlangıçta rubriğin ters yüz öğrenmenin de doğasına uygun olarak ders öncesi, esnası ve sonrası olmak üzere üç boyuttan oluşması önerilmiştir. Yapılan tekrarlı görüşmelerde amaç, içerik, uygulama, ölçme ve değerlendirme gibi aşamaların ders öncesi, esnası ve sonrasında tekrar edilmesinin uzmanın değerlendirmesini yorucu ve zorlaştırıcı olacağına karar verilmiştir. Proje ekibinin yaptığı tekrarlı görüşmeler sonucunda madde içerikleri revize edilmiş ve amaç, içerik, uygulama, ölçme ve değerlendirme ile dil ve anlatım olmak üzere beş boyuttan oluşan 74 maddelik taslak rubrik oluşturulmuştur. Taslak rubrik, dokuz fen eğitimi uzmanının görüşlerine sunulmuştur. Uzmanın rubrik maddelerini, "Uygun, Düzeltilmeli, Uygun Değil, Gerekçe/Öneri" başlıklarını dikkate alarak değerlendirmeleri istenmiştir. Üç akademisyen ve beş fen bilimleri öğretmeni olmak üzere toplam sekiz uzman değerlendirmesi dikkate alınarak rubrikte yer alan her bir madde için CVI hesaplanmıştır. CVI nitel veri toplama araçlarının kapsam geçerliğini değerlendirmede kullanılan standarttır (Polit & Beck, 2006). Her bir madde için uygun oyu kullanan uzman sayısı toplam uzman sayısına bölünerek hesaplanır. Her bir maddenin CVI değeri hesaplandıktan sonra bütün CVI değerleri toplanıp rubrikte yer alan madde sayısına bölünerek Rubriğin tamamı için tam uzlaşı sağlanan madde katsayısı hesaplanmıştır (CVI=0,50). Bu değer 0,80'in altında kaldığı için rubrikte uzman dönütlerine göre revizyonlar yapılmıştır. Örneğin, uzman dönütlerine göre CVI değeri 0,25 olan "Modül ilgili sınıf düzeyi müfredatı kazanımlarına uygun olarak hazırlanmıştır.", "Etkinliklerin ders içi uygulanmasında öğrencilerin nasıl bir yol izleyecekleri (yönergelerinin) açık ve anlaşılır biçimde ifade edilmiştir." ve "Modülde ders öncesi ve sonrası etkinliklerin uygulanmasında veli rolü açıkça ifade edilmiştir." maddeleri revize edilerek rubriğe eklenmiştir. Örneğin, "Etkinliklerin ders içi uygulanmasında öğrencilerin nasıl bir yol izleyecekleri (yönergelerinin) açık ve anlaşılır biçimde ifade edilmiştir." maddesi "Etkinlik yönergeleri, öğrencilerin adım adım izlemesi için açık, anlaşılır ve uygulanabilir biçimde sunulmuştur" şeklinde revize edilmiştir. Ayrıca, bilişsel geçerliği kontrol etmek için rubrik maddelerindeki ifadelerin uzmanlar tarafından doğru anlaşılma durumu da kontrol edilmiştir.

Ters Yüz Öğrenme Ölçeği: Öğretmen adaylarının ters yüz öğrenme modeline ilişkin algılarını belirlemek amacıyla Ekinci ve arkadaşları (2023) tarafından geliştirilen ölçek kullanılmıştır.

Yapılandırmacı yaklaşım ve FLIP modelinin temel boyutları esas alınarak hazırlanan 5'li Likert tipindeki ölçek; Esnek Ortam (15 madde), Kasatlı İçerik (6 madde), Öğrenme Kültürü (16 madde) ve Uzman Eğitici (6 madde) olmak üzere 4 alt boyut ve toplam 43 maddeden oluşmaktadır. Ölçeğin açıklanan toplam varyansı %49,29'dur. Güvenirlik analizlerinde ölçeğin geneline ilişkin Cronbach Alpha iç tutarlık katsayısı $\alpha = 0{,}92$, bileşik güvenirlik katsayısı $CR = 0{,}96$; alt boyutlara ait Cronbach Alpha katsayıları ise 0,82 ile 0,91 arasında değişmektedir. Araştırmamızda ön test ve son test olarak uygulanan ölçeğin iç tutarlık katsayıları süreç öncesi ve sonrasında yeniden kontrol edilmiştir.

Modül Hazırlama Yetkinlik Ölçeği: Eylem planı uygulaması öncesinde ve sonrasında proje katılımcılarına uygulanan bu ölçek, "Modül Değerlendirme Rubriği" dikkate alınarak hazırlanmıştır. Rubrikteki maddeler, ters yüz öğrenmenin ilkeleri, boyutları ve literatür taraması sonucu 74 maddeden oluşan bir taslak ölçek elde edilmiştir. Taslak ölçek, proje ekibi dışında olan ve alanında uzman iki fen eğitimcisinin kontrolüne sunulmuştur. Uzman dönütlerinden biri "flipped learning" yabancı kaynaklarda model, yaklaşım, method gibi kavramlarla tanımlanmıştır. Türkçe literatürde ise öğrenim olarak çevrildiğini görmekteyiz. Tam bir görüş birliği olmasa da öğretimin uygun bir tanımlama olmadığı düşüncesindeyim. Bunun için yukarıda açıklaması yapılıp burada sadece TYÖ kısaltması ile verilebilir" şeklindedir. Bu öneri doğrultusunda taslak ölçeğin yönerge kısmına önerilen açıklama eklenip madde içeriklerinde sadece TYÖ kısaltması yazılmıştır. Uzman dönütlerine göre yapılan değişikliklerden sonra 10 madde negatif ifadeler haline getirilerek taslak ölçeğe son hali verilmiştir. Ölçeğe negatif madde eklenmesindeki amaç, cevapların objektif ve bilinçli olup olmama durumunu maddeleri karşılaştırarak kontrol etmektir. Böylece objektif cevaplanmayan ve araştırmanın geçerliğine zarar verecek katılımcılar analize dahil edilmemiştir. Proje sürecinde taslak hali elde edilen ölçeğin geçerlik ve güvenirlik kontrollerinin yapılması için devlet üniversitelerinin üçüncü ve dördüncü sınıfta öğrenim gören 406 öğretmen adayına Google form aracılığıyla pilot uygulama yapılmıştır. Başlangıçta 74 maddelik bir taslak ölçek oluşturulmuştur (Bishop & Verleger, 2013; Karaman, 2023; Yough vd., 2019). Ölçeğin kuramsal çerçevesi, beş temel boyuta dayandırılmıştır:

Süreç Odaklı Değerlendirme ve Anlık Dönüt Mekanizmaları: Ders öncesi, esnası ve sonrası bileşenlerinde alternatif ölçme araçlarının ve anlık geri bildirim sistemlerinin kurgulanması (Örn: Madde 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Öğretim Tasarımı Döngüsü ve Materyal Yapılandırma*:* Dersin farklı aşamalarını (ders dışı ve sınıf içi) kapsayan öğrenme yaşantılarının tasarlanması (Örn: Madde 8, 9, 12).

21. Yüzyıl Becerilerini Destekleme*:* Öğrencilerin analitik, yaratıcı ve karar verme becerileri ile takım çalışması ve iletişim yetkinliklerini geliştirecek etkinliklerin üretilmesi (Örn: Madde 15, 38, 50, 51, 52).

Pedagojik Rehberlik: Öğretmenin ders öncesi, esnası ve sonrasındaki rehberlik rollerinin ve öğrenci görevlerinin açıkça vurgulanması (Örn: Madde 39, 40, 41, 43, 44).

Kazanım-İçerik ve Amaca Uygunluk: Modül içeriklerinin hedeflenen fen bilimleri kavramları, üniteleri ve genel amaçlarla metodolojik olarak uyumlu olması (Örn: Madde 45, 47, 49).
Taslak ölçeğin yapı geçerliğini test etmek amacıyla öncelikle Açımlayıcı Faktör Analizi (AFA) yürütülmüştür. Veri setinin faktör analizine uygunluğu Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) değeri ve Bartlett Küresellik Testi bulgularıyla doğrulanmıştır. Faktör çıkarma yöntemi olarak veri tabanındaki varyansı en üst düzeye çıkaran Temel Bileşenler Analizi, ölçeğin alt boyutlarının kuramsal olarak birbiriyle ilişkili olduğu öngörüsü doğrultusunda ise döndürme yöntemi olarak eğik döndürme tekniklerinden Direct Oblimin tercih edilmiştir. Analizde maddelerin faktör yükü alt sınırı kabul edilebilir düzey olan ,30 olarak belirlenmiştir. Yapılan ilk analizler sonucunda, iki farklı faktördeki yük değeri arasındaki farkın ,10'dan az olduğu saptanan binişik maddeler ile havuzda yer alan olumsuz ifadeli ters maddelerden (Madde 10, 19, 23, 28, 42, 51, 56, 60, 67, 72) yapısal uyumu bozan ve faktör yükü ,30'un altında kalanlar ölçekten aşamalı olarak ayıklanmıştır. Elde edilen verilerin analizi sonucunda, KMO 0,96 olarak hesaplanmış ve bu yapı toplam varyansın %60,89'unu açıklamış, 53 maddeden oluşan ve yedi faktörlü bir yapı elde edilmiştir.

Her bir faktörde yer alan maddeler incelenmiş ve faktörler ölçme ve değerlendirme, olumsuz tutum, açık ve anlaşılırlık, amaca uygunluk, teknoloji entegrasyonu, rehberlik ve önlem alma, 21 yüzyıl becerileri şeklinde isimlendirilmiştir. Bu boyutlardan birinci faktörde dokuz madde, ikinci faktörde 10 madde, üçüncü faktörde beş madde, dördüncü faktörde altı madde, beşinci faktörde sekiz madde, altıncı faktörde 11 madde ve yedinci faktörde dört madde bulunmaktadır.

Doğrulayıcı Faktör Analizi (DFA) ve Uyum İndeksleri AFA ile elde edilen ve kuramsal boyutlarla örtüşen bu çok faktörlü yapının örneklem üzerindeki uyumunu test etmek amacıyla aynı veri seti üzerinden DFA gerçekleştirilmiştir. Modelin doğrulanmasında literatürde en yaygın kabul gören uyum indeksleri temel alınmış ve yapısal eşitlik modellemesinden şu bulgular elde edilmiştir: Ki-kare değerinin serbestlik derecesine oranı ($\chi 2/sd = 2,21$) ile mükemmel uyum, Karşılaştırmalı Uyum İndeksi (CFI = ,98) ve Yakın Uyum İndeksi (NNFI = ,91) ile iyi/kabul edilebilir uyum, Ortalama Hataların Karekökü (RMSEA = ,05) ve Standartlaştırılmış Kalanların Ortalama Karekökü (RMR = ,05) ile kabul edilebilir uyum düzeyinde sonuçlara ulaşılarak model veri uyumu istatistiksel olarak kanıtlanmıştır.

Yedi faktörlü yapıya sahip olan ölçek için faktörlerde yer alan maddelerin ilişkisine ait güvenirlik kanıtı amacıyla ortalama açıklanan varyans (AVE) ve bileşik güvenirlik (CR) katsayıları hesaplanmıştır. Tüm faktörlerin Alpha ile CR değerlerinin 0,70'in üzerinde olduğu görülmektedir. Ölçeğin geneli için Cronbach alfa güvenirliği 0,96, AVE değeri 0,39 ve CR değeri ise 0,71'dir. Bu bulgu faktörler altında bulunan maddelerle yapılacak olan ölçümlerin güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır (Fornell & Larcker, 1981; Hair et al., 2014). Bununla birlikte dördüncü faktör dışında tüm faktörlerin AVE değerleri 0,30 ile 0,50 arasında bulunmuştur. Alan yazında yakınsak geçerliğin AVE değerinin 0,50'den küçük ve CR değeri 0,60'tan büyük olması durumunda sağlandığı vurgulanmaktadır (Fornell & Larcker, 1981). AVE değerinin ölçek geliştirme çalışmalarında kapsam geçerliğinin bir ölçütü (Ghozali, 2014) olduğu düşündüğünde geliştirilen ölçek geçerli ve güvenilirdir. Geçerlik ve güvenirlik kontrolleri gerçekleştirilen bu ölçek projenin katılımcılarına ön test ve son test olarak uygulanmıştır. Ayrıca, ilgili ölçek makale formatına getirilme sürecindedir.

Ön görüşme ve Son görüşme Formları*:* Proje kapsamında katılımcıların uygulama öncesinde ters yüz öğrenmeye dayalı modül geliştirme ile ilgili düşüncelerini almak amacıyla proje ekibi tarafından yarı yapılandırılmış ön görüşme formu hazırlanmıştır. Bu form 10 soru ve fen bilgisi bağlantısı içeren sondaj sorulardan oluşmaktadır. Formda yer alan soruların uygunluğu alanında uzman üç fen eğitimcisinin tekrarlı görüşmeleri sonucunda revize edilerek geliştirilmiştir.

Proje kapsamında katılımcıların uygulama sonrasında ters yüz öğrenmeye dayalı modül geliştirme eğitimi ile ilgili düşüncelerini almak amacıyla proje ekibi tarafından yarı yapılandırılmış son görüşme formu hazırlanmıştır. Bu form dokuz soru ve fen bilgisi bağlantısı içeren sondaj sorulardan oluşmaktadır. Formda yer alan soruların uygunluğu alanında uzman üç fen eğitimcisinin tekrarlı görüşmeleri sonucunda revize edilerek son hali verilmiştir. Proje kapsamında seçmeli ders açılmadan önce yürütücü, ilgili 3 ve 4. Sınıf fen bilgisi öğretmen adaylarına düzenlediği bir tanıtım toplantısında proje içeriğinden bahsetmiştir. Bu tanıtım toplantısına katılan ve projeye ilgisi olan öğretmen adayları seçmeli dersi tercih etmişlerdir. Veri toplama süreci, Erciyes Üniversitesi Fen Bilgisi Öğretmenliği programında öğrenim gören ve projenin yürütüldüğü seçmeli dersi tercih eden 24 öğretmen adayı ile yürütülmüştür. Uygulamalı modül geliştirme eğitiminin hemen öncesinde (2026 yılı Bahar yarıyılı başında) görüşmenin kayıt altına alınabilmesi amacıyla zoom platformu üzerinden odak grup görüşmesi gerçekleştirilmiştir. Benzer biçimde, modül tasarım süreçlerinin tamamlanmasının ardından zoom platformu üzerinden son görüşme gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler, katılımcıların rızası dahilinde ses kaydına alınarak yarı yapılandırılmış mülakat formatında, ön görüşme 47 dakika, son görüşme 53 dakika süren online oturumlar halinde tamamlanmıştır.

Veri Toplama Süreci

14 hafta boyunca (haftada 3 ders saati, toplam 42 saat) yürütülen atölye çalışmalarının ilk haftasında öğretmen adaylarına Web 2.0 (Edpuzzle, Padlet, Kahoot, Google Classroom) ve Web 3.0/Üretken Yapay Zekâ araçlarıyla (Gamma.app, Gemini, ChatGPT, Canva) desteklenmiş örnek bir modül tanıtılmıştır.

Adaylar ikişerli gruplar halinde ortaokul 5, 6, 7 ve 8. sınıf düzeylerindeki fizik, kimya ve biyoloji disiplinlerine ait toplam 12 konu için REACT modeline (İlişkilendirme, Deneyim, Uygulama, İş birliği, Transfer) dayalı modüller geliştirmiştir. Modüller uzman dönütleri doğrultusunda revize edilerek son haline getirilmiştir.

Veri Analizi

Nitel verilerin analizinde tümevarımsal içerik analizi yapılmıştır. Nicel verilerin elde edilmesinde kullanılan ölçeklerin geçerlik ve güvenirlik kontrolleri için SPSS 27, LISREL 8.80 ve Microsoft Excel programlarında açımlayıcı/doğrulayıcı faktör analizleri, güvenirlik hesaplamaları yapılmıştır, ayrıca ön test-son test puanları arasındaki durumu değerlendirmek için bağımlı örneklemler t-testi kullanılarak kullanılmıştır.

Bulgular

1. Nicel Bulgular

Modül Hazırlama Yetkinlik Ölçeği ön test ve son test puanlarına ilişkin betimsel istatistikler incelendiğinde, her iki ölçümün merkezi eğilim ve dağılım özellikleri açısından farklılaştığı görülmektedir (Tablo 1). Ön test puanlarının aritmetik ortalama ($\bar{X}$=213,87), medyan (209,00) ve mod (209,00) değerleri arasında belirgin farklar saptanmıştır. Bu ölçümde standart sapmanın (SS = 30,13) yüksek olması ve puanların geniş bir aralıkta (102–257) seyretmesi, dağılımın heterojen bir yapı sergilediğine ve uç değerlere karşı duyarlı olduğuna işaret etmektedir. Buna karşın son test puanlarında aritmetik ortalama $\bar{X}$=220,08), medyan (219,00) ve mod (217,00) değerlerinin birbirine oldukça yakın olması, dağılımın merkezi eğilim açısından daha dengeli ve simetrik olduğunu göstermektedir. Son testteki standart sapma (SS = 23,56) ve uç değerler (179–261) birlikte değerlendirildiğinde, grubun bu ölçümde ön teste kıyasla daha homojen bir yapıya ulaştığı söylenebilir. Merkezi eğilim ölçüleri birlikte değerlendirildiğinde, son test puanlarının ön test puanlarına kıyasla artış gösterdiği ve bu değişimin son test lehine gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 1.*Modül hazırlama yetkinlik testi betimsel istatistik sonuçları*

	Ön test	Son test
$\bar{X}$	213.87	220.08
Medyan	209	219
Mod	209	217
SS	30.13	23.56
Minimum	102	179
Maximum	257	261

Araştırma kapsamında ön test ve son test puanları arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığını incelemeden önce, analiz varsayımlarından biri olan fark puanlarının normal dağılımı Shapiro-Wilk testi ile test edilmiştir (Tablo 2). Analiz sonucunda, fark puanlarının normal dağılımdan anlamlı bir sapma göstermediği saptanmıştır, W(24) = ,97, p = ,71. Normallik varsayımının karşılanması nedeniyle, analizlerin devamında parametrik testlerden ilişkili örneklemler t-testi kullanılmıştır.

Tablo 2. *Modül hazırlama yetkinlik ön test ve son test fark puanları normallik testi sonucu*

Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
Statistic	df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
,13	24	,20	,97	24	,71

Tablo 3'teki öğrencilerin uygulama öncesi ve sonrası modül hazırlama yetkinlik puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan ilişkili örneklemler t-testi sonucunda, ön test ($\bar{X}$=21387, SS = 30,13) ve son test ($\bar{X}$=220,08, SS = 23,57) puan ortalamaları arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır, t (23) = ,75, p = ,46. Bu bulgu, yapılan uygulamanın öğrencilerin modül hazırlama yetkinlik puanları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir değişim oluşturmadığını göstermektedir (p > ,05).

Tablo 3: *Modül hazırlama yetkinlik puanları ilişkili örneklem t-testi bulguları*

	$\bar{X}$	n	SS	t	Sd	p

modül hazırlama yetkinlik puanları	ön test	213,87	24	30,13	,75	23	,46
	son test	220,08	24	23,57			

Proje sürecinde algılarının değişme durumunu belirlemek amacıyla 24 katılımcıya ön ve son test olarak uygulanan "Ters Yüz Öğrenme Ölçeği"nden elde edilen veriler SPSS.27 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Ters yüz öğrenme algı ön test ve son test puanlarına ilişkin betimsel istatistikler, ölçümlerin merkezi eğilim ve dağılım özelliklerinde farklılaşmalar olduğunu ortaya koymaktadır (Tablo 4). Ön test puanlarının aritmetik ortalama ($\bar{X}$=180,95), medyan (181,50) ve mod (172,00) değerlerinin birbirine yakınlığı, dağılımın merkezi eğilim açısından dengeli bir yapıda olduğuna işaret etmektedir. Standart sapma (SS = 12,88) ve puan aralığı (151–207) dikkate alındığında, grubun bu ölçümde son teste kıyasla daha homojen bir dağılım sergilediği görülmektedir. Öte yandan son test puanlarında aritmetik ortalama (M = 186,16), medyan (183,00) ve mod (179,00) değerleri arasındaki farkın artması ve standart sapmanın (SS = 17,67) yükselmesi, dağılımın heterojenleştiğini ve puanların daha geniş bir aralığa (152–215) yayıldığını göstermektedir.

Tablo 4:*Ters yüz öğrenme algı testi betimsel istatistik sonuçları*

	Ön test	Son test
$\bar{X}$	180,95	186,16
Medyan	181,50	183,00
Mod	172,00	179,00
SS	12,88	17,67
Minimum	151	152
Maximum	207	215

Ön test ve son test ölçümleri arasındaki farkların anlamlılığını incelemeden önce, ilgili fark puanlarının normal dağılım sergileyip sergilemediği Shapiro-Wilk testi ile kontrol edilmiştir (Tablo 5). Analiz çıktıları, fark puanlarının normal dağılım varsayımını karşıladığını ortaya koymuştur, W(24)= ,95, p= ,33. Elde edilen bu normal dağılım bulgusu (p > ,05) doğrultusunda, verilerin analizinde parametrik tekniklerden olan ilişkili örneklemler için t-testi tercih edilmiştir.

Tablo 5 :Ters yüz öğrenme algı ön test ve son test fark puanları normallik testi sonucu

Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
,14	24	,20	,95	24	,33

Ters yüz öğrenme algı puanları ilişkili örneklem t-testi sonuçlarına göre (Tablo 6), ön test ($\bar{X}$ = 180,96) ve son test ($\bar{X}$ = 186,17) puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamaktadır (t = -1,022; p = 0,317; p > 0,05). Son test puan ortalamasının ön test ortalamasına göre daha yüksek olduğu görülmekle birlikte, bu artış istatistiksel açıdan anlamlı değildir. Bu bulgu, uygulamanın ters yüz öğrenme algı puanları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Tablo 6: Ters yüz öğrenme algı puanları ilişkili örneklem t testi bulguları

		$\bar{X}$	N	SS	T	sd	P
Ters Yüz Öğrenme puanları	öntest	180,9583	24	12,88572	-1,022	23	0,317
	sontest	186,1667	24	17,67746			

Atölye çalışmalarından sonra, katılımcıların hazırladıkları Modüller, "**Modül Değerlendirme Rubriği**" kullanılarak değerlendirilmekte ve iyileştirmeler yapılmaya devam edilmektedir. Örneğin, "Mitoz-Mayoz Bölünme Modülü" proje kapsamında geçerlik ve güvenirlik kontrolleri yapılmış modül değerlendirme rubriği kullanılarak 15 fen bilgisi öğretmen adayının görüşüne sunulmuştur. Bu çalışma grubunun görüşünü almak için proje yürütücüsü 90 dakikalık yüz yüze bir toplantı gerçekleştirmiştir. Bireysel değerlendirmelerin yanı sıra karşılıklı fikir alışverişi de gerçekleştirilmiştir. Örneğin, modülde yer alan Eddpuzzle videosundaki içeriğe sesli anlatım eklenmesi yönünde fikir birliğine varılmıştır.

Renklerin koyu ve yazı fontunun bazı yerlerde anlaşılmaması, öğretim programında yer almayan kavramların kullanılması gibi durumlar da tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, modül revize edilmiştir. Benzer prosedür proje kapsamında geliştirilen diğer modüller için de yürütülmüştür.

Nitel Bulgular

TEMA 1: Ters Yüz Öğrenme Yaklaşımına İlişkin Algısal Dönüşüm

Görüşme verileri incelendiğinde, katılımcıların eğitime başlamadan önce öğretmenliği "*öğretmenin sınıfta tahtaya geçip düz anlatım yapması*" olarak tasavvur ettikleri görülmektedir. Katılımcıların bu zihniyet kırılması ile ilgili ifadeleri şu şekildedir:

"*Eskiden öğretmenler böyle bu kadar şey bilmediği için hani normal düz anlatıyorlardı... Ben de öncesinde öyle bir öğretmen olacağımızı düşünüyordum. Ama burada bizim anlattığımız değil de daha çok öğrencinin aktif olduğu bir süreci öğrendim.*"

Ayrıca ders öncesi aşamada geleneksel "çalışın gelin" direktifinin öğrencilerde hiçbir karşılık bulmadığını bizzat kendi öğrencilik deneyimleriyle teyit eden Ceren, bu sorunun etkileşimli video sorularıyla aşıldığını belirtmiştir:

"*Çalışın gelin deniliyordu bize hep... ama hiçbirimiz çalışmıyorduk. Ama biz etkinliklerimizi yaparken ilişkilendirme aşaması vardı, REACT'ın R basamağı... Günlük hayattan bir problem veriyor ve bu problem bu konuyla ilişkili aslında diyebiliyoruz.*"

TEMA 2: Fen Modülü Tasarımı ve Pedagojik Yapılandırma Yetkinliği (REACT Modeli)

Eğitim öncesinde katılımcıların modülü sadece "derste çözülecek sorular ve çalışma kağıtları yığını" zannettikleri, ancak süreç sonunda modülü REACT (İlişkilendirme, Deneyim, Uygulama, İş birliği, Transfer) modelinin pedagojik bir orkestrasyonu olarak kavradıkları tespit edilmiştir:

"*Ben daha önce modül deyince aklıma sadece hani o derste yapılacak çalışma kağıtlarının ya da sorulacak soruların, değerlendirme kağıtlarının hepsinin bir arada bulunduğu bir şey zannediyordum. Ama aslında biz REACT modelini öğrendik burada. Dersten önce ne yapması gereken etkinliği, ders sırasında ve ders sonrasında yapması gereken etkinliği ve bizim ona nasıl dönüt verebileceğimizi öğrendik.*"

Bununla birlikte, katılımcılar farklı öğrenme stillerine sahip (görsel, işitsel, kinestetik) tüm öğrencileri modülün farklı aşamalarında yakalama bilincine ulaştığını vurgulamıştır.

TEMA 3: Soyut Fen Kavramlarını Somutlaştırma ve Görselleştirme

Fen eğitiminde en sık karşılaşılan zorluklardan biri olan mikro düzeydeki soyut süreçlerin (mitoz-mayoz bölünme, DNA, kromozomlar, hücre organelleri) kavranması konusunda öğretmen adayları eğitsel çizgi romanlar ve oyunlaştırmayı birer kurtarıcı araç olarak deneyimlemişlerdir. Katılımcılar öğrencinin sınav stresi yaşamadan oyun oynarken farkında olmadan organellerin şekil ve görevlerini kalıcı olarak öğrendiğini vurgulamışlardır. Bu dönüşüm ile ilgili katılımcı ifadesi şöyledir:

"*Mitoz-mayoz öyle değil; kromozomları, DNA'yı, çekirdeği sadece çocuklar hayal etmekte güçlük çekiyorlar. Böyle bir şeyi çizgi roman şeklinde hikayeleştirmek, görselleştirmek, bunları zenginleştirip öğrencilere sunmak hem bilgilerin kalıcılığını artıracak hem anlamlandıracak.*"

TEMA 4: Teknoloji, Web 2.0/3.0 ve Üretici Yapay Zekâ Entegrasyonu: Tüketicilikten Üreticiliğe

Görüşmenin en çarpıcı bulgularından biri, öğretmen adaylarının dijital araç kullanımında pasif tüketicilikten aktif yazılım ve içerik üreticiliğine geçmeleridir. Vedat Barın, eğitim öncesindeki teknoloji seviyesini "sadece Canva biliyordum, o derece ilkeldim" şeklinde nitelemekte; yapay zekâ ile başta yaşanan çatışmanın sonrasında profesyonel bir iş ortaklığına evrildiğini açıklamaktadır:

"*Önce kafamda tasarlıyorum. Kafamda tasarladığımı yapay zekaya yaptırmaya çalışıyorum. Önceden yapay zekadan alıp üstünde oynama yapıyordum, bunu artık kendim tasarlıyorum... Kusursuz tasarladığımda yapay zekaya yaptırmaya çalışıyorum.*"

Ayrıca katılımcıların hazır Web 2.0 şablonlarıyla yetinmeyip Gemini ve Claude kullanarak öğrencilere anında bireysel geri bildirim sağlayan özel HTML kodları geliştirmesi ve çizgi romanları poster baskı formatına dönüştüren yazılım kodu üretmesi, adayların dijital pedagojik üretici kimliği kazandıklarına dair bulgulardır.

TEMA 5: Ölçme, Değerlendirme, Revizyon Kültürü ve Mesleki Özgüven

Görüşmede katılımcıların ortaya koyduğu "gizli/bireysel dönüt" kavramı, sınıf ortamında yanlış yapmaktan korkan çekingen öğrencilerin duyuşsal güvenliğini sağlamada kritik bir pedagojik keşif olarak öne çıkmaktadır:

"*Bir çocuk sınıfta yanlışını söyleyemiyor, çekingen bir çocuk olabilir ama kişisel bir dönüt verdiğimde o çocuk kendi hatasını fark edebiliyor ve söyleyebiliyor... Duyuşsal açıdan öğrenci için rahatlatıcı.*"

Adayların aldıkları sayısız dönüt karşısında yılmayıp "bir çalışmayı belki 100 kere revize ettik" diyerek kalite ve kavram yanılgısı ayıklama hassasiyeti geliştirmeleri, staj okullarındaki derslerde öğrencilerin katılımını ve ilgisini zirveye taşımıştır. Bu durum adaylarda "diğer öğretmen adaylarından ve öğretmenlerden bir adım öndeyim" hissini doğurarak mesleki öz yeterlik oluşturmuştur.

Sonuç ve Tartışma

Bu araştırmanın temel amacı; fen bilgisi öğretmen adaylarına Ters Yüz Öğrenme Modeline (TYÖM) dayalı ders modülleri hazırlama yetkinliği kazandırmayı hedefleyen bir TÜBİTAK 3005 projesinin yöntemsel ve uygulamalı etkililiğini değerlendirmektir. Araştırmanın gömülü karma yöntem kurgusu doğrultusunda elde edilen nicel ve nitel veriler birlikte değerlendirildiğinde, uygulanan eğitim programının öğretmen adaylarının pedagojik ve teknolojik gelişimleri üzerinde olumlu katkılar sağladığı görülmektedir. Öğretmen adaylarının süreç öncesi ve sonrasındaki modül hazırlama yetkinlikleri ile ters yüz öğrenme algılarına ilişkin puanlarında aritmetik olarak bir artış gözlenmiş, ancak bu değişim istatistiksel açıdan anlamlı bir farklılık seviyesine ulaşmamıştır. Bu durumun temel nedenlerinden biri, katılımcıların uygulamaya başlamadan önce de ters yüz öğrenmeye ve öğretim materyali tasarlamaya yönelik belirli bir farkındalık ve olumlu algı düzeyine sahip olmaları şeklinde değerlendirilebilir (Baimukhambetova vd., 2025). Bununla birlikte, süreç sonundaki ölçümlerde gruptaki puan dağılımlarının daralması ve standart sapma değerlerinin düşmesi, uygulamanın grup üyeleri arasındaki bireysel farklılıkları azaltarak daha homojen bir yetkinlik düzeyinin oluşmasına katkı sağladığını göstermektedir (Zhang vd., 2024).

Ölçme araçlarıyla elde edilen bu bulgular nitel verilerle birlikte ele alındığında, sürecin öğretmen adaylarının ders tasarımı anlayışlarında olumlu gelişmeler sağladığı anlaşılmaktadır. Süreç öncesinde öğretmenliği ağırlıklı olarak düz anlatım, ders modülünü ise çalışma kağıtlarından ibaret gören adayların; eğitim sonunda ders dışı ve ders içi süreçleri REACT (İlişkilendirme, Deneyim, Uygulama, İş birliği, Transfer) modelinin ilkelerine uygun şekilde planlamaya başladıkları tespit edilmiştir. Ayrıca ders öncesinde etkileşimli videolar ve günlük hayat senaryolarının kullanımı, öğrencilerin derse hazırlıklı gelmelerini destekleyen bir araç olarak değerlendirilmiştir (Akçayır & Akçayır, 2018).

Fen öğretiminde anlaşılması güç olan hücre bölünmeleri ve organeller gibi mikro düzeydeki soyut konuların öğretiminde, adayların eğitsel çizgi romanlar ve oyunlaştırma yaklaşımlarını kullanmaları, konuların somutlaştırılmasına ve öğrenme sürecinin kolaylaştırılmasına katkı sağlamıştır (Fleischman & Ariel, 2016). Çalışmada öne çıkan bir diğer nokta ise öğretmen adaylarının teknoloji kullanımı konusundaki eğilimleridir. Süreç içerisinde adaylar, hazır teknolojik şablonları kullanmanın ötesine geçerek üretken yapay zekâ araçlarından (Gemini, Claude vb.) yararlanmış, öğrencilere anlık geri bildirim sağlayabilecek yazılım/HTML kodları ve dijital materyaller tasarlamışlardır. Bu durum, adayların teknolojik pedagojik alan bilgisi düzeylerinin geliştiğine işaret etmektedir (Chan & Hu, 2023). Ölçme ve değerlendirme sürecinde ise dijital araçlar vasıtasıyla sağlanan bireysel geri bildirimlerin, sınıfta söz almaktan çekinen öğrencilerin duyuşsal olarak kendilerini daha rahat hissetmelerine yardımcı olduğu belirtilmiştir (Van Alten vd., 2019). Hazırlanan modüller üzerindeki revizyon çalışmaları ve staj okullarındaki uygulama deneyimleri ise adayların mesleki özgüvenlerini desteklemiştir.

Sonuç olarak, nicel ölçümlerde istatistiksel olarak anlamlı bir fark elde edilememiş olsa da nitel veriler, uygulanan modül geliştirme sürecinin öğretmen adaylarının ders kurgulama, teknoloji entegrasyonu ve materyal tasarımı becerilerini desteklediğini göstermektedir. Proje kapsamında yürütülen bu çalışmalar, öğretmen adaylarının dijital pedagojik yetkinliklerini geliştirmenin yanı sıra, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarından "Nitelikli Eğitim" hedefi ve 12. Kalkınma Planı politikaları ile de uyumluluk göstermektedir.

Öneriler

- Öğretmen adaylarının mesleğe başladıktan sonra bu pedagojik ve teknolojik dönüşümü derslerine nasıl yansıttıklarını inceleyen boylamsal araştırmalar kurgulanabilir.
- Nicel düzeyde anlamlı farklar elde edebilmek amacıyla uygulama süresi uzatılabilir veya farklı gruplarda tekrarlanabilir.
- Tasarlanan REACT tabanlı ve dijital araçlarla zenginleştirilmiş modüllerin, ortaokul/lise öğrencilerinin akademik başarılarına ve kavramsal anlamalarına etkisi test edilebilir.
- Eğitsel içerik tasarımında üretken yapay zekâ araçlarının doğrudan ders materyali ve etkileşimli içerik üretme verimliliği üzerine deneysel çalışmalar planlanabilir.
- Proje kapsamında geliştirilen ve uzman değerlendirmesinden geçen fen bilimleri ders modülleri, açık erişimli bir platform üzerinden öğretmenlerin kullanımına sunularak sahadaki ders içi ve ders dışı materyal ihtiyacına katkı sağlanabilir.
- Öğretmen yetiştirme müfredatlarında yer alan ilgili derslerde (Özel Öğretim Yöntemleri, Öğretim Teknolojileri vb.), öğretim modelleri ve güncel dijital araçların entegrasyonuna yönelik uygulamalı modül tasarım çalışmalarına yer verilebilir.

Kaynakça

Akarsu, B., & Güven, E. (2014). Fen ve Teknoloji öğretmen adaylarının teknolojik pedagojik alan bilgilerinin incelenmesi. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 13*(2), 515-524. https://doi.org/10.21547/jss.256825

Akçayır, G., & Akçayır, M. (2018). The flipped classroom: A review of its advantages and challenges. *Computers & Education, 126*, 334-345. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.07.021

Alpay, E. (2022). *REACT öğretim modeline uygun hazırlanmış su eğitimi modülüne yönelik öğretmen görüşleri*. Yüksek Lisans Tezi, (Tez No: 768826), Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi.

Ananiadou, K., & Claro, M. (2009). *21st century skills and competences for new millennium learners in OECD countries* (OECD Education Working Papers, No. 41). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/218525261154

Andrade, H. G. (2000). Using rubrics to promote thinking and learning. *Educational Leadership, 57*(5), 13-19.

Baimukhambetova, K., Ybyraimzhanov, K., Moldabek, K., Akhatayeva, U. B., Zhetkizgenova, A., & Uaidullakyzy, E. (2025). Evaluating the relationship between pre-service teachers' artificial intelligence readiness and professional self-efficacy. *Education Sciences, 16*(1), 43. https://doi.org/10.3390/educsci16010043

Banditvilai, C. (2016). Enhancing Students' Language Skills through Blended Learning. *Electronic Journal of E-learning, 14*(3), 220-229.

Bishop, J., & Verleger, M. A. (2013, June). *The flipped classroom: A survey of the research*. In 2013 ASEE annual conference & exposition (pp. 23-1200). https://doi.org/10.18260/1-2--22585

Blau, I., & Shamir-Inbal, T. (2017). Re-designed flipped learning model in an academic course: The role of co-creation and co-regulation. *Computers & Education, 115*, 69-81. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.014

Bond, M. (2020). Facilitating student engagement through the flipped learning approach in K-12: A systematic review. Computers & Education, 151, 103819. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103819

Chan, C. K. Y., & Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: Perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 20*(1), Article 43. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8

Cheng, L., Ritzhaupt, A.D. & Antonenko, P. (2019). Effects of the flipped classroom instructional strategy on students' learning outcomes: a meta-analysis. *Education Tech Research Dev 67*, 793–824. https://doi.org/10.1007/s11423-018-9633-7

Ekinci, F., Bektaş, O., Karaca, M., & Yiğit, K. N. (2023). The flipped learning perception scale: A validity and reliability study. *Education and Information Technologies, 28*(11), 14139-14166. https://doi.org/10.1007/s10639-023-11731-7

Fleischman, K., & Ariel, E. (2016). Gamification in science education: Gamifying learning of microscopic processes in the laboratory. *Contemporary Educational Technology, 7*(2), 138-159. https://izlik.org/JA67RY45WX

Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research, 18*(1), 39-50. https://doi.org/10.1177/002224378101800104

Ghozali, I. (2014). *Structural Equation Modeling: Metode Alternatif Dengan Partial Least Squares* (PLS).

Gömleksiz, M. N., & Erten, P. (2010). Mesleki ve Teknik Ortaöğretimde modüler öğretim programının uygulanmasında karşılaşılan güçlükler: Nitel bir çalışma. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 7*(1), 174-198. https://izlik.org/JA53UR76XY

Grabau, C. R. (2015). *Undergraduate student motivation and academic performance in a flipped classroom learning environment.* Saint Louis University.

Hair, J. F. (2021). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM), 3/E.

Jdaitawi, M. (2019). The effect of flipped classroom strategy on students learning outcomes. *International Journal of Instruction, 12*(3), 665-680.

Karaman, B. (2023). Flipped classroom model in physical education and sport teaching: Beden eğitimi ve spor öğretiminde ters yüz sınıf modeli. *Journal of Human Sciences, 20*(3), 250-268. https://doi.org/10.14687/jhs.v20i3.6382

Kostaris, C., Sergis, S., Sampson, D. G., Giannakos, M. N., & Pelliccione, L. (2017). Investigating the potential of the flipped classroom model in K-12 ICT teaching and learning: An action research study. *Journal of Educational Technology & Society, 20*(1), 261-273.

Persico, D., & Pozzi, F. (2015). Informing learning design with learning analytics to improve teacher inquiry. *British Journal of Educational Technology, 46*(2), 230-248. https://doi.org/10.1111/bjet.12207

Peterson, D. J. (2016). The flipped classroom improves student achievement and course satisfaction in a statistics course: A quasi-experimental study. *Teaching of Psychology, 43*(1), 10-15. https://doi.org/10.1177/0098628315620063

Polit, D. F., & Beck, C. T. (2006). The content validity index: are you sure you know what's being reported? Critique and recommendations. *Research in Nursing & Health, 29*(5), 489-497. https://doi.org/10.1002/nur.20147?utm_source=gemini

Sakız, H. (Ed.). (2024). *Eğitim Psikolojisi*. Akademisyen Kitabevi.

Sevimli, N. E. (2020). *İstatistiksel kavramların teknoloji kullanımıyla öğretimine yönelik tasarlanan bir öğretim modülünün etkililiğinin incelenmesi*. Doktora Tezi, (Tez No: 656693), Marmara Üniversitesi.

Touchton, M. (2015). Flipping the classroom and student performance in advanced statistics: Evidence from a quasi-experiment. *Journal of Political Science Education, 11*(1), 28-44. https://doi.org/10.1080/15512169.2014.985105

Van Alten, D. C., Phielix, C., Janssen, J., & Kester, L. (2019). Effects of flipping the classroom on learning outcomes and satisfaction: A meta-analysis. *Educational Research Review, 28*, 100281. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.05.003

Wei, X., Cheng, I. L., Chen, N. S., Yang, X., Liu, Y., Dong, Y., ... & Kinshuk. (2020). Effect of the flipped classroom on the mathematics performance of middle school students. *Educational Technology Research and Development, 68*(3), 1461-1484. https://doi.org/10.1007/s11423-020-09752-x

Yontar, A. (2019). Öğretmen adaylarının dijital okuryazarlık düzeyleri. *Ana Dili Eğitimi Dergisi, 7*(4), 815-824. https://doi.org/10.16916/aded.593579

Yough, M., Merzdorf, H. E., Fedesco, H. N., & Cho, H. J. (2019). Flipping the classroom in teacher education: Implications for motivation and learning. *Journal of Teacher Education, 70*(5), 410-422. https://doi.org/10.1177/0022487117742885

Zhang, Y., Zhou, S., Wu, X., & Cheung, A. C. (2024). The effect of teacher training programs on pre-service and in-service teachers' global competence: A meta-analysis. E*ducational Research Review, 45*, 100627. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100627

THE EFFECTS OF THE QUIET LUXURY MOVEMENT ON SUSTAINABLE FASHION DESIGN

Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA
Department of Textile and Fashion Design, Faculty of Fine Arts, Uşak University, Uşak, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8572-6577

Abstract
The increasing visibility of the environmental and social impacts of the fashion industry has increased interest in sustainable design approaches. In this process, the Quiet Luxury movement, which stands out with its unpretentious, timeless aesthetic approach and use of high-quality materials, has become a discussed approach not only as a fashion trend but also in terms of its relationship with sustainable fashion. However, there are different evaluations in the literature about the extent to which the concept of quiet luxury overlaps with sustainable fashion principles.
The aim of this study is to examine the effects of the quiet luxury movement on sustainable fashion design in the context of design approach, material selection, product life and sustainability policies. A qualitative research method was adopted for this study, utilizing document analysis and comparative content analysis as data collection techniques. Within the scope of the study, the collections, publicly available sustainability reports, and corporate statements of international luxury fashion brands representing the "quiet luxury" aesthetic were examined; fabric choices, color palettes, design language, and sustainability practices were evaluated comparatively.
The research shows that the concept of quiet luxury overlaps significantly with the principles of sustainable fashion in terms of timeless design, high-quality workmanship and a product approach that supports a long lifespan; However, it is expected to reveal that sustainability is not limited to aesthetics and product durability, but also elements such as ethical production, transparent supply chain, responsible use of natural resources and social sustainability should be included in this evaluation. In this regard, the study aims to make a current and interdisciplinary contribution to the fashion design literature by evaluating the quiet luxury movement from a critical perspective on the axis of sustainable fashion.
Keywords: Fashion Industry, Quiet Luxury, Sustainability, Sustainable fashion

Introduction
The fashion industry is a key player in rapid consumption. While it is a significant creative industry from both economic and cultural perspectives, it sits at the center of sustainability debates due to the environmental and social impacts arising from its production, consumption, and post-use phases. In particular, the fast fashion system-characterized by short product life cycles, high consumption frequency, and constantly changing trends-leads to reduced garment lifespans and increased resource consumption. Kaya (2021) and Joy et al. (2012) highlight the significant tension between the low-cost, high-paced production-consumption structure of fast fashion and sustainability principles; conversely, they argue that attributes such as quality, originality, and longevity could create a potential intersection between luxury fashion and sustainability.
The approach to sustainable fashion (encompassing environmental, social, and economic sustainability, as well as circular and slow fashion) is viewed not merely as a production strategy aimed at reducing environmental impact, but as a holistic paradigm that necessitates rethinking the design process itself (Kaya, 2023). Fletcher (2014) defines sustainable fashion design as an approach that addresses material selection, production, usage, and post-use processes in an integrated manner, incorporating elements such as slow fashion, longevity, localism, user needs, and systems thinking. Accordingly, a primary objective of sustainable design is not only to develop products that consume fewer resources but also to create aesthetic and functional qualities that extend the product's lifespan.
In this context, the "quiet luxury" approach-which has gained increasing visibility in the fields of fashion and luxury consumption in recent years-stands out. Quiet luxury is defined as a form of luxury consumption characterized by high product quality, craftsmanship, timelessness, minimalist aesthetics, the use of neutral colors, and the absence of conspicuous branding or logos.

Current research confirms that quiet luxury products are not only high-quality and durable but also feature timeless, minimalist designs, neutral color palettes, and low brand visibility (Jiang et al., 2021; Dealca et al., 2022; Chen, 2025). The characteristics of quiet luxury include:

- Timeless design
- Absence of logos
- High-quality fabric
- High-quality craftsmanship
- Long lifespan
- Minimalist aesthetic (Chen, 2025)

It is evident that the low brand visibility and understated design philosophy underpinning "quiet luxury" are not new phenomena; rather, they are linked to the concept of "inconspicuous consumption" found in the luxury consumption literature. Han, Nunes, and Drèze (2010) demonstrate that brand visibility in luxury products is associated with the ways consumers signal status, noting that certain consumer groups prefer to express their status through subtle brand indicators rather than conspicuous logos and symbols (Beverland, 2006; Wiedmann et al., 2007; Bastien and Kapferer, 2009; Han and Drèze, 2021; Chen, 2025). In this context, quiet luxury can be viewed not as the complete elimination of status, but as a form of consumption in which status and exclusivity are expressed through more subtle aesthetic markers.

The relationship between quiet luxury and sustainable fashion is particularly important in the context of product longevity, timeless design, and reduced consumption frequency. Timeless aesthetics can allow for longer use of clothing by reducing dependence on short-lived trends of specific seasons. Similarly, high-quality materials and workmanship have the potential to support the physical lifespan of a product, reducing the likelihood of premature disposal. However, it should be emphasized that these features alone do not indicate that a product is sustainable; the sourcing of raw materials, production processes, supply chain, energy and water use, working conditions, maintenance processes, and the possibility of reuse or recycling at the end of the product's lifespan must also be evaluated. Indeed, research examining the relationship between luxury fashion and sustainability reveals that while there is a potential convergence between the luxury sector's characteristics such as quality and craftsmanship and its sustainability goals, this relationship is not spontaneous and without problems (Joy et al., 2012; Karell and Niinimäki, 2020; Arribas-Ibar et al., 2022; Kaya, 2023).

Recent research has begun to demonstrate that the relationship between quiet luxury and sustainable consumption extends beyond mere aesthetic resemblance. A study by Nguyen, Trinh, and Tran (2026) examined the link between understated, minimalist values and sustainable luxury consumption, revealing that these values are associated with the intention to purchase and the actual consumption of sustainable luxury goods. However, the conflation of quiet luxury with sustainability also warrants critical examination. Current sociological studies highlight that quiet luxury can integrate discourses of sustainability, simplicity, and moderation with new forms of status and social distinction. Consequently, the potential of quiet luxury within the context of sustainable fashion should be evaluated not merely in terms of visual simplicity or reduced logo usage, but through the lens of the entire production and consumption system (Magaudda and Sassatelli, 2026).

Examining the impact of the "quiet luxury" movement on sustainable fashion design is crucial for understanding the transformation of contemporary fashion design practices. The minimalist and timeless design language embraced by quiet luxury aligns with sustainable design principles such as extending product lifecycles, reducing reliance on trends, encouraging the use of high-quality and durable materials, prioritizing formal simplicity, and enhancing the product's long-term utility. However, whether this alignment represents a genuine transformation in terms of sustainability requires an evaluation that goes beyond design rhetoric to consider material, production, usage, and post-use processes.

Drawing on this theoretical intersection, this study aims to examine the impact of the quiet luxury movement on sustainable fashion design across several dimensions: design language, approaches to materials and quality, product lifespan, timelessness, minimalist aesthetics, and consumption behaviors.

The study seeks both to reveal how quiet luxury-as a current fashion trend-manifests in design and to contribute to the discussion regarding the opportunities and limitations this trend presents within the context of sustainable fashion.

Method

A qualitative research method was employed in this study. Document analysis was used for data collection, and content analysis was also conducted. The brands examined in the study are:

- The Row
- Loro Piana
- Brunello Cucinelli
- Bottega Veneta

The following aspects of these brands were compared:

- Fabric choices
- Color palettes
- Design language
- Sustainability policies

Purpose of the research

The purpose of this research is to examine the impact of the "quiet luxury" trend-which has gained increasing visibility in the fields of fashion and luxury consumption in recent years-on sustainable fashion design. In this context, the study evaluates the relationship between the fundamental principles of sustainable fashion design and the characteristic features of quiet luxury: minimalist aesthetics, timeless design, low brand visibility, the use of high-quality and durable materials, and skilled craftsmanship.

Furthermore, the research discusses whether quiet luxury should be viewed merely as an aesthetic trend or as an approach capable of contributing to sustainable design goals, such as extending product lifecycles, reducing the pace of consumption, and designing products for long-term use. Accordingly, the study aims to elucidate the possibilities and limitations inherent in the relationship between quiet luxury and sustainable fashion.

Findings

The collections of selected brands that adopted the "quiet luxury" approach during the 2023–2026 period was compared based on the following criteria:

- Silhouette and design language
- Color palette
- Material selection
- Timelessness of the design
- Sustainability statements
- Design features supporting product longevity

The brands selected for this study are The Row, Loro Piana, Brunello Cucinelli, and Bottega Veneta. Although these four brands appear similar in their representation of the "quiet luxury" aesthetic, they exhibit significant differences regarding their design philosophies and approaches to sustainability. These differences are addressed in the brand comparison presented in Table 1.

Table 1. Brand Analysis in the Context of Quiet Luxury (Prepared by author.)

Criterion	***The Row***	***Loro Piana***	***Brunello Cucinelli***	***Bottega Veneta***
Design philosophy	Ultra-minimalism, timeless silhouettes	Quiet elegance, classic luxury	Modern classic, relaxed elegance	Minimal yet sculptural and innovative.
Fabric choices	Wool, cashmere, cotton poplin, silk, leather	The world's finest cashmere, vicuna, baby cashmere, linen, wool.	Cashmere, linen, wool, cotton, suede	The use of leather, cotton, wool, technical fabrics, and recycled materials is increasing.

Color palette	Black, white, cream, stone, gray, navy blue	Camel, mink, brown, beige, gray	Earth tones, beige, khaki, cream, brown	Seasonal vibrant colors and neutral tones alongside black
Logo usage	There is almost none.	Very limited	Quite limited	Instead of a visible logo, the Intrecciato weave pattern stands out as the brand identity.
Aesthetic approach	Quiet, simple, unpretentious.	Focused on refined, high-quality materials	Elegant yet warm and natural look	Modern luxury, craftsmanship, and contemporary design
Product lifespan	Long-term use is intended.	A philosophy of extremely long-lasting products	Long-lasting use and quality craftsmanship	High-durability, fashion-focused collections are also available.
Hand craftsmanship	High	Very high	Very high	Very high (especially leather craftsmanship)
Sustainability approach	Low visibility; emphasis is placed on quality and longevity rather than sustainability.	It conducts work on animal welfare, traceable sourcing, and natural fibers.	It addresses environmental sustainability alongside social responsibility and ethical production, within the framework of "humane capitalism."	It adopts more visible policies regarding circular design, carbon reduction, traceable sourcing, and environmental goals.
Level of representing quiet luxury	Very high	Very high	Very high	High

An examination of Table 1 reveals the following commonalities: All four brands share the fundamental characteristics of the "quiet luxury" ethos:

- Avoidance of ostentatious logos,
- A timeless design philosophy,
- High-quality natural materials,
- High-quality craftsmanship,
- Products designed for longevity.

These characteristics align to a certain extent with the "buy less, use longer" approach of sustainable fashion.

Points of divergence: The most distinct difference lies in how they approach sustainability.

- The Row emphasizes the longevity of design and product quality rather than focusing on sustainability rhetoric.
- Loro Piana focuses on natural, high-quality fibers while also working on raw material traceability.
- Brunello Cucinelli considers environmental sustainability alongside social sustainability, ethical working conditions, and a commitment to local production.
- Bottega Veneta is among the brands that more visibly communicate their corporate sustainability goals and environmental performance.

Overall, the study’s most notable conclusion may be the following:

While quiet luxury shares aesthetic characteristics with sustainable fashion, sustainability encompasses more than just designing high-quality, timeless products. Raw material sourcing, production processes, carbon footprint, supply chain transparency, and employee rights are also integral components of sustainability.
Therefore, there is a partial intersection-rather than a complete overlap-between quiet luxury and sustainable fashion.

Conclusion

In recent years, the concept of "Quiet Luxury" has been rising in response to:

- Fast Fashion
- Ultra-Fast Fashion
- Overconsumption

However, the question of whether "producing high-quality products equates to sustainability" remains a subject of debate in the literature.
In this context, the study concludes that while the concept of quiet luxury makes significant contributions to sustainable fashion in terms of aesthetics, product lifespan, and design approach, it cannot be considered sustainable fashion in isolation unless ethical production, transparent supply chains, and fair working conditions are ensured.
The research yielded the following findings:

✓ Quiet luxury extends the product's lifespan.

✓ Timeless design fosters a tendency toward reduced consumption.

✓ The use of high-quality materials enhances product durability.

However, it is not accessible to every consumer due to high price points. Some brands may also employ the quiet luxury narrative merely as a marketing strategy. Finally, this study offers a contemporary assessment for fashion designers, sustainable design researchers, and fashion businesses. Studies on this subject are quite limited globally; thus, this research is original and contributes to the field.

References

Arribas-Ibar, M., Nylund, P. A., Brem, A. (2022). Circular Business Models in The Luxury Fashion Industry: Toward an Ecosystemic Dominant Design? *Cleaner and Responsible Consumption*. https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100673

Bastien, V., Kapferer, N., (2009). *The Luxury Strategy: Break the Rules of Marketing to Build Luxury Brands*. London and Philadelphia: Kogan Page.

Beverland, M. (2006). The Real Thing: Branding Authenticity in The Luxury Wine Trade. *Journal of Business Research*, 59, 251-268.

Chen, X. (2025). Investigating the Consumer Purchase Motivation of Quiet Luxury Brand. *International* Journal *of Managerial Studies and Research (IJMSR)*, 13(7), 1-7.

Dealca, S. M. Q., Estrera, J. R. D., Tibalao, C. L. L., Jesus, F. L. B. D. (2022). Factors Influencing Customer Satisfaction Towards Luxury Clothing: Quiet Luxury and Logomania Among Filipino Millennials. *Journal of Business and Management Studies*, 4(2), 313-333.

Fletcher, K. (2014). *Sustainable Fashion and Textiles: Design Journeys* (2nd ed.). Routledge.

Han, Y. J., Drèze, X. (2021). Brand Prominence: A Key to Luxury Status Signaling, https://www.ama.org/2021/04/16/signaling-status-with-luxury-goods-the-role-of-brand-prominence/?utm_source=chatgpt.com

Han, Y. J., Nunes, J. C., Drèze, X. (2010). Signaling Status with Luxury Goods: The Role of Brand Prominence. *Journal of Marketing*, *74*(4), 15-30. https://doi.org/10.1509/jmkg.74.4.015

Jiang, L., Cui, A. P., Shan, J. (2021). Quiet Versus Loud Luxury: The Influence of Overt and Covert Narcissism on Young Chinese and Us Luxury Consumers' Preferences?. *International Marketing Review*, 39(2), 309-334.

Joy, A., Sherry, J. F., Venkatesh, A., Wang, J., Chan, R. (2012). Fast Fashion, Sustainability, and The Ethical Appeal of Luxury Brands. *Fashion Theory*, 16(3), 273-295. https://doi.org/10.2752/175174112X13340749707123

Karell, E., Niinimäki, K. (2020). A Mixed-Method Study of Design Practices and Designers' Roles in Sustainable-Minded Clothing Companies. *Sustainability*, *12*(11), 4680. https://doi.org/10.3390/su12114680

Kaya, Ö. (2023). Collections Made with Sustainable Fabrics: Sustainable Fashion - Environmental Sensitivity. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, (31), 111- 128.

Kaya, Ö. (2021). The Change of The Perception of Luxury in Fashion. 2. International Palandoken Scientific Studies Congress, International Science and Art Research Center, 297- 304.

Magaudda, P., Sassatelli, R. (2026). Quiet Luxury: Simplicity, Sustainability, and The Rearticulation of Status in Consumer Culture. *Sociologica*, 20(2), 105-129. https://doi.org/10.60923/issn.1971-8853/23734

Nguyen, K. H., Trinh, A. K., Tran, M. D. (2026). Quiet Luxury and Minimalist Values: Longitudinal Evidence on Sustainable Luxury Consumption. *Journal of Retailing and Consumer Services, 92*, 104785. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2026.104785

Wiedmann, K., Hennigs, N., Siebels, A. (2007). Measuring Consumers' Luxury Value Perception: A Cross-Cultural Framework. *Academy of Marketing Science Review, 7*, 1-21.

OBSERVATIONAL ASSESSMENT OF ERGONOMIC RISKS RELATED TO WORKSTATIONS AND THE WORKING ENVIRONMENT IN THE LEATHER INDUSTRY: A CASE STUDY

Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA
Department of Textile and Fashion Design, Faculty of Fine Arts, Uşak University, Uşak, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8572-6577

Abstract
Aim: The leather industry is one of the work areas where ergonomic risks are frequently encountered due to manual material handling, repetitive movements, inappropriate working postures, and physical environmental conditions. The aim of this study is to observationally evaluate the workstations and the working environment in a leather manufacturing plant from an ergonomic perspective and to identify the main risks that may affect employee health. Method: The study is based on an observational field assessment conducted in a leather manufacturing plant. Data regarding workstations and the working environment were examined through photographs taken during field visits. In the assessment, working postures, suitability of work surfaces, material placement, manual handling practices, sitting and standing working conditions, reach distances, lighting, layout, and the general working environment were considered in accordance with ergonomic principles.
Findings: Observational evaluation revealed areas requiring ergonomic improvement at various workstations. It was observed that employees worked standing for long periods, were exposed to strong chemical odors, engaged in work postures requiring bending and reaching, that work surfaces were not fully suited to anthropometric characteristics, and that material placement caused unnecessary movement. Furthermore, it was assessed that in some areas, work arrangements, storage methods, and physical environmental conditions could negatively impact work efficiency and employee comfort.
Conclusion: Reorganizing workstations in the leather industry according to ergonomic principles, improving the work environment (especially odor, ventilation, and lighting), and increasing ergonomic awareness can contribute to preventing musculoskeletal disorders, increasing employee comfort, and improving production efficiency. Photo-based observational evaluations are considered an effective method for quickly identifying ergonomic risks and guiding improvement efforts.
Keywords: Leather industry, Ergonomics, Workstation, Work environment, Ergonomic risks

Introduction
Ergonomics is an interdisciplinary scientific field that aims to design the work environment, the tools and equipment used, and work processes in a manner compatible with the physical and cognitive characteristics of employees. A lack of alignment between working conditions and an employee's physical capacity can lead to the emergence of various ergonomic risk factors, such as improper working postures, repetitive movements, prolonged static loading, the application of excessive force, manual handling, and unsuitable workspace layouts. The co-occurrence of these risk factors-particularly involving force, repetition, and improper postures-is significant regarding work-related musculoskeletal disorders (Kaya, 2015; Kaya and Özok, 2018; Kaya, 2019; Aytaç and Kaya, 2019). NIOSH also identifies improper posture, repetitive work, tasks requiring force, lifting and carrying, trunk bending and twisting, and prolonged static work as primary physical risk factors associated with work-related musculoskeletal disorders (NIOSH, 2024). Prolonged exposure to these risk factors plays a significant role in the development of work-related musculoskeletal disorders. Musculoskeletal complaints-particularly those affecting the neck, shoulders, back, lower back, and upper extremities-are associated with working conditions that are ergonomically unsuitable.
The leather industry is a labor-intensive sector where, alongside the use of machinery at various stages of production, intensive manual work is also performed. Numerous processes—such as cutting, stitching, sanding, dyeing, finishing, and material handling—are carried out during the processing of leather and its transformation into various products. Depending on the nature of these tasks, workers may encounter significant ergonomic challenges, including prolonged standing or sitting, forward bending of the torso and neck, repetitive upper-extremity movements, reaching, manual material handling, and unsuitable work surface heights (Karthikeyan et al., 2014; Kaya, 2023; Kaya, 2025).

Studies focused on the leather industry support this assessment. Research conducted by Sangaroon and Katramee examining the working postures of leather production workers reported that a significant proportion of employees work in postures carrying high ergonomic risk; prevalent issues included awkward postures such as prolonged standing, torso bending, arm raising, excessive reaching, and knee bending (Sangaroon and Katramee, 2022). Similarly, a study in the leather footwear sector demonstrated the importance of postures involving the upper extremities, neck, and torso when evaluating working postures from an ergonomic perspective (Karuppiah et al., 2020; Ekawati et al., 2024).

In addition to quantitative assessment methods, direct observation is a significant field assessment approach for identifying ergonomic risks. NIOSH recommends observing work areas and examining the various postures and work techniques employed by employees performing the same task to identify ergonomic risks in the workplace (NIOSH, 2024). The observational approach enables a holistic assessment of employee postures, movements, workstation layout, equipment placement, and the physical characteristics of the work environment within the natural flow of work. Ergonomic assessment of workstations requires not only examining employee work postures but also considering the physical characteristics of the workspace, equipment layout, work surfaces, and the manner in which the work is performed. Direct observation of the work environment allows for the identification of activities carried out under natural production conditions and ergonomic issues encountered by employees. Particularly in business -based studies, the observation method serves as a viable approach for systematically characterizing work flow, work postures, repetitive movements, workspace layout, and physical environmental conditions (Kaya and Özok, 2012; Mukhopadhyay, 2017).

In this context, the ergonomic examination of workstations and the working environment in businesses operating in the leather industry is important in terms of identifying physical risk factors that employees may encounter and determining working conditions that need improvement. The aim of this study is to ergonomically evaluate the workstations and the working environment in a leather factory through direct observation, to reveal the main ergonomic risk factors observed during production activities, and to make assessments for improving working conditions.

Research Design and Location

This study is a descriptive observational field study conducted at an enterprise operating in the leather sector. The research was carried out at a leather processing business located within a Leather Organized Industrial Zone in Turkey. As part of the study, the enterprise's production areas, workstations, and the work environment where production activities take place were observed from an ergonomic perspective. Direct observation was employed as the data collection method. Observations were made while employees were performing production activities under normal working conditions. During the observation process, the work methods, employee postures and movements, and the physical characteristics of the workstations were evaluated.

Particular attention was paid to ergonomically significant factors, such as prolonged standing or sitting, forward or lateral bending of the torso and neck, torso rotation, arm and hand usage patterns, repetitive movements, static work postures, reaching motions, and manual material handling. Additionally, the layout of the machinery, equipment, and tools used, the manner in which employees accessed this equipment, and the general condition of the work environment were observed.

Evaluation of Workstations and the Work Environment

The ergonomic evaluation of workstations involved observing the characteristics of work surfaces, working height, the distance between the worker and equipment, the chairs and seating surfaces used, the physical layout of the workspace, the placement of materials and equipment, and the impact of workflow on worker movements.

During the evaluation of the work environment, conditions that could increase the physical load on workers or lead to improper working postures were also identified. In this context, ergonomic risk factors-such as unsuitable working heights, inadequate reach zones, repetitive movements, prolonged static postures, bending and twisting, load lifting and carrying, and issues arising from the workspace layout-were documented.

Observation Process and Data Evaluation

Observations were conducted weekly on specific days and at specific times over a six-month period. All workstations and production sections involved in the enterprise's production process were examined. The fundamental activities performed at each workstation and the ergonomically significant working conditions observed during these activities were evaluated.

The employees' production activities were not interfered with, and observations were carried out within the natural workflow of the tasks. The observation results were classified under the following headings: working posture, repetitive movements, static work, manual handling, reaching, work surface and height, equipment layout, and the physical arrangement of the work environment.

Scoring-based ergonomic risk assessment tools-such as REBA, RULA, QEC, or similar-were not used in this study. Consequently, the ergonomic assessment was not based on any numerical risk score; instead, it was conducted descriptively, analyzing the working conditions identified through observation in light of ergonomic risk factors defined in the literature. Based on the findings, the primary ergonomic risk factors observed at the workstations were identified, and recommendations for improving working conditions were formulated.

Within the scope of the study, observations were made during the employees' routine production activities, and the assessment focused on the workstations and working conditions rather than on individual employee performance. No personal or personally identifiable information regarding the employees was recorded during the research.

Findings

Within the scope of the study, the wet processing (washing, cutting, trimming) and finishing (pressing, shaving, dyeing) sections of the leather processing business were examined from an ergonomic perspective using the direct observation method. The observations revealed various ergonomically noteworthy conditions regarding workers' postures and repetitive movements at different stages of production, as well as the physical characteristics of workstations and the layout of the work environment.

Photo 1. General View of the Business (photographed by author).

Wet processing section: It was observed that employees in the wet processing section primarily work in a standing position during production activities. Tasks involved prolonged standing, forward bending of the torso, reaching for equipment, and the manual handling of hides and materials. These factors were identified as conditions that could increase the physical strain on workers. Furthermore, areas requiring ergonomic improvements were identified regarding the flooring, workspace environment, machine layout, and material flow.

Photo 2. Cutting Process (photographed by author.)

Cutting section: It was observed that employees in the cutting section work in a standing position and, depending on the nature of the task, perform actions such as repetitive hand and arm movements, forward bending of the torso, reaching, and manual positioning of materials. Furthermore, it was noted that the positioning of the work surface and the equipment used can affect the employees' posture.

Photo 3. Finishing Department (photographed by author.)

Trimming section: Observations conducted in the trimming section revealed that workers primarily perform their tasks in a standing position and engage in activities-depending on the nature of the work-such as repetitive hand-arm movements, forward bending of the torso, neck flexion, and maintaining the same posture for extended periods. It was assessed that the layout of the machinery and equipment used during the trimming process, as well as the height of the work surface, could influence the workers' postures.

Photo 4. Cutting – Trimming Process (photographed by author.)

In general, observations have shown that ergonomic risks are not of the same nature in different parts of the enterprise and differ depending on the production stage in which the work is carried out. Within the scope of the research, the production activities carried out in the wet processes (washing, cutting, pruning) and finishing (pressing, shaving, dyeing) departments of the leather enterprise were examined from an ergonomic perspective by direct observation method. As a result of the observations, it was observed that the employees in both parts of the production mainly worked standing and with the body bent forward during the work.

It has been observed that employees in the wet processing department stand for long periods of time while performing production activities and work by bending their bodies forward during the process. During the performance of the work, it was observed that employees made forward bending and reaching movements in order to reach materials and equipment in the work area.

In the shaving section, it was observed that the employees were standing during the work and their bodies were leaning forward during the operation. Depending on the nature of the shaving process, it was observed that the same or similar posture was maintained for a certain period of time during the study and the upper extremities were used actively. It has been evaluated that this way of working is a condition that can increase the physical load of employees, especially when it continues for a long time.

Observations in the cutting section revealed that employees predominantly work in a standing position and lean their torsos forward during the cutting process. It was observed that workers utilize both their torsos and upper extremities to position materials and access the work area while performing their tasks.

A joint assessment of the two production sections identified prolonged standing and forward torso leaning as the most prominent ergonomic characteristics of the work environment. Additionally, the nature of the production activities was found to involve the use of upper extremities, as well as reaching and grasping movements. These observed working conditions were assessed as ergonomic factors capable of imposing physical strain on the workers' musculoskeletal systems.

The observations highlighted specific areas of concern: the work environment (the most frequently observed risk factor, involving issues such as odor, ventilation, and lighting), worker posture (the second risk factor), and workstations (the third risk factor). Furthermore, the physical layout of workstations, working heights, material placement, and the postures adopted by workers were identified as key elements requiring ergonomic evaluation.

Discussion

In this study, production activities carried out in the wet processing (washing, cutting, trimming) and finishing (pressing, shaving, dyeing) departments of a leather processing business were evaluated from an ergonomic perspective through observation. When the working conditions identified through these observations are assessed alongside the results of previous studies in the leather sector, it becomes evident that workers may encounter various physical ergonomic risk factors at different stages of the production process.

Research in the leather industry has identified improper working postures, prolonged standing, forward trunk bending, repetitive use of upper extremities, and manual tasks as significant ergonomic risk factors. Furthermore, the work environment and workstations themselves present substantial risks. Risks stemming from the work environment-specifically odors, ventilation, and lighting-were among the most frequently observed risks in this study. The physical characteristics of workstations also constitute a critical area for ergonomic assessment; factors such as work surface height, the positioning of equipment relative to the worker, and the reach distance to materials can lead workers to adopt unnatural postures. Consequently, it is necessary to evaluate not only worker behavior but also the work environment and equipment layout. Observations indicate that various risks exist in these areas as well. The fact that ergonomic conditions varied across different stages of production suggests that ergonomic improvements should not be approached uniformly across all departments of the business. Given that distinct production processes-such as wet processing (washing, cutting, trimming) and finishing (pressing, shaving, dyeing)-have unique operational requirements, it is crucial to plan ergonomic adjustments based on the nature of the work and the specific types of exposure experienced by workers. However, it should be noted that, as this study relied solely on observation, the findings do not provide a quantitative assessment of workers' individual musculoskeletal complaints or specific levels of ergonomic risk. The fact that standard assessment methods such as REBA, RULA, or similar ones were not employed necessitates a descriptive evaluation of the findings. Nevertheless, direct observation can be considered a useful method for the preliminary assessment of working conditions in the production environment that require ergonomic improvements.

In light of this, to mitigate the ergonomically concerning conditions identified at the business, it is recommended to adapt workstations to the employees' anthropometric characteristics, arrange materials and equipment for easy access, minimize unnecessary reaching and bending, and implement work arrangements suited to the nature of the tasks. Furthermore, to gain a more detailed understanding of ergonomic risks, future studies would benefit from supplementing observational assessments with standardized ergonomic evaluation methods and measurement tools designed to assess musculoskeletal complaints among employees.

Based on these findings, it is crucial that ergonomic improvements at the business address not only the employees' working methods but also workstation design, the general work environment, working heights, material placement, and work organization.

Conclusion

In this study, working conditions in the wet processing (washing, cutting, trimming) and finishing (pressing, shaving, dyeing) sections of a leather processing business were evaluated using the direct observation method. Observations revealed that workers at various stages of leather production may encounter several ergonomic risk factors related to working postures, repetitive movements, manual tasks, chemical exposure, and the physical characteristics of workstations.

It was observed that, in both sections, employees primarily performed their production tasks while standing for extended periods with their torsos bent forward. Additionally, depending on the nature of the work, it was determined that the active use of upper extremities, as well as reaching and stretching movements, were involved in the work process.

Observations have indicated that prolonged standing and forward trunk bending are working conditions that should be prioritized from an ergonomic perspective within the business. To mitigate these conditions, it is recommended that workstation heights and equipment layouts be adjusted to suit the workers' characteristics, that materials be kept in easily accessible locations, and that opportunities be provided to vary working postures whenever possible.

It is important that ergonomic interventions do not focus solely on worker behavior but instead adopt a holistic approach that encompasses the work environment, equipment, work organization, and the production process. Furthermore, it is recommended that periodic observations be conducted to determine whether ergonomic risks persist and that more detailed ergonomic assessment methods be employed when necessary.

In conclusion, the direct observation method is a practical preliminary assessment approach that can be used to identify working conditions in leather processing facilities requiring ergonomic improvements.

The findings obtained from these observations serve as a guide for implementing measures aimed at reducing the physical load on workers and establishing more ergonomic working conditions.
However, it is recommended that future studies utilize standard ergonomic assessment methods and measurement tools designed to evaluate musculoskeletal complaints among workers, in order to quantify observational findings and conduct a more detailed assessment of ergonomic risks.

References

Aytaç, S. S., Kaya, Ö. (2019). Ergonominin Çalışma Yaşamındaki Önemi. *KARATAHTA İş Yazıları Dergisi*, ISSN: 2149-2417, Sayı 14, Ağustos, 1-14.

Ekawati, E., Setyaningsih, Y., Kurniawan, B., Wahyuni, I. (2014). Ergonomic Risk Level of Work Posture in Leather Shoes Industry. *Global Medical & Health Communication*. 12(3): 204-211.

Karthikeyan, K., Aaron, K.P., Krishnaraj, K., Chandrasekaran, B., Krishna, K.M.J. (2014). Study and Evaluation of Work related Musculoskeletal Disorder Risk in Leather Garments Manufacturing Industry. *Int. J. Theor. Appl. Res. Mech. Eng., 3*, 2319-3182.

Karuppiah, K., Sankaranarayanan, B., Ali, S. M., Kabir, G. (2020). Role of Ergonomic Factors Affecting Production of Leather Garment-Based SMEs of India: Implications for Social Sustainability. *Symmetry, 12*(9), 1414. https://doi.org/10.3390/sym12091414

Kaya, Ö. (2025). Ergonomical Evaluation of the Workstation Suitability Level of Businesses: The Example of the Leather Sector. *Safety Management and Human Factors,* Vol. 189, 217-227. https://doi.org/10.54941/ahfe1006588

Kaya, Ö. (2023). An Evaluation on the Turkish Leather Industry, 7th International Congress on Innovative Aspects for Leather Industry – IAFLI.

Kaya, Ö. (2019). The Role of The Ergonomics on Apparel Sector Within The Developing Technology. *Ergonomi*, Cilt 2, Sayı 3, 147-152. DOI: 10.33439/ergonomi.621839

Kaya Ö., Özok A. F. (2018). Hazır Giyim İşletmelerinin Ergonomik Risk Etmenleri Yönünden Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, Cilt 6, (ÖS: Ergonomi2017), e-ISSN: 1308-6693, 263-270. DOI: 10.21923/jesd.366756

Kaya, Ö. (2015). Design of Work Place and Ergonomics in Garment Enterprises. *Procedia Manufacturing* 3 (2015), 6437-6443. DOI: 10.1016/j.promfg.2015.07.92

Kaya, Ö., Özok, A. F. (2012). İş Çevresinin Tasarımı ve Ergonomi, *18. Ulusal Ergonomi Kongresi*, Gaziantep Üniversitesi, 16-18 Kasım 2012, Gaziantep, 351-361.

Mukhopadhyay, P. (2017). Investigation of Ergonomic Risk Factors in Snacks Manufacturing in Central India: Ergonomics in Unorganized Sector. In *Handbook of Research on Human Factory in Contemporary Workforce Development*; IGI Glob: Hershey, PA, 425-449, USA

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2024). Step 1: Identify Risk Factors. Ergonomics. Centers for Disease Control and Prevention.

Sangaroon, M., Katramee, A. (2022). Ergonomic Risk Level Assessment of Working Postures in The Finished Leather Workers. *Thai Journal of Ergonomics*. 5(1).

MOLECULAR APPROACHES IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF GENETIC DISORDERS

Prof. Dr. Şükrü TÜZMEN
Faculty of Dentistry, Eastern Mediterranean University (EMU), Famagusta, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0000-0003-4822-396X

Özet
Gen fonksiyonunu belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir strateji, gen ifadesinin kasıtlı olarak baskılanması ve ardından moleküler ve hücresel sonuçların analizidir. Araştırmacılar, ortaya çıkan fenotipik değişiklikleri, sinyal yollarını ve moleküler belirteçleri inceleyerek, belirli genlerin biyolojik rollerini belirleyebilir ve belirli hücresel sistemler içindeki önemlerini değerlendirebilirler.
RNA interferansı (RNAi), hedeflenmiş gen susturma için etkili bir yaklaşımdır. Bu doğal olarak oluşan düzenleyici mekanizma, çift sarmallı RNA tarafından başlatılır ve tamamlayıcı haberci RNA'nın (mRNA) diziye özgü bozunmasına neden olur. Sentetik kısa interferans RNA'lar (siRNA'lar), belirli nükleotid dizilerini hedefleyerek bu mekanizmayı kullanır ve böylece memeli hücrelerinde seçilen genlerin ifadesini yüksek özgüllük ve verimlilikle azaltır.
Seçici etkileri nedeniyle, siRNA'lar fonksiyonel genomikte önemli araçlar haline gelmiş ve özellikle anormal gen ifadesinden kaynaklanan hastalıklar için geleneksel küçük moleküllü ilaçlara potansiyel terapötik alternatifler olarak da araştırılmaktadır. SiRNA'lar, sinerjik etkileri araştırmak ve düzensiz gen ekspresyonu, hastalık ilerlemesi veya kontrolsüz hücre çoğalmasıyla ilgili moleküler hedefleri belirlemek için bağımsız olarak veya farmasötik ajanlarla birlikte kullanılabilir. Ticari olarak temin edilebilen RNAi kütüphaneleri, genom çapında yüksek verimli taramayı daha da mümkün kılarak gen fonksiyonlarının ve moleküler etkileşimlerin belirlenmesini önemli ölçüde hızlandırır.
Ancak, RNAi deneylerinden sonra gözlemlenen fenotipik değişikliklerin, spesifik hedef gen baskılanmasının sonuçları olarak doğrulanması gerekir. Doğrulama genellikle hedef mRNA ve/veya protein seviyelerindeki azalmaların ölçülmesini içerir. Kantitatif gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu (qPCR), yüksek hassasiyeti, doğruluğu, geniş dinamik aralığı ve uygulama kolaylığı nedeniyle bu amaç için özellikle değerlidir.
Bu nedenle, yüksek verimli RNAi aracılı gen susturma ile qPCR tabanlı doğrulamanın birleştirilmesi, fonksiyonel genomik çalışmalar için sağlam bir yaklaşım sağlar. SiRNA teknolojisinin hassasiyeti, ölçeklenebilirliği ve çok yönlülüğü, onu temel bir araştırma aracı olarak konumlandırırken, terapötik potansiyeli klinik araştırma ve geliştirmeyi teşvik etmeye devam etmektedir.
Anahtar kelimeler: RNAi, siRNA, qPCR, genetik bozukluklar, mRNA.

Abstract
Deliberate suppression of gene expression followed by analysis of molecular and cellular consequences is a widely used strategy for determining gene function. By examining resulting phenotypic changes, signaling pathways, and molecular markers, researchers can identify the biological roles of specific genes and assess their importance within particular cellular systems.
RNA interference (RNAi) is an effective approach for targeted gene silencing. This naturally occurring regulatory mechanism is initiated by double-stranded RNA and results in sequence-specific degradation of complementary messenger RNA (mRNA). Synthetic short interfering RNAs (siRNAs) exploit this mechanism by targeting specific nucleotide sequences, thereby reducing expression of selected genes in mammalian cells with high specificity and efficiency.
Because of their selective action, siRNAs have become important tools in functional genomics and are also being investigated as potential therapeutic alternatives to conventional small-molecule drugs, particularly for diseases driven by abnormal gene expression. SiRNAs may be used independently or combined with pharmaceutical agents to investigate synergistic effects and identify molecular targets involved in dysregulated gene expression, disease progression, or uncontrolled cellular proliferation. Commercially available RNAi libraries further enable genome-wide, high-throughput screening, substantially accelerating the identification of gene functions and molecular interactions.

However, phenotypic changes observed following RNAi experiments must be confirmed as consequences of specific target-gene suppression. Validation generally involves measuring reductions in target mRNA and/or protein levels. Quantitative real-time polymerase chain reaction (qPCR) is particularly valuable for this purpose because of its high sensitivity, accuracy, broad dynamic range, and ease of application.

Combining high-throughput RNAi-mediated gene silencing with qPCR-based validation therefore provides a robust approach for functional genomic studies. The precision, scalability, and versatility of siRNA technology have established it as an essential research tool, while its therapeutic potential continues to stimulate clinical investigation and development.

Keywords: RNAi, siRNA, qPCR, genetic disorders, mRNA.

WHITE-LIGHT-RESPONSIVE FUNCTIONALIZED BIONANOCOMPOSITE FOR TISSUE REGENERATION

Prof. Dr. Ulviye BUNYATOVA
Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Başkent University, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2904-3587

Abstract

The development of multifunctional biomaterials capable of supporting tissue regeneration while enabling minimally invasive processing represents an important challenge in modern tissue engineering. In this work, we present the design of white-light-responsive bionanocomposite hydrogel intended for tissue engineering and additive manufacturing applications.

The hydrogel matrix is based on the natural polysaccharide carboxymethyl cellulose (CMC), which provides excellent biocompatibility and structural similarity to the extracellular matrix. The unique design of the hydrogel exhibits non-Newtonian shear-thinning behavior, which is essential for extrusion-based additive manufacturing and layered bioprinting applications.

Silver nanoparticles (AgNPs) are synthesized directly within the polymer matrix, generating multifunctional nanocomposites with potential antimicrobial activity and enhanced biological performance. To improve structural stability and enable controlled network formation, the hydrogel is reinforced using bioclay together with a synthetic copolymer responsive to white light in the 400–800 nm wavelength range.

Unlike conventional UV-induced systems, white light offers a gentle and biocompatible approach for triggering phase transitions and material transformations, reducing the risk of cellular damage and expanding the potential for biomedical applications. The combination of natural polymers, in situ generated AgNPs, bioclay reinforcement, and white-light responsiveness provides a versatile platform for the development of next-generation bioinks and regenerative scaffolds with tunable physicochemical, rheological, and biological properties.

These functionalized bionanocomposites show considerable promise for future applications in tissue regeneration, additive bioprinting, and advanced biomedical implant technologies.

Keywords: White-light-responsive hydrogel; Bionanocomposites; Silver nanoparticles; Tissue regeneration; Additive bioprinting.

TÜRKİYE'DEKİ AĞIZ-DİŞ SAĞLIĞI PROFİLİNE GENEL BAKIŞ

AN OVERVIEW OF THE ORAL AND DENTAL HEALTH PROFILE IN TÜRKİYE

Prof. Dr. S. Hülya ERTEN CAN
Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7823-7145

Specialist Dentist Aslı SİLKÜ OFLİOĞLU
Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0009-1210-9867

ÖZET

Ağız ve diş sağlığı, genel sağlık ve yaşam kalitesinin temel bileşenlerinden biridir ve ağız hastalıkları dünya genelinde önemli bir halk sağlığı yükü oluşturmaktadır. Bu derlemenin amacı, Türkiye'de ağız ve diş sağlığının mevcut durumunu güncel epidemiyolojik veriler ışığında değerlendirmek; diş çürüğü, periodontal hastalıklar ve ağız kanserlerinin dağılımını, özel risk gruplarındaki koruyucu gereksinimleri ve ağız sağlığı hizmetlerinin geliştirilmesine yönelik öncelikleri ele almaktır. Ulusal araştırmalar, Türkiye'de diş çürüğü deneyiminin çocukluktan ileri yaşlara kadar yüksek düzeyde seyrettiğini; periodontal hastalıkların özellikle erişkin ve yaşlı bireylerde önemini koruduğunu göstermektedir. Ağız kanserleri daha düşük sıklıkta görülmekle birlikte erken tanı, risk faktörlerinin kontrolü ve düzenli oral mukozal değerlendirme açısından önem taşımaktadır. Çocuklar ve ebeveynler, gebeler, geriatrik bireyler ile özel bakım gereksinimi olan kişiler koruyucu hizmetler açısından öncelikli gruplardır. Türkiye'de ağız sağlığı yükünün azaltılması için tedavi odaklı yaklaşımdan koruyucu ve risk temelli bir modele geçilmesi; okul temelli programların, aile ve bakım veren eğitimlerinin, birinci basamak sağlık hizmetleriyle entegrasyonun ve düzenli ulusal sürveyansın güçlendirilmesi gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: ağız sağlığı, Türkiye, diş çürüğü, periodontal hastalıklar, ağız kanseri, koruyucu diş hekimliği

ABSTRACT

Oral and dental health is a fundamental component of general health and quality of life, while oral diseases represent a major public health burden worldwide. The aim of this review is to evaluate the current status of oral and dental health in Türkiye in light of up-to-date epidemiological data and to address the distribution of dental caries, periodontal diseases, and oral cancers, the preventive needs of specific risk groups, and priorities for improving oral health services. National studies indicate that the burden of dental caries remains high from childhood through older age, while periodontal diseases continue to represent an important health concern, particularly among adults and older individuals. Although oral cancers occur less frequently, they remain clinically important with regard to early detection, control of risk factors, and regular oral mucosal examinations. Children and their parents, pregnant women, older adults, and individuals with special health care needs constitute priority groups for preventive services. To reduce the burden of oral diseases in Türkiye, a shift from a treatment-oriented approach toward a preventive and risk-based model is needed. Strengthening school-based programs, education of families and caregivers, integration with primary health care services, and regular national surveillance should be prioritized.
Keywords: oral health, Türkiye, dental caries, periodontal diseases, oral cancer, preventive dentistry

GİRİŞ

Ağız ve diş sağlığı, genel sağlığın ve yaşam kalitesinin ayrılmaz bir bileşenidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ağız sağlığını; bireyin yemek yeme, nefes alma ve konuşma gibi temel işlevlerini yerine getirebilmesinin yanı sıra özgüven, iyilik hali, sosyalleşme ve çalışma kapasitesi gibi psikososyal boyutları da kapsayan ağız, dişler ve orofasiyal yapıların sağlık durumu olarak ele almaktadır. Bu yönüyle ağız sağlığı yalnızca hastalık veya diş kaybının bulunmamasıyla sınırlı olmayıp bireyin fiziksel, psikolojik ve sosyal iyilik haliyle yakından ilişkilidir.

Diş çürükleri, periodontal hastalıklar, diş kayıpları ve ağız kanserleri dünya genelinde en yaygın görülen ağız hastalıkları arasında yer almaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre ağız hastalıkları yaklaşık 3,5 milyar kişiyi, diğer bir ifadeyle dünya nüfusunun yaklaşık %45'ini etkilemektedir. Tedavi edilmemiş diş çürüğünün yaklaşık 2,5 milyar kişiyi etkileyerek dünya genelinde en yaygın sağlık sorunlarından biri olduğu; şiddetli periodontal hastalıkların ise yaklaşık 1 milyar kişide görüldüğü bildirilmektedir (World Health Organization, 2022). Bu yüksek hastalık yüküne karşın ağız hastalıklarının önemli bir bölümü önlenebilir niteliktedir. Ayrıca serbest şeker tüketimi, tütün kullanımı ve zararlı alkol kullanımı gibi önemli risk faktörlerinin diğer bulaşıcı olmayan hastalıklarla ortak olması, ağız sağlığının genel halk sağlığı politikaları içerisinde bütüncül olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir (World Health Organization, 2024).

Ağız hastalıklarının toplum içindeki dağılımı homojen değildir. Sosyoekonomik koşullar, eğitim düzeyi, yaşanılan bölge, sağlık hizmetlerine erişim ve bireysel sağlık davranışları ağız sağlığı sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Özellikle dezavantajlı ve kırılgan gruplarda hem hastalık yükünün hem de ağız sağlığı hizmetlerine erişimdeki eşitsizliklerin daha belirgin olduğu bildirilmektedir (World Health Organization, 2022). Bu nedenle güncel ağız sağlığı yaklaşımı, yalnızca mevcut hastalıkların tedavi edilmesi yerine risk faktörlerinin kontrolünü, koruyucu uygulamaların yaygınlaştırılmasını ve ağız sağlığı hizmetlerine eşit erişimin sağlanmasını ön plana çıkarmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'nün 2023–2030 Küresel Ağız Sağlığı Eylem Planı da ağız sağlığının evrensel sağlık kapsamına entegre edilmesini temel hedeflerden biri olarak benimsemektedir.

Türkiye'de de diş çürükleri ve diğer ağız hastalıkları önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam etmektedir. Ulusal ölçekte gerçekleştirilen epidemiyolojik araştırmalar, farklı yaş gruplarında ağız sağlığı durumunun belirlenmesi, risk faktörlerinin ortaya konulması ve koruyucu sağlık politikalarının planlanması açısından temel veri kaynağı oluşturmaktadır. T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından yürütülen Türkiye Ağız ve Diş Sağlığı Profili Araştırması (TADSAP-2018), bu amaçla ulusal düzeyde temsiliyeti olan güncel verilerin elde edilmesine yönelik gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın sonuçlarına dayanan güncel bir çalışmada 5, 12 ve 15 yaşındaki çocuklar ile 35–44 ve 65–74 yaş gruplarından toplam 11.091 birey değerlendirilmiş ve Türkiye genelinde diş çürüğü prevalansının yüksek olduğu gösterilmiştir. Bulgular aynı zamanda yaş, sosyodemografik özellikler ve ağız sağlığı davranışlarının hastalık yüküyle ilişkili olabileceğini ortaya koymaktadır (Orhan ve ark., 2024)

Bu doğrultuda, toplumun ağız ve diş sağlığının iyileştirilmesi yalnızca tedavi hizmetlerinin artırılmasıyla sınırlı tutulmamalı; koruyucu uygulamaların yaşamın erken dönemlerinden itibaren yaygınlaştırılması, ağız sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesi, düzenli epidemiyolojik izlemin sağlanması ve risk gruplarına yönelik hedeflenmiş programların oluşturulması gerekmektedir. Bu derlemenin amacı, Türkiye'de ağız ve diş sağlığının mevcut durumunu güncel epidemiyolojik veriler ışığında değerlendirmek; başlıca ağız hastalıklarının dağılımını, ilişkili risk faktörlerini ve ağız sağlığı davranışlarını incelemek ve koruyucu ağız sağlığı hizmetlerinin geliştirilmesine yönelik gereksinimleri ortaya koymaktır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Türkiye'de Ağız ve Diş Sağlığının Genel Görünümü

Bir toplumun ağız ve diş sağlığı düzeyinin belirlenmesi; mevcut hastalık yükünün ortaya konulması, yüksek riskli grupların tanımlanması, koruyucu ve tedavi edici hizmetlerin planlanması ve sağlık politikalarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Türkiye'de ağız sağlığına ilişkin ulusal düzeydeki epidemiyolojik araştırmalar, farklı yaş gruplarında diş çürüğü, periodontal durum, diş kaybı ve ağız sağlığı davranışlarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilen ulusal ağız sağlığı araştırmaları, Türkiye'de ağız hastalıklarının önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam ettiğini göstermektedir.

Türkiye'nin üçüncü ulusal ağız sağlığı araştırması kapsamında 2018 yılında 5, 12, 15, 35–44 ve 65–74 yaş gruplarındaki bireyler değerlendirilmiştir. Ulusal düzeyde temsiliyeti bulunan araştırmada toplam 11.091 bireyin verileri incelenmiş ve diş çürüğü deneyiminin yaş gruplarına göre belirgin farklılık gösterdiği ortaya konulmuştur. Bulgular, ağız hastalıklarının yalnızca çocukluk dönemine özgü bir sorun olmadığını; yaşam boyu devam eden ve ilerleyen yaşla birlikte birikimli etkileri daha belirgin hale gelen bir hastalık yükü oluşturduğunu göstermektedir (Orhan ve ark., 2024).

Çocukluk döneminde ağız sağlığının değerlendirilmesi, hem mevcut hastalık yükünün belirlenmesi hem de ileri yaşlarda ortaya çıkabilecek ağız sağlığı sorunlarının önlenmesi açısından özel önem taşımaktadır. Ulusal araştırma sonuçlarında 5 yaşındaki çocuklarda süt dişlerindeki çürük deneyiminin önemli düzeyde olduğu bildirilmiştir. Benzer şekilde 12 ve 15 yaş gruplarında da daimi dişlerde çürük deneyiminin devam ettiği görülmektedir (Orhan ve ark., 2024). Bu durum, koruyucu ağız sağlığı uygulamalarının okul çağından önce başlatılması ve çocukluk ile ergenlik dönemleri boyunca sürdürülmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Ağız sağlığı sorunlarının birikimli niteliği erişkin ve ileri yaş gruplarında daha belirgin hale gelmektedir. Türkiye'deki ulusal veriler, 35–44 yaş grubunda çürük deneyiminin oldukça yaygın olduğunu, 65–74 yaş grubunda ise diş kaybının ağız sağlığı profilinin önemli bir bileşeni haline geldiğini göstermektedir (Orhan ve ark.., 2024). Yaşla birlikte artan restoratif tedavi gereksinimi ve diş kayıpları, yaşam boyunca etkili koruyucu uygulamaların sürdürülememesinin uzun dönemli sonuçlarını yansıtmaktadır.

Ağız sağlığının değerlendirilmesinde yalnızca klinik hastalık göstergelerinin değil, bireylerin ağız sağlığı davranışlarının da dikkate alınması gerekmektedir. Diş fırçalama alışkanlığı, florürlü diş macunu kullanımı, beslenme özellikleri ve düzenli diş hekimi kontrolleri diş çürüğü ve periodontal hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Türkiye'deki ulusal araştırma sonuçları, ağız sağlığı davranışlarının yaş, eğitim düzeyi ve sosyodemografik özelliklere göre değişebildiğini ve bu faktörlerin diş çürüğü deneyimiyle ilişkili olduğunu göstermektedir (Orhan ve ark., 2024).

Ağız hastalıklarının toplumdaki dağılımında sosyoekonomik eşitsizlikler de dikkate alınmalıdır. Dünya genelindeki veriler, düşük gelir ve eğitim düzeyi, sağlık hizmetlerine sınırlı erişim ve dezavantajlı yaşam koşullarının daha yüksek ağız hastalığı yüküyle ilişkili olduğunu göstermektedir (World Health Organization, 2022). Türkiye açısından da ağız sağlığının yalnızca bireysel ağız hijyeni davranışlarının sonucu olarak değerlendirilmemesi; sosyal belirleyiciler, koruyucu hizmetlere erişim ve sağlık hizmetlerinden yararlanma örüntüleriyle birlikte ele alınması gerekmektedir.

Türkiye'nin ağız sağlığı profili genel olarak değerlendirildiğinde, diş çürüğünün çocukluktan ileri yaşlara kadar önemini koruduğu, ilerleyen yaşlarda diş kayıplarının belirginleştiği ve koruyucu ağız sağlığı davranışlarının geliştirilmesine yönelik gereksinimin devam ettiği görülmektedir. Bu bulgular, tedavi gereksinimi ortaya çıktıktan sonra hizmet sunmaya dayanan yaklaşımların tek başına yeterli olmadığını; yaşam boyu koruyucu ağız sağlığı yaklaşımının benimsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle erken çocukluk döneminden başlayan, aile ve okul ortamını kapsayan ve erişkinlik ile ileri yaşlarda devam eden koruyucu programların geliştirilmesi, toplum düzeyindeki ağız hastalığı yükünün azaltılması açısından önem taşımaktadır.

Türkiye’de Diş Çürüğü Prevalansı

Diş çürüğü, önlenebilir olmasına rağmen Türkiye’de çocukluk döneminden ileri yaşlara kadar yaygınlığını sürdüren önemli bir ağız sağlığı sorunudur. Hastalık; biyofilm, fermente edilebilir karbonhidratlar ve diş dokuları arasındaki dinamik etkileşim sonucunda gelişmekle birlikte bireysel davranışların yanı sıra sosyoekonomik ve çevresel belirleyicilerden de etkilenmektedir. Bu nedenle toplumdaki çürük yükünün değerlendirilmesinde yalnızca klinik göstergelerin değil, ağız sağlığı davranışları, eğitim düzeyi ve sağlık hizmetlerine erişim gibi faktörlerin de dikkate alınması gerekmektedir.

Türkiye'de gerçekleştirilen ulusal ağız sağlığı araştırmaları, diş çürüğünün farklı yaş gruplarında yüksek prevalansa sahip olduğunu göstermektedir. 2018 yılında gerçekleştirilen 3. Ulusal Ağız Sağlığı Araştırması verilerine göre, tüm çalışma popülasyonunda diş çürüğü deneyimi (dmft/DMFT>0) prevalansı %76,5 olarak bildirilmiştir. Yaş gruplarına göre değerlendirildiğinde prevalans 5 yaşında %66,2, 12 yaşında %54,7, 15 yaşında %69,4, 35–44 yaş grubunda %97,0 ve 65–74 yaş grubunda %99,8 olarak saptanmıştır (Orhan ve ark., 2024). Bu sonuçlar, Türkiye’de diş çürüğünün yalnızca pediatrik popülasyonu ilgilendiren bir problem olmadığını, yaşam boyunca devam eden ve ileri yaşlarda birikimli etkileri belirginleşen bir hastalık olduğunu ortaya koymaktadır.

Çocukluk dönemi, diş çürüğünün önlenmesi açısından kritik bir zaman aralığıdır. Özellikle süt dişlenme döneminde başlayan yüksek çürük deneyimi, çocuğun beslenmesini, yaşam kalitesini ve ağız sağlığıyla ilişkili davranışlarının gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir. Üçüncü ulusal araştırmada 5 yaşındaki çocukların yaklaşık üçte ikisinde çürük deneyimi bulunması, koruyucu girişimlerin okul dönemini beklemeden erken çocukluk döneminde başlatılması gerektiğine işaret etmektedir.

Ayrıca çocuk ve adölesanlarda annenin eğitim düzeyinin çürük prevalansıyla ilişkili bulunması, çocukların ağız sağlığının yalnızca bireysel davranışlarla açıklanamayacağını ve aileye ilişkin sosyal belirleyicilerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Orhan ve ark., 2024).

Türkiye'deki çocukluk çağı çürük yükünü değerlendiren daha yeni ve kapsamlı veriler de bu tabloyu desteklemektedir. Eroğlu Çakmakoğlu ve Günay tarafından 2025 yılında yayımlanan meta-analizde, 2000–2024 yılları arasında Türkiye'de gerçekleştirilen 28 çalışma ve yaklaşık 2–15 yaş aralığındaki toplam 40.244 çocuk değerlendirilmiştir. Çalışmada çocuklarda birleştirilmiş diş çürüğü prevalansı %75,6 (%95 GA: %70,8–79,8) olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte çalışmalar arasında oldukça yüksek heterojenite (I^2=%98,4) bulunması, bu değerin Türkiye'deki tüm çocuklar için tek ve kesin bir prevalans oranı şeklinde yorumlanmaması gerektiğini göstermektedir (Eroğlu Çakmakoğlu & Günay, 2025). Bu bulgu aynı zamanda farklı bölgelerde, yaş gruplarında ve sosyoekonomik koşullarda çürük yükünün önemli ölçüde değişebildiğine işaret etmektedir.

Türkiye'deki çürük yükünün zaman içerisindeki değişiminin değerlendirilmesi de önemlidir. 2004–2005 yıllarında gerçekleştirilen önceki ulusal araştırmada 5 yaşındaki çocukların yalnızca %30,2'sinin çürüksüz olduğu ve ortalama dmft değerinin 3,7 olduğu bildirilmiştir. Aynı araştırmada ortalama DMFT değeri 12 yaşında 1,9, 15 yaşında 2,3, 35–44 yaş grubunda 10,8 ve 65–74 yaş grubunda 25,8 olarak belirlenmiştir (Gökalp & Güçiz Doğan, 2012). Bu sonuçlarla güncel ulusal veriler birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'de ağız sağlığı sorunlarının uzun süredir devam ettiği ve koruyucu stratejilerin sürekliliğinin önem taşıdığı görülmektedir. Bununla birlikte farklı araştırma dönemleri arasındaki değişimin yorumlanmasında örneklem özellikleri ve değerlendirme yöntemlerindeki olası farklılıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

Erişkin dönemde çürük deneyiminin çok yüksek düzeylere ulaşması, hastalığın yaşam boyunca biriken etkisini göstermektedir. Üçüncü ulusal araştırmada 35–44 yaş grubunda bireylerin %97'sinde çürük deneyimi bulunurken, mevcut tedavi edilmemiş çürük prevalansı %63,8 olarak bildirilmiştir. Ayrıca bu yaş grubunda kırsal bölgede yaşayan bireylerde çürük prevalansının kentsel bölgede yaşayanlara göre daha yüksek olduğu saptanmıştır (Orhan ve ark., 2024). Bu bulgu, ağız sağlığı hizmetlerine erişim ve sosyoekonomik koşullar gibi sosyal belirleyicilerin erişkin ağız sağlığı üzerindeki olası etkilerine dikkat çekmektedir.

İleri yaşlarda ise çürük deneyimine diş kaybı ve kök çürükleri gibi sorunlar eşlik etmektedir. Türkiye'deki ulusal verilere dayanan daha önceki bir çalışmada kök çürüğü prevalansı dişli 35–44 yaş grubunda %20,1, 65–74 yaş grubunda ise %28,4 olarak bildirilmiştir. Kırsal bölgede yaşama, diş fırçalamama ve daha önce diş hekimine gitmemiş olma kök çürüğüyle ilişkili faktörler arasında yer almıştır (Gökalp & Güçiz Doğan, 2012). Yaşlı bireylerde kök yüzeylerinin açığa çıkması, ağız hijyeninin sürdürülmesindeki güçlükler, tükürük akışını etkileyebilecek durumlar ve dişlerin ağızda daha uzun süre tutulması gibi faktörler, koruyucu uygulamaların bu yaş grubunun gereksinimlerine göre planlanmasını gerekli kılmaktadır.

Türkiye'deki veriler genel olarak değerlendirildiğinde, diş çürüğünün yaşamın farklı dönemlerinde farklı biçimlerde ortaya çıkan ancak süreklilik gösteren önemli bir halk sağlığı sorunu olduğu görülmektedir. Çocuklarda hastalığın erken başlaması, erişkinlerde çürük deneyiminin yaygınlaşması ve ileri yaşlarda diş kayıpları ile kök çürüklerinin tabloya eklenmesi, yalnızca restoratif tedaviye dayalı bir yaklaşımın toplum düzeyindeki hastalık yükünü azaltmak için yeterli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle erken çocukluk döneminden itibaren florür kullanımının desteklenmesi, serbest şeker tüketiminin sınırlandırılması, etkili ağız hijyeni davranışlarının kazandırılması, düzenli diş hekimi kontrollerinin teşvik edilmesi ve risk temelli koruyucu uygulamaların yaygınlaştırılması önem taşımaktadır.

Türkiye'de Periodontal Hastalıklar

Periodontal hastalıklar, dişleri çevreleyen ve destekleyen dokuları etkileyen, gingival inflamasyondan ilerleyici periodontal doku yıkımına kadar farklı klinik tablolarla seyreden önemli kronik ağız hastalıklarıdır. Gingivitis uygun plak kontrolü ve koruyucu uygulamalarla geri dönüşümlü olabilmekle birlikte periodontitis; periodontal ataşman ve alveoler kemik kaybıyla karakterize, ilerleyen dönemlerde diş kaybına yol açabilen kronik inflamatuvar bir hastalıktır. Periodontal hastalıkların yüksek prevalansı ve diş kaybıyla ilişkisi, bu hastalıkları bireysel tedavi gereksiniminin ötesinde önemli bir halk sağlığı sorunu haline getirmektedir.

Türkiye'de periodontal durumun toplum düzeyindeki dağılımına ilişkin temel veriler ulusal ağız sağlığı araştırmalarından elde edilmiştir. Türkiye'nin 2004–2005 yıllarında gerçekleştirilen ulusal ağız sağlığı araştırmasında 5, 12, 15, 35–44 ve 65–74 yaş/yaş gruplarından toplam 7.833 birey değerlendirilmiştir.

On beş yaşındaki bireylerin %56,2'sinde periodontal dokular sağlıklı olarak değerlendirilirken, erişkin dönemde periodontal sorunların belirgin biçimde arttığı görülmüştür. Özellikle 35–44 yaş grubunda bireylerin %62,6'sında diş taşı saptanmış ve %1,2'sinde 6 mm veya daha fazla periodontal ataşman kaybı bildirilmiştir (Gökalp ve ark., 2010). Ayrıca kırsal bölgelerde yaşayan bireylerde periodontal problemlerin kentsel bölgelerde yaşayanlara göre daha şiddetli olduğu belirtilmiştir.

Periodontal doku kaybı ileri yaşlarda daha belirgin hale gelmektedir. Aynı ulusal araştırmanın erişkin ve yaşlı popülasyonuna ilişkin sonuçlarında 35–44 yaş grubundaki bireylerin yaklaşık üçte birinde 3 mm'nin üzerinde periodontal ataşman kaybı bulunurken, bu oranın 65–74 yaş grubunda %60'ın üzerine çıktığı bildirilmiştir. İleri yaş grubunda 6 mm ve üzerindeki ataşman kayıplarının da daha sık görülmesi, periodontal hastalıkların yaşam boyunca birikimli etkisini ortaya koymaktadır. Bu durum, periodontal sağlığın yalnızca ileri yaşlarda tedavi edilmesi gereken bir problem olarak değil, genç erişkinlikten itibaren düzenli olarak izlenmesi gereken bir sağlık göstergesi olarak değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Türkiye'deki daha yeni klinik veriler de periodontal hastalık yükünün önemini desteklemektedir. Yakın tarihli, 2.000 dental hastanın değerlendirildiği bir çalışmada bireylerin yalnızca %9,2'sinde klinik olarak sağlıklı gingiva saptanırken, toplam %37,95'inde gingivitis ve %50,65'inde periodontitis bildirilmiştir. Periodontitis olgularının büyük bölümünü evre I–II hastalık oluştururken, %3,45 oranında evre III–IV periodontitis saptanmıştır (Ozcan Bulut & Ozturkmen, 2025). Bununla birlikte bu sonuçlar bir diş hekimliği kliniğine başvuran hastalardan elde edildiği için Türkiye toplumunun prevalansını temsil eden ulusal veriler olarak değerlendirilmemelidir. Buna karşın bulgular, klinik başvuru yapan erişkinlerde periodontal hastalık yükünün günümüzde de önemli olduğunu göstermesi açısından değerlidir.

Periodontal hastalıkların ortaya çıkışı ve ilerlemesi yalnızca dental biyofilm varlığıyla açıklanamamakta; sigara kullanımı, diyabet, yaş, ağız hijyeni davranışları ve sosyoekonomik koşullar gibi çeşitli faktörler hastalık riskini ve şiddetini etkileyebilmektedir. Özellikle sigara kullanımı ve yetersiz plak kontrolü periodontitis açısından değiştirilebilir önemli risk faktörleri arasında yer almaktadır. Periodontitis ile diyabet arasındaki çift yönlü ilişki de periodontal sağlığın genel sağlıkla birlikte değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle periodontal hastalıkların önlenmesine yönelik stratejilerin yalnızca profesyonel periodontal tedaviye değil, ortak risk faktörlerinin kontrolüne ve sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesine de odaklanması gerekmektedir.

Periodontal hastalıkların önlenmesinde etkili bireysel plak kontrolünün sağlanması temel yaklaşımdır. Günde en az iki kez florürlü diş macunu ile dişlerin fırçalanması, uygun ara yüz temizliğinin yapılması ve bireyin periodontal risk düzeyine göre düzenli profesyonel değerlendirme ve bakımın sağlanması periodontal sağlığın korunmasında önem taşımaktadır. Bununla birlikte toplum düzeyinde ağız sağlığı okuryazarlığının artırılması, sigara kullanımının azaltılması ve diyabet gibi kronik hastalıklarla ilişkili koruyucu sağlık programlarına periodontal sağlığın entegre edilmesi gerekmektedir.

Türkiye'deki mevcut bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, periodontal hastalık yükünün özellikle erişkin ve ileri yaş gruplarında önemli olduğu görülmektedir. Ancak mevcut ulusal periodontal verilerin önemli bir bölümünün geçmiş yıllarda gerçekleştirilen araştırmalara dayanması dikkat çekicidir. Periodontitisin tanımı ve sınıflandırılmasında zaman içerisinde meydana gelen değişiklikler de eski ve yeni çalışmaların doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. Bu nedenle Türkiye'de güncel periodontal hastalık yükünün belirlenebilmesi için uluslararası kabul gören güncel tanı kriterlerinin kullanıldığı, ulusal düzeyde temsil gücü yüksek ve düzenli aralıklarla tekrarlanan epidemiyolojik araştırmalara gereksinim bulunmaktadır.

Türkiye’de Ağız Kanserleri

Ağız kanserleri, diş çürüğü ve periodontal hastalıklara kıyasla daha düşük sıklıkta görülmekle birlikte mortalite, morbidite ve yaşam kalitesi üzerindeki etkileri nedeniyle önemli bir halk sağlığı sorunudur. Ağız boşluğunda gelişen maligniteler dudak, dil, ağız tabanı, bukkal mukoza, gingiva, sert damak ve retromolar bölge gibi farklı anatomik alanları etkileyebilmektedir. Bu tümörler içerisinde en yaygın histopatolojik tip oral skuamöz hücreli karsinomdur (OSCC).

Ağız kanserlerinde prognozun hastalığın tanı anındaki evresiyle yakından ilişkili olması, erken tanı ve düzenli oral mukozal değerlendirmenin önemini artırmaktadır.

Ağız kanserleri küresel ölçekte önemli bir hastalık yükü oluşturmaktadır. Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı'nın (IARC) GLOBOCAN 2022 verilerine göre dünya genelinde dudak ve ağız boşluğu kanserlerine ilişkin yaklaşık 389.846 yeni olgu ve 188.438 ölüm meydana geldiği tahmin edilmektedir (International Agency for Research on Cancer [IARC], 2022a). Bu veriler dudak ve ağız boşluğu kanserlerinin dünya genelindeki kanser yükünün önemli bileşenlerinden biri olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte ağız kanserlerinin görülme sıklığı ülkeler ve coğrafi bölgeler arasında önemli farklılıklar göstermekte; bu farklılıklarda tütün ve alkol kullanımı başta olmak üzere davranışsal, çevresel ve sosyoekonomik faktörler rol oynamaktadır.

Türkiye için GLOBOCAN 2022 verileri değerlendirildiğinde, tüm kanserler için yaklaşık 240.013 yeni olgu ve 129.672 kansere bağlı ölüm tahmin edilmiştir (IARC, 2022b). Dudak ve ağız boşluğu kanserleri Türkiye'de en sık görülen ilk beş kanser arasında bulunmamakla birlikte, hastalığın fonksiyonel ve estetik sonuçları ile geç tanının prognoz üzerindeki olumsuz etkileri dikkate alındığında klinik ve halk sağlığı açısından önemini korumaktadır. Türkiye'deki ağız kanseri yükünün değerlendirilmesinde kanser kayıt sistemlerinin sürekliliği ve anatomik bölgelerin standart biçimde sınıflandırılması, zaman içerisindeki değişimin güvenilir biçimde izlenebilmesi açısından önem taşımaktadır.

Türkiye'de gerçekleştirilen klinik çalışmalar ağız kanserlerinin demografik ve histopatolojik özellikleri konusunda önemli bilgiler sağlamaktadır. Gazi Üniversitesi'nde 1993–2013 yılları arasında tedavi edilen 230 ağız boşluğu kanseri olgusunun değerlendirildiği retrospektif bir çalışmada, en sık etkilenen anatomik bölgenin dil (%41,4), en sık histopatolojik tipin ise skuamöz hücreli karsinom (%84,3) olduğu bildirilmiştir. Hastaların tanı sırasındaki ortalama yaşı 55,5 yıl olup erkek/kadın oranı 2,2:1 olarak belirlenmiştir (Düzlü ve ark., 2016). Bu sonuçlar Türkiye'de gerçekleştirilen tek merkezli bir çalışmaya ait olmakla birlikte, oral skuamöz hücreli karsinomun ağız boşluğu maligniteleri içerisindeki baskın histopatolojik tip olduğunu desteklemektedir.

Ağız kanserlerinin gelişiminde tütün kullanımı en önemli değiştirilebilir risk faktörlerinden biridir. Alkol tüketimi de bağımsız bir risk faktörü olup, tütün ve alkolün birlikte kullanılması riski daha da artırabilmektedir. Bu nedenle ağız kanserlerinin önlenmesi yalnızca ağız boşluğuna yönelik girişimlerle sınırlı olmayıp tütün kullanımının azaltılması ve sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesini hedefleyen genel bulaşıcı olmayan hastalık politikalarıyla bütünleştirilmelidir. Beslenme özellikleri, kronik mukozal inflamasyon ve çeşitli sosyoekonomik faktörler de ağız kanseri risk profilinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken diğer unsurlardır.

İnsan papilloma virüsü (HPV) baş ve boyun kanserlerinin etiyolojisinde önem kazanmış olmakla birlikte, HPV'nin rolü anatomik bölgeye göre farklılık göstermektedir. HPV ile ilişki özellikle orofarengeal skuamöz hücreli karsinomlarda belirgindir ve bu kanserler anatomik ve epidemiyolojik açıdan ağız kanserlerinden ayrı değerlendirilmelidir. Türkiye'de oral mukozal lezyonların değerlendirildiği 2025 tarihli bir çalışmada 228 benign, premalign ve malign oral lezyonun %7,4'ünde HPV-DNA saptanmış; premalign lezyonlar ve oral skuamöz hücreli karsinomların birlikte değerlendirildiği grupta HPV-DNA pozitifliği %6,9 olarak bildirilmiştir (Arslan Bozdağ & Gültekin, 2025). Bu bulgular ağız içi lezyonlarda HPV varlığını göstermekle birlikte, HPV'nin Türkiye'deki ağız kanseri yükünün temel nedeni olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır.

Ağız kanserleri açısından en önemli sorunlardan biri hastalığın erken dönemde fark edilmemesidir. Başlangıç aşamasındaki lezyonlar ağrısız veya özgül olmayan klinik bulgularla seyredebildiğinden bireylerin sağlık kuruluşuna başvurması gecikebilmektedir. İki haftadan uzun süre iyileşmeyen ülserasyonlar, persistan kırmızı veya beyaz lezyonlar, açıklanamayan kitle veya sertlik, spontan kanama ve orofasiyal semptomların ayrıntılı değerlendirilmesi gerekmektedir. Şüpheli lezyonların zamanında tanınması ve uygun merkeze yönlendirilmesi erken tanı açısından kritik öneme sahiptir.

Diş hekimleri, ağız boşluğunu rutin olarak değerlendirebilmeleri nedeniyle ağız kanserlerinin ve potansiyel malign bozuklukların erken tanısında önemli bir konuma sahiptir. Rutin dental muayenenin yalnızca diş ve periodontal dokularla sınırlandırılmaması; oral mukozanın sistematik biçimde incelenmesi ve hastaların tütün ve alkol kullanımı gibi risk faktörlerinin sorgulanması gerekmektedir.

Özellikle risk grubundaki bireylerde şüpheli lezyonların erken fark edilmesi ve ileri değerlendirme için yönlendirilmesi tanısal gecikmenin azaltılmasına katkıda bulunabilir.
Türkiye'de ağız kanserlerinin kontrolüne yönelik yaklaşım; birincil korunma, erken tanı ve toplum farkındalığının artırılmasını birlikte içermelidir. Tütün kullanımının azaltılması, risk faktörlerine ilişkin toplum bilincinin geliştirilmesi, bireylerin ağızda ortaya çıkan persistan değişiklikler konusunda bilgilendirilmesi ve sağlık profesyonellerinin ağız kanseri belirtilerini tanıma konusundaki farkındalıklarının artırılması önem taşımaktadır. Bunun yanında ulusal kanser kayıtlarında ağız boşluğu, orofarenks ve diğer baş-boyun bölgelerinin standart anatomik sınıflandırmalarla ayrı ayrı izlenmesi, Türkiye'deki gerçek hastalık yükünün ve zaman içerisindeki değişimin ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

Özel Gruplarda Koruyucu Ağız Sağlığı

Ağız hastalıklarının risk faktörleri ve koruyucu gereksinimler yaşamın farklı dönemlerinde değişiklik göstermektedir. Çocuklar, gebeler, yaşlı bireyler, özel gereksinimli veya günlük yaşam aktivitelerinde desteğe gereksinim duyan bireyler ağız sağlığı açısından özel yaklaşım gerektiren gruplar arasında yer almaktadır. Bu nedenle toplum temelli ağız sağlığı politikalarının tüm bireylere aynı yaklaşımın uygulanması yerine yaşam dönemini, bireysel riskleri, bakım gereksinimini ve sosyal belirleyicileri dikkate alan bir yapıda planlanması önemlidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) de ağız sağlığının erken yaşamdan ileri yaşlara kadar değiştiğini ve yaşam boyu genel sağlığın ayrılmaz bir parçası olduğunu vurgulamaktadır (World Health Organization, 2024).

Çocuklar ve Ebeveynler

Çocukluk dönemi, yaşam boyu sürdürülebilecek ağız sağlığı davranışlarının kazanılması ve diş çürüklerinin önlenmesi açısından kritik bir dönemdir. Türkiye'de 5 yaşındaki çocuklarda yüksek çürük prevalansının bildirilmiş olması, koruyucu girişimlerin okul çağından önce başlatılması gerektiğini göstermektedir (Orhan ve ark., 2024). Erken çocukluk döneminde çocukların kendi ağız bakımını bağımsız ve etkili biçimde gerçekleştirememesi nedeniyle ebeveynler ağız sağlığının korunmasında temel role sahiptir.
Ebeveynlerin ağız sağlığı konusundaki bilgi, tutum ve davranışları; çocuğun diş fırçalama alışkanlığı, beslenme davranışları ve dental hizmetlerden yararlanması üzerinde etkili olabilmektedir. Türkiye'nin Üçüncü Ulusal Ağız Sağlığı Araştırması'nda çocuk ve adölesanlarda annenin eğitim düzeyi ile çürük prevalansı arasında ilişki bulunması, aileye ilişkin sosyal ve davranışsal faktörlerin çocukların ağız sağlığındaki önemini desteklemektedir (Orhan ve ark., 2024). Dolayısıyla çocuklara yönelik koruyucu programların yalnızca çocuk merkezli değil, ebeveyn ve aileyi de kapsayan bir yapıda yürütülmesi gerekmektedir.
Çocukların sağlık sistemiyle diş hekiminden önce veya daha sık karşılaşabildiği diğer sağlık profesyonelleri de erken koruyucu girişimler açısından önemli bir fırsat oluşturmaktadır. Türkiye'de 2024 yılında pediatristlerin çocuk ağız sağlığı konusundaki bilgi, tutum ve uygulamalarını değerlendiren bir araştırma, pediatristlerin ağız sağlığının korunmasındaki potansiyel rollerine dikkat çekmiştir (Akbeyaz Sivet ve ark., 2024). Bu durum, çocukluk çağı ağız sağlığının yalnızca diş hekimliği hizmetlerinin sorumluluğunda görülmemesi; çocuk hekimleri, aile hekimleri, hemşireler ve diğer sağlık profesyonellerinin de koruyucu ağız sağlığı mesajlarının aktarılmasına katkıda bulunması gerektiğini göstermektedir.
Okullar ise geniş çocuk gruplarına ulaşılabilmesi nedeniyle ağız sağlığının geliştirilmesi açısından önemli ortamlardır. Diş fırçalama eğitimi, sağlıklı beslenme farkındalığı ve koruyucu dental uygulamalar okul temelli sağlık programlarına entegre edilebilir. Bununla birlikte okul programlarının yalnızca tek seferlik eğitim etkinlikleri şeklinde uygulanması yerine öğretmenlerin, ebeveynlerin, sağlık profesyonellerinin ve yerel kurumların katıldığı sürdürülebilir programlar haline getirilmesi daha uygun olacaktır.

Gebeler

Gebelik dönemi, fizyolojik ve hormonal değişikliklerin yanı sıra beslenme ve ağız hijyeni davranışlarındaki değişiklikler nedeniyle ağız sağlığı açısından özel önem taşımaktadır. Gebelik sırasında artan gingival inflamasyon, kusmaya bağlı ağız ortamındaki değişiklikler ve beslenme alışkanlıklarındaki farklılaşmalar mevcut ağız hastalıklarının seyrini etkileyebilmektedir.

Bu nedenle gebelik, ağız sağlığının ihmal edilmesi gereken bir dönem değil, aksine koruyucu değerlendirme ve danışmanlık açısından önemli bir fırsat olarak ele alınmalıdır.
Türkiye'de 2024 yılında yayımlanan ve gebe olan ve olmayan kadınların karşılaştırıldığı bir çalışmada, gebelerde plak ve gingival indeks değerleri ile çürük deneyiminin daha yüksek olduğu; ayrıca gebelik döneminde tükürük pH'sının daha düşük bulunduğu bildirilmiştir (Yılmaz ve ark., 2024). Çalışmanın sonuçları gebelik sırasında meydana gelen fizyolojik değişikliklerin yanı sıra ağız hijyeni davranışlarının da ağız sağlığında rol oynayabileceğini göstermektedir.
Gebelik döneminde koruyucu yaklaşımın temel bileşenleri etkili plak kontrolünün sürdürülmesi, florürlü diş macunuyla düzenli fırçalama, uygun beslenme davranışlarının desteklenmesi ve gerekli dental değerlendirmenin ertelenmemesidir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) de dental kontrollerin gebelik sırasında özellikle önemli olduğunu belirtmektedir (World Health Organization, 2024). Gebelik aynı zamanda annenin kendi sağlığının ötesinde, doğacak çocuğun gelecekteki ağız sağlığı davranışlarının şekillendirilmesi açısından bir eğitim fırsatı sunmaktadır. Bu nedenle prenatal sağlık hizmetleri içerisinde ağız sağlığı eğitiminin yer alması ve gerektiğinde gebe bireylerin diş hekimine yönlendirilmesi, disiplinler arası koruyucu sağlık yaklaşımının bir parçası olmalıdır.

Geriatrik Bireyler

Nüfusun yaşlanmasıyla birlikte ileri yaşlarda ağız sağlığının korunması giderek daha önemli bir halk sağlığı konusu haline gelmektedir. Yaşlı bireylerde yaşam boyunca biriken diş çürüğü ve periodontal hastalık deneyimine diş kayıpları, kök çürükleri, protez kullanımı ve ağız hijyeninin sürdürülmesindeki güçlükler eşlik edebilmektedir. Ayrıca çoklu ilaç kullanımıyla ilişkili ağız kuruluğu ve fiziksel veya bilişsel fonksiyonlardaki azalma, bireysel ağız bakımının sürdürülmesini güçleştirebilir.
Türkiye'deki ulusal ağız sağlığı verilerinde 65–74 yaş grubunda çürük deneyiminin son derece yüksek olduğu gösterilmiştir (Orhan ve ark., 2024). Türkiye'de huzurevinde yaşayan yaşlı bireyleri değerlendiren bir çalışmada ise bireylerin yalnızca %32,6'sının en az bir doğal dişe sahip olduğu ve yalnızca %7,3'ünde 20 veya daha fazla dişten oluşan fonksiyonel dentisyon bulunduğu bildirilmiştir. Tam dişsizlik oranının %67,4 olması, kurumsal bakım altındaki yaşlı bireylerin önemli bir ağız sağlığı hizmeti gereksinimine sahip olduğunu göstermiştir (Ünlüer ve ark., 2007). Bununla birlikte bu sonuçların eski ve tek bir kurumdan elde edilmiş olması nedeniyle günümüzde Türkiye'deki tüm yaşlı popülasyona genellenmesi uygun değildir.
Yaşlı bireylerde koruyucu ağız sağlığı yaklaşımı yalnızca mevcut dişlerin korunmasına değil, çiğneme fonksiyonunun ve yaşam kalitesinin sürdürülmesine de odaklanmalıdır. Özellikle bağımlılık düzeyi arttıkça bireyin kendi ağız bakımını gerçekleştirebilme kapasitesinin değerlendirilmesi ve gerektiğinde bakım verenlerin sürece dahil edilmesi gerekmektedir.

Özel Bakım Gereksinimi Olan Bireyler ve Bakım Verenler

Fiziksel, bilişsel veya fonksiyonel kısıtlılıklar nedeniyle günlük ağız bakımını bağımsız olarak gerçekleştiremeyen bireyler, ağız hastalıkları açısından önemli bir risk grubunu oluşturmaktadır. Bu bireylerde ağız hijyeninin sürdürülmesi büyük ölçüde aile üyeleri veya profesyonel bakım verenlere bağlı olabilmektedir. Dolayısıyla bakım verenlerin ağız sağlığı bilgi ve becerileri doğrudan bakım alan bireyin ağız sağlığını etkileyebilecek bir faktördür.
Türkiye'de evde sağlık hizmeti alan tam veya kısmi bağımlı bireylerin bakım verenlerini değerlendiren 2026 tarihli güncel bir çalışmada 206 bakım veren incelenmiştir. Katılımcıların %92,2'si diş macunu kullanımına ilişkin soruyu doğru yanıtlamasına karşın yalnızca %32,5'i günde iki kez diş fırçalama bildirmiş ve hiçbir katılımcının diş ipi kullanmadığı saptanmıştır. Ayrıca eğitim düzeyi yükseldikçe ağız sağlığı bilgi düzeyinin anlamlı biçimde arttığı belirlenmiştir (Şenoymak ve ark., 2026). Bu sonuçlar, bakım verenlerin ağız sağlığı konusunda eğitilmesinin evde sağlık hizmetlerinin önemli bir bileşeni olması gerektiğini göstermektedir.
Bakım veren eğitimi yalnızca teorik bilgi aktarımıyla sınırlı kalmamalıdır. Dişlerin ve protezlerin temizlenmesi, uygun ağız hijyeni ürünlerinin seçimi, ağız kuruluğunun yönetimi, ağız içerisindeki patolojik değişikliklerin fark edilmesi ve bireyin ne zaman profesyonel dental değerlendirmeye yönlendirilmesi gerektiği uygulamalı olarak ele alınmalıdır. Bunun yanında ağız sağlığı değerlendirmelerinin evde sağlık hizmetlerinin rutin değerlendirme protokollerine dahil edilmesi, ağız hastalıklarının erken fark edilmesine katkıda bulunabilir.

Sonuç olarak özel risk gruplarında ağız sağlığının geliştirilmesi, yalnızca bireyin davranışlarını değiştirmeye yönelik eğitimlerle sınırlandırılmamalıdır. Çocuklarda aile ve okulun, gebelerde prenatal sağlık hizmetlerinin, yaşlı ve bağımlı bireylerde ise bakım verenler ile evde sağlık ekiplerinin sürece dahil edilmesi gerekmektedir. Bu yaşam boyu ve disiplinler arası yaklaşım, Dünya Sağlık Örgütü'nün ağız sağlığını temel sağlık hizmetlerine ve evrensel sağlık kapsamına entegre etme hedefiyle de uyumludur (Davies & Doshi, 2024).

Türkiye'de Koruyucu Ağız Diş Sağlığı Hizmetleri ve Geleceğe Yönelik Öneriler

Türkiye'de diş çürüğü ve periodontal hastalıkların farklı yaş gruplarında yaygınlığını sürdürmesi, ağız sağlığı hizmetlerinin yalnızca mevcut hastalıkların tedavisine odaklanan bir yaklaşımla yürütülmesinin yeterli olmadığını göstermektedir. Ağız hastalıklarının önemli ölçüde önlenebilir olması nedeniyle koruyucu hizmetlerin güçlendirilmesi, risk faktörlerinin erken dönemde kontrol altına alınması ve ağız sağlığının genel sağlık politikaları içerisinde daha görünür hale getirilmesi gerekmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün Küresel Ağız Sağlığı Eylem Planı 2023–2030 da geleneksel tedavi odaklı modelden koruyucu, minimal girişimsel ve temel sağlık hizmetleriyle bütünleşmiş bir ağız sağlığı modeline geçişi öncelikli hedefler arasında göstermektedir (World Health Organization, 2024).

Tedavi Odaklı Yaklaşımdan Koruyucu Ağız Sağlığı Uygulamalarına Geçiş

Ağız hastalıklarının tedavisi önemli ekonomik kaynak, zaman ve sağlık insan gücü gerektirmektedir. Bununla birlikte restoratif veya cerrahi tedaviler hastalığın altında yatan davranışsal ve sosyal risk faktörlerini ortadan kaldırmadığında yeni hastalıkların gelişmesini tek başına engelleyememektedir. Bu nedenle ağız sağlığı hizmetlerinin başarısı yalnızca gerçekleştirilen tedavi sayılarıyla değil, hastalıkların ortaya çıkmasının ve ilerlemesinin ne ölçüde önlenebildiğiyle de değerlendirilmelidir.

Koruyucu ağız sağlığı modeli; düzenli florürlü diş macunu kullanımının desteklenmesi, sağlıklı beslenme davranışlarının geliştirilmesi, serbest şeker tüketiminin azaltılması, tütün kullanımının önlenmesi, risk temelli profesyonel koruyucu uygulamalar ve erken tanıyı birlikte içermelidir. Bu yaklaşım aynı zamanda ağız hastalıkları ile diğer bulaşıcı olmayan hastalıkların ortak risk faktörlerinin birlikte ele alınmasına olanak sağlamaktadır. WHO, ağız sağlığının bulaşıcı olmayan hastalık politikaları ve evrensel sağlık kapsamı içerisinde değerlendirilmesini özellikle önermektedir (World Health Organization, 2024).

Okul Temelli Ağız Sağlığı Programlarının Güçlendirilmesi

Okullar, geniş çocuk gruplarına düzenli olarak ulaşılabilmesi ve sağlıklı davranışların erken yaşlarda kazandırılabilmesi nedeniyle koruyucu ağız sağlığı uygulamaları için önemli ortamlardır. Okul temelli programlar yalnızca ağız sağlığı bilgisinin artırılmasını değil, diş fırçalama ve diğer ağız hijyeni davranışlarının geliştirilmesini de hedefleyebilmektedir. Düşük ve orta gelirli ülkelerde gerçekleştirilen okul temelli ağız sağlığı eğitimlerini değerlendiren güncel bir sistematik derleme ve meta-analiz, bu girişimlerin çocuk ve adölesanlarda ağız sağlığı bilgi ve davranışlarının geliştirilmesinde yararlı olabileceğini göstermiştir (Kim & Kim, 2024).

Okul ağız sağlığı programlarına ilişkin sistematik derlemelerin değerlendirildiği bir umbrella review da okul temelli girişimlerin çocuk ve adölesanların ağız sağlığını geliştirme potansiyelini desteklemektedir (Bhadauria ve ark., 2024). Bununla birlikte programların içeriği, süresi, uygulayıcıları ve değerlendirme yöntemleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Randomize kontrollü araştırmaları değerlendiren bir başka sistematik derlemede de çocuk ve adölesanlara yönelik farklı ağız sağlığı eğitim yöntemlerinin bilgi ve ağız sağlığı davranışlarında gelişme sağlayabildiği, ancak çalışmalar arasındaki heterojenlik nedeniyle tek bir eğitim yönteminin üstünlüğüne ilişkin kesin bir sonuca ulaşmanın güç olduğu bildirilmiştir (Atıf ve ark., 2024). Bu nedenle okul temelli girişimlerin tek seferlik bilgi aktarımı şeklinde değil; uygulamalı ağız hijyeni eğitimi, düzenli pekiştirme ve aile ile öğretmen katılımını içeren sürdürülebilir programlar şeklinde planlanması daha uygun görünmektedir.

Türkiye'de de üniversiteler, okullar ve yerel kurumların iş birliğiyle toplum temelli ağız sağlığı çalışmaları yürütülmektedir. Ülkemizde gerçekleştirilen bu tür saha çalışmalarında ilkokul öğrencilerine yönelik ağız sağlığı eğitimleri ve uygulamalı ağız hijyeni etkinliklerinin yanı sıra ebeveyn ve öğretmenlerin sürece dahil edilmesi ve diş hekimliği öğrencilerinin toplum temelli koruyucu hizmetlerde aktif rol alması hedeflenmektedir.

Bu uygulamalar, üniversitelerin yalnızca klinik hizmet ve mesleki eğitim sağlayan kurumlar olarak değil, toplum ağız sağlığının geliştirilmesinde aktif paydaşlar olarak rol alabileceğini gösteren yerel uygulama örnekleri olarak değerlendirilebilir.
Bununla birlikte okul temelli programların etkinliğinin yalnızca ulaşılan öğrenci veya gerçekleştirilen eğitim sayısıyla değerlendirilmemesi gerekmektedir. Programların kısa ve uzun dönemde bilgi, tutum ve davranış değişikliği ile mümkün olduğunda klinik ağız sağlığı göstergeleri üzerindeki etkilerinin izlenmesi önemlidir. Güncel derlemeler de okul temelli programların umut verici sonuçlarına karşın müdahalelerin ve değerlendirme yöntemlerinin standardizasyonuna, uzun dönemli izleme çalışmalarına ve daha güçlü metodolojik tasarımlara gereksinim bulunduğunu göstermektedir (Bhadauria ve ark., 2024; Kim & Kim, 2024).

Ağız Sağlığının Birinci Basamak Sağlık Hizmetlerine Entegrasyonu

Koruyucu ağız sağlığı hizmetlerinin yalnızca diş hekimliği klinikleri içerisinde yürütülmesi, özellikle düzenli dental hizmet kullanmayan bireylere ulaşılmasını sınırlandırabilir. Aile hekimleri, çocuk hekimleri, hemşireler ve diğer birinci basamak sağlık çalışanları; çocuklar, gebeler, yaşlılar ve kronik hastalığı bulunan bireylerle düzenli temas hâlinde olmaları nedeniyle ağız hastalıklarının erken fark edilmesi ve koruyucu mesajların aktarılması açısından önemli bir potansiyele sahiptir.
Ağız sağlığının birinci basamak sağlık hizmetlerine entegrasyonuna yönelik stratejileri inceleyen bir sistematik derlemede 49 çalışma değerlendirilmiş ve entegrasyon modellerinin önemli bir bölümünde ağız sağlığı hizmetlerine yönlendirme, koruyucu uygulamalar, hizmet kullanımı ve bazı ağız sağlığı sonuçları açısından olumlu bulgular bildirilmiştir (Christian ve ark., 2023). Bu sonuçlar, diş hekimliği ile genel sağlık hizmetleri arasındaki geleneksel ayrımın azaltılmasının özellikle koruyucu hizmetlere erişimin artırılması açısından önemli olabileceğini göstermektedir.
Birinci basamakta görev yapan sağlık profesyonellerinin temel ağız sağlığı risklerini değerlendirebilmesi, kısa koruyucu danışmanlık sağlayabilmesi, erken belirtileri fark edebilmesi ve gerekli bireyleri diş hekimliği hizmetlerine yönlendirebilmesi hizmetler arasındaki sürekliliği güçlendirebilir. Bu yaklaşım aynı zamanda Dünya Sağlık Örgütü'nün ağız sağlığının temel sağlık hizmetlerine entegre edilmesi ve evrensel sağlık kapsamının bir parçası haline getirilmesi yönündeki stratejik hedefiyle uyumludur (Christian ve ark., 2023; World Health Organization, 2024).

Risk Gruplarına Yönelik Hedeflenmiş Koruyucu Programlar

Toplumdaki ağız hastalığı yükü tüm bireyler arasında eşit dağılmadığından koruyucu programların yalnızca genel nüfusa yönelik standart uygulamalardan oluşması yeterli olmayabilir. Sosyoekonomik açıdan dezavantajlı çocuklar, yüksek çürük riskine sahip bireyler, gebeler, yaşlılar, özel gereksinimli bireyler ve günlük bakım için başkalarına bağımlı kişiler daha yoğun veya farklılaştırılmış koruyucu hizmetlere gereksinim duyabilir.
Bu gruplarda koruyucu hizmetlerin bireyin bulunduğu ortama ulaştırılması önemlidir. Çocuklar için okul ve aile ortamı, gebeler için prenatal sağlık hizmetleri, yaşlı ve bağımlı bireyler için ise evde sağlık ve bakım hizmetleri koruyucu ağız sağlığı uygulamalarının yürütülebileceği uygun ortamlar olarak değerlendirilebilir. Dünya Sağlık Örgütü de yaşam dönemlerine göre uyarlanmış programların çocuklar, adölesanlar, gebeler, ebeveynler ve yaşlılar gibi farklı grupları kapsamasını ve özellikle kırılgan veya dezavantajlı bireylere özel önem verilmesini önermektedir (World Health Organization, 2024).
Bu yaklaşım, toplumun tamamına koruyucu hizmet sunulması ile yüksek riskli gruplara daha yoğun destek sağlanmasının birlikte yürütülmesini gerektirmektedir. Böylece ağız sağlığı hizmetleri yalnızca hastalık ortaya çıktıktan sonra başvuran bireylere değil, hastalık gelişme riski yüksek olan gruplara daha erken dönemde ulaştırılabilir.

Ağız Sağlığı Okuryazarlığının ve Davranış Değişikliğinin Desteklenmesi

Toplumun ağız sağlığı konusundaki bilgi düzeyinin artırılması koruyucu hizmetlerin önemli bir parçası olmakla birlikte, yalnızca bilgi aktarımı davranış değişikliği için her zaman yeterli değildir. Bireylerin edindikleri bilgileri günlük yaşamlarında uygulayabilmeleri için gerekli becerilerin kazandırılması ve sağlıklı davranışları kolaylaştıran çevresel koşulların oluşturulması gerekmektedir.
Çocuk ve adölesanlarda gerçekleştirilen ağız sağlığı eğitimi müdahalelerini değerlendiren sistematik çalışmalar, eğitim girişimlerinin ağız sağlığı bilgisi ve bazı ağız hijyeni davranışlarını geliştirebildiğini göstermektedir (Atıf ve ark., 2024; Kim & Kim, 2024).

Bununla birlikte müdahalelerin etkinliğinin sürdürülebilmesi için eğitimlerin tekrarlanması, uygulamalı beceri kazandırılması ve çocuğun sosyal çevresinin sürece dahil edilmesi önem taşımaktadır.
Bu nedenle ağız sağlığı eğitimleri hedef grubun yaşına, eğitim düzeyine, sağlık okuryazarlığına ve gereksinimlerine göre uyarlanmalıdır. Özellikle çocuklarda ebeveyn ve öğretmenlerin, bağımlı bireylerde ise bakım verenlerin sürece dahil edilmesi davranış değişikliğinin sürdürülebilirliğini destekleyebilir. Dijital sağlık uygulamaları ve sosyal medya da geniş toplum gruplarına ulaşmak için kullanılabilir; ancak sunulan bilgilerin bilimsel doğruluğu ve hedef kitlenin sağlık okuryazarlığı düzeyi göz önünde bulundurulmalıdır (World Health Organization, 2024).

Ulusal Ağız Sağlığı Uygulamalarının Sürekliliği

Koruyucu politikaların planlanabilmesi ve etkinliğinin değerlendirilebilmesi için güncel, karşılaştırılabilir ve ulusal düzeyde temsil gücü bulunan epidemiyolojik verilere gereksinim vardır. Türkiye'de gerçekleştirilen ulusal ağız sağlığı araştırmaları bu açıdan önemli bilgiler sağlamış olmakla birlikte, araştırmaların belirli aralıklarla tekrarlanması ve yöntemlerin zaman içerisinde karşılaştırılabilirliğinin korunması önem taşımaktadır.
Gelecekteki ulusal araştırmalarda yalnızca diş çürüğü prevalansı ve DMFT/dmft gibi klasik klinik göstergelerin değil; periodontal hastalıklar, diş kaybı, kök çürüğü, ağız kanseri riskleri, ağız sağlığıyla ilişkili yaşam kalitesi, ağız sağlığı davranışları, hizmet kullanımı ve sosyoekonomik eşitsizliklerin birlikte değerlendirilmesi yararlı olacaktır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ağız sağlığı bilgi sistemlerinin geliştirilmesini altı temel stratejik hedefinden biri olarak belirlemektedir (World Health Organization, 2024).
Türkiye açısından düzenli ağız sağlığı takip sistemlerinin oluşturulması, koruyucu programların hangi nüfus gruplarına öncelik vermesi gerektiğinin belirlenmesini ve uygulanan politikaların zaman içerisindeki etkisinin izlenmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda farklı bölgeler ve sosyoekonomik gruplar arasındaki ağız sağlığı eşitsizliklerinin ortaya konulması, kaynakların gereksinime göre planlanmasına katkıda bulunabilir.

Geleceğe Yönelik Genel Yaklaşım

Türkiye'de ağız ve diş sağlığının iyileştirilmesi için koruyucu hizmetlerin bireysel diş hekimliği uygulamalarının ötesinde bir halk sağlığı yaklaşımıyla ele alınması gerekmektedir. Sağlık ve eğitim sektörleri, üniversiteler, yerel kurumlar ve toplum arasında kurulacak iş birlikleri, koruyucu hizmetlerin farklı nüfus gruplarına ulaştırılmasını kolaylaştırabilir. Okul temelli programlardan elde edilen uluslararası kanıtlar ve ağız sağlığının birinci basamak hizmetlere entegrasyonuna ilişkin bulgular, sektörler arası yaklaşımların önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Bhadauria ve ark., 2024; Christian ve ark., 2023; Kim & Kim, 2024).
Gelecekteki ağız sağlığı politikalarının; yaşamın erken dönemlerinden başlayan koruyucu uygulamaları, okul temelli programları, aile katılımını, birinci basamak sağlık hizmetleriyle entegrasyonu, risk gruplarına yönelik hedeflenmiş girişimleri ve düzenli ulusal sürveyansı birlikte içermesi önemlidir (World Health Organization, 2024). Böyle bir yaklaşım, ağız hastalıklarının ortaya çıktıktan sonra tedavi edilmesinden çok hastalıkların önlenmesine ve ağız sağlığının yaşam boyu korunmasına odaklanan sürdürülebilir bir modelin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

SONUÇ

Türkiye'de ağız ve diş sağlığına ilişkin mevcut epidemiyolojik veriler, diş çürüğünün çocukluktan ileri yaşlara kadar yaygınlığını koruduğunu; periodontal hastalıklar, diş kayıpları ve ağız kanserlerinin ise özellikle erişkin ve ileri yaş gruplarında önemini sürdürdüğünü göstermektedir. Ağız hastalıklarının yaşam boyunca biriken etkileri, bireylerin yalnızca ağız sağlığını değil, genel sağlıklarını, fonksiyonel kapasitelerini ve yaşam kalitelerini de etkileyebilmektedir. Bununla birlikte sosyoekonomik koşullar, eğitim düzeyi, ağız sağlığı davranışları ve sağlık hizmetlerine erişim gibi faktörler hastalık yükünün toplum içerisindeki dağılımında önemli rol oynamaktadır.
Ağız hastalıklarının önemli ölçüde önlenebilir olması, Türkiye'de ağız sağlığı hizmetlerinin tedavi odaklı yaklaşımdan koruyucu ve risk temelli bir modele yönelmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Florürlü diş macunuyla düzenli diş fırçalama, şeker tüketiminin sınırlandırılması, etkili ağız hijyeni davranışlarının geliştirilmesi ve bireysel risklere uygun profesyonel koruyucu uygulamalar bu yaklaşımın temel bileşenleridir.

Bunun yanında çocuklar ve ebeveynler, hamileler, yaşlılar ve günlük bakım için başkalarına bağımlı bireyler gibi özel gereksinimi bulunan gruplara yönelik koruyucu hizmetlerin güçlendirilmesi önem taşımaktadır.

Türkiye'de ağız sağlığının sürdürülebilir biçimde iyileştirilebilmesi için koruyucu uygulamaların yaşamın erken dönemlerinden itibaren başlatılması; aile, okul ve toplum ortamlarında desteklenmesi ve temel sağlık hizmetleriyle bütünleştirilmesi gerekmektedir. Okul temelli programlar, aile ve bakım veren eğitimleri, üniversite–toplum iş birlikleri ve farklı sağlık profesyonellerinin sürece katılımı, koruyucu hizmetlerin daha geniş toplum kesimlerine ulaştırılmasına katkı sağlayabilir. Bununla birlikte ulusal ağız sağlığı kontrollerinin düzenli olarak sürdürülmesi, ağız sağlığı eşitsizliklerindeki değişimin izlenmesi ve uygulanan koruyucu politikaların etkinliğinin değerlendirilmesi açısından gereklidir. Sonuç olarak, ağız sağlığının genel sağlığın ayrılmaz bir bileşeni olarak ele alındığı, hastalıkların tedavisinden çok önlenmesine öncelik veren, yaşam boyu ve toplum temelli bir yaklaşım Türkiye'de ağız ve diş sağlığı yükünün azaltılmasında temel hedef olmalıdır.

KAYNAKÇA

Akbeyaz Sivet, E., Yilmazkasapoglu Turkay, E., Akbeyaz, I. H., & Kargul, B. (2024). Knowledge, attitudes, and practice of general pediatricians and pediatric subspecialists towards oral health in children: A survey in Turkey. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry, 48*(4), 139–148. https://doi.org/10.22514/jocpd.2024.087

Arslan Bozdağ, L., & Gültekin, S. E. (2025). Human papilloma virus-related oral mucosal lesions in Turkey: A retrospective cohort study. *Pathobiology, 92*(2), 90–98. https://doi.org/10.1159/000541664

Atıf, M., Tewari, N., Saji, S., Srivastav, S., & Rahul, M. (2024). Effectiveness of various methods of educating children and adolescents for the maintenance of oral health: A systematic review of randomized controlled trials. *International Journal of Paediatric Dentistry, 34*(3), 229–245. https://doi.org/10.1111/ipd.13125

Bhadauria, U. S., Priya, H., Purohit, B., & Singh, A. (2024). Effectiveness of school oral health programs in children and adolescents: An umbrella review. *Evidence-Based Dentistry, 25*(4), 211. https://doi.org/10.1038/s41432-024-01013-7

Christian, B., George, A., Veginadu, P., Villarosa, A., Makino, Y., Kim, W. J., Masood, M., Martin, R., Harada, Y., & Mijares-Majini, M. C. (2023). Strategies to integrate oral health into primary care: A systematic review. *BMJ Open, 13*(7), e070622. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-070622

Davies, R., & Doshi, M. (2024). Prevention of oral diseases for the older person (Part 1). *British Dental Journal, 236*(1), 35–41. https://doi.org/10.1038/s41415-023-6610-2

Düzlü, M., Karamert, R., Bakkal, F. K., Cevizci, R., Tutar, H., Zorlu, M. E., Dilci, A., & Eravcı, F. C. (2016). The demographics and histopathological features of oral cavity cancers in Turkey. *Turkish Journal of Medical Sciences, 46*(6), 1672–1676. https://doi.org/10.3906/sag-1510-97

Eroğlu Çakmakoğlu, E., & Günay, A. (2025). Nationwide prevalence of dental caries in Turkish children: A meta-analysis. *Children, 12*(6), 777. https://doi.org/10.3390/children12060777

Gökalp, S., Doğan, B. G., Tekçiçek, M., Berberoğlu, A., & Ünlüer, Ş. (2010). National survey of oral health status of children and adults in Turkey. *Community Dental Health, 27*(1), 12–17. https://doi.org/10.1922/CDH_2365Gokalp06

Gökalp, S., & Güçiz Doğan, B. (2012). Root caries in 35–44 and 65–74 year-olds in Turkey. *Community Dental Health, 29*(3), 233–238. https://doi.org/10.1922/CDH_2733Gokalp06

International Agency for Research on Cancer. (2022a). *Global Cancer Observatory: Cancer Today—Lip, oral cavity (GLOBOCAN 2022)* [Fact sheet]. https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/cancers/1-lip-oral-cavity-fact-sheet.pdf

International Agency for Research on Cancer. (2022b). *Global Cancer Observatory: Türkiye fact sheet (GLOBOCAN 2022)* [Fact sheet]. https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/populations/792-turkiye-fact-sheet.pdf

Kim, S., & Kim, S. Y. (2024). Effectiveness of school-based oral health education for children and adolescents in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. *Asia Pacific Journal of Public Health, 36*(4), 312–321. https://doi.org/10.1177/10105395241240959

Orhan, A. I., Alkan, A., Orhan, K., Tezel, A., Karaoglanoglu, S., & Oztas, D. (2024). Dental caries and associated factors among Turkish children and adults: Findings from the 3rd National Oral Health

Survey. *Community Dentistry and Oral Epidemiology, 52*(4), 499–508. https://doi.org/10.1111/cdoe.12943

Ozcan Bulut, S., & Ozturkmen, Z. (2025). Evaluation of the periodontal status and systemic diseases in dental patients in Turkey. *Dental and Medical Problems, 62*(3), 469–477. https://doi.org/10.17219/dmp/156679

Şenoymak, İ., Özden, İ., & Özden, M. E. (2026). Oral health knowledge and awareness levels of caregivers for individuals receiving home healthcare services. *Abant Medical Journal, 15*(1), 67–75. https://doi.org/10.47493/abantmedj.1794646

Ünlüer, Ş., Gökalp, S., & Güçiz Doğan, B. (2007). Oral health status of the elderly in a residential home in Turkey. *Gerodontology, 24*(1), 22–29. https://doi.org/10.1111/j.1741-2358.2007.00136.x

World Health Organization. (2022). *Global oral health status report: Towards universal health coverage for oral health by 2030*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240061484

World Health Organization. (2024). *Global strategy and action plan on oral health 2023–2030*. https://www.who.int/publications/i/item/9789240090538

Yılmaz, F., Carti Dorterler, O., Eren Halici, S., Kasap, B., & Demirbas, A. (2024). The effects of pregnancy on oral health, salivary pH and flow rate. *BMC Oral Health, 24*, 1286. https://doi.org/10.1186/s12903-024-05057-0

ANALYTICAL QUALITY BY DESIGN-BASED AND CHEMOMETRICS-ASSISTED SPECTROPHOTOMETRIC METHOD FOR SIMULTANEOUS DETERMINATION OF ENALAPRIL AND HYDROCHLOROTHIAZIDE: A GREEN ANALYTICAL CHEMISTRY APPROACH

Prof. Dr. Fatma DEMİRKAYA MİLOĞLU
Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Atatürk University, Erzurum, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5729-7181

Prof. Dr. Yücel KADIOĞLU
Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Atatürk University, Erzurum, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6590-7306

Bedirhan AGGUL
Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Atatürk University, Erzurum, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0008-3737-8732

Maryam HAMADI
Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Atatürk University, Erzurum, Türkiye.
ORCID ID: 009-0003-7320-643X

Esmanur TORAMAN
Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Atatürk University, Erzurum, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0009-5717-8102

Burak BAYRAK
Department of Analytical Chemistry, Faculty of Pharmacy, Atatürk University, Erzurum, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6550-6916

ÖZET

Bu çalışmada, enalapril (ENP) ve hidroklorotiazidin (HCTZ) kombine farmasötik formülasyonlarda simültane tayini için, kemometrik regresyon modelleriyle birleştirilmiş, Analitik Kalite Tasarımı (AQbD) tabanlı yeni bir UV-görünür bölge spektrofotometrik yöntem geliştirilmiştir. Yöntem, şiddetli spektral örtüşmenin üstesinden gelirken çevresel açıdan sürdürülebilir bir alternatif sunmayı hedeflemektedir.

Kritik yöntem parametreleri (sıcaklık, tarama aralığı, tarama hızı) Merkezi Kompozit Tasarım (CCD) aracılığıyla AQbD ilkeleriyle sistematik olarak optimize edilerek sağlam bir Tasarım Uzayı oluşturulmuştur. ENP-HCTZ arasındaki spektral örtüşme, Temel Bileşenler Regresyonu (PCR) ve Kısmi En Küçük Kareler (PLS) modelleriyle çözülmüş; model performansı kalibrasyon, çapraz doğrulama, geri kazanım, kesinlik ve formülasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Çevresel sürdürülebilirlik Eko-Skala (ESA), AGREE, RGB-12 ve ComplexGAPI metrikleriyle incelenmiştir.

Optimum koşullar 20°C, 3 nm tarama aralığı ve hızlı tarama hızı olarak belirlenmiş; modellerin anlamlılığı istatistiksel olarak doğrulanmıştır ($p < 0,0001$; $R^2 = 0,8588$ ve 0,9951, ENP ve HCTZ için). PLS modeli ENP ve HCTZ için sırasıyla $R^2 = 0,9901$ ve 0,9917, PCR modeli ise $R^2 = 0,9894$ ve 0,9904 kalibrasyon değerleri vermiştir. Doğrulama çalışmalarında geri kazanım %98,99'un üzerinde, kesinlik ise %3,53 RSD'nin altında bulunmuştur. Ticari tabletlerde uygulama %99,20-%102,16 aralığında geri kazanım sağlayarak yöntemin rutin kalite kontrolüne uygunluğunu doğrulamıştır. Yeşil analitik değerlendirme, 81 Eko-Skala puanı ile mükemmel çevresel performans göstermiş; AGREE, RGB-12 ve ComplexGAPI sonuçları da bunu desteklemiştir.

Sonuç olarak, AQbD ile PCR/PLS regresyon modellerinin bütünleştirildiği bu spektrofotometrik yöntem, ENP ve HCTZ'nin simültane tayini için hızlı, doğru, ekonomik ve çevre dostu bir strateji sunmakta olup rutin farmasötik kalite kontrolü için umut verici bir alternatiftir.

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı (Proje No: 1919B012408589) tarafından desteklenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Enalapril, Hidroklorotiazid, Analitik Kalite Tasarımı, Kısmi En Küçük Kareler, Temel Bileşenler Regresyonu, Yeşil Analitik Kimya

Abstract
A novel Analytical Quality by Design (AQbD)-based UV-visible spectrophotometric method, combined with chemometric regression models, was developed for the simultaneous determination of enalapril (ENP) and hydrochlorothiazide (HCTZ) in combined pharmaceutical formulations, aiming to overcome severe spectral overlap while offering a more environmentally sustainable analytical alternative.
Critical method parameters (temperature, scan interval, and scan speed) were systematically optimized using AQbD principles through Central Composite Design (CCD), establishing a robust Design Space. Spectral overlap between ENP and HCTZ was resolved using Principal Component Regression (PCR) and Partial Least Squares (PLS) models, with performance evaluated via calibration, cross-validation, recovery, precision, and formulation analysis. Environmental sustainability was assessed using the Eco-Scale Assessment (ESA), AGREE, RGB-12, and ComplexGAPI metrics.
Optimum conditions were established at 20°C, 3 nm scan interval, and Fast scan speed, with statistical evaluation confirming model significance ($p < 0.0001$; $R^2 = 0.8588$ and 0.9951 for ENP and HCTZ, respectively). The PLS model yielded calibration coefficients of $R^2 = 0.9901$ (ENP) and 0.9917 (HCTZ), while PCR achieved $R^2 = 0.9894$ and 0.9904, respectively. Validation studies showed recoveries above 98.99% and precision below 3.53% RSD for both analytes. Application to commercial tablets gave recoveries of 99.20-102.16%, confirming suitability for routine pharmaceutical quality control. Green analytical assessment showed excellent performance, with an Eco-Scale score of 81, supported by favorable AGREE, RGB-12, and ComplexGAPI evaluations.
In conclusion, the proposed AQbD-driven chemometric spectrophotometric method, integrating PCR and PLS regression models, provides a rapid, accurate, economical, and environmentally sustainable strategy for the simultaneous quantification of ENP and HCTZ, effectively resolving spectral overlap while maintaining high analytical performance as a promising alternative for routine pharmaceutical quality control.
(This study was supported by TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Program (Project No. 1919B012408589).
Keywords: Enalapril, Hydrochlorothiazide, Analytical Quality by Design, Partial Least Squares, Principal Component Regression, Green Analytical Chemistry

HALİTOZİSİN TANI VE TEDAVİ YÖNTEMLERİ

DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF HALITOSIS

Res. Asst. Dentist Deniz ÇETİN
Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-0681-8879

ÖZET

Halitozis, ağız içi veya ağız dışı kaynaklı nedenlerle ortaya çıkan ve soluk verme sırasında hissedilen hoş olmayan ağız kokusu olarak tanımlanmaktadır. Toplumda sık görülmesine rağmen, çoğu zaman yalnızca ağız hijyeni ile ilişkilendirilen bu durum; bireyin yaşam kalitesini, psikolojik iyilik hâlini ve sosyal ilişkilerini önemli ölçüde etkileyebilen çok yönlü bir sağlık problemidir. Ağız kokusu nedeniyle bireylerde özgüven kaybı, sosyal ortamlardan uzaklaşma, kişiler arası iletişimde çekingenlik ve anksiyete gibi sorunlar gelişebilmektedir. Bu durum günlük yaşamın yanı sıra mesleki ve sosyal performansı da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca, objektif olarak ağız kokusu bulunmamasına rağmen bu şikâyeti taşıdığına inanan bireylerde gereksiz tedavi arayışları ve psikolojik yük oluşabilmektedir. Halitozis olgularının büyük çoğunluğu ağız içi kaynaklı olmakla birlikte, bazı olgular sistemik hastalıkların erken bulgusu olabileceğinden dikkatli değerlendirilmelidir. Ayrıntılı hasta öyküsünün alınması, ağız muayenesinin yapılması ve gerekli durumlarda objektif tanı yöntemlerinin birlikte kullanılması doğru tanı açısından önem taşımaktadır. Halitozisin etkin yönetimi yalnızca kötü kokunun giderilmesini değil; altta yatan nedenin belirlenmesini, hastanın doğru bilgilendirilmesini ve gerektiğinde farklı sağlık disiplinleriyle iş birliği yapılmasını gerektirmektedir.
Anahtar Kelimeler: Halitozis, ağız kokusu, yaşam kalitesi, tanı, multidisipliner yaklaşım

ABSTRACT

Halitosis is defined as an unpleasant oral odor perceived during exhalation that originates from intraoral or extraoral causes. Although it is a common condition in the general population, it is often regarded solely as a consequence of poor oral hygiene. However, halitosis is a multifactorial health problem that can significantly affect an individual's quality of life, psychological well-being, and social relationships. Individuals with halitosis may experience reduced self-confidence, social withdrawal, communication difficulties, and anxiety. These challenges may negatively affect not only daily life but also professional and social performance. Furthermore, some individuals may believe that they have halitosis despite the absence of objectively detectable oral malodor, leading to unnecessary treatment-seeking behavior and increased psychological distress. Although the majority of halitosis cases originate from intraoral conditions, some cases may represent an early manifestation of underlying systemic diseases and therefore require careful evaluation. Obtaining a detailed patient history, performing a comprehensive oral examination, and using objective diagnostic methods when necessary are essential for establishing an accurate diagnosis. Effective management of halitosis involves not only eliminating oral malodor but also identifying the underlying cause, providing appropriate patient education, and collaborating with other healthcare professionals when indicated.
Keywords: Halitosis, oral malodor, quality of life, diagnosis, multidisciplinary approach.

GİRİŞ

Halitozis; fetor oris, oral malodor, fetor ex ore ve bad breath terimleriyle de ifade edilen, ağız içi ya da ağız dışı kaynaklardan gelişebilen ve soluk verme sırasında algılanan hoş olmayan kokudur. Klinik açıdan halitozis, sosyal olarak kabul edilebilir düzeyi aşan kokunun varlığı olarak değerlendirilir (Rosenberg & McCulloch, 1992; Yaegaki & Coil, 2000). Yaygın görülmesine karşın çoğu zaman yalnızca yetersiz ağız hijyenine bağlanan bu durum, farklı lokal ve sistemik etkenlerin rol oynadığı çok boyutlu bir sağlık sorunudur.

Halitozis, diş çürüğü ve periodontal hastalıklardan sonra diş hekimine başvuru nedenleri arasında üçüncü sırada bildirilmektedir (Loesche & Kazor, 2002). Kesin prevalansı; kullanılan tanı yöntemi, incelenen toplum ve değerlendirme ölçütlerine göre değişmekle birlikte, epidemiyolojik veriler toplumdaki sıklığın yaklaşık %24-39 arasında olduğunu göstermektedir.

Yetişkinlerin önemli bir bölümünün yaşamının bir döneminde geçici ağız kokusu yaşadığı, yaklaşık dörtte birinde ise kalıcı yakınmalar bulunduğu bildirilmiştir (Settineri ve ark., 2010). Bu veriler, halitozisin hem klinik uygulama hem de toplum sağlığı bakımından göz ardı edilmemesi gerektiğini düşündürmektedir.

Ağız kokusu bireyin yaşam kalitesini, psikolojik iyilik hâlini ve sosyal ilişkilerini etkileyebilir. Özgüven kaybı, sosyal ortamlardan uzaklaşma, kişiler arası iletişimde çekingenlik ve anksiyete görülebilir. Objektif olarak saptanabilir koku bulunmadığı hâlde ağız kokusu olduğuna inanan kişilerde ise tekrarlayan tedavi arayışları ve belirgin psikolojik yük gelişebilir. Bu nedenle klinik değerlendirme yalnızca kokunun varlığını belirlemeyi değil, hastanın algısını ve yakınmanın günlük yaşama etkisini anlamayı da içermelidir.

Halitozis olgularının büyük bölümü ağız içi kaynaklıdır. Bununla birlikte, daha az görülen ağız dışı olgular bazı sistemik hastalıkların erken belirtisi olabilir. Ayrıntılı anamnez, kapsamlı ağız muayenesi ve gerektiğinde objektif ölçüm yöntemlerinin birlikte kullanılması, etiyolojinin doğru belirlenmesi açısından önemlidir. Yönetim planı kokuyu geçici olarak maskelemek yerine altta yatan nedeni hedeflemeli; hastaya uygun bilgi verilmeli ve ağız dışı kaynak düşünüldüğünde ilgili sağlık disiplinleriyle iş birliği kurulmalıdır.

Etiyoloji ve Oluşum Mekanizması

Halitozisin temel biyolojik mekanizması, mikroorganizmaların protein yapısındaki organik maddeleri metabolize etmesi sonucunda kötü kokulu uçucu bileşiklerin açığa çıkmasına dayanır. Bu süreçte hidrojen sülfür (H_2S), metil merkaptan (CH_3SH) ve dimetil sülfür [$(CH_3)_2S$] başlıca uçucu sülfür bileşikleridir. Hidrojen sülfür ile metil merkaptan ağız içi kaynaklı halitoziste daha belirgin rol oynarken, dimetil sülfür ağız dışı ve özellikle kan kaynaklı olgularda öne çıkmaktadır (Li ve ark., 2023; Khounganian ve ark., 2023). İndol, skatol, aminler ve diğer uçucu organik bileşikler de kokunun niteliğine ve şiddetine katkıda bulunabilir (Rosier ve ark., 2022; Li ve ark., 2023).

Ağız içindeki Gram-negatif anaerob bakteriler, tükürükte, diş eti oluğu sıvısında, besin artıklarında ve dökülen epitel hücrelerinde bulunan protein ve aminoasitleri parçalayarak uçucu sülfür bileşikleri üretir. Porphyromonas gingivalis, Tannerella forsythia, Treponema denticola ve Fusobacterium nucleatum bu süreçle ilişkilendirilen başlıca mikroorganizmalar arasındadır (Memon ve ark., 2023). Dil dorsumunun geniş, düzensiz yüzeyi ve düşük oksijenli mikroçevresi, bakteri ve organik artıkların birikmesini kolaylaştırdığından ağız içi halitozisin en önemli kaynaklarından biridir.

Gram-pozitif, sporsuz ve zorunlu anaerob bir bakteri olan Solobacterium moorei de halitozisle ilişkilendirilmiştir. Bu mikroorganizma, sisteini hidrojen sülfüre dönüştüren sistein desülfhidraz enzimi ve β-galaktozidaz aktivitesi aracılığıyla kötü kokulu bileşiklerin oluşumuna katkıda bulunur (Haraszthy ve ark., 2008; Tanabe & Greiner, 2012). Bununla birlikte, güncel bulgular S. moorei'nin etkisinin tek bir mikroorganizmanın varlığıyla açıklanamayacağını; uçucu sülfür bileşiği üreten diğer bakterilerle kurduğu biyofilm ilişkilerinin de önem taşıdığını göstermektedir (Barrak ve ark., 2020). Bu yaklaşım, halitozisin mikrobiyal ekosistemdeki etkileşimlerin sonucu olarak değerlendirilmesini destekler.

Etiyolojik değerlendirmede ağız içi ve ağız dışı nedenler birlikte ele alınmalıdır. Ağız içi kaynaklar; dil kaplaması, periodontal cepler, biriken plak ve mikroorganizmaların çoğalmasını kolaylaştıran diğer lokal koşullarla ilişkilidir. Ağız dışı kaynaklar ise burun, paranazal sinüsler, üst ve alt solunum yolları, gastrointestinal sistem ya da sistemik dolaşım üzerinden ortaya çıkabilir. Ağız dışı nedenlerin daha az görülmesi, klinik önemlerini azaltmaz; bazı olgularda koku, altta yatan hastalığın ilk fark edilen bulgusu olabilir (Tangerman & Winkel, 2010).

Klinik öykü; yakınmanın başlangıcı, gün içindeki değişimi, ağız hijyeni alışkanlıkları, periodontal belirtiler, ağız kuruluğu, beslenme özellikleri, kullanılan ilaçlar ve eşlik eden sistemik yakınmalar yönünden ayrıntılandırılmalıdır. Muayenede dil dorsumu, periodontal dokular, dişler, restorasyonlar, tükürük miktarı ve ağız içi yumuşak dokular değerlendirilmelidir. Böylece tanısal ölçümlerin sonuçları klinik bulgularla birlikte yorumlanabilir ve uygun yönlendirme yapılabilir.

Halitozisin Sınıflandırılması

Halitozis için uluslararası düzeyde tek ve değişmez bir sınıflandırma sistemi bulunmamaktadır. Kullanılan sistemler, kokunun objektif olarak saptanıp saptanmadığına, etiyolojik kaynağa veya oluşum mekanizmasına göre farklılaşır. Sınıflandırmanın temel amacı, hastayı yalnızca bir tanı etiketi altında toplamak değil; tanısal yaklaşımı ve tedavi gereksinimini belirlemektir.

1-Miyazaki Sınıflandırması

Miyazaki ve arkadaşları halitozisi gerçek halitozis, psödohalitozis ve halitofobi olmak üzere üç ana gruba ayırmıştır. Gerçek halitoziste kötü koku objektif yöntemlerle klinik olarak doğrulanabilir. Bu grup, hastalıkla ilişkili olmayan fizyolojik halitozis ile altta yatan patolojik bir duruma bağlı patolojik halitozisi kapsar. Patolojik halitozis de oral ve ekstraoral olarak iki alt grupta değerlendirilir (Miyazaki ve ark., 1999).

Psödohalitozis, kişinin ağız kokusu bildirmesine karşın kokunun objektif değerlendirmelerle gösterilemediği durumu tanımlar. Halitofobide ise objektif bulgu bulunmadığı hastaya açıklansa veya uygun yaklaşım uygulanmış olsa da ağız kokusuna sahip olduğu yönündeki inanç sürer. Bu ayrım, gereksiz girişimleri önlemek ve psikolojik değerlendirmeye ihtiyaç duyan hastaları belirlemek açısından klinik değer taşır (Miyazaki ve ark., 1999).

2-Tangerman ve Winkel Sınıflandırması

Tangerman ve Winkel, halitozisi kaynağına göre intraoral ve ekstraoral olarak sınıflandırmıştır. İntraoral halitozis; dil dorsumu, tükürük ve periodontal ceplerde bulunan anaerob mikroorganizmaların oluşturduğu uçucu bileşiklerle ilişkilidir. Ekstraoral halitozis ise kan kaynaklı ve kan kaynaklı olmayan olmak üzere iki gruptur. Kan kaynaklı olmayan olgular burun, paranazal sinüsler ve solunum yolları gibi bölgelerden kaynaklanır. Kan kaynaklı halitoziste dolaşıma geçen uçucu bileşikler akciğerler yoluyla ekspirasyon havasına taşınır (Tangerman & Winkel, 2010).

3-Aydın ve Harvey Woodworth Sınıflandırması

Aydın ve Harvey-Woodworth tarafından geliştirilen sınıflandırmada fizyolojik halitozis Tip 0 olarak adlandırılmış, patolojik halitozis ise Tip 1-5 arasında mekanizmaya dayalı gruplara ayrılmıştır. Tip 0, sağlıklı bireylerde dönemsel olarak görülebilen ve hastalığa bağlı olmayan fizyolojik kokudur. Tip 1 ağız boşluğundan kaynaklanır; dil dorsumundaki birikimler ve mikrobiyal metabolizma başlıca belirleyicilerdir. Tip 2 üst veya alt solunum yollarındaki patolojilerle ilişkili havayolu halitozisidir. Tip 3, mideden köken alan uçucu bileşiklerin özofagus üzerinden ağız ve buruna ulaşmasıyla açıklanan gastroözofageal halitozistir. Tip 4'te sistemik dolaşımdaki uçucu bileşikler alveoler gaz değişimi sırasında solunum havasına geçer. Tip 5 ise objektif yöntemlerle doğrulanamayan subjektif halitozisi tanımlar (Aydın & Harvey-Woodworth, 2014).

Bu sistemin ayırt edici yönü, aynı kişide birden fazla mekanizmanın eş zamanlı bulunabileceğini kabul etmesidir. Dolayısıyla klinisyen sınıflandırmayı katı ve birbirini dışlayan kategoriler olarak değil, olası kaynakları sistematik biçimde incelemeyi sağlayan bir çerçeve olarak kullanmalıdır.

Tanısal Değerlendirme

Halitozis tanısı, ayrıntılı öykü ve klinik muayenenin ölçüm yöntemleriyle desteklenmesine dayanır. Tek bir test bütün koku bileşiklerini, etiyolojik kaynakları ve hastanın algısını aynı anda değerlendiremez. Bu nedenle yöntem seçimi klinik soruya, kullanılabilir donanıma ve tekrarlanabilirlik gereksinimine göre yapılmalıdır.

Organoleptik ölçüm, hastanın ağız yoluyla verdiği nefesin eğitimli bir değerlendirici tarafından yaklaşık 10 cm mesafeden koklanması ve şiddetin belirli bir skalayla puanlanmasıdır (Rosenberg ve ark., 1991). Uygulaması kolay olmakla birlikte değerlendiricinin koku alma yetisine, çevresel koşullara ve standardizasyona bağlıdır. Hasta ve değerlendirici açısından rahatsızlık yaratabilmesi ile enfeksiyon kontrolüne ilişkin güçlükler de sınırlılıkları arasındadır (Aydın, 2022).

Gaz kromatografisi, dil dorsumu, tükürük veya ekspirasyon havasındaki uçucu sülfür bileşiklerini ayrı ayrı ölçebilir. Bileşiklerin konsantrasyon ve dağılımını düşük düzeylerde dahi belirleyebilmesi nedeniyle en güvenilir objektif yöntemlerden biri kabul edilir (Tonzetich, 1977; Hughes & McNab, 2008). Buna karşın cihaz maliyeti, eğitimli personel gereksinimi, teknik sınırlılıklar ve örnekleme sırasında ortam havasından kontaminasyon olasılığı kullanımını sınırlar (Van den Broek ve ark., 2007).

Sülfit monitörleri, ekspirasyon havasındaki toplam uçucu sülfür bileşiği düzeyini elektrokimyasal sensörlerle ölçer. Hızlı, kolay, görece düşük maliyetli ve tekrarlanabilir olmaları klinik kullanım açısından avantajdır. Ancak farklı sülfür bileşiklerini birbirinden ayıramamaları ve bazı bileşiklere düşük duyarlılık göstermeleri sonuçların klinik bulgularla birlikte yorumlanmasını gerektirir (Shimura ve ark., 1996; Van den Broek ve ark., 2007).

Tükürük inkübasyon testinde alınan tükürük örneği anaerob koşullarda bekletildikten sonra oluşan koku değerlendirilir. Beslenme, sigara, alkol ve koku giderici ürünler gibi kısa süreli dış etkenlerden daha az etkilenmesi yöntemin avantajıdır; organoleptik skorlar ve sülfit monitörü sonuçlarıyla uyum gösterebildiği bildirilmiştir (Aylıkçı & Çolak, 2013). Ninhidrin testi serbest amin düzeylerini kantitatif olarak belirler ve halitozisli bireylerde artan amin konsantrasyonunun değerlendirilmesine yardımcı olur (Iwanicka-Grzegorek ve ark., 2005).

BANA testi, bazı anaerob bakterilerin N-benzoyl-DL-arginine-2-naphthylamide substratını hidrolize etme özelliğine dayanır. Porphyromonas gingivalis, Treponema denticola ve Tannerella forsythia gibi periodontal hastalıkla ilişkili mikroorganizmaların belirlenmesinde kullanılabilir (Zürcher ve ark., 2014). İndol testi ise bakterilerin triptofanı indole dönüştürme yeteneğini değerlendirir; indolün kötü kokuya katkısı nedeniyle halitozisle ilişkili mikrobiyal aktivite hakkında bilgi sağlar (Codipilly & Kleinberg, 2008).

Tedavi Yöntemleri

Tedavinin temelini halitozisin kaynağının belirlenmesi oluşturur. Ağız içi kaynak saptandığında yaklaşım, dil dorsumu ve periodontal dokular gibi koku üretimine katkıda bulunan bölgelerdeki mikrobiyal yükün ve retansiyon alanlarının kontrolüne yönelmelidir. Tanı ölçümleri, klinik muayenenin yerine geçmemeli; müdahale sonrasında değişimi izlemek amacıyla aynı koşullarda tekrarlanmalıdır (Aylıkçı & Çolak, 2013; Zürcher ve ark., 2014).

Ağız dışı kaynak düşünülen hastalarda, olası kaynağa göre ilgili tıbbi branşa yönlendirme yapılmalıdır. Objektif bulgu bulunmayan olgularda hastaya ölçüm sonuçları açık biçimde anlatılmalı, gereksiz tekrarlayan girişimlerden kaçınılmalı ve şikâyet devam ediyorsa psikolojik değerlendirme gereksinimi göz önünde bulundurulmalıdır. Böylece yönetim; kokunun azaltılması, altta yatan nedenin tedavisi, hastanın bilgilendirilmesi ve gerekli durumlarda multidisipliner iş birliğini kapsayan bütüncül bir sürece dönüşür.

SONUÇ

Halitozis, farklı biyolojik ve klinik mekanizmaların rol oynadığı, yaşam kalitesini ve sosyal işlevselliği etkileyebilen bir sağlık sorunudur. Başarılı yönetim; doğru sınıflandırma, ayrıntılı öykü ve muayene, uygun objektif tanı yöntemleri ve etiyolojiye yönelik yaklaşımın birlikte kullanılmasını gerektirir. Ağız dışı ve subjektif olguların ayırt edilmesi, gereksiz tedavileri azaltır ve uygun disiplinler arası yönlendirmeyi mümkün kılar.

KAYNAKÇA

Aydin, M. (2022). Criticism of the organoleptic examination for the diagnosis of oral halitosis. Journal of Breath Research, 17(1). https://doi.org/10.1088/1752-7163/ac8faf

Aydin, M., & Harvey-Woodworth, C. N. (2014). Halitosis: A new definition and classification. British Dental Journal, 217, E1.

Aylıkcı, B. U., & Çolak, H. (2013). Halitosis: From diagnosis to management. Journal of Natural Science, Biology and Medicine, 4(1), 14-23.

Barrak, I., Stájer, A., Gajdács, M., & Urbán, E. (2020). Small, but smelly: The importance of Solobacterium moorei in halitosis and other human infections. Heliyon, 6(10), e05371.

Codipilly, D., & Kleinberg, I. (2008). Generation of indole/skatole during malodor formation in the salivary sediment model system and initial examination of the oral bacteria involved. Journal of Breath Research, 2(1), 017017.

Haraszthy, V. I., Gerber, D., Clark, B., Moses, P., Parker, C., Sreenivasan, P. K., & Zambon, J. J. (2008). Characterization and prevalence of Solobacterium moorei associated with oral halitosis. Journal of Breath Research, 2(1), 017002.

Hughes, F. J., & McNab, R. (2008). Oral malodour: A review. Archives of Oral Biology, 53(Suppl. 1), S1-S7.

Iwanicka-Grzegorek, K., Lipkowska, E., Kępa, J., Michalik, J., & Wierzbicka, M. (2005). Comparison of ninhydrin method of detecting amine compounds with other methods of halitosis detection. Oral Diseases, 11(Suppl. 1), 37-39.

Khounganian, R. M., Alasmari, O. N., Aldosari, M. M., & Alghanemi, N. M. (2023). Causes and management of halitosis: A narrative review. Cureus, 15(8), e43742.

Li, Z., Li, J., Fu, R., Liu, J., Wen, X., & Zhang, L. (2023). Halitosis: Etiology, prevention, and the role of microbiota. Clinical Oral Investigations, 27(11), 6383-6393.

Loesche, W. J., & Kazor, C. (2002). Microbiology and treatment of halitosis. Periodontology 2000, 28(1), 256-279.

Memon, M. A., Memon, H. A., Muhammad, F. E., Fahad, S., Siddiqui, A., Lee, K. Y., Tahir, M. J., & Yousaf, Z. (2023). Aetiology and associations of halitosis: A systematic review. Oral Diseases, 29(4), 1432-1438.

Miyazaki, H., Arao, M., Okamura, K., Kawaguchi, Y., Toyofuku, A., Hoshi, K., & Yaegaki, K. (1999). Tentative classification of halitosis and its treatment needs. Niigata Dental Journal, 32, 7-11.

Rosenberg, M., Kulkarni, G. V., Bosy, A., & McCulloch, C. A. G. (1991). Reproducibility and sensitivity of oral malodour measurements with a portable sulphide monitor. Journal of Dental Research, 70(11), 1436-1440.

Rosenberg, M., & McCulloch, C. A. G. (1992). Measurement of oral malodor: Current methods and future prospects. Journal of Periodontology, 63(9), 776-782.

Rosier, B. T., Buetas, E., Moya-Gonzalvez, E. M., Llena, C., & Mira, A. (2022). The importance of nitrate reduction for oral health. Journal of Dental Research, 101(8), 887-897.

Settineri, S., Mento, C., Gugliotta, S. C., Saitta, A., Terranova, A., Trimarchi, G., & Mallamace, D. (2010). Self-reported halitosis and emotional state: Impact on oral conditions and treatments. Health and Quality of Life Outcomes, 8, 34.

Shimura, M., Yasuno, Y., Iwakura, M., Shimada, Y., Sakai, S., Suzuki, K., & Sakamoto, S. (1996). A new monitor with a zinc-oxide thin film semiconductor sensor for the measurement of volatile sulfur compounds in mouth air. Journal of Periodontology, 67(4), 396-402.

Tanabe, S., & Greiner, D. (2012). Characterization of volatile sulfur compound production by Solobacterium moorei. Archives of Oral Biology, 57(12), 1639-1643.

Tangerman, A., & Winkel, E. G. (2010). Extra-oral halitosis: An overview. Journal of Breath Research, 4(1), 017003.

Tonzetich, J. (1977). Production and origin of oral malodor: A review of mechanisms and methods of analysis. Journal of Periodontology, 48(1), 13-20.

Van den Broek, A. M., Feenstra, L., & de Baat, C. (2007). A review of the current literature on aetiology and measurement methods of halitosis. Journal of Dentistry, 35(8), 627-635.

Yaegaki, K., & Coil, J. M. (2000). Genuine halitosis, pseudo-halitosis, and halitophobia: Diagnosis and treatment. Compendium of Continuing Education in Dentistry, 21(10A), 880-889.

Zürcher, A., Laine, M. L., & Filippi, A. (2014). Diagnosis, prevalence, and treatment of halitosis. Current Oral Health Reports, 1(4), 279-285.

DENTAL ANKSİYETE YÖNETİMİNDE MÜZİK

MUSIC IN THE MANAGEMENT OF DENTAL ANXIETY

Master's Student Pelin CAN
Sound Engineering, Center for Advanced Studies in Music, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0009-4710-2921

Res. Asst. Dentist Deniz ÇETİN
Department of Restorative Dentistry, Faculty of Dentistry, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-0681-8879

ÖZET

Diş tedavileri ve diş hekimine karşı gelişen korku ve kaygı durumu bireyleri etkisi altına alan huzursuzluk ve rahatsızlık hissi, dental anksiyete olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak anksiyete ağrılı uyaranlarla ve artan ağrı algısıyla yakından ilişkilidir. Bu nedenle anksiyeteli hastalar uzun süreli yoğun ağrı yaşarlar; ayrıca ağrı durumlarını da abartırlar. İğne, aeratör sesi, dental el aletlerin görüntüsü gibi spesifik uyaranlar, dental anksiyetenin oluşmasını tetiklemektedir. Bu durumdaki hastaları tedavi etmek iş birliğinin azalması, daha fazla tedavi süresi ve kaynak gerektirmesi nedeniyle diş hekimi için oldukça streslidir. Dental anksiyetenin yönetilmesinde farmakolojik ve farmakolojik olmayan birçok yöntem kullanılabilmektedir. Farmakolojik olmayan ve uygulaması en kolay yöntemlerden biri müzik terapidir. Müziğin anksiyete üzerindeki etkisini fizyolojik bulguları dikkate alarak değerlendiren çalışmalardaki farklılıkların, dinlenen müzik türü ile ilişkili olabildiği görülmektedir. Müzik dinlemenin kaygı azaltıcı etkisini açıklamak için öne sürülen teorilerden biri "entrainment teorisi"dir. Bu teoriye göre, vücut ritimlerinin müzikle senkronize olduğu ve bunun sonucunda adrenerjik ve nöromüsküler uyarılmanın azaldığı belirlenmiştir. Düşük tonlu ve yavaş tempolu olan klasik müzik, normalde rahatsızlık ve anksiyeteye yol açan duyguları düzenleyen sinir geçişini etkileyerek, beynin duygusal ve heyecan merkezi üzerinde etkili olarak rahatlama sağlayabildiği belirtilmektedir. Müzik dinleme süresinin de anksiyete üzerinde etkili olduğu ve bu sürenin diş hekimliği ortamında bekleme süreleri göz önünde bulundurulduğunda en az 10 dakikalık bir sürenin gerekli olduğu bildirilmektedir. Son yılarda yapılan birçok araştırmada müzik türü, dinleme süresi, müziğin frekansı gibi özelliklerin dental anksiyetenin yönetiminde etkili ve invaziv olmayan iyi bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Dental anksiyete, müzik terapi

ABSTRACT

The fear and anxiety that develop in response to dental treatments and dentists—and the resulting feelings of unease and discomfort that affect individuals—are referred to as dental anxiety. In general, anxiety is closely related to painful stimuli and an increased perception of pain. For this reason, anxious patients experience prolonged, intense pain; they also tend to exaggerate their pain. Specific stimuli, such as needles, the sound of the air turbine, and the sight of dental handpieces, trigger the onset of dental anxiety. Treating patients in this condition is quite stressful for the dentist due to reduced cooperation, longer treatment times, and the need for additional resources. Many pharmacological and non-pharmacological methods can be used to manage dental anxiety. One of the non-pharmacological methods that is easiest to implement is music therapy. Differences observed in studies evaluating the effect of music on anxiety, based on physiological findings, appear to be related to the type of music listened to. One of the theories proposed to explain the anxiety-reducing effect of listening to music is the "entrainment theory." According to this theory, it has been determined that the body's rhythms synchronize with the music, resulting in a reduction in adrenergic and neuromuscular arousal. It is noted that classical music, with its low pitch and slow tempo, can provide relaxation by influencing neural pathways that regulate emotions—which normally lead to discomfort and anxiety—and by affecting the brain's emotional and arousal centers. It is also reported that the duration of music listening affects anxiety levels, and that—given the waiting times typical of dental settings—a minimum listening duration of 10 minutes is necessary.

Numerous studies conducted in recent years have concluded that factors such as music genre, listening duration, and music frequency constitute an effective and non-invasive method for managing dental anxiety.
Keywords: Dental anxiety, music therapy

GİRİŞ

Müzik, seslerin belirli bir zaman düzeni içerisinde yapılandırılmasıyla ortaya çıkan sanatsal bir ifade biçimidir. Melodi, ritim, tını ve armoni gibi temel unsurlar aracılığıyla duygu ve düşüncelerin yanı sıra kültürel değerlerin ve insan deneyimlerinin aktarılmasına olanak sağlar. Kökenleri insanlık tarihinin erken dönemlerine kadar uzanan müzik, farklı medeniyetlerde yalnızca eğlence amacıyla değil; dinî, askerî ve tedavi edici uygulamaların bir parçası olarak da kullanılmıştır (Güvenç, 2002).

Eski dönemlerde hastalıkların nedenleri ve tedavilerine ilişkin sistematik tıbbi bilginin sınırlı olması, sağlık sorunlarının daha bütüncül yaklaşımlarla ele alınmasına neden olmuştur. Bu doğrultuda dönemin şifacıları, tedavi sürecinde farklı yöntemleri bir arada kullanmıştır. Bitkisel ve hayvansal kaynaklı tedavi araçlarının yanı sıra meditasyon, dinî ritüeller, masaj, çeşitli tütsüler ve aromalar ile müzik temelli uygulamalardan yararlanılmıştır. Müzikle terapi, bazı durumlarda mevcut tedavi yöntemlerini destekleyici bir yaklaşım olarak uygulanırken, diğer yöntemlerden yeterli sonuç alınamadığı durumlarda alternatif bir uygulama olarak da değerlendirilmiştir (Birkan, 2014).

Müziğin Tedavi Amaçlı Kullanımının Tarihçesi

Müziğin tedavi amacıyla kullanımı insanlık tarihinin erken dönemlerine kadar uzanmakta ve farklı toplumlarda ruhsal ve bedensel rahatsızlıkların giderilmesinde müzikten yararlanıldığı bilinmektedir: Antik Yunan kültüründe müzik ile şifa arasında güçlü bir ilişki kurulmuş; Yunan mitolojisinde Apollon'un hem müzik hem de hekimlikle ilişkilendirilmesi bu anlayışın önemli örneklerinden biri olmuştur (Tuna & Özer, 2015). Müziğin ruhsal ve davranışsal bozukluklar, ağrı ve bazı nörolojik durumlarda kullanıldığı bildirilirken (Horden, 2000), Bergama Asklepionu'nda da müzik ve müzik eşliğindeki ritüellerden hastaların ruhsal rahatlamasını desteklemek amacıyla yararlanıldığı belirtilmektedir (Çelik, 2018). Benzer şekilde, Antik Mısır'da operasyon öncesinde hastalara müzik dinletildiği (Koç ve ark., 2016), Çin kültüründe ise Konfüçyüs'ün müziğin psikolojik ve fizyolojik etkilerine dikkat çektiği aktarılmaktadır (Karamızrak, 2014).

Türk kültüründe ise müziğin tedavi amacıyla kullanımı, Orta Asya'daki şaman ve baksı geleneğinden Selçuklu ve Osmanlı darüşşifalarına kadar uzanmaktadır. Şaman ve baksıların müzik ve ritüelleri iyileştirme amacıyla kullandıkları; sonraki dönemlerde ise müziğin özellikle ruhsal ve sinirsel rahatsızlıkların tedavisini destekleyici bir yöntem olarak benimsendiği belirtilmektedir. Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde bu uygulamalar daha sistematik hâle gelmiş ve çeşitli darüşşifalarda müzik ile su sesinden tedavi amacıyla yararlanılmıştır (Gençel, 2006; Somakçı, 2003; Erer & Atıcı, 2010). Ayrıca Türk musikisindeki farklı makamların bedensel ve ruhsal etkileri olduğuna inanılarak tedavilerde çeşitli makamlara yer verilmiştir (Tanrıöver, 2010).

Müzik terapisinin modern gelişimi 20. yüzyılda hız kazanmış; özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında savaş gazilerinin psikoterapi ve ağrı yönetiminde müzikten yararlanılması, yöntemin klinik kullanımının yaygınlaşmasına ve bu alanda uzmanların yetişmesine katkı sağlamıştır (Yıldırım, 2021). İzleyen dönemde müzik terapisi nörolojik, psikiyatrik ve ağrıyla ilişkili çeşitli durumlarda tamamlayıcı bir yaklaşım olarak kullanılmaya başlanmıştır (Uçaner & Birsen, 2015; Yıldırım, 2021).

Müzik terapisinin kurumsallaşmasıyla birlikte 1985 yılında Dünya Müzik Terapi Federasyonu kurulmuştur. Bu federasyon, müzik terapisini bireylerin ve toplumların yaşam kalitesini artırmak; duygusal, fiziksel, zihinsel ve sosyal iyilik hâllerini desteklemek amacıyla müzik ve müzik öğelerinin profesyonel olarak kullanılması şeklinde tanımlamaktadır (World Federation of Music Therapy, n.d.). Türkiye'de ise müzikterapi, 27 Ekim 2014 tarihinde yayımlanan Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği kapsamında düzenlenen geleneksel ve tamamlayıcı tıp uygulamaları arasında yer almıştır (Resmî Gazete, 2014).

Müziğin İnsan Vücudu ve Zihni Üzerindeki Etkileri

Müziğin insan vücudu ve zihni üzerindeki etkileri, işitsel uyaranların merkezi sinir sisteminde işlenmesiyle başlayan çok yönlü bir süreçtir.

İşitsel yollarla alınan müzikal uyaranlar, beyin sapı ve talamustan geçerek kortikal bölgelere ulaşmakta; burada bilişsel ve duygusal süreçlerle bütünleşmektedir. Bu etkileşim sonucunda müzik, davranışsal yanıtların yanı sıra otonom sinir sistemi ve limbik sistemle ilişkili çeşitli psikolojik ve fizyolojik yanıtları da etkileyebilmektedir (Chanda ve Levitin, 2013).

Müziğin fizyolojik etkilerinin önemli bir bölümü otonom sinir sistemiyle ilişkilendirilmektedir. Müzik dinleme sırasında parasempatik aktivitenin artması ve sempatik aktivitenin azalması; kalp atım hızı, kan basıncı ve solunum hızı gibi fizyolojik parametrelerde değişikliklere yol açabilmektedir. Bununla birlikte, sempatik uyarılmanın ve nöromüsküler aktivitenin azalması, organizmanın gevşeme yanıtını destekleyerek stres ve anksiyetenin hafifletilmesine katkıda bulunabilmektedir (Chanda ve Levitin, 2013; Bernardi ve ark., 2006; Thoma ve ark., 2013).

Müziğe verilen duygusal yanıtların oluşumunda ise limbik sistem önemli bir role sahiptir. Müzikal uyaranların limbik yapılar ile hipotalamus-hipofiz-adrenal sistemle ilişkili süreçleri etkilemesi, stres yanıtında görev alan nöroendokrin mekanizmalar üzerinde değişikliklere neden olabilmektedir. Bu kapsamda kortizol düzeylerinde azalma ve endorfin salınımında artış meydana gelebildiği; bu değişikliklerin stres, anksiyete ve ağrı algısının düzenlenmesine katkı sağlayabileceği bildirilmektedir. Ayrıca amigdala aktivitesinin modülasyonu, müziğin korku ve stresle ilişkili duygusal yanıtlar üzerindeki etkilerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Chanda ve Levitin, 2013; Thoma ve ark., 2013; Koelsch, 2014).

Otonom, nöroendokrin ve limbik sistem üzerindeki bu etkiler birlikte değerlendirildiğinde, müzik terapisi tıp ve diş hekimliği uygulamalarında mevcut tedavilere eşlik edebilecek destekleyici ve tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Non-invaziv ve non-farmakolojik yapısı da müzik terapisinin klinik uygulamalara yardımcı bir yöntem olarak kullanılabilmesi açısından avantaj sağlamaktadır.

Müziğin tıbbi uygulamalarda destekleyici bir yöntem olarak kullanımına yönelik ilgi son yıllarda artmış ve bu yaklaşım diş hekimliği alanında da çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Dental uygulamalarda müzikten yararlanılmasına ilişkin çalışmalar özellikle dental anksiyete ve dental korkunun kontrolü üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bunun yanı sıra çocuk hastalarda tedavi sırasında dikkatin olumsuz veya rahatsız edici uyaranlardan başka yöne çekilmesi ve davranış yönetiminin desteklenmesi amacıyla müzikten yararlanılabileceği bildirilmiştir. Müziğin kullanım alanı yalnızca çocuk hastalarla sınırlı olmayıp, engelli bireylerde hasta-hekim arasındaki iletişim ve iş birliğinin geliştirilmesine yönelik etkileri de araştırılmıştır. Diğer bir çalışma alanını ise dental işlemler sırasında ağrının kontrolü oluşturmaktadır. Bu doğrultuda müzik, ağrı algısının azaltılmasına yardımcı olabilecek ve lokal anesteziye eşlik edebilecek tamamlayıcı, non-farmakolojik bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Dental Anksiyete

Dental anksiyete, bireyin diş hekimi, dental tedaviler veya klinik ortamla ilişkili olarak yaşadığı huzursuzluk ve kaygı durumu olarak tanımlanmaktadır. Fiziksel ve psikolojik stres belirtileriyle birlikte ortaya çıkabilen bu durum, hastaların dental tedavilerini ertelemesine, geciktirmesine veya tedaviden tamamen kaçınmasına neden olabilmektedir. Ayrıca dental anksiyete, hasta ile diş hekimi arasındaki iletişim ve iş birliğini olumsuz etkileyerek tedavi sürecinin yönetimini güçleştirebilmektedir (Şimşek ve İspir, 2019).

Dental anksiyete, bireylerde hem fiziksel hem de ruhsal ve davranışsal belirtilerle kendini gösterebilmektedir. Fiziksel belirtiler arasında kalp atım hızında artış, aşırı terleme, titreme, nefes darlığı, göğüste sıkışma hissi, mide bulantısı, karın ağrısı, kas gerginliği ve baş ağrısı yer alırken; ruhsal ve davranışsal belirtiler arasında yoğun huzursuzluk ve panik, uyku sorunları, dental randevuları erteleme veya randevulardan kaçınma ile tedavi sırasında ağlama, sinirlenme ve kontrol kaybı görülebilmektedir (Hoffmann ve ark., 2022).

Dental anksiyete hem çocuk hem de yetişkin hastalarda dental tedavi sürecini güçleştirebilen ve bireylerin ağız sağlığı ile ilişkili yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilen önemli bir sağlık durumudur. Farklı yaş gruplarında görülebilmesine karşın, başlangıcının sıklıkla çocukluk ve adölesan döneme rastladığı ve kadınlarda erkeklere kıyasla daha yaygın olduğu bildirilmektedir (Smyth, 1993; Oosterink ve ark., 2009).

Dental anksiyetenin değerlendirilmesinde, bireylerin dental tedaviye ilişkin korku ve kaygı düzeylerini standart bir biçimde belirlemeye yönelik çeşitli psikometrik ölçüm araçlarından yararlanılmaktadır. Ajmera ve ark. (2026), 2020–2024 yılları arasında yayımlanan 772 çalışmayı incelemiş ve en sık kullanılan araçların Modifiye Dental Anksiyete Skalası (MDAS), Corah Dental Anksiyete Skalası (CDAS) ve Çocuklarda Korku Değerlendirme Skalası-Dental Alt Ölçeği (Children's Fear Survey Schedule–Dental Subscale [CFSS-DS]) olduğunu bildirmiştir. Yetişkinlerde MDAS, çocuklarda ise CFSS-DS'nin daha yaygın kullanıldığı belirlenmiştir. Bunların yanı sıra Yüz Görüntü Skalası (FIS), Dental Korku Ölçeği (DFS) ve Venham Resim Testi (VPT) gibi farklı değerlendirme araçlarından da yararlanılmaktadır. Ölçeklerin hedef popülasyonları ve değerlendirdikleri özellikler farklılık gösterdiğinden, kullanılacak ölçüm aracının bireyin yaşı ve değerlendirmenin amacı doğrultusunda seçilmesi önem taşımaktadır (Ajmera ve ark., 2026).

Dental anksiyetenin yönetiminde, hastanın anksiyete düzeyi ve bireysel özellikleri dikkate alınarak farmakolojik ve non-farmakolojik yaklaşımlardan yararlanılmaktadır. Farmakolojik yöntemler arasında bilinçli sedasyon ve gerekli durumlarda genel anestezi yer alırken; non-farmakolojik yaklaşımlar gevşeme ve nefes egzersizleri, bilişsel davranışçı terapi, hipnoz, aromaterapi ve dikkat dağıtma teknikleri gibi çeşitli yöntemleri kapsamaktadır. Özellikle gevşeme ve kontrollü solunum teknikleri, anksiyeteye eşlik eden fizyolojik uyarılmanın azaltılmasına yardımcı olabilirken, bilişsel davranışçı yaklaşımlar hastanın dental tedaviye ilişkin olumsuz düşünce ve davranışlarının düzenlenmesini amaçlamaktadır. Hipnoz ve aromaterapi de anksiyetenin kontrolüne yönelik yardımcı yöntemler arasında değerlendirilmektedir. Müzik ise dikkatin dental işlemlerden ve klinik ortamda kaygı oluşturabilecek uyaranlardan uzaklaştırılmasına yardımcı olan bir dikkat dağıtma ve gevşeme yöntemi olarak kullanılabilmektedir. Farmakolojik yöntemlere duyulan gereksinimin azaltılması açısından öncelikle uygun davranışsal ve psikolojik yaklaşımların değerlendirilmesi; uygulanacak yöntemin ise anksiyetenin şiddeti, hasta özellikleri ve klinik gereksinimler doğrultusunda bireyselleştirilmesi önerilmektedir (Appukuttan, 2016).

Dental Anksiyetenin Yönetilmesinde Müziğin Etkisi

Dental anksiyetenin non-farmakolojik yönetiminde müzik temelli uygulamaların etkinliği farklı dental tedavi süreçlerinde araştırılmıştır. Bu çalışmalar, müziğin anksiyete ve ağrı gibi subjektif sonuçların yanı sıra kalp hızı, kan basıncı, oksijen satürasyonu ve kortizol düzeyi gibi fizyolojik stres göstergeleri üzerindeki olası etkilerine odaklanmaktadır.

Özcan ve ark. (2024), periodontal cerrahi gereksinimi bulunan dental anksiyeteli hastalarda müzik uygulamasının anksiyete, dental korku, ağrı algısı ve fizyolojik parametreler üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Katılımcılar randomize olarak iki gruba ayrılmış; müdahale grubundaki hastalara ses düzeyini kendi tercihlerine göre ayarlayabildikleri yavaş tempolu enstrümantal müzik dinletilirken, kontrol grubundaki hastalara müzik uygulanmaksızın kulaklık takılmıştır. Tedavi öncesi ve sonrası değerlendirmelerde, müzik grubunda kontrol grubuna kıyasla kan basıncı ve dental anksiyete düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı azalma saptanmıştır. Ayrıca Görsel Analog Skala (VAS) ile değerlendirilen ağrı skorlarının müzik dinleyen hastalarda daha düşük olduğu bildirilmiştir (Özcan ve ark., 2024).

Wazzan ve ark. (2022) ise acil endodontik tedavi gereksinimi bulunan 46 dental anksiyeteli hastada yavaş tempolu enstrümantal müziğin etkilerini araştırmıştır. Hastalar randomize olarak müzik ve kontrol gruplarına ayrılmış; tedavi öncesinde ve sonrasında kalp hızı, kan basıncı, vücut sıcaklığı ve tükürük kortizol düzeyleri değerlendirilmiştir. Müzik uygulanan hastalarda fizyolojik parametrelerde azalma gözlenmekle birlikte, bu değişikliklerin kontrol grubuna kıyasla istatistiksel anlamlılığa ulaşmadığı bildirilmiştir (Wazzan ve ark., 2022).

Müziğin farklı akustik özelliklerinin dental anksiyete üzerindeki etkisini ele alan Yağız ve ark. (2025), restoratif tedavi gören hastalarda alfa frekanslı binaural ritmik müzik ile 432 Hz frekansındaki rahatlatıcı müziği karşılaştırmıştır. Katılımcılar iki farklı müzik grubu ve bir kontrol grubu olmak üzere randomize olarak üç gruba ayrılmış ve müzik, kavite preparasyonu sırasında kulaklık aracılığıyla uygulanmıştır. Tedavi öncesi ve sonrasında vücut sıcaklığı, kan basıncı, oksijen satürasyonu ve nabız değerleri değerlendirilmiş; 432 Hz frekansındaki müziği dinleyen grupta fizyolojik stres göstergelerindeki azalmayla birlikte dental anksiyete düzeyinde de azalma olduğu bildirilmiştir (Yağız ve ark., 2025).

Karapıçak ve ark. (2023) tarafından orta düzeyde dental anksiyeteye sahip ve restoratif tedavi gereksinimi bulunan 70 hasta üzerinde gerçekleştirilen çalışmada ise katılımcılar müzik ve kontrol gruplarına randomize edilmiştir. Müdahale grubundaki hastaların kendi tercih ettikleri müziği

dinlemelerine olanak sağlanırken kontrol grubunda müzik uygulanmamıştır. Tedavi öncesi ve sonrasında oksijen satürasyonu, vücut sıcaklığı, kalp hızı, kan basıncı ve tükürük kortizol düzeyleri değerlendirilmiştir. İncelenen fizyolojik parametreler arasında yalnızca diyastolik kan basıncında müzik grubu lehine istatistiksel olarak anlamlı bir azalma saptanmış; araştırmacılar müziğin fizyolojik stres göstergeleri üzerindeki etkisinin sınırlı olduğunu belirtmiştir (Karapıçak ve ark., 2023).

SONUÇ

Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, müzik temelli uygulamaların dental anksiyete yönetiminde potansiyel bir non-farmakolojik destekleyici yaklaşım olduğu, ancak elde edilen sonuçların çalışmalar arasında heterojenlik gösterdiği görülmektedir. Bazı araştırmalarda fizyolojik stres göstergelerindeki değişiklikler istatistiksel anlamlılığa ulaşmazken (Wazzan ve ark., 2022), diğer çalışmalarda kan basıncı, dental anksiyete veya ağrı algısı gibi sonuçlarda olumlu değişiklikler bildirilmiştir (Karapıçak ve ark., 2023; Özcan ve ark., 2024; Yağız ve ark., 2025). Çalışmalarda kullanılan müziğin özellikleri, uygulama biçimi ve süresi, gerçekleştirilen dental işlem ve değerlendirilen sonuç değişkenlerindeki farklılıklar, bulgular arasındaki değişkenliğe katkıda bulunabilir. Bu nedenle müzik temelli uygulamaların dental anksiyete üzerindeki etkinliğinin daha güçlü biçimde ortaya konulabilmesi için standartlaştırılmış protokollere sahip ileri çalışmalara gereksinim bulunmaktadır.

KAYNAKÇA

Ajmera, D. H., Wong, N. S. M., & Yeung, A. W. K. (2026). What psychometric scales did researchers use to measure dental fear, anxiety, or phobia? A literature survey from 2020 to 2024. Frontiers in Oral Health, 7, 1850040. https://doi.org/10.3389/froh.2026.1850040

Appukuttan, D. P. (2016). Strategies to manage patients with dental anxiety and dental phobia: Literature review. Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry, 8, 35–50. https://doi.org/10.2147/CCIDE.S63626

Bernardi, L., Porta, C., & Sleight, P. (2006). Cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory changes induced by different types of music in musicians and non-musicians: The importance of silence. Heart, 92(4), 445–452.

Birkan, Z. I. (2014). Müzikle tedavi, tarihi gelişimi ve uygulamaları [Music therapy, its historical development and applications]. Ankara Akupunktur ve Tamamlayıcı Tıp Dergisi, 37–49.

Chanda, M. L., & Levitin, D. J. (2013). The neurochemistry of music. Trends in Cognitive Sciences, 17(4), 179–193.

Çelik, S. (2018). Antik Yunanda müzikle tedavi: Bergama Asklepion örneği. 1. Uluslararası Çağdaş Eğitim ve Sosyal Bilimler Sempozyumu, 1007–1010.

Erer, S., & Atıcı, E. (2010). Selçuklu ve Osmanlılarda müzikle tedavi yapılan hastaneler. Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 36(1), 29–32.

Gençel, Ö. (2006). Müzikle tedavi. Kastamonu Eğitim Dergisi, 14(2), 697–706.

Güvenç, O. R. (2002). Eski Türklerde müzik ile tedavi. In Türkler (Cilt 3, ss. 460–467). Yeni Türkiye Yayınları.

Hoffmann, B., Erwood, K., Ncomanzi, S., Fischer, V., O'Brien, D., & Lee, A. (2022). Management strategies for adult patients with dental anxiety in the dental clinic: A systematic review. Australian Dental Journal, 67(S1), S3–S13.

Horden, P. (2000). Music as medicine: The history of music therapy since antiquity. Ashgate.

Karamızrak, N. (2014). Ses ve müziğin organları iyileştirici etkisi. Koşuyolu Heart Journal, 17(1), 54–57.

Karapicak, E., Dulger, K., Sahin, E., & Alver, A. (2023). Investigation of the effect of music listened to by patients with moderate dental anxiety during restoration of posterior occlusal dental caries. Clinical Oral Investigations, 27(7), 3521–3530.

Koç, E. M., Başer, D. A., Kahveci, R., & Özkara, A. (2016). Ruhun ve bedenin gıdası: Geçmişten günümüze müzik ve tıp. Konuralp Tıp Dergisi, 8(1), 51–55.

Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. Nature Reviews Neuroscience, 15(3), 170–180.

Oosterink, F. M. D., de Jongh, A., & Hoogstraten, J. (2009). Prevalence of dental fear and phobia relative to other fear and phobia subtypes. European Journal of Oral Sciences, 117(2), 135–143. https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2008.00602.x

Özcan, M. F., Hendek, M., Barış, K., & Olgun, E. (2024). Effect of music therapy on dental anxiety in periodontal surgery. Cumhuriyet Dental Journal, 27(1), 21–29.

Resmî Gazete. (2014). Geleneksel ve Tamamlayıcı Tıp Uygulamaları Yönetmeliği. Resmî Gazete

Şimşek, N., & İspir, S. (2019). Diş hekimliğinde anksiyete. AKD Tıp Dergisi, 1, 15–20.

Smyth, S. J. (1993). Some problems of dental treatment. Part 1. Patient anxiety: Some correlates and sex differences. Australian Dental Journal, 38(5), 354–359. https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.1993.tb05516.x

Somakcı, P. (2003). Türklerde müzikle tedavi. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (15), 131–140.

Tanrıöver, G. B. (2010). Müzikle tedavi yöntemleri. e-Journal of New World Sciences Academy, 5(3), 150–157.

Thoma, M. V., La Marca, R., Brönnimann, R., Finkel, L., Ehlert, U., & Nater, U. M. (2013). The effect of music on the human stress response. PLoS ONE, 8(8), e70156.

Tuna, A., & Özer, M. C. (2015). Bergama Asklepion'unda bir sağaltım yöntemi olarak müzik. EÜ Devlet Türk Musikisi Konservatuvarı Dergisi, 7, 63–73.

Uçaner, B., & Birsen, J. (2015). Müzik terapi uygulamaları ve bazı ülkelerdeki eğitimi. Folklor/Edebiyat, 21(81), 35–46.

Wazzan, M., Estaitia, M., Habrawi, S., Mansour, D., Jalal, Z., Ahmed, H., Hasan, H. A., & Al Kawas, S. (2022). The effect of music therapy in reducing dental anxiety and lowering physiological stressors. Acta Biomedica, 92(6), e2021393.

World Federation of Music Therapy. (n.d.). Who we are. Retrieved June 24, 2026, from World Federation of Music Therapy

Yağız, G., Silkü, A., Erten, H., Can, Z. P., Etmanska, K., & Keskinoğlu, P. (2025, November 8–10). Dental anksiyeteli hastalarda restoratif diş tedavisi sırasında dinletilen farklı frekanslardaki müziğin anksiyete üzerine etkilerinin değerlendirilmesi [Kongre bildirisi]. 26. Restoratif Diş Hekimliği Kongresi, Gaziantep, Türkiye.

Yıldırım, M. (2021). Müzikle tedavi: Tarihi, gelişimi, bağımlılıklarda uygulanışı ve Türkiye'deki müzik terapi uygulamaları [Music healing: History, development, application in addictions and music therapy applications in Turkey]. Turkish Academic Research Review, 6(2), 477–497.

PHYSICOCHEMICAL AND PERFORMANCE-BASED EVALUATION OF GREEN-SYNTHESIZED AGNP/PES MIXED-MATRIX MEMBRANES FOR WATER TREATMENT

Assoc. Prof. Dr. Sevil AKÇAĞLAR
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5386-1862

Prof. Dr. Sevim AKÇAĞLAR
Department of Medical Microbiology, Faculty of Dentistry, Istanbul Kent University, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-4759-9634

Abstract
This study presents the fabrication and characterization of mixed-matrix nanofiltration membranes (MMMs) prepared by incorporating green-synthesized silver nanoparticles (AgNPs) derived from Hibiscus rosa-sinensis extract into a polyethersulfone (PES) matrix. The membranes were evaluated in terms of pure water flux, salt rejection, dye removal, antibacterial activity, and antifouling performance. The 0.75 wt% AgNP/PES membrane exhibited the most favorable **ove**rall performance**,** achieving a pure water flux of 36 L m^{-2} h^{-1} at an applied pressure of 9 bar**.** AgNP incorporation substantially improved salt rejection, increasing NaCl rejection from 33% to 59%**,** $MgSO_4$ rejection from 28% to 68%**,** and $CaCl_2$ rejection from 25% to 45%**.** The AgNP-modified membranes also demonstrated enhanced antibacterial activity against Escherichia coli *and* Pseudomonas aeruginosa and improved antifouling behavior, with the 0.75 wt% membrane showing the most favorable balance between water flux and fouling resistance. The combination of high dye rejection and moderate salt rejection was consistent with the loose nanofiltration characteristics of the membranes.
Overall, the findings demonstrate that green-synthesized AgNPs can act as effective and sustainable nanofillers for enhancing the functional performance of PES mixed-matrix membranes. The 0.75 wt% AgNP loading provided the optimum balance of water flux, salt rejection, hydrophilicity, antibacterial activity, and antifouling performance**,** highlighting its potential for sustainable water and wastewater treatment.
Keywords: Green-synthesized silver nanoparticles; Mixed-matrix membranes; Loose nanofiltration; Antibacterial activity; Antifouling; Membrane transport; Water treatment.

Özet
Bu çalışmada, *Hibiscus rosa-sinensis* ekstraktından yeşil sentezlenen gümüş nanopartiküllerinin (AgNP'ler) poliethersülfon (PES) matrisi içerisine dahil edilmesiyle hazırlanan karışık matris nanofiltrasyon membranlarının (MMM'ler) üretimi ve karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Membranlar; saf su akısı, tuz giderimi, boya uzaklaştırma, antibakteriyel aktivite ve antifouling performansı açısından değerlendirilmiştir.
%0,75 AgNP/PES membranı en uygun genel performansı göstermiş ve 9 bar uygulanan basınçta 36 L m^{-2} h^{-1} saf su akısı elde edilmiştir. AgNP ilavesi, tuz giderim performansını belirgin şekilde artırmış; NaCl giderimi %33'ten %59'a, $MgSO_4$ giderimi %28'den %68'e ve $CaCl_2$ giderimi %25'ten %45'e yükselmiştir. AgNP ile modifiye edilen membranlar ayrıca *Escherichia coli* ve *Pseudomonas aeruginosa*'ya karşı daha yüksek antibakteriyel aktivite ve gelişmiş antifouling performansı göstermiş; %0,75 AgNP içeren membran, su akısı ile kirlenme direnci arasında en uygun dengeyi sağlamıştır. Yüksek boya giderimi ile orta düzeyde tuz gideriminin birlikte gözlenmesi, membranların gevşek nanofiltrasyon (loose nanofiltration) özellikleri ile uyumlu bulunmuştur.
Genel olarak bulgular, yeşil sentezlenmiş AgNP' lerin PES karışık matris membranlarının fonksiyonel performansını geliştirmede etkili ve sürdürülebilir nanodolgular olarak kullanılabileceğini göstermektedir**.** %0,75 AgNP yüklemesi; su akısı, tuz giderimi, hidrofiliklik, antibakteriyel aktivite ve antifouling performansı açısından en uygun dengeyi sağlamış ve geliştirilen membranların sürdürülebilir su ve atık su arıtımındaki potansiyelini ortaya koymuştur.
Anahtar Kelimeler: Yeşil sentezlenmiş gümüş nanopartikülleri; Karışık matris membranlar; Gevşek nanofiltrasyon; Antibakteriyel aktivite; Antifouling; Membran taşınımı; Su arıtımı.

1.Introduction

The increasing demand for clean water resulting from population growth, industrialization, urbanization, and climate change has made sustainable water treatment a major engineering challenge [1]. Conventional treatment methods are often inadequate for removing emerging contaminants such as pharmaceutical residues, dyes, heavy metals, endocrine-disrupting compounds, microplastics, and pathogenic microorganisms [2]. Membrane-based separation processes have therefore become attractive because of their high separation efficiency, modular configuration, low chemical consumption, and relatively small environmental footprint [2,3]. Nevertheless, membrane fouling remains the principal factor limiting long-term performance and economic viability [3,4]. Among fouling mechanisms, biofouling is particularly difficult to control because it involves microbial adhesion, extracellular polymeric substance (EPS) production, and biofilm maturation on membrane surfaces [5]. The resulting flux decline, increased transmembrane pressure, higher energy consumption, frequent chemical cleaning, and shortened membrane lifespan significantly affect process sustainability.

From a physical engineering perspective, biofouling is governed by surface roughness, surface free energy, hydrophilicity, pore structure, zeta potential, and local hydrodynamic conditions [3,4]. Mixed matrix membranes (MMMs), which incorporate functional nanomaterials into a polymeric matrix, have emerged as a promising strategy for simultaneously improving permeability, selectivity, mechanical stability, and antimicrobial properties [6]. Silver nanoparticles (AgNPs) are especially attractive because of their broad-spectrum antimicrobial activity and their ability to reduce bacterial adhesion and suppress biofilm formation [7]. However, conventional chemical synthesis of AgNPs often requires toxic reducing agents and stabilizers. Green synthesis using plant extracts has gained considerable interest as a simple, cost-effective, energy-efficient, and environmentally friendly alternative [8,9]. Recent studies have shown that green-synthesized AgNPs can be successfully incorporated into polyethersulfone (PES) membranes, leading to improved hydrophilicity, enhanced water flux, better salt and dye rejection, and superior antibiofouling performance [10,11]. In addition to antimicrobial effects, AgNPs can modify membrane porosity, surface morphology, and transport resistance, thereby influencing mass transfer and filtration behavior [6,10]. These effects can be evaluated using contact angle measurements, permeability analysis, surface characterization, and hydrodynamic assessment, while CFD and DLVO/XDLVO approaches provide further insight into microbial adhesion and biofilm development [12,13]. Based on these considerations, this study investigates green-synthesized AgNP-containing PES mixed matrix membranes for water purification, with emphasis on the relationship between membrane morphology, hydrophilicity, permeability, and antibiofouling behavior against waterborne mixed-species biofilms.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

All chemicals used in this study were of analytical grade. Silver nitrate ($AgNO_3$) and N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) were purchased from Sigma-Aldrich. NMP was selected as the solvent for the PES casting solutions because of its high solvency and suitable viscosity for phase-inversion membrane fabrication. Polyethersulfone (PES; Veradel® 3000P) was supplied by Solvay Specialty Polymers (Belgium) due to its thermal stability, chemical resistance, and mechanical strength.

Sodium chloride (NaCl), calcium chloride ($CaCl_2$), and magnesium sulfate ($MgSO_4$) were obtained from Sigma-Aldrich and used as model salts for membrane performance evaluation. Methylene blue, Congo red, and Rose Bengal were used as model dyes. Sodium alginate was used as a model organic foulant. A commercially available nonwoven polypropylene/polyethylene (PP/PE) support fabric was used as the backing layer during membrane casting.

Fresh *Hibiscus rosa-sinensis* flowers were collected in İzmir, Türkiye, for the green synthesis of silver nanoparticles. Deionized (DI) water was used throughout all experiments.

2.2. Preparation of Green-Synthesized AgNPs

Silver nanoparticles (AgNPs) were synthesized using an aqueous extract of *Hibiscus rosa-sinensis* flowers (Fig. 1) [8,9]. Fresh flowers (20 g) were boiled in 100 mL of deionized water at 80 °C for 2 h.

The extract was subsequently filtered through Whatman No. 1 filter paper and stored at 4 °C until use. For AgNP synthesis, 20 mL of the flower extract was mixed with 90 mL of $AgNO_3$ solution, and the pH was adjusted to 6. The color change from light yellow to dark brown was considered an initial indication of AgNP formation. After 24 h of incubation, the suspension was centrifuged at 12,000 rpm for 15 min. The collected nanoparticles were washed three times with deionized water and ethanol, freeze-dried, and ground into a fine powder for subsequent membrane fabrication.

A schematic illustration of the green synthesis process of AgNPs using *H. rosa-sinensis* flower extract is presented in Fig. 1, showing the main steps from preparation of the plant extract to AgNP formation, recovery, washing, and drying

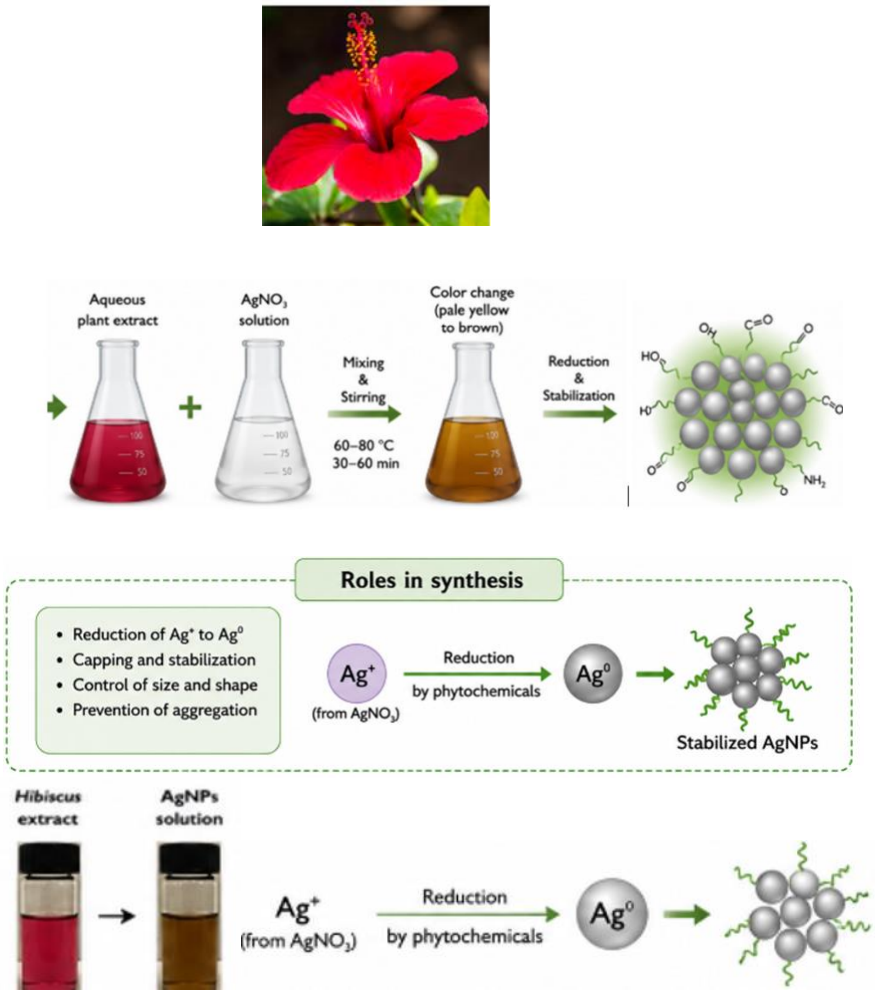


Figure 1. Schematic representation of the green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using *Hibiscus rosa-sinensis* extract, including extract preparation, Ag^+ reduction, color change, centrifugation, and freeze-drying steps.

2.3. Fabrication of AgNP/PES Mixed-Matrix Membranes

Pristine PES membranes were prepared by dissolving PES at a concentration of 22 wt% in an NMP/THF solvent mixture at a volume ratio of 3:1 (v/v) [3,4]. For the fabrication of AgNP/PES mixed-matrix membranes (MMMs), the green-synthesized AgNPs were initially dispersed in NMP at loadings of 0.25, 0.50, 0.75, and 1.00 wt% relative to the mass of PES. The AgNP-containing dispersions were stirred for 2 h to promote uniform nanoparticle dispersion.

The detailed compositions of the pristine and AgNP/PES mixed-matrix membranes are summarized in Table 1. Following AgNP dispersion, PES was gradually added to the dispersion, together with the required amount of THF to obtain the final NMP/THF ratio of 3:1 (v/v) and a total PES concentration of 22 wt%.

The resulting casting solutions were stirred for 24 h to ensure complete dissolution of the polymer and adequate dispersion of the nanoparticles. The solutions were subsequently degassed overnight to remove entrapped air bubbles before membrane casting.
The casting solutions were cast onto a nonwoven PP/PE support using an automatic film applicator at a wet thickness of 250 μm. After an evaporation period of 30 s under ambient conditions, the cast films were immediately immersed in a distilled-water coagulation bath to induce non-solvent-induced phase separation (NIPS). The resulting membranes were thoroughly rinsed with deionized water and stored in deionized water for at least 48 h to remove residual solvents and allow stabilization of the membrane structure prior to characterization and performance testing.

Table 1. Composition of the pristine PES and AgNP/PES mixed-matrix membranes

Membrane code	PES concentration (wt%)	AgNP loading (wt%)*	Solvent mixture (NMP:THF, v/v)	Support layer
M0 (Pristine)	22	0.00	3:1	PP/PE nonwoven
M-Ag0.25	22	0.25	3:1	PP/PE nonwoven
M-Ag0.50	22	0.50	3:1	PP/PE nonwoven
M-Ag0.75	22	0.75	3:1	PP/PE nonwoven
M-Ag1.00	22	1.00	3:1	PP/PE nonwoven

2.4. Characterization Techniques

The chemical structure and functional groups of the synthesized AgNPs and AgNP/PES mixed-matrix membranes (MMMs) were analyzed using FT-IR spectroscopy (Bruker Vertex 70) over 4000–400 cm^{-1} at a resolution of 4 cm^{-1}. The crystalline structure was examined by XRD (Rigaku SmartLab) using Cu-Kα radiation (λ = 1.5406 Å) over a 2θ range of 10–80° at 2°/min.
Membrane hydrophilicity was evaluated by static water contact angle measurements using an optical tensiometer (DataPhysics OCA 15EC) with 2 μL DI water droplets. Measurements were performed at five different locations on each membrane surface. Surface and cross-sectional morphologies were examined by SEM (FEI Quanta 250 FEG) at an accelerating voltage of 15 kV. Cross-sectional samples were cryogenically fractured in liquid nitrogen and gold-coated before SEM analysis.
These techniques were used to characterize the chemical, structural, surface, and morphological properties of the AgNPs and AgNP/PES MMMs.

2.5. Antibacterial and Anti-Biofouling Evaluations

2.5.1. Antibacterial Activity Assessment

The antibacterial activity of pristine PES (M-0) and AgNP/PES mixed-matrix membranes (M-1–M-4) was evaluated against *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. Bacterial cultures were grown in Nutrient Broth for 24 h. Membrane samples were sterilized under UV light for 30 min on each side, followed by contact with standardized bacterial suspensions and incubation for 24 h (Fig. 2).
After incubation, viable bacteria recovered from the membrane surfaces were quantified by colony counting. Antibacterial activity was expressed as log reduction and percentage inhibition using Eqs. (1) and (2), respectively:

Log reduction:

$$\text{Log Reduction} = \log_{10}\left(\frac{N_0}{N_1}\right)$$

[Eq. (1)]. Percentage inhibition:

$$\text{Percentage Inhibition (\%)} = \left(\frac{N_0 - N_1}{N_0}\right) \times 100$$

[Eq. (2)].

where (N_0) and (N) represent the numbers of viable bacterial colonies (CFU) recovered from the pristine PES (M-0) and AgNP/PES mixed-matrix membranes (M-1–M-4), respectively.

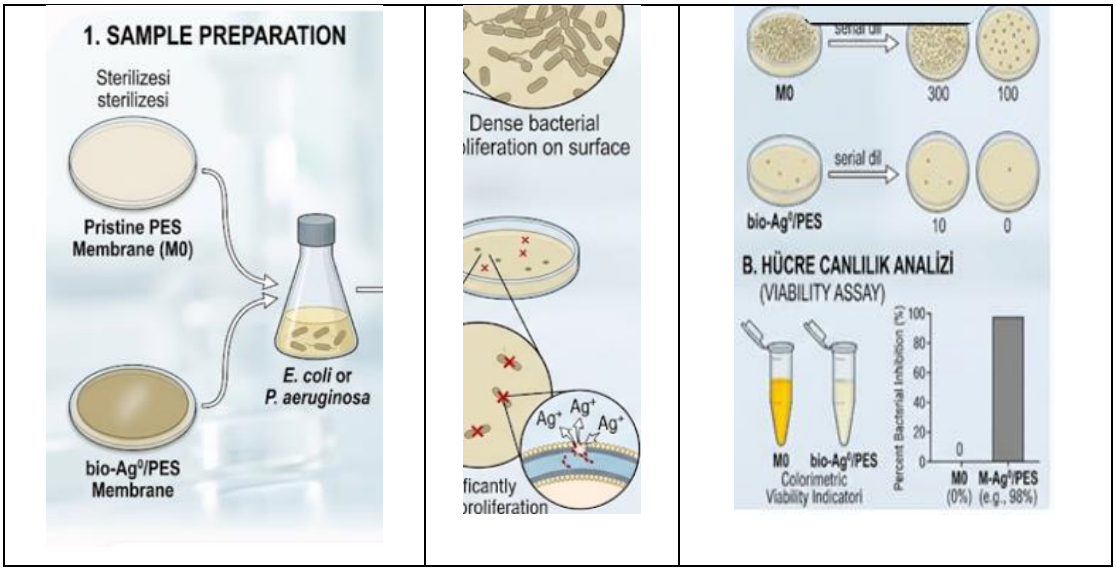


Figure 2. Schematic representation of the antibacterial activity assay for pristine PES (M-0) and AgNP/PES mixed-matrix membranes (M-1–M-4) against *E. coli* and *P. aeruginosa*, including membrane preparation, bacterial exposure, incubation, and viable-cell enumeration..

2.5.2. Anti-Biofouling Performance in Activated Sludge

The anti-biofouling performance of the prepared membranes was evaluated using activated sludge as a mixed microbial culture. Fresh activated sludge was collected, filtered to remove large particulate matter, and used as the feed suspension. Membrane coupons were mounted in a filtration cell and exposed to the activated sludge under the selected operating conditions.

Pure-water flux and flux recovery ratio (FRR) were determined before and after biofouling. Microbial attachment and biofilm formation on the membrane surfaces were examined by SEM.

2.6.1. Pure Water Permeability

Pure water permeability (PWP) was evaluated using a dead-end filtration cell (HP4750 Stirred Cell, Sterlitech, USA) at a constant transmembrane pressure of **9 bar**. Before measurement, the membranes were compacted with deionized (DI) water for 30 min to obtain stable flux conditions. The pure water flux (Jw) was calculated using Eq. (3):

$$J_w = \frac{V}{A \cdot \Delta t}$$

Eq. (3):

where V is the permeate volume, A is the effective membrane area, and Δt is the permeation time.

Pure water permeability was calculated from the measured pure water flux at the applied transmembrane pressure of 9 bar**.**

2.6.2. Salt and Dye Rejection

Salt rejection was evaluated using NaCl, $CaCl_2$, and $MgSO_4$ as model salts, while methylene blue, Congo red, and Rose Bengal were used as model dyes. Salt concentrations in the feed and permeate were determined from conductivity measurements, whereas dye concentrations were measured by UV–Vis spectrophotometry. The rejection percentage ((R)) was calculated using Eq. (4):

$$R(\%) = \left(1 - \frac{C_p}{C_f}\right) \times 100 \qquad \text{Eq. (4):}$$

where C_p and C_f are the solute concentrations in the permeate and feed solutions, respectively.

2.6.3. Antifouling Performance

Antifouling performance was evaluated using sodium alginate (SA) as a model foulant [14,15]. The initial pure-water flux ($J_{w,0}$), foulant flux (J_f), and pure-water flux after DI-water cleaning ($J_{w,1}$) were measured. The flux recovery ratio (FRR), reversible fouling ratio (R_r), irreversible fouling ratio (R_{ir}), and total fouling ratio (R_t) were calculated using Eqs. (5–8), respectively:

$$\text{FRR}(\%) = \left(\frac{J_{w2}}{J_{w1}}\right) \times 100 \qquad \text{Eqs. (5–8)}$$

$$R_r(\%) = \left(\frac{J_{w2} - J_p}{J_{w1}}\right) \times 100$$

$$R_{ir}(\%) = \left(\frac{J_{w1} - J_{w2}}{J_{w1}}\right) \times 100$$

$$R_t(\%) = \left(\frac{J_{w1} - J_p}{J_{w1}}\right) \times 100 = R_r + R_{ir}$$

where $J_{w,0}$, J_f, and $J_{w,1}$ represent the initial pure-water flux, foulant flux, and pure-water flux after cleaning, respectively.

3. Results and Discussion

3.1. Characterization of Green-Synthesized AgNPs

3.1.1. FT-IR Analysis

FT-IR spectroscopy was used to identify the functional groups associated with the synthesis and stabilization of the green-synthesized AgNPs. As shown in **Figure 3**, the spectrum of the *Hibiscus rosa-sinensis* extract (green) exhibited characteristic bands associated with O–H, C=O, $–COO^–$, and C–O functional groups [16,17].

Compared with the plant extract, the AgNP spectrum (red) showed shifts in several characteristic bands, particularly those associated with O–H and C–O groups. These changes suggest the involvement of plant-derived oxygen-containing compounds in AgNP formation and surface stabilization [9,16,17].

Overall, the spectral changes support the proposed role of *H. rosa-sinensis* phytochemicals as potential reducing and capping/stabilizing agents during AgNP synthesis. The presence of these organic functional groups may also contribute to nanoparticle stabilization by limiting particle aggregation [7,8].

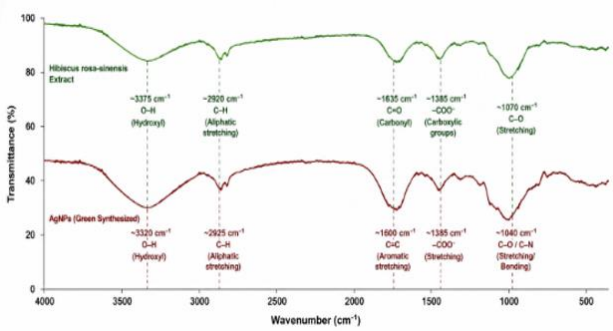


Figure 3. FT-IR spectra of *Hibiscus rosa-sinensis* extract (green) and green-synthesized AgNPs (red), showing characteristic O–H, C=O, $–COO^–$, and C–O functional groups and their spectral shifts after AgNP formation

3.1.2. XRD Analysis

The crystalline structure of the green-synthesized AgNPs was investigated by X-ray diffraction (XRD). As shown in Figure 4, characteristic diffraction peaks were observed at 2θ = 38.1°, 46.3°, 64.5°, and 77.4°, corresponding to the (111), (200), (220), and (311) planes of face-centered cubic (FCC) metallic Ag^0, respectively [18–21].

These reflections confirm the crystalline nature of the synthesized AgNPs and are consistent with the characteristic diffraction pattern of metallic silver. Additional weak reflections at approximately 2θ = 27.8° and 32.1° were also observed. These peaks may originate from minor crystalline phases or residual components associated with the plant extract; however, their specific origin cannot be conclusively assigned based solely on the XRD data.

Overall, the XRD results support the formation of crystalline metallic Ag^0 nanoparticles with an FCC structure, with additional weak reflections potentially arising from minor phases or residual plant-derived components.

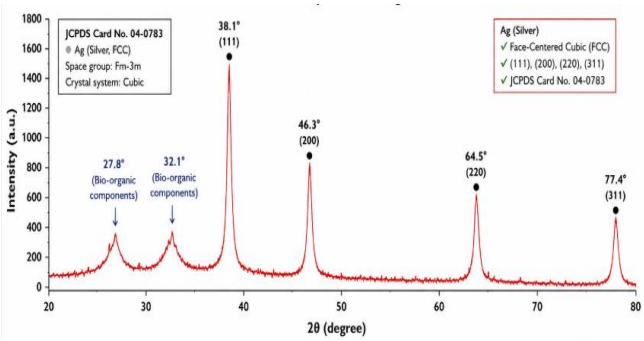


Figure 4. XRD pattern of green-synthesized silver nanoparticles (AgNPs) prepared using *Hibiscus rosa-sinensis* extract, showing the characteristic diffraction reflections of crystalline metallic Ag^0.

The characteristic reflections at 2θ = 38.1°, 46.3°, 64.5°, and 77.4° correspond to the (111), (200), (220), and (311) crystallographic planes, respectively, confirming the face-centered cubic (FCC) structure of metallic Ag^0. Weak additional reflections at 2θ = 27.8° and 32.1° may be associated with residual plant-derived components or minor crystalline phases present in the synthesized material.

3.1.3. UV–Vis Spectroscopic Analysis

The optical properties of the green-synthesized AgNPs were evaluated by UV–Vis spectroscopy. As shown in Figure 5, an absorption feature around 350 nm was observed, which may be associated with plant-derived compounds present in the synthesized material. A distinct absorption maximum (λmax) at approximately 420 nm was also observed, consistent with the surface plasmon resonance (SPR) of nanoscale metallic Ag^0.

The observed spectral features support the formation of AgNPs and are consistent with the FT-IR and XRD results shown in Figures 3 and 4. Overall, the combined FT-IR, XRD, and UV–Vis analyses provide complementary evidence supporting the successful green synthesis of crystalline metallic Ag^0 nanoparticles using *Hibiscus rosa-sinensis* extract

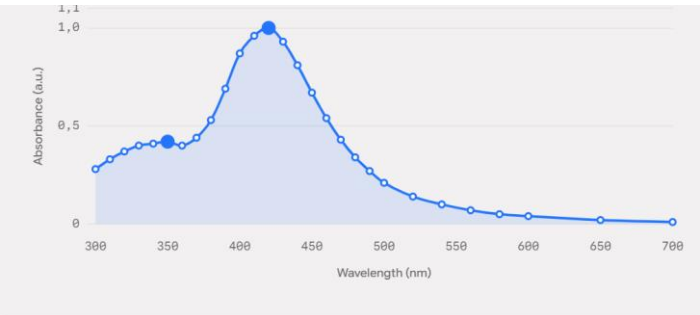


Figure 5. UV–Vis absorption spectrum of green-synthesized silver nanoparticles (AgNPs) prepared using *Hibiscus rosa-sinensis* flower extract, showing an absorption feature around 350 nm and a characteristic absorption maximum (λmax) at approximately 420 nm.

3.1.4. SEM Morphological Analysis

SEM imaging was performed to examine the morphology and particle-size characteristics of the green-synthesized AgNPs. As shown in Figure 6**,** the synthesized nanoparticles exhibited predominantly spherical morphology, with an average particle size of approximately 69 nm**.** Most of the observed particles were smaller than 100 nm, indicating a predominantly nanoscale particle population.

Minor particle agglomeration was also observed, which may be attributed to nanoparticle–nanoparticle interactions and the presence of residual plant-derived biomolecules on the particle surface. Nevertheless, the predominance of nanoscale particles suggests that the synthesized AgNPs are suitable for incorporation into the polyethersulfone (PES) matrix during mixed-matrix membrane fabrication [6,10,24].

The observed spherical morphology and nanoscale particle characteristics are consistent with the overall characterization results obtained by XRD and UV–Vis spectroscopy, supporting the formation of nanoscale metallic Ag^0 nanoparticles.

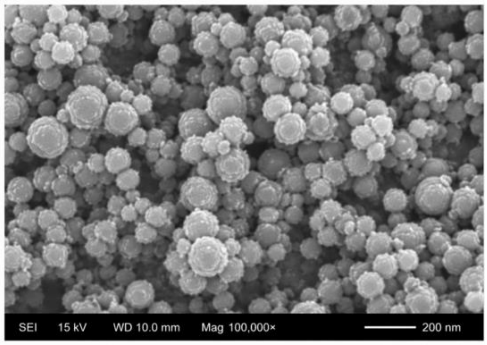


Figure 6. SEM images of green-synthesized silver nanoparticles (AgNPs) using *Hibiscus rosa-sinensis* extract, showing predominantly spherical nanoparticles with an average particle size of approximately 69 nm and a substantial proportion of particles smaller than 100 nm.

3.2.1. FT-IR Analysis of Membranes

FT-IR analysis was performed to investigate the functional groups and possible interactions in pristine PES (M-0) and AgNP-loaded mixed-matrix membranes (M-1–M-4). As shown in Figure 7, pristine PES exhibited a distinct band at 1638 cm^{-1}. Following AgNP incorporation, the intensity of this band decreased, accompanied by the appearance of additional bands at 1573 and 1480 cm^{-1}, suggesting possible interactions between the AgNPs and the PES matrix. Changes in the bands around 1150 and 1100 cm^{-1} further indicate modifications in the chemical environment of the PES functional groups following AgNP incorporation.

.

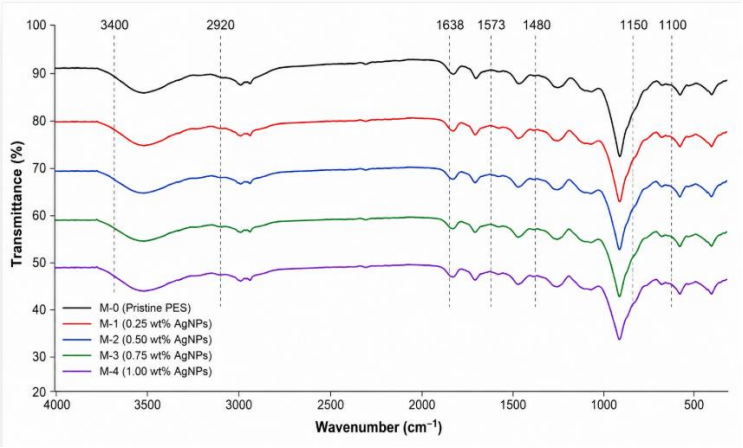


Figure 7. FT-IR spectra of pristine PES (M-0) and green-synthesized AgNP/PES mixed-matrix membranes (M-1–M-4), showing characteristic spectral changes following AgNP incorporation.

3.2.2. Contact Angle and Hydrophilicity

Water contact angle (WCA) measurements were performed to evaluate the wettability of the membranes. The pristine PES membrane exhibited a WCA of 76°, which progressively decreased to 66°, 63°, 61°, and 59° with increasing AgNP loading from 0.25 to 1.00 wt% (Figure 8). The gradual decrease in WCA indicates an increase in membrane surface hydrophilicity following AgNP incorporation. This improvement may be associated with the hydrophilic functional groups of the green-synthesized AgNPs and their contribution to water–membrane interactions [2,3,8,9].

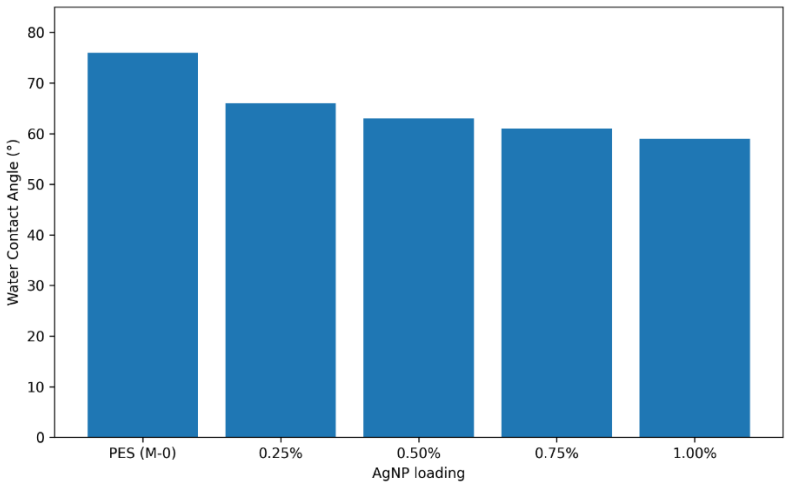


Figure 8. Contact angle of pristine PES and AgNP/PES mixed-matrix membranes.

3.2.3. Surface and Cross-Sectional Morphology

SEM analysis revealed the characteristic asymmetric structure of the PES membranes, consisting of a relatively dense skin layer and a porous sublayer. Increasing AgNP incorporation promoted pore development and the formation of interconnected finger-like channels, particularly at 0.75 wt% AgNP loading. This morphological change may contribute to the improved permeability observed for the AgNP/PES membranes. At 1.00 wt% AgNP loading, increased nanoparticle aggregation was observed, which may partially limit pore development and reduce water transport [3,6,10,11].

Overall, the SEM results indicate that AgNP incorporation modified the membrane morphology in a loading-dependent manner, with 0.75 wt% AgNP loading exhibiting the most favorable morphological characteristics.

3.2.4. Antibacterial Activity

The antibacterial activity of the AgNP/PES membranes against *E. coli* and *P. aeruginosa* increased with AgNP incorporation. The observed antibacterial effect may be associated with the interaction of AgNPs with bacterial cell surfaces, potentially leading to disruption of cell-envelope integrity and loss of cellular viability. Differences in antibacterial response between the two bacterial species may be related to differences in their cell-envelope structure and surface properties.

4.Conclusions

This study successfully demonstrated the fabrication of polyethersulfone (PES) mixed-matrix membranes (MMMs) incorporating green-synthesized silver nanoparticles (AgNPs) using *Hibiscus rosa-sinensis* flower extract. FT-IR, XRD, and UV–Vis analyses supported the successful formation of stabilized, crystalline metallic Ag^0 nanoparticles. Their incorporation into the PES matrix improved membrane hydrophilicity, permeability, salt rejection, dye removal, and antibacterial performance.

Among the investigated formulations, the 0.75 wt% AgNP/PES membrane showed the most favorable overall performance, achieving a pure water permeability of 36 L m^{-2} h^{-1} bar^{-1} and improved rejection of NaCl (59%), $MgSO_4$ (68%), and $CaCl_2$ (45%), compared with the pristine PES membrane. The enhanced performance was associated with increased hydrophilicity and the development of interconnected finger-like pore structures. At 1.00 wt% AgNP loading, nanoparticle aggregation adversely affected membrane morphology and water transport.

The AgNP/PES membranes also demonstrated enhanced antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa* compared with pristine PES, confirming the functional contribution of green-synthesized AgNPs to membrane antimicrobial performance. The improved surface properties and antimicrobial activity further support the potential of these membranes for reducing biofouling.

Overall, the findings demonstrate that *Hibiscus rosa-sinensis*-mediated AgNPs can serve as effective and sustainable nanofillers for developing high-performance PES mixed-matrix membranes for water and wastewater treatment. The 0.75 wt% AgNP loading provided the most favorable balance between membrane structure, hydrophilicity, permeability, salt rejection, and antibacterial performance.

Future studies should focus on long-term membrane stability, AgNP leaching, performance in real wastewater, and extended biofouling experiments to further assess the practical applicability and environmental safety of the developed membranes.

References

Shannon MA, Bohn PW, Elimelech M, Georgiadis JG, Mariñas BJ, Mayes AM. Science and technology for water purification in the coming decades. Nature. 2008;452(7185):301-310.

Lee A, Elam JW, Darling SB. Membrane materials for water purification: design, development, and application. Environ Sci Technol. 2023;57(12):4567-4585.

Baker RW. Membrane Technology and Applications. 3rd ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2012.

Mulder M. Basic Principles of Membrane Technology. 2nd ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers; 1996.

Flemming HC, Wingender J. The biofilm matrix. Nat Rev Microbiol. 2010;8(9):623-633.

Ahn CH, Baek Y, Lee C, Kim SO, Kim S, Lee S, et al. Carbon-based and inorganic nanomaterial mixed-matrix membranes for water treatment. J Membr Sci. 2020;598:117678.

Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. Biotechnol Adv. 2009;27(1):76-83.

Iravani S. Green synthesis of metal nanoparticles using plants. Green Chem. 2011;13(10):2638-2650.

Ahmed S, Ahmad M, Swami BL, Ikram S. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles. J Adv Res. 2016;7(1):17-28.

Zhang M, Zhang K, De Gusseme B, Verstraete W, Boon N. Biogenic silver nanoparticles decrease biofouling of PES nanocomposite membranes. Water Res. 2012;46(6):2077-2087.

Alnairat N, Abu Dalo M, Abu-Zurayk R, et al. Green synthesis of silver nanoparticles as an effective antibiofouling material for PVDF ultrafiltration membrane. Polymers. 2021;13(20):3683.

Li J, Xu Y, Wang S, Liu H. CFD analysis of flow distribution and biofilm development in membrane channels. J Membr Sci. 2022;658:120708.

Wang H, Zhang Y, Chen X. Hydrodynamic shear and biofilm mechanics in membrane systems. Water Res. 2025;268:122542.

Lee A, Elam JW, Darling SB. Membrane materials for water purification: design, development, and application. Environ Sci Water Res Technol. 2016;2:17–42.

Zhao C, Xu X, Chen J, Yang F. Effect of graphene oxide concentration on the morphologies and antifouling properties of PVDF ultrafiltration membranes. J Environ Chem Eng. 2013;1:349–354.

Ahmad N, Sharma S, Alam MK, Singh VN, Yamsaki SF, Khan Shamim A, et al. Rapid synthesis of silver nanoparticles using dried medicinal plant leaves extract. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc. 2011;81(1):81-86.

Philip D. Green synthesis of gold and silver nanoparticles using *Hibiscus rosa-sinensis* leaf extract. Physica E Low-dimens Syst Nanostruct. 2010;42(5):1417-1424.

Logeswari P, Silambarasan S, Abraham J. Synthesis of silver nanoparticles using plants extract and analysis of their antimicrobial property. J Saudi Chem Soc. 2015;19(3):311-317.

Temgire MK, Joshi SS. Optical and structural studies of silver nanoparticles synthesized by green route. Radiat Phys Chem. 2004;71(3):1039-1044.

Singhal G, Bhavesh R, Kasariya K, Sharma AR, Singh RP. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Ocimum sanctum* (Tulsi) leaf extract and its antimicrobial activity. J Nanopart Res. 2011;13(7):2981-2988.

Dipankar C, Murugan S. The green synthesis, characterization and evaluation of the biological activities of silver nanoparticles synthesized from *Iresine herbstii* leaf extract. Colloids Surf B Biointerfaces. 2012;98:112-119.

Sankar R, Rizwana H, Shivashangari KS, Ravikumar V. Ultra-fast biogenic synthesis of silver nanoparticles using *Ctenolepis garcini* L. extract and its antibacterial activity. Ind Crops Prod. 2013;44:40-45.

Vivek R, Thangam R, Muthuchelian K, Gunasekaran P, Kaveri K, Kannan S. Green biosynthesis of silver nanoparticles from *Annona squamosa* leaf extract and its in vitro cytotoxic effect on MCF-7 cells. Process Biochem. 2012;47(12):2405-2410.

Naleci K, Aydin O, Gunes M. Plant-mediated synthesis of silver nanoparticles using various flora extracts and characterization of structural properties. Mater Chem Phys. 2021;262:124280.

Ogunyemi SO, Abdallah Y, Zhang M, Toshmatov A, El-Samadony H, Li B. Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and their antimicrobial applications. Nanotechnology. 2019;30(43):434001.

Vijayaraghavan K, Ashokkumar T. Plant-mediated biosynthesis of metallic nanoparticles: A review of trends, scope and challenges. Acta Biomater. 2017;55:102-120.

ANTIBIOFOULING PERFORMANCE OF BIOGENIC AG⁰/PES NANOCOMPOSITE MEMBRANES

Assoc. Prof. Dr. Sevil AKÇAĞLAR
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Dokuz Eylül University, İzmir, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5386-1862

Prof. Dr. Sevim AKÇAĞLAR
Department of Medical Microbiology, Faculty of Dentistry, Istanbul Kent University, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-4759-9634

Abstract
Biofouling is one of the major operational challenges in membrane-based water and wastewater treatment, as it can reduce membrane performance, increase operational and maintenance requirements, and shorten membrane service life. In this study, the antibiofouling performance of biogenic silver nanoparticle (bio-Ag⁰)-modified polyethersulfone (PES) membranes was investigated, with particular emphasis on the relationship between membrane surface properties, microbial adhesion, and biofilm formation. Biogenic silver nanoparticles were synthesized using *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 as a biological reducing and stabilizing system and subsequently incorporated into PES membrane matrices at different loadings using the phase-inversion method. The effects of bio-Ag⁰ incorporation on membrane morphology, surface hydrophilicity, and filtration performance were systematically evaluated. The characterization results indicated the presence of bio-Ag⁰-associated structures on the membrane surface, while bio-Ag⁰ incorporation increased surface hydrophilicity and permeate flux. The antibacterial activity of the bio-Ag⁰/PES nanocomposite membranes was evaluated against pure cultures of *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, whereas their antibiofouling performance was assessed using a mixed microbial culture obtained from an activated sludge bioreactor.
The results showed that bio-Ag⁰-containing membranes exhibited enhanced antibacterial activity and reduced bacterial adhesion compared with the pristine PES membrane. In particular, the membrane containing approximately 120 mg bio-Ag⁰/m² showed reduced microbial attachment and biofilm accumulation throughout the 9-week immersion period. The observed antibiofouling behavior may be associated with bio-Ag⁰ incorporation and increased surface hydrophilicity. Overall, the findings indicate that bio-Ag⁰/PES nanocomposite membranes have potential for reducing biofouling in water and wastewater treatment applications. The results further highlight the importance of membrane surface properties, particularly hydrophilicity, in microbial adhesion and biofilm development and provide engineering insights into the design of antifouling membrane materials.
Keywords: Biogenic silver nanoparticles; bio-Ag⁰/PES nanocomposite membranes; membrane engineering; membrane surface properties; biofouling; bacterial adhesion; biofilm; antibiofouling; water and wastewater treatment.

Özet
Biyolojik kirlenme (biofouling), membran performansını azaltabilmesi, işletme ve bakım gereksinimlerini artırabilmesi ve membranların kullanım ömrünü kısaltabilmesi nedeniyle su ve atıksu arıtımında membran teknolojilerinin karşılaştığı başlıca işletme sorunlarından biridir. Bu çalışmada, biyojenik gümüş nanopartikülleri (bio-Ag⁰) ile modifiye edilmiş poliethersülfon (PES) membranların antibiofouling performansı araştırılmış ve özellikle membran yüzey özellikleri, mikrobiyal adezyon ve biyofilm oluşumu arasındaki ilişkiye odaklanılmıştır. Biyojenik gümüş nanopartikülleri, biyolojik indirgeyici ve stabilize edici sistem olarak *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 kullanılarak sentezlenmiş ve daha sonra faz inversiyonu yöntemiyle farklı yükleme oranlarında PES membran matrisi içerisine dahil edilmiştir. Bio-Ag⁰ ilavesinin membran morfolojisi, yüzey hidrofilikliği ve filtrasyon performansı üzerindeki etkileri sistematik olarak değerlendirilmiştir. Karakterizasyon sonuçları, membran yüzeyinde bio-Ag⁰ ile ilişkili yapıların bulunduğunu ve bio-Ag⁰ ilavesinin yüzey hidrofilikliğini ve permeat akısını artırdığını göstermiştir.

Bio-Ag⁰/PES nanokompozit membranların antibakteriyel aktivitesi saf *Escherichia coli* ATCC 25922 ve *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 kültürlerine karşı değerlendirilirken, antibiofouling performansı aktive çamur biyoreaktöründen elde edilen karma mikrobiyal kültür kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar, bio-Ag⁰ içeren membranların saf PES membranına kıyasla daha yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiğini ve bakteriyel adezyonu azalttığını ortaya koymuştur. Özellikle yaklaşık 120 mg bio-Ag⁰/m² içeren membranda**,** 9 haftalık daldırma süresi boyunca mikrobiyal tutunma ve biyofilm birikiminde azalma gözlenmiştir. Gözlenen antibiofouling davranışının bio-Ag⁰ ilavesi ve artan yüzey hidrofilikliği ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.
Genel olarak, bulgular bio-Ag⁰/PES nanokompozit membranların su ve atıksu arıtım uygulamalarında biyolojik kirlenmenin azaltılmasında potansiyel taşıdığını göstermektedir. Sonuçlar ayrıca membran yüzey özelliklerinin, özellikle hidrofilikliğin, mikrobiyal adezyon ve biyofilm gelişimindeki önemini ortaya koymakta ve antibiofouling özellikli membran malzemelerinin tasarımına yönelik mühendislik açısından yararlı bilgiler sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Biyojenik gümüş nanopartikülleri; bio-Ag⁰/PES nanokompozit membranlar; membran mühendisliği; membran yüzey özellikleri; biyolojik kirlenme; bakteriyel adezyon; biyofilm; antibiofouling; su ve atıksu arıtımı.

1. Introduction

Membrane-based separation technologies have become increasingly important in water and wastewater treatment because they offer compact process configurations, relatively low chemical consumption, and efficient separation over a broad range of applications. Microfiltration (MF), ultrafiltration (UF), nanofiltration (NF), and reverse osmosis (RO) are widely employed for the removal of suspended solids, microorganisms, organic contaminants, and dissolved species. However, the practical performance of membrane processes is frequently constrained by membrane fouling, which results from the accumulation of particulate, organic, inorganic, and biological materials on or within the membrane structure. Among these fouling mechanisms, biofouling is particularly challenging because microorganisms can attach to the membrane surface, proliferate, produce extracellular polymeric substances (EPS), and develop structured biofilms that are difficult to remove by conventional physical or chemical cleaning methods [1,2].

Biofouling is not simply a consequence of microbial presence in the feed water; rather, it is a dynamic interfacial process governed by the interaction between microorganisms, membrane surface characteristics, and hydrodynamic and physicochemical conditions. Microbial attachment generally involves an initial reversible interaction followed by irreversible adhesion, EPS production, biofilm maturation, and eventual detachment or dispersal. Membrane surface properties, including hydrophilicity, surface charge, roughness, porosity, and chemical composition, can strongly influence the initial attachment of microorganisms and the subsequent development of biofilms [1,3]. Consequently, controlling biofouling requires not only antimicrobial activity but also appropriate engineering of the membrane–water interface. Polyethersulfone (PES) is one of the most widely investigated polymeric materials for membrane fabrication because of its favorable thermal and chemical stability, mechanical strength, and processability. Nevertheless, the relatively hydrophobic nature of PES can promote the adsorption of organic compounds and facilitate microbial attachment, thereby contributing to fouling during prolonged filtration. Modification of PES membranes with hydrophilic or antimicrobial materials has therefore emerged as an important strategy for simultaneously improving water transport and reducing biological fouling. Recent studies have demonstrated that changes in membrane surface hydrophilicity, morphology, and nanostructure can substantially influence both filtration performance and the interaction of microorganisms with the membrane surface [4-6].

In this context, silver nanoparticles (AgNPs) have attracted considerable attention as functional nanomaterials for the development of antimicrobial and antibiofouling membranes. Their antimicrobial activity has been associated with several complementary mechanisms, including the release of Ag^+ ions, interactions with bacterial cell envelopes, membrane damage, and interference with cellular metabolic processes. When incorporated into membrane matrices, AgNPs can therefore provide an antimicrobial function at the membrane–water interface, potentially limiting microbial attachment and subsequent biofilm development [2,6,7].

The surface characteristics of AgNP-containing membranes are particularly important because the antimicrobial effect of nanoparticles cannot be considered independently of the physical properties of the membrane. For example, incorporation of AgNPs has been reported to reduce water contact angle and increase membrane hydrophilicity, while changes in surface morphology and pore structure may further influence water transport and microbial adhesion [5,6,13-15]. Recent work has emphasized that hydrophilicity alone does not fully explain fouling behavior; surface roughness, chemical interactions, surface energy, and the physicochemical characteristics of the foulant or microorganism may act simultaneously to determine the extent of surface accumulation [3]. Thus, establishing relationships between measurable membrane surface properties and microbial fouling behavior is important for the rational design of antifouling membranes.

Several studies have investigated AgNP-modified membranes against individual bacterial strains under relatively short experimental periods. AgNP-containing PES membranes have demonstrated enhanced antibacterial activity against *Escherichia coli* and other model microorganisms, together with changes in water permeability and fouling behavior [5,6,13,14]. Wang et al. reported that incorporation of highly dispersed AgNPs into PES produced membranes with hydrophilic and antibacterial properties, while stabilization of the nanoparticles improved their retention within the membrane matrix [6]. Similarly, AgNP-modified PES mixed-matrix membranes containing Ag-based nanomaterials have been investigated for their effects on hydrophilicity, permeability, antibacterial activity, and resistance to biofouling [5,15]. These findings demonstrate the potential of AgNPs as functional membrane modifiers; however, conventional single-species antibacterial assays do not necessarily reproduce the complex microbial interactions occurring during membrane biofouling. In actual water and wastewater treatment systems, membrane biofouling is generally associated with mixed microbial communities rather than a single bacterial species. Such communities can contain microorganisms with different surface properties, growth rates, metabolic activities, and capacities for EPS production. Interactions among these microorganisms can promote the development of structurally complex biofilms and may alter the response of the biofilm to antimicrobial materials. Therefore, evaluation of membrane antibiofouling performance using mixed microbial cultures can provide a more representative assessment of membrane behavior than assays based exclusively on individual bacterial strains [1,4]. Activated-sludge-derived microbial communities are particularly relevant to membrane biofouling studies because they contain diverse microbial populations associated with wastewater-treatment environments [8].

Another important consideration in the development of AgNP-based membranes is the origin and preparation of the nanoparticles. Conventional chemical synthesis of AgNPs may involve reducing and stabilizing agents that generate additional chemical residues and can complicate the environmental profile of the resulting nanomaterials. Green synthesis, in contrast, uses biological materials such as plant extracts, microorganisms, or biomolecules as reducing and/or stabilizing agents and has emerged as an alternative route for producing functional AgNPs. Yeast-mediated approaches using *Saccharomyces cerevisiae* have been demonstrated for the biological synthesis of AgNPs from $AgNO_3$, including approaches based on yeast-derived biological preparations [9,10,16,17]. Biogenic AgNPs have attracted increasing interest because biological synthesis may influence nanoparticle size, surface-associated biomolecules, stability, and interactions with microorganisms. Their incorporation into polymeric membranes therefore offers an opportunity to combine the functional advantages of AgNPs with a biologically mediated synthesis route. Recent studies have reported antibacterial and antibiofilm activities of *S. cerevisiae*-derived AgNPs, while biogenic Ag/PES membranes and biogenic silver nanoparticles produced by other microorganisms have also been investigated for antibacterial and antifouling applications [15-18]. Reviews have further highlighted the potential of biogenic AgNP/polymer membrane systems for wastewater treatment and emphasized the importance of systematically linking nanoparticle loading, membrane surface characteristics, permeability, microbial adhesion, and long-term antibiofouling performance [2,4]. A particularly relevant study by Zhang et al. demonstrated that biogenic Ag^0 incorporated into PES membranes by phase inversion increased hydrophilicity and permeate flux and reduced bacterial attachment and biofilm formation. The study evaluated *E. coli* and *P. aeruginosa* pure cultures as well as an activated-sludge mixed culture and reported sustained antibiofouling performance during a nine-week test period [11]. This work provides an important basis for the development of biogenic Ag^0/PES membranes.

However, further investigation of different nanoparticle loadings and their relationships with measurable membrane surface characteristics, microbial adhesion, and long-term biofilm development remains relevant.

Accordingly, the present study was designed to investigate biogenic Ag^0-incorporated PES mixed-matrix membranes as an engineering approach for controlling microbial adhesion and biofilm formation. Biogenic silver nanoparticles were incorporated into PES membranes at different loadings using the phase-inversion method, and the resulting membranes were evaluated in terms of surface morphology, hydrophilicity, and filtration performance. Their antibacterial activity was examined against pure cultures of *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*, while antibiofouling performance was further evaluated using a mixed microbial culture obtained from an activated sludge bioreactor. Particular emphasis was placed on the relationship between nanoparticle loading, membrane surface characteristics, microbial adhesion, and biofilm development over an extended nine-week experimental period. This integrated approach was intended to examine how membrane surface properties and bio-Ag^0 incorporation are associated with microbial fouling behavior and to provide engineering-level insight into the design of antifouling PES membranes for water and wastewater treatment.

2. Materials and Methods

2.1. Materials

Polyethersulfone (PES; Ultrason E6020P, molecular weight approximately 52,000 g mol^{-1}) was used as the polymeric membrane-forming material. N,N-Dimethylacetamide (DMAc) was used as the solvent. Biogenic silver nanoparticles (bio-Ag^0) were synthesized using *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 as the biological reducing and stabilizing system. $AgNO_3$ was used as the silver precursor for the biosynthesis of bio-Ag^0 nanoparticles.

All chemicals were of analytical grade and used without further purification. Deionized (DI) water was used throughout membrane preparation, nanoparticle synthesis, and microbiological experiments.

2.2. Green Synthesis of Biogenic Silver Nanoparticles

Biogenic silver nanoparticles (bio-Ag^0) were synthesized using *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 through a microorganism-mediated green synthesis approach. Yeast-mediated biosynthesis of silver nanoparticles has previously been reported, demonstrating the potential of *S. cerevisiae* as a biological system for the formation of metallic silver nanoparticles [9,10,16,17]. The yeast culture was initially prepared under the cultivation conditions used in the present study. The growth of *S. cerevisiae* colonies on agar plates at this stage is shown in Figure 1. The resulting yeast culture was subsequently used to prepare the biological material required for the synthesis of bio-Ag^0 nanoparticles.

Figure 1. Growth of *Saccharomyces cerevisiae* colonies on an agar plate, representing the initial yeast culture preparation stage for the synthesis of bio-Ag^0 nanoparticles.

The yeast-derived biological material was contacted with an aqueous $AgNO_3$ solution at a final concentration of 1 mM and incubated at 30 °C for 24 h under the experimental conditions used for nanoparticle synthesis. During this process, yeast-derived biomolecules contributed to the reduction of Ag^+ to metallic Ag^0 and to nanoparticle stabilization. The overall synthesis sequence, from yeast biomass preparation and $AgNO_3$ treatment to bio-Ag^0 nanoparticle formation and subsequent processing, is schematically illustrated in Figure 2.

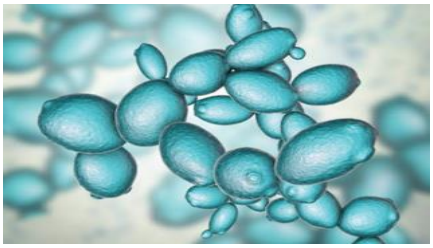


Figure 2. Schematic illustration of the green synthesis of bio-Ag⁰ nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae* biomass, including yeast biomass preparation, $AgNO_3$ treatment, bioreduction and nanoparticle formation, followed by nanoparticle recovery and drying.

Following nanoparticle formation, the suspension was centrifuged at 12,000 rpm (approximately 14,000 × g) for 15 min to recover the nanoparticles. The resulting pellet was washed three times with deionized water and ethanol to remove residual biological components and unreacted silver species. The recovered bio-Ag⁰ nanoparticles were dried under vacuum at 50 °C for 24 h and stored in light-protected amber glass vials at room temperature until membrane fabrication. The complete experimental sequence for obtaining the bio-Ag⁰ material for subsequent incorporation into the PES membrane matrix is summarized in Figure 3.

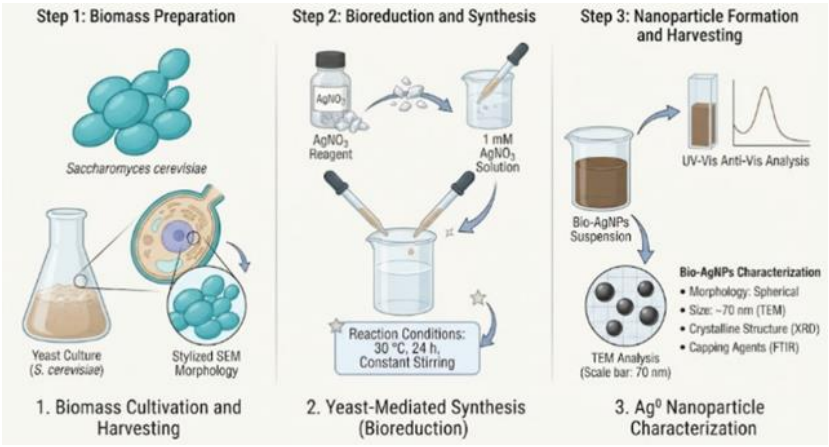


Figure 3. Experimental workflow for the recovery and preparation of biogenic Ag⁰ nanoparticles for subsequent incorporation into the PES membrane matrix.

2.3. Preparation of Bio-Ag⁰/PES Mixed-Matrix Membranes

Polyethersulfone mixed-matrix membranes containing different concentrations of bio-Ag⁰ nanoparticles were prepared by the non-solvent-induced phase separation (NIPS) method [5,6,11]. Prior to membrane preparation, PES polymer was dried at 120 °C overnight to remove residual moisture. The desired amounts of bio-Ag⁰ nanoparticles were first suspended in N,N-dimethylacetamide (DMAc) and ultrasonicated for 30 min at 40 kHz at room temperature to promote uniform dispersion. Subsequently, PES (18 wt%) was added to the nanoparticle–DMAc mixtures and dissolved under continuous stirring at 60 °C for 24 h to obtain homogeneous casting solutions. Five membrane formulations were prepared and designated as M-0, M-1, M-2, M-3, and M-4, corresponding to 0, 0.1, 0.3, 0.5, and 1.0 wt% bio-Ag⁰, respectively. The bio-Ag⁰ concentrations were expressed relative to the mass of PES. Pristine PES (M-0) was used as the control. The detailed compositions of the membrane formulations are summarized in Table 1. The casting solutions were degassed under vacuum for 2 h to remove entrapped air bubbles. The solutions were subsequently cast onto clean glass plates using a casting knife with a wet thickness of 200 µm and immediately immersed in a DI water coagulation bath maintained at 25 ± 2 °C. Phase inversion and solvent–nonsolvent exchange were allowed to proceed for 24 h, with periodic replacement of the coagulation water. The resulting membranes were thoroughly rinsed with DI water and stored in DI water at 4 °C until characterization and testing [11].

Table 1. Composition of the different dope solutions to prepare the members

Membrane Code	PES (wt%)	DMAC (wt%)	bio-Ag0 (wt%)
M-0	18.0	82.0	0.0
M-1	18.0	81.9	0.1
M-2	18.0	81.7	0.3
M-3	18.0	81.5	0.5
M-4	18.0	81.0	1.0

2.4. Determination of Silver Content

The silver content incorporated into the membranes was quantified using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS; Agilent 7500cx, USA). Dry membrane samples (approximately 25 mg) were digested in Teflon vessels using 5 mL of concentrated HNO_3 (65%) and 1 mL of H_2O_2 (30%) at 90 °C for 3 h. After cooling, the digestion solution was filtered through a 0.22 µm PTFE syringe filter and diluted to 50 mL with 2% (v/v) HNO_3 prior to ICP-MS analysis. Silver content was expressed as both mass fraction (wt% or mg g^{-1}) and area-based loading (mg m^{-2}) to quantify silver incorporation and relate the experimentally determined silver loading to the antibiofouling performance of the membranes [11,12].

2.5. Membrane Surface Characterization

2.5.1. Surface Morphology

The surface morphology of the membranes (M-0 to M-4) was examined using field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM; Hitachi S-4800, Hitachi High-Technologies Corp., Tokyo, Japan). Membrane samples were dried, mounted on aluminum stubs using double-sided carbon tape, and sputter-coated with a thin gold layer of approximately 5–10 nm to minimize surface charging during imaging. FE-SEM images were acquired at an accelerating voltage of 10 kV at magnifications ranging from 5,000× to 50,000×. The images were used to evaluate membrane surface morphology, surface pore features, distribution of bio-Ag^0-associated structures, and possible nanoparticle agglomeration [5,6,11].

2.5.2. Surface Hydrophilicity

The surface hydrophilicity of pristine PES and bio-Ag^0/PES membranes was evaluated by static water contact angle measurements using the sessile-drop method [5,6,11]. A 2 µL droplet of deionized water was placed on the membrane surface, and the contact angle was recorded after a 3 s equilibration period. Measurements were performed at multiple randomly selected locations on each membrane specimen, and the results were expressed as mean ± standard deviation. Lower contact angle values were interpreted as indicating higher surface hydrophilicity.

2.6. Filtration Performance

Pure-water permeability was evaluated using a laboratory-scale dead-end filtration cell [5,6,11]. Prior to measurements, membrane specimens were compacted with deionized water at 0.3 MPa for 40 min to achieve a stable permeate flux. Pure-water flux measurements were subsequently performed at an operating pressure of 0.2 MPa.

Pure-water flux (J) was calculated according to Eq. (1):

$$J = V/(A \times \Delta t) \quad \text{Eq. (1)}$$

where J is the permeate flux (L m^{-2} h^{-1}), V is the volume of permeate collected (L), A is the effective membrane area (m^2), and Δt is the filtration time (h).

Measurements were performed using independent membrane specimens, and the results were expressed as mean ± standard deviation.

2.7. Bacterial Strains and Culture Conditions

The antibacterial activity of the membranes was evaluated using *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 as representative Gram-negative bacterial strains.

These organisms have been widely used in studies evaluating the antibacterial activity of silver-containing membranes and silver nanoparticles [6,11,12]. Bacterial cultures were maintained and propagated using the culture conditions specified for each strain. Fresh cultures were prepared before each experiment, and bacterial suspensions were adjusted to the required concentration using sterile physiological saline or the appropriate culture medium. All microbiological experiments were performed under aseptic conditions.

2.8. Antibacterial Activity of Bio-Ag⁰/PES Membranes

The antibacterial activity of pristine PES and bio-Ag⁰/PES membranes was evaluated against *E. coli* ATCC 25922 and *P. aeruginosa* ATCC 27853. Standardized circular membrane specimens were sterilized and exposed to bacterial suspensions under the experimental incubation conditions. Following incubation, viable bacterial cells associated with the membrane surface and/or remaining in the suspension were quantified by colony-forming unit (CFU) enumeration [6,11]. Antibacterial efficiency was expressed as the reduction in viable bacterial cells relative to the pristine PES control. Independent membrane specimens were used for the experiments, and the results were reported as mean ± standard deviation [12].

2.9. Preparation of Mixed Microbial Culture for Biofouling Experiments

To simulate the multispecies microbial environment encountered in water and wastewater treatment systems, a mixed microbial culture obtained from an activated sludge bioreactor was used as the inoculum for the biofouling experiments [8,11]. The sludge-derived microbial culture was maintained under the experimental conditions used in the bioreactor, homogenized before use, and adjusted to a standardized concentration prior to membrane exposure. The mixed culture was used to evaluate microbial attachment and biofilm development on pristine PES and bio-Ag⁰/PES membranes under prolonged immersion conditions.

2.10. Long-Term Biofouling and Biofilm Formation Experiments

The antibiofouling performance of pristine PES and bio-Ag⁰/PES membranes was evaluated using the activated sludge-derived mixed microbial culture over a 9-week immersion period. Membrane specimens were exposed to the mixed culture under controlled experimental conditions and sampled at predetermined time points to monitor microbial attachment and biofilm accumulation. Membranes containing different bio-Ag⁰ loadings were evaluated to determine the association between nanoparticle incorporation and long-term microbial attachment and biofilm development. At each sampling interval, membrane specimens were aseptically removed from the culture system and processed for quantitative assessment of microbial attachment and biofilm accumulation.

2.11. Quantification of Microbial Attachment and Biofilm Formation

Microbial attachment and biofilm accumulation were quantified using viable cell enumeration, crystal violet staining, and FE-SEM image analysis [1,8,11]. Attached microorganisms were detached from membrane specimens using vortexing and sonication in a sterile recovery solution. Serial dilutions were prepared and plated onto appropriate agar media, and viable cells were quantified as colony-forming units (CFU cm^{-2}).

Total biofilm biomass was additionally evaluated using crystal violet staining to compare relative biofilm accumulation between pristine PES and bio-Ag⁰/PES membranes during the 9-week experimental period. In parallel, FE-SEM images obtained at predetermined sampling intervals were analyzed using image-analysis procedures to estimate the percentage of membrane surface covered by biofilm. Biofilm coverage area (%) was calculated from representative FE-SEM images and used as a complementary parameter for comparing biofilm accumulation among the different membrane formulations.

2.12. Relationship between Membrane Surface Properties and Biofouling

To evaluate the relationship between membrane structure, surface properties, and antibiofouling performance, bio-Ag⁰ loading, water contact angle, pure-water permeate flux, bacterial adhesion, and biofilm accumulation were considered collectively [4,5,11].

Particular emphasis was placed on examining the relationship between surface hydrophilicity and long-term resistance to microbial attachment and biofilm accumulation.

The results obtained from surface characterization, filtration experiments, antibacterial assays, and long-term biofouling experiments were evaluated together to examine the relative contributions of membrane surface properties and the antimicrobial activity associated with bio-Ag⁰ to the observed antibiofouling behavior.

3. Results and Discussion

3.1. Characterization of Biogenic Ag⁰ and Bio-Ag⁰/PES Composite Membranes

The crystalline structure of the synthesized biogenic silver (bio-Ag⁰) was characterized by X-ray diffraction (XRD), as shown in Figure 4. Five characteristic diffraction peaks were observed at approximately 38°, 44°, 64°, 77°, and 81°, which can be assigned to the (111), (200), (220), (311), and (222) crystallographic planes of face-centered cubic (FCC) metallic silver, respectively, in agreement with the standard JCPDS card No. 04-0783 [13]. A broad diffuse feature was observed in the lower-angle region, centered approximately around 20–25°, which may be associated with amorphous organic components originating from the biological synthesis and/or surface-associated capping materials. No additional distinct crystalline phases were detected within the resolution of the XRD analysis.

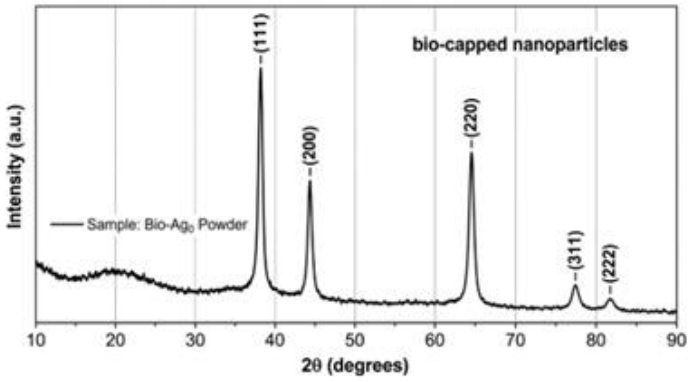


Figure 4. XRD pattern of the synthesized bio-Ag⁰ powder, showing the characteristic diffraction peaks of face-centered cubic (FCC) metallic silver corresponding to the (111), (200), (220), (311), and (222) crystallographic planes.

The cross-sectional and top-surface morphologies of pristine PES (M-0) and the bio-Ag⁰/PES membrane containing 0.3 wt% bio-Ag⁰ (M-2) were examined by scanning electron microscopy (SEM) (Figure.**5**)., together with their corresponding energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) spectra (Figure.**6**). The pristine PES membrane exhibited the typical asymmetric morphology of a phase-inverted membrane, consisting of a relatively dense top layer supported by finger-like macrovoid structures [13,15]. The top surface of M-0 appeared relatively smooth, and the EDX spectrum showed the characteristic C, O, and S elements associated with the PES polymer matrix. Compared with M-0, incorporation of bio-Ag⁰ altered the cross-sectional morphology of M-2, with wider porous channels and changes in the interconnectivity of the macrovoid structures. These changes may be related to modifications in solvent–nonsolvent exchange and demixing kinetics during the nonsolvent-induced phase separation (NIPS) process following incorporation of the bio-Ag⁰-containing material [15]. SEM examination of the M-2 surface showed relatively dispersed spherical Ag-associated features without obvious severe aggregation. The EDX spectrum of M-2 displayed a distinct Ag signal at approximately 3.0 keV, together with the C, O, and S signals of PES, indicating the presence of silver-containing material in the composite membrane [13,14]. However, EDX alone cannot distinguish metallic Ag⁰ from other possible silver species or establish its chemical stability. The presence of crystalline metallic Ag⁰ is supported by the XRD results shown in Figure 4.

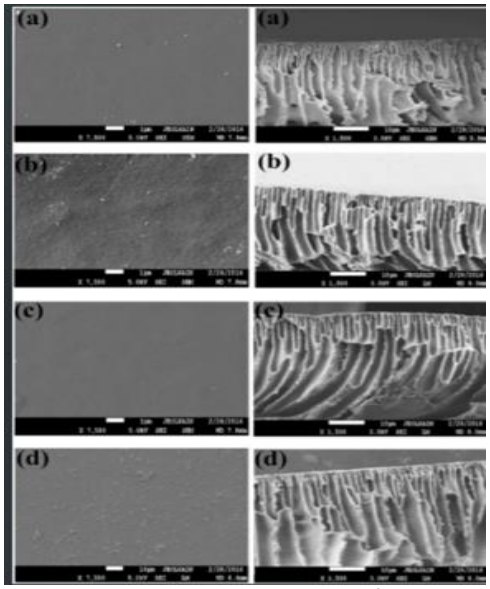


Figure. 4. SEM images of the pristine PES (M-0) and bio-Ag^0/PES composite (M-2) membranes: (a) cross-sectional and (b) top-surface SEM images of M-0; (c) cross-sectional and (d) top-surface SEM images of M-2.

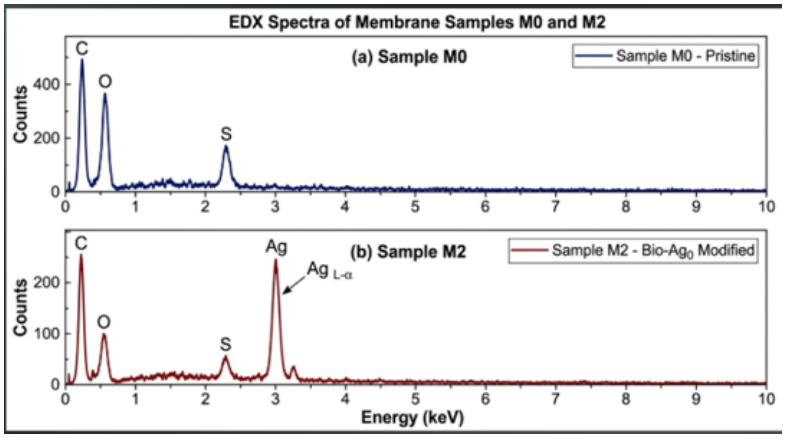


Figure 5. EDX spectra of membrane samples M0 and M2: (a) pristine sample M0 and (b) bio-Ag^0 modified sample M2.

.3.2. Surface Hydrophilicity and Contact Angle Analysis

The water contact angle measurements are presented in Table 2. The pristine PES membrane (M-0) exhibited a contact angle of 66.6 ± 1.2°. Incorporation of bio-Ag^0 progressively decreased the water contact angle, with values of 56.3 ± 2.1° for M-1 and 51.4 ± 2.3° for M-4. This reduction indicates an increase in the apparent surface hydrophilicity following bio-Ag^0 incorporation. The observed decrease in contact angle may be associated with the presence of hydrophilic components originating from the biologically synthesized silver material and its associated organic constituents at or near the membrane surface [14,15]. Preferential localization of these components during phase inversion may have contributed to the observed changes in surface properties. Similar increases in membrane hydrophilicity following silver incorporation have been reported for Ag-containing PES membranes [9,10]. The increased apparent hydrophilicity may contribute to changes in water transport and microbial attachment; however, membrane biofouling is governed by several interacting surface and transport properties, and contact-angle measurements alone do not establish a direct causal relationship.

Table 2. Water contact angle measurements of pristine PES and bio-Ag⁰/PES composite membranes with different bio-Ag⁰ contents.

Membrane Code	bio-Ag0 Content (wt%)	Water Contact Angle (°)
M-0	0.0	66.6 ± 1.2
M-1	0.1	56.3 ± 2.1
M-2	0.3	55.8 ± 1.8
M-3	0.5	53.8 ± 1.4
M-4	1.0	51.4 ± 2.3

**Values are expressed as mean ± standard deviation ($n = 5$).*

3.3. Thermal Stability by Thermogravimetric Analysis

The thermal behavior of the pristine PES and bio-Ag⁰/PES composite membranes was evaluated by thermogravimetric analysis (TGA) under a nitrogen atmosphere (Figure 6). All membranes exhibited an initial minor mass loss below approximately 120 °C, which can be attributed to the removal of adsorbed moisture and/or residual volatile components. The major mass-loss region occurred between approximately 350 and 550 °C and was primarily associated with the thermal degradation of the PES polymer backbone. Compared with pristine PES, the bio-Ag⁰-containing membranes showed a slight shift in the onset of major thermal degradation. This change may reflect alterations in the thermal decomposition behavior of the polymer matrix in the presence of the incorporated silver-containing material [13,15]. Nevertheless, the TGA profiles indicated that the principal degradation of all formulations occurred at temperatures substantially higher than typical ambient water-treatment operating temperatures (<50 °C). The final residual mass increased from 5.3% for M-0 to 11.8% for M-4. This increase is consistent with the progressively greater inorganic fraction introduced through bio-Ag⁰ incorporation. Together with the XRD and EDX results, the increased residual mass provides additional evidence for the presence of silver-containing inorganic material within the composite membranes.

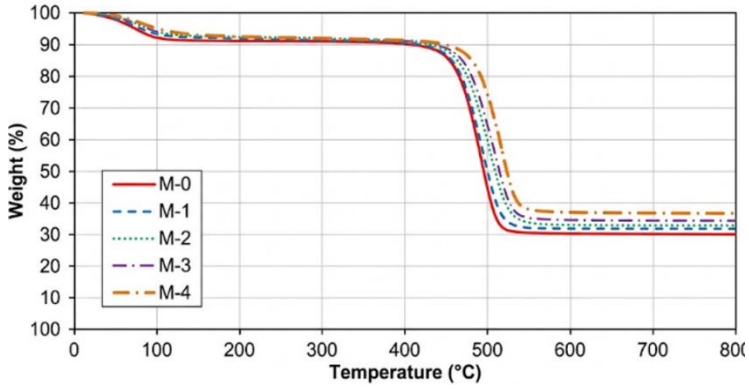


Figure 6. TGA curves of pristine PES and bio-Ag⁰/PES composite membranes containing different bio-Ag⁰ contents.

3.4. Pure Water Flux

The pure water flux of the membranes was monitored during 12 h of continuous filtration at a transmembrane pressure of 0.2 MPa (Figure 7). All membranes exhibited an initial decrease in flux during the first approximately 2 h, followed by a relatively stable flux over the subsequent filtration period. The initial decrease is consistent with hydraulic compaction and stabilization of the membrane structure under applied pressure.

The steady-state flux increased with increasing bio-Ag^0 content up to 0.5 wt%. The average steady-state fluxes of M-0, M-1, M-2, and M-3 were 142.5 ± 4.2, 195.8 ± 5.1, 258.4 ± 6.3, and 312.0 ± 7.0 L m^{-2} h^{-1}, respectively, with M-3 exhibiting the highest flux. The increase in water transport may be associated with the lower contact angle and the morphological changes observed in the composite membranes, including the development of more interconnected porous channels (Fig. 5) [14,15]. Similar increases in water permeability following silver nanoparticle incorporation into PES-based membranes have been reported in previous studies. At the highest bio-Ag^0 content (M-4, 1.0 wt%), the flux decreased slightly to 288.6 ± 6.8 L m^{-2} h^{-1}. This reduction may be associated with partial nanoparticle aggregation at the higher loading and/or increased hydraulic resistance within some pore pathways. Such a decrease at higher nanoparticle loadings has also been reported for Ag-containing PES membranes and has been associated with nanoparticle aggregation and partial pore obstruction. Thus, the results suggest that increasing bio-Ag^0 content does not necessarily result in a continuous increase in water flux, and an intermediate loading may provide a more favorable balance between surface hydrophilicity and membrane morphology (Figure 8).

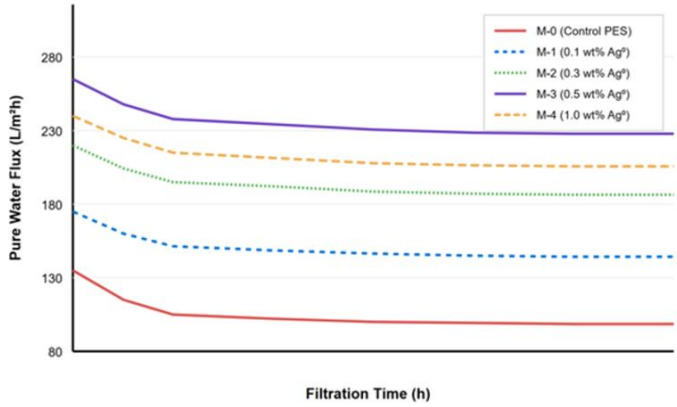


Figure 7. Variation in pure water flux of the pristine PES and bio-Ag^0/PES composite membranes during the initial 12 h of continuous filtration at a transmembrane pressure of 0.2 MPa.

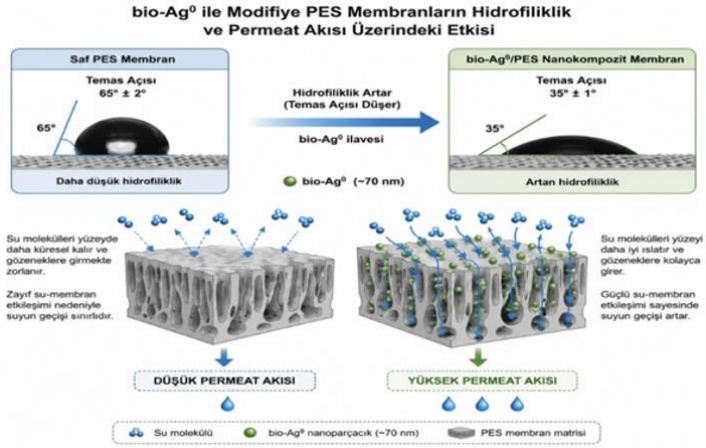


Figure 8. Schematic representation of the proposed relationship between bio-Ag^0 incorporation, surface hydrophilicity, membrane morphology, and water transport.

3.5. Silver Leaching and Long-Term Durability Analysis

The long-term stability of the bio-Ag^0/PES membranes was evaluated by monitoring silver retention during a 12-week static immersion period (Table 3). The initial total silver contents were 280, 840, 1400, and 2800 mg for M-1, M-2, M-3, and M-4, respectively. After 12 weeks, the residual silver contents were 241, 708, 915, and 1785 mg, corresponding to approximately 86.1%, 84.3%, 65.4%, and 63.8% retention, respectively.

The average silver release rates during weeks 4–12 were 4.0, 13.5, 55.3, and 92.0 mg m^{-2} day^{-1} for M-1 to M-4, respectively. The release rate increased with increasing initial silver loading. Based on these rates, the theoretical depletion times were estimated as approximately 1459, 1297, 528, and 634 days, respectively. These values represent mathematical extrapolations from the measured release rates and should not be interpreted as direct predictions of membrane service lifetime. The relatively high residual silver contents after 12 weeks indicate measurable retention of silver within the membrane matrix under static immersion conditions. Similar studies have shown that silver release from nanoparticle-modified membranes depends on membrane structure, silver loading, and the release-testing configuration. Importantly, the present analysis quantified total silver release and therefore does not distinguish between dissolved Ag^+ and nanoparticulate silver. Accordingly, these results should be interpreted as an assessment of overall silver retention and release rather than as direct Ag^+ release kinetics.

Table 3. Silver retention, release rate, and estimated depletion time of bio-Ag^0/PES composite membranes after static immersion.

Parameter	M-1 (0.1 wt%)	M-2 (0.3 wt%)	M-3 (0.5 wt%)	M-4 (1.0 wt%)
Total Ag content (mg)	280	840	1400	2800
Residual Ag content after 12 weeks (mg)	241	708	915	1785
Ag retention (%)	86.1	84.3	65.4	63.8
Release rate (mg m^{-2} day^{-1})	4.0	13.5	55.3	92.0
Estimated depletion time (days)	1459	1297	528	634

Values were calculated from ICP-MS measurements and normalized, where applicable, to the effective membrane surface area of 0.048 m^2 (480 cm^2). The release rate represents the average value calculated during weeks 4–12. Estimated depletion times were calculated by dividing the initial total silver content by the corresponding release rate normalized to the membrane surface area.

3.6. Antibacterial Activity

3.6.1. Inhibition Zone Method

The antibacterial activity of the pristine PES and bio-Ag^0/PES composite membranes was evaluated against *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 using the inhibition-zone method (Figs. 6–9). The bacterial strains were grown overnight, and 100 µL of the bacterial suspension was spread onto *Blood Agar* (BA) and Mueller–Hinton agar (MHA). Circular membrane specimens (25 mm in diameter) were sterilized by UV exposure for 30 min and placed on the inoculated agar surfaces. The plates were incubated for 24 h at 37 °C for *E. coli* and at 30 °C for *P. aeruginosa*. All experiments were performed in triplicate. No visible inhibition zone was observed around the pristine PES membrane (M-0). In contrast, clear inhibition zones were observed around the bio-Ag^0-containing membranes, and the inhibition-zone diameter generally increased with increasing bio-Ag^0 content. For *P. aeruginosa*, the inhibition-zone diameter increased by approximately **16%, 20%, 24%, and 30%** for M-1, M-2, M-3, and M-4, respectively, compared with M-0. A similar concentration-dependent inhibitory trend was observed for *E. coli*. These findings confirm the antibacterial activity of the bio-Ag^0/PES membranes under the tested agar-diffusion conditions [13,14].

The observed inhibition zones indicate that the bio-Ag^0/PES membranes exerted an inhibitory effect on both bacterial strains.

However, inhibition-zone diameter alone does not distinguish between direct contact-mediated antimicrobial activity and effects associated with the release and diffusion of silver-containing species.

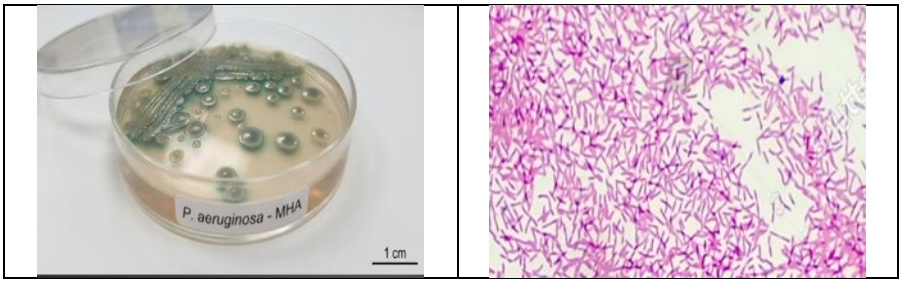


Figure 6. Representative morphological characteristics of *P. aeruginosa* used in the antibacterial assays: macroscopic colony morphology on Mueller–Hinton agar MHA and Gram-stained cells. Scale bars: 1 cm for macroscopic images and 10 µm for Gram-stained images.

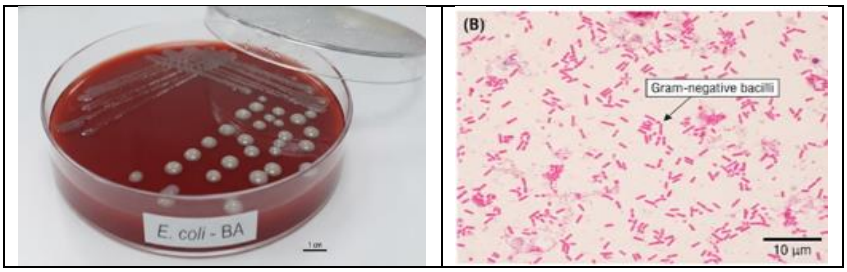


Figure 7. Representative morphological characteristics of *E. coli* used in the antibacterial assays: colony morphology on *Blood Agar* (BA) and Gram-stained cells. Scale bars: 1 cm for macroscopic images and 10 µm for Gram-stained images.

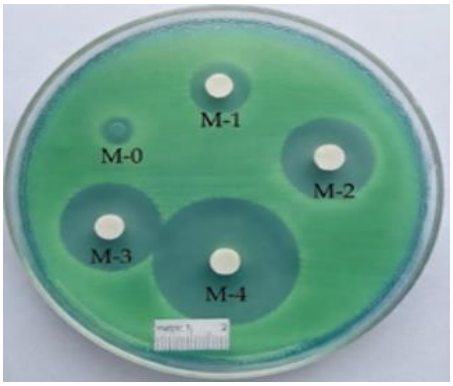


Figure 8. Inhibition zones produced by pristine PES (M-0) and bio-Ag⁰/PES composite membranes (M-1–M-4) against *P. aeruginosa* after 24 h of incubation.

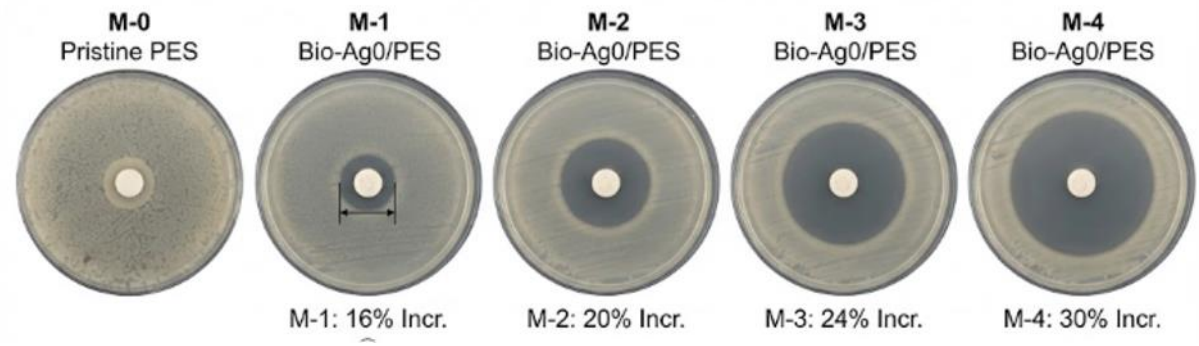


Figure 9. Inhibition zones produced by pristine PES (M-0) and bio-Ag⁰/PES composite membranes (M-1–M-4) against *E. coli* after 24 h of incubation.

3.6.2. CFU Reduction Assay

The antibacterial activity was further evaluated using a viable-cell counting assay. The pristine PES membrane (M-0) showed negligible bactericidal activity under the experimental conditions, whereas the bio-Ag⁰/PES composite membranes generally exhibited greater reductions in viable bacterial counts than M-0. The highest loading (M-4) produced reductions of approximately 6 log and 9 log for *E. coli* and *P. aeruginosa*, respectively (Fig. 10). The enhanced bacterial reduction observed for the bio-Ag⁰-containing membranes is consistent with the reported antimicrobial activity of silver-containing membrane systems [13,15]. The observed effect may involve direct interactions between bacterial cells and the silver-containing membrane surface and/or the release of antimicrobial silver species. However, Ag^+ release was not directly quantified or chemically speciated in the present study. Therefore, the antibacterial effect is interpreted as a silver-associated antimicrobial response rather than being attributed exclusively to continuous Ag^+ release. These findings demonstrate the antibacterial activity of the bio-Ag⁰/PES membranes against both Gram-negative test organisms and complement the inhibition-zone results.

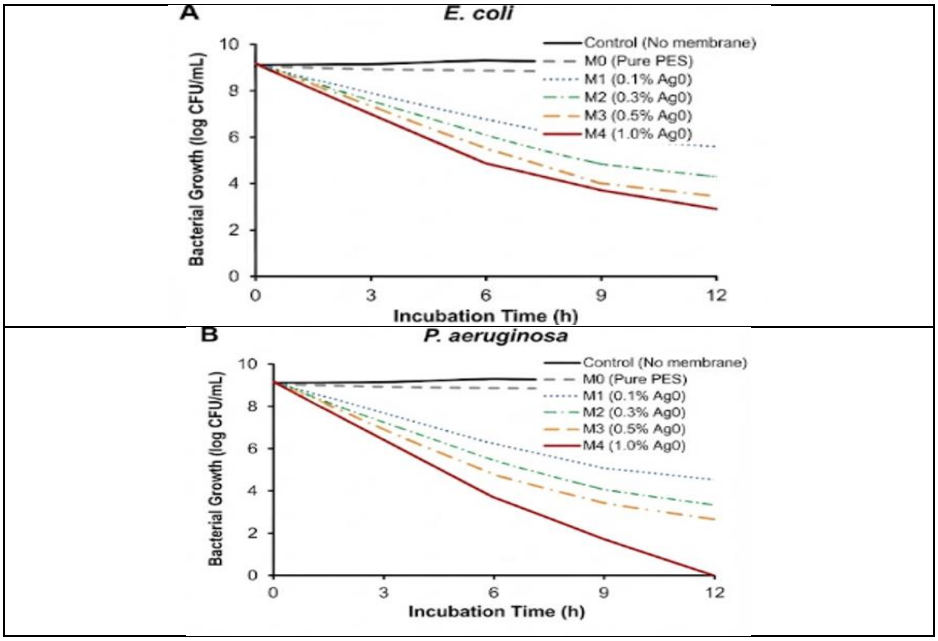


Figure 10. Viable-cell reduction produced by pristine PES (M-0) and bio-Ag⁰/PES composite membranes against (a) *E. coli* and (b) *P. aeruginosa* under the experimental conditions described in the Methods section.

3.7. Antibiofouling Characteristics of the Bio-Ag⁰/PES Membranes

The antibiofouling behavior of the membranes was evaluated by immersing M-0, M-1, and M-4 in an activated-sludge bioreactor containing a mixed microbial community for 9 weeks. After 3 weeks, substantial microbial accumulation was visible on the pristine PES membrane, whereas comparatively limited surface accumulation was observed on the bio-Ag⁰-containing membranes. This difference became more pronounced after 9 weeks. FESEM images obtained at the end of the immersion period showed extensive surface-associated microbial material and biofilm-like structures on M-0, whereas M-1 and M-4 exhibited less visible microbial attachment and surface accumulation (Fig. 11). These observations are consistent with the antibacterial results and indicate lower microbial attachment on the bio-Ag⁰-containing membranes under the tested mixed-culture conditions. Similar long-term reductions in bacterial attachment and biofilm formation have been reported for bio-Ag⁰/PES membranes exposed to activated-sludge-derived mixed cultures. The reduced biofouling may be associated with the combined effects of bio-Ag⁰-associated antimicrobial activity and increased surface hydrophilicity. However, the present experiments do not allow the individual contributions of hydrophilicity, silver-associated antimicrobial activity, and membrane morphology to be quantitatively separated.

Therefore, the FESEM observations are interpreted together with the CFU and crystal-violet measurements to provide complementary evidence of microbial attachment and biofilm accumulation.

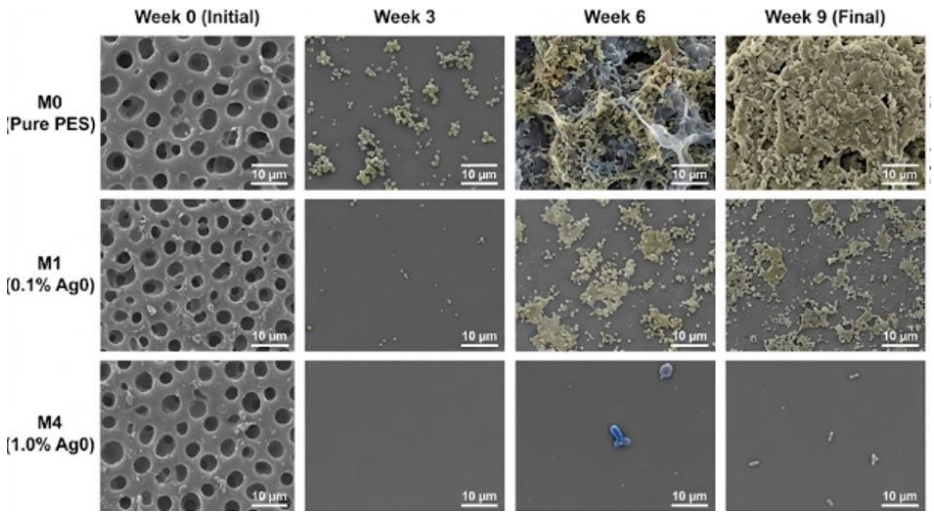


Figure 11. FESEM images of pristine PES (M-0) and bio-Ag⁰/PES composite membranes (M-1 and M-4) after 9 weeks of exposure to activated sludge. The images show differences in microbial attachment and biofilm-like surface accumulation. Scale bar: 10 µm. Insets show the corresponding biofilm surface coverage (%) at week 9.

4. Conclusion

Biogenic Ag⁰ synthesized using *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 was successfully incorporated into PES membranes by non-solvent-induced phase separation. XRD confirmed the characteristic crystalline structure of metallic silver, while SEM/EDX confirmed the presence of silver-containing material in the composite membranes. Bio-Ag⁰ incorporation modified membrane morphology and decreased the water contact angle, indicating increased apparent surface hydrophilicity. These changes were accompanied by increased pure-water flux at intermediate bio-Ag⁰ loadings, whereas the highest loading showed a slight flux reduction, possibly associated with increased hydraulic resistance and/or partial nanoparticle aggregation. The bio-Ag⁰/PES membranes exhibited antibacterial activity against *E. coli* ATCC 25922 and *P. aeruginosa* ATCC 27853. Both inhibition-zone and viable-cell assays showed greater antibacterial effects for the bio-Ag⁰-containing membranes than for pristine PES, with the highest bio-Ag⁰ loading producing the greatest reductions under the tested conditions. The 12-week static immersion experiment showed that a substantial fraction of the initially incorporated silver remained associated with the membrane matrix. The measured release behavior indicates silver retention under the tested conditions; however, these results do not represent direct predictions of membrane service lifetime or Ag^+ release kinetics. After 9 weeks of exposure to activated sludge, the bio-Ag⁰-containing membranes showed less visible microbial attachment and biofilm-like accumulation than pristine PES. The antibiofouling behavior may reflect the combined effects of silver-associated antimicrobial activity and changes in surface properties, particularly apparent hydrophilicity and membrane morphology. However, the individual contributions of these factors could not be quantitatively separated in the present study. Overall, the findings show that incorporation of biogenic Ag⁰ into PES can modify membrane surface properties, water transport, antibacterial activity, and resistance to microbial accumulation. The bio-Ag⁰/PES system therefore shows potential as a multifunctional membrane material for water and wastewater treatment. Further studies involving silver speciation, release mechanisms, quantitative biofilm characterization, and continuous-filtration experiments would help clarify its long-term performance and practical applicability.

References

AlSawaftah N, Abuwatfa W, Darwish N, Husseini GA. A review on membrane biofouling: prediction, characterization, and mitigation. *Membranes (Basel)*. 2022;12(12):1271. doi:10.3390/membranes12121271.

Mecha AC, Chollom MN, Babatunde BF, Tetteh EK, Rathilal S. Versatile silver-nanoparticle-impregnated membranes for water treatment: a review. *Membranes (Basel)*. 2023;13(4):432. doi:10.3390/membranes13040432.

AlQasas N, Johnson D. Combined effects of surface roughness, solubility parameters, and hydrophilicity on biofouling of reverse osmosis membranes. *Membranes (Basel)*. 2024;14(11):235. doi:10.3390/membranes14110235.

Chauke NM, Munonde TS, Mketo N. A critical review of the anti-biofouling properties of biogenic-based silver nanoparticles (AgNPs) embedded on polymer membranes for wastewater treatment. *J Ind Eng Chem*. 2025;149:209-232. doi:10.1016/j.jiec.2025.02.012.

Sałacińska A, Sienkiewicz P, Szymański K, Mozia S. Polyethersulfone mixed matrix membranes modified with pore formers and Ag-titanate nanotubes: physicochemical characteristics and (bio)fouling study. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024;31(55):63876-63894. doi:10.1007/s11356-024-35461-6.

Wang K, Cai D, Zou D, Duan R, Yan W, Zhou Y, et al. Polyethersulfone ultrafiltration membrane modified with polyamic acid-stabilized silver nanoparticles for enhanced filtration performance and antibacterial effects. *Desalination Water Treat*. 2023;298:23-34. doi:10.5004/dwt.2023.29661.

Wu X, Fang F, Zhang B, Wu JJ, Zhang K, et al. Biogenic silver nanoparticles-modified forward osmosis membranes with mitigated internal concentration polarization and enhanced antibacterial properties. *npj Clean Water*. 2022;5:41. doi:10.1038/s41545-022-00190-1.

Basri H, Ismail AF, Aziz M. Polyethersulfone (PES)-silver composite UF membrane: effect of silver loading and PVP molecular weight on membrane morphology and antibacterial activity. *Desalination*. 2011;273:72-80. doi:10.1016/j.desal.2010.04.053.

Zodrow K, Brunet L, Mahendra S, Li D, Zhang A, Li Q, et al. Polysulfone ultrafiltration membranes impregnated with silver nanoparticles show improved biofouling resistance and virus removal. *Water Res*. 2009;43(3):715-723. doi:10.1016/j.watres.2008.11.014.

Vatanpour V, Madaeni SS, Moradian R, Zinadini S, Astinchap B. Fabrication and characterization of novel antifouling PES nanocomposite ultrafiltration membrane prepared by embedding nanoparticles. *J Membr Sci*. 2011;375(1-2):284-294. doi:10.1016/j.memsci.2011.03.055.

Yoshino H, Phan HV, Mori N, Ohkuma N, Kawakami M, Nihei M, et al. Anti-biofouling performance and microbial communities of an integrated fixed-film activated sludge membrane bioreactor with a fibrous carrier material: pilot-scale demonstration. *Sci Total Environ*. 2024;918:170291. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.170291.

Kthiri A, Hamimed S, Othmani A, Landoulsi A, O'Sullivan S, Sheehan D, et al. Novel static magnetic field effects on green chemistry biosynthesis of silver nanoparticles in *Saccharomyces cerevisiae*. *Sci Rep*. 2021;11:20078. doi:10.1038/s41598-021-99487-3.

Niknejad F, Nabili M, Daie Ghazvini R, Moazeni M. Green synthesis of silver nanoparticles: advantages of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* model. *Curr Med Mycol*. 2015;1(3):17-24. doi:10.18869/acadpub.cmm.1.3.17.

Korbekandi H, Mohseni S, Mardani Jouneghani R, Pourhossein M, Iravani S. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Saccharomyces cerevisiae*. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*. 2016;44(1):235-239. doi:10.3109/21691401.2014.937870.

Skóra B, Krajewska U, Nowak A, Dziedzic A, Barylyak A, Kus-Liśkiewicz M. Noncytotoxic silver nanoparticles as a new antimicrobial strategy. *Sci Rep*. 2021;11:13451. doi:10.1038/s41598-021-92812-w.

Zhang M, Field R, Zhang K. Biogenic silver nanocomposite polyethersulfone UF membranes with antifouling properties. *J Membr Sci*. 2014;471:274-284. doi:10.1016/j.memsci.2014.08.021.

Zhang M, Zhang K, De Gusseme B, Verstraete W, Field R. The antibacterial and anti-biofouling performance of biogenic silver nanoparticles by *Lactobacillus fermentum*. *Biofouling*. 2014;30(3):347-357. doi:10.1080/08927014.2013.873419.

Barabadi H, Vahidi H, Arjmand M, Abdorashidi M, Jahani R, Amidi S, et al. Exploring the biological properties of *Saccharomyces cerevisiae*-derived silver nanoparticles: in vitro structural characteristics, antibacterial, biofilm inhibition and biofilm degradation, antioxidant, anticoagulant, thrombolytic, and antidiabetic performance. *Inorg Chem Commun*. 2024;162:112291. doi:10.1016/j.inoche.2024.112291.

Zhang M, Zhang K, De Gusseme B, Verstraete W. Biogenic silver nanoparticles (bio-Ag^0) decrease biofouling of bio-Ag^0/PES nanocomposite membranes. *Water Res*. 2012;46(7):2077-2087. doi:10.1016/j.watres.2012.01.015.

Bondarenko OM, Sihtmäe M, Kuzmičiova J, Ragelienė L, Kahru A, Daugelavičius R. Plasma membrane is the target of rapid antibacterial action of silver nanoparticles in *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*. *Int J Nanomedicine.* 2018;13:6779-6790. doi:10.2147/IJN.S177163.

PARAMEDİKLERDE KLİNİK YETKİNLİĞİN GELİŞEN BOYUTLARI: KLİNİK AKIL YÜRÜTME, KARAR VERME VE YETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ

EVOLVING DIMENSIONS OF CLINICAL COMPETENCE IN PARAMAEDICS: CLINICAL REASONING, DECISION-MAKING, AND COMPETENCY ASSESMENT

Asst. Prof. Dr. Fatma HAKYEMEZ
First and Emergency Aid Program, Department of Medical Services and Techniques, Vocational School of Health Services, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8390-087X

Özet

Amaç: Hastane öncesi acil sağlık hizmetlerinin artan karmaşıklığı, paramediklerin teknik becerilerin yanı sıra klinik akıl yürütme, karar verme, iletişim ve ekip çalışması gibi çok boyutlu yetkinliklere sahip olmasını zorunlu kılmaktadır. Bu derlemenin amacı, paramediklerde klinik yetkinlik kavramının gelişimini incelemek; klinik akıl yürütme, karar verme süreçleri ve yetkinlik değerlendirmesinin güncel durumunu ve önemini ortaya koymaktır.

Yöntem: Bu çalışma, paramediklerde klinik yetkinlik, akıl yürütme, karar verme ve yetkinlik değerlendirme yaklaşımlarını ele alan anlatısal (narrative) bir derlemedir. PubMed, Google Scholar ve ilgili veri tabanlarında yer alan temel araştırmalar ve derlemeler bütüncül bir bakış açısıyla incelenmiş; konunun teorik çerçevesi ve eğitime yansımaları ana kavramsal başlıklar altında ele alınmıştır.

Bulgular: Alan yazın, paramedik klinik yetkinliğinin geleneksel bilgi ve teknik beceri odaklı yapıdan; klinik değerlendirme, belirsizlik altında karar verme, eleştirel düşünme, iletişim, ekip çalışması ve profesyonelliği kapsayan bütüncül bir anlayışa doğru genişlediğini göstermektedir. Klinik karar verme süreçlerinin ve yetkinliğin değerlendirilmesinde bilişsel ölçüm araçlarının yanı sıra simülasyon temelli yöntemlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Simülasyon, karar verme becerilerini geliştirmede ve yetkinliğin değerlendirilmesinde kritik bir eğitim yaklaşımı olarak öne çıkmakta; ancak standartlaştırılmış ve çok boyutlu değerlendirme yaklaşımlarına duyulan gereksinim devam etmektedir.
Sonuç: Paramediklerin genişleyen görev ve sorumluluklarına paralel olarak klinik yetkinlik kavramı bütüncül bir anlayışla ele alınmalıdır. Geleceğin paramedik eğitiminde teknik ve bilişsel yetkinliklerin bir arada geliştirilmesi, kanıta dayalı ve çok boyutlu değerlendirme yöntemlerinin müfredatlara entegre edilmesi önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Paramedik, klinik yetkinlik, klinik akıl yürütme, klinik karar verme, yetkinlik değerlendirmesi, simülasyon.

Abstract

Objective: The increasing complexity of prehospital emergency care necessitates that paramedics possess multidimensional competencies—such as clinical reasoning, decision-making, communication, and teamwork—beyond traditional technical skills. This review aims to examine the evolution of clinical competence in paramedics and highlight the current status and importance of clinical reasoning, decision-making, and competency assessment.

Methods: This study is a narrative review addressing clinical competence, clinical reasoning, decision-making, and assessment approaches in paramedics. Key empirical studies and reviews from PubMed, Google Scholar, and other relevant databases were holistically examined. The theoretical framework and its educational implications were addressed under main conceptual themes.

Results: The literature demonstrates that paramedic clinical competence has expanded from a traditional knowledge- and technical-skill-oriented structure toward a holistic concept encompassing clinical assessment, decision-making under uncertainty, critical thinking, communication, teamwork, and professionalism. In assessing clinical decision-making processes and competence, cognitive evaluation tools and simulation-based methods are widely utilized.

Simulation stands out as a vital educational approach for enhancing decision-making skills and assessing competency; however, the need for standardized and multidimensional assessment strategies persists.

Conclusion: In line with the expanding scope of practice for paramedics, clinical competence must be approached holistically. Future paramedic education should concurrently foster technical and cognitive competencies while integrating evidence-based, multidimensional assessment methods into curricula.
Keywords: Paramedic, clinical competence, clinical reasoning, clinical decision-making, competency assessment, simulation.

YAKIN DENİZ ALANLARINDA AKINTI VE RÜZGAR BİLGİLERİNİN SÜREKLİ OLARAK İZLENMESİ VE BU BİLGİLERİN KARAYA AKTARILMASI İÇİN KURULACAK KABLOSUZ SİSTEMLER

WIRELESS SYSTEMS TO BE ESTABLISHED FOR THE CONTINUOUS MONITORING AND TRANSMISSION OF CURRENT AND WIND INFORMATION IN NEARBY SEA AREAS

Assoc. Prof. Dr. Tayfun ACARER
Department of Maritime Transportation and Management, Maritime Vocational School, Piri Reis University, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2407-5552

Özet

Son yıllarda yakın deniz alanlarında sefer yapan küçük ölçekli teknelerde ve bunlarda yolculuk yapan insan sayısında ciddi artış olmuştur. Halen bu tür tekneler genellikle gezi amaçlı ve ticari yolcu taşımacılığında kullanılmaktadır. Bu nedenle söz konusu teknelerin emniyetli seyirleri için bulundukları deniz alanlarına ilişkin hava raporlarının ve akıntı değerlerinin doğru olarak alınması ve bu bilgilerin en kısa sürede gemilere iletilmesi çok önemlidir. Bu amaçla tesis edilecek sistem için öncelikle kıyıdan belirli mesafelere akıntı ve rüzgar datalarını tespit edecek sensörlerin yerleştirilmesi, daha sonra da bu sensörlerin ürettiği verileri kıyıda tesis edilecek merkezlere transfer edecek haberleşme ağının kurulması gerekmektedir.

Sensör verilerinin karaya taşınmasında uydu sistemlerin kullanılması mümkündür. Ancak bu sistemlerin maliyeti ve haberleşme bedellerinin fazla olması uydu sistemlerinin kullanılmasını olumsuz olarak etkilemektedir.

Bu nedenle sensör verilerinin karadaki veri merkezlerine aktarılmasında 2 farklı altyapının kullanılması mümkün olup, bunlardan ilki 4G, 5G gibi Mobil telefon sistemleridir. Bu sistemler genişband özelliğine ve düşük gecikme sürelerine sahip olmalarına karşılık, kıyıdan denize doğru kapsama alanları 4-5 km gibi kısa mesafedir.

Bu amaçla kullanılabilecek ikinci altyapı deniz telsiz haberleşme sistemleridir. Bu sistemler farklı bantlarda ve farklı haberleşme mesafelerine sahiptir. Deniz telsiz sistemleri içinde kısa mesafedeki datanın iletiminde en uygun olanı VHF telsiz sistemleridir. Türkiye'de Hopa'dan İskenderun'a kadarki sahil şeridindeki dağlara tesis edilen bu sistem ile kıyıdan 60-70 km. mesafelere kadar haberleşme yapmak mümkündür.

Mobil telefon ve deniz telsiz sistemlerinin farklı özelliklerinin değerlendirilmesinde;

- 4G ve 5G Mobil telefon haberleşme sistemlerindeki data hızının ve kapasitesinin deniz telsiz sistemlerine oranla çok daha fazla olduğu,
- Bu sistemler ile kıyıdan en fazla 4-54 km mesafeye kadar haberleşme yapılırken, VHF sistemleri ile kıyıdan 60-70 km mesafeye kadar iletişim kurulabildiği,
- Mobil telefon sistemleri aracılığı ile 7-8 km mesafeden haberleşme yapabilmek için 700 veya 800 MHz bantlarının tercih edilmesi,
- Özellikle kırsal alanda Mobil telefon haberleşme sistemlerinin kapsamında problemler yaşanabileceği,
- Akıntı ve rüzgar verilerinin çok büyük hacimde olmaması ve yüksek hız gerektirmediği için, bu amaca en uygun sistemin VHF telsiz sistemi olduğu,
- Bunun için Türkiye kıyılarında ayrı bir VHF sisteminin tesis edilmesine gerek olmadığı, Türkiye'de Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü tarafından işletilen ve tüm kıyı şeridimizi kapsayan VHF telsiz şebekesinin zaten mevcut olduğu,
- Bu nedenle hedeflenen sistem için öncelikle mevcut VHF telsiz alt yapısının kullanılması, kontrol edilmesi istenilen deniz alanı 5-6 km. ise, bu kapsama için Mobil telefon sistemlerinin de kullanılabileceği hibrit bir modelin geliştirilebileceği,
- Akıntı ve rüzgar verilerinin takip edileceği alanlar için, uygun noktalara konulacak şamandıralar üzerlerine bu amaca yönelik sensörlerin yerleştirilmesi,
- Bu sensörlerde toplanan verilerin belirtilen haberleşme sistemleri ile karada belirlenecek merkezlere aktarılması,

- Bu merkezlerdeki dataların ortak bir Bilgisayar sisteminde toplanması ve toplanan dataları değerlendirecek bir Yapay Zeka uygulamasının tesis edilmesi,
- Yapay Zeka uygulamasındaki tespitlere göre bu verilerin küçük ölçekli teknelerde GMDSS kuralları gereği zorunlu olarak bulundurulan telsiz sistemlerine kısa periyotlar halinde ve otomatik olarak aktarılacak bir haberleşme sisteminin kurulması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Telsiz Sistemleri, Mobil Telefon Haberleşme sistemleri, VHF Sistemi, Akıntı ve Rüzgar Sensörleri, Deniz Gözlem sistemleri.

ABSTRACT

In recent years, there has been a significant increase in the number of small-scale boats operating in nearby sea areas and the number of people traveling on them. Currently, these boats are generally used for recreational purposes and commercial passenger transport. Therefore, for the safe navigation of these boats, it is crucial to obtain accurate weather reports and current values for the sea areas they are in and to transmit this information to the vessels as quickly as possible. For this purpose, the system to be established requires, first, the placement of sensors at certain distances from the shore to detect current and wind data, and then the establishment of a communication network to transfer the data generated by these sensors to centers located on the shore. Satellite systems can be used to transmit sensor data to shore. However, the high cost and communication fees of these systems negatively impact their use.

Therefore, two different infrastructures can be used to transfer sensor data to onshore data centers. The first is mobile phone systems such as 4G and 5G. While these systems offer broadband capabilities and low latency, their coverage is limited to short distances of 4-5 km from the shore to the sea.

The second infrastructure that can be used for this purpose is marine radio communication systems. These systems operate in different bands and have different communication ranges. VHF radio systems are the most suitable for short-distance data transmission. In Turkey, this system, installed in the mountains along the coastline from Hopa to Iskenderun, allows communication up to 60-70 km from the shore.

In evaluating the different characteristics of mobile phone and marine radio systems;

- The data speed and capacity of 4G and 5G mobile phone communication systems are much higher than those of marine radio systems,
- While these systems allow communication up to a maximum distance of 4-54 km from the shore, VHF systems allow communication up to a distance of 60-70 km from the shore,
- To communicate over a distance of 7-8 km via mobile phone systems, 700 or 800 MHz bands are preferred,
- Problems may be experienced within the scope of mobile phone communication systems, especially in rural areas,
- Since current and wind data are not very large and high speed is not required, the most suitable system for this purpose is the VHF radio system,
- For this reason, there is no need to establish a separate VHF system on the Turkish coasts, as a VHF radio network operated by the General Directorate of Coastal Safety in Turkey and covering our entire coastline already exists,
- Therefore, for the targeted system, the existing VHF radio infrastructure should be used first, and the sea area to be controlled should be 5-6 km. For this coverage, a hybrid model can be developed that can also utilize mobile phone systems:
- Buoys will be placed at appropriate points in areas where current and wind data will be monitored, and sensors for this purpose will be installed on them.
- The data collected by these sensors will be transferred to designated centers on land via the specified communication systems.
- The data from these centers will be collected in a common computer system, and an Artificial Intelligence application will be established to evaluate the collected data.
- Based on the findings of the Artificial Intelligence application, a communication system will be established to automatically transfer this data in short periods to the radio systems that are mandatory on small-scale vessels according to GMDSS rules.

Keywords: Radio Systems, Mobile Phone Communication Systems, VHF System, Current and Wind Sensors, Marine Observation Systems.

ETİL ALKOLLE KARACİĞER TOKSİKASYONUNDA CHLORELLA VULGARİS'İN OKSİDATİF STRES, CYP2E1 VE NF-KB ÜZERİNE ETKİSİ

THE EFFECT of CHLORELLA VULGARIS on OXIDATIVE STRESS, CYP2E1 and NF-KB in ETHYL ALCOHOL-INDUCED LIVER TOXICITY

Prof. Dr. Nadide Nabil KAMİLOĞLU
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8645-7957

Prof. Dr. Alkan KAMİLOĞLU
Department of Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2722-8190

Dr. Barış YILDIZ
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8432-4656

Res. Asst. Serkan DEMİR
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0001-4254-6912

Özet

Yüksek alkol tüketiminin karaciğer hücrelerinde oksidatif hasara neden olan lipid peroksidasyonu uyardığı ve karaciğer hasarına neden olduğu bilinmektedir. Mavi-yeşil alg türü olan *Chlorella vulgaris* hücre koruyucu, bağışıklığı destekleyici, antikanserojen ve antioksidan özelliklere sahiptir. Bu çalışmayla, Etil alkolle ile karaciğer hasarı oluşturulmuş ratlarda *Chlorella vulgaris'in* mikrozomal etanol oksitleyici sistem enzimi sitokrom P450-2E1(CYP2E1), oksidatif stres, Nükleer Faktör kappa B (NF-κB) ve karaciğer enzimleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, 250-300 gr ağırlığında 24 adet erişkin erkek Sprague Dawley rat kullanılmıştır. Ratlar standart ışık (12 saat gün ışığı/ 12 saat karanlık), 25 C 'de, yeteri kadar (*ad libitum*) su ve yem ile beslendi. Ratlar her grupta 8 hayvan bulunacak şekilde 2 deney ve kontrol grubuna ayrıldı. Kontrol (K) grubuna 5 mg/kg izokalorik dekstroz gavajla 24 saatte bir 6 hafta verildi. I. Gruba (E) 7 g/kg/gün Etil alkol %50 su ile dilüe edilerek 6 hafta uygulandı, II. Gruba (ECl) 300 mg/kg *Chlorella* ve 7 g/kg/gün Etil alkol + %50 su 6 hafta verildi. Deney sonunda, eter anestezisiyle sakrifiye edilen ratlardan alınan kan örnekleri karaciğer enzim düzeylerinin tespit için, karaciğer dokusu ise CYP2E1, GSH, MDA, ROS ve NF-Kb düzeylerini belirlemek üzere kullanıldı. Grupların AST ve ALP, ALT ve GGT karaciğer enzim aktivitelerinde chlorellanın istatistiksel olarak belirgin düzelme sağladığı görüldü ($p<0,05$). Ayrıca *Chlorella*'nın etil alkolün yükselttiği karaciğer CYP2E1 enzimi, MDA, ROS ve NF-κB düzeylerini azalttığı ($p<0,05$) ve azalan değerlerin kontrol değerlerine yaklaştığı ($p<0,01$), GSH düzeylerini ise yükselttiği ($p<0,05$) tespit edildi. Sonuç olarak, bu araştırma ile alkolün neden olduğu oksidatif stres ile artan enflamatuar yanıtın neden olduğu karaciğer harabiyetinin *Chlorella vulgaris ile* baskılandığı ve azaldığı düşünülmektedir. Ayrıca karaciğer enzim düzeylerinin *Chlorella'nın* oksidatif stresi azaltarak karaciğer hasarını düzeltmesi ile bazal düzeylerine döndüğü de gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler; Etil Alkol, *Chlorella*, Liver enzymes, Oksidatif Stres, CYP2E1, NF-κB

Abstract

High alcohol consumption is known to stimulate lipid peroxidation, which causes oxidative damage in liver cells, leading to liver damage. The blue-green algae species *Chlorella vulgaris* possesses cell-protective, immune-boosting, anticancer and antioxidant properties. This study investigated the effects of *Chlorella vulgaris* on the microsomal ethanol oxidizing system enzyme cytochrome P450-2E1 (CYP2E1), oxidative stress, Nuclear Factor kappaB (NF-κB), and liver enzymes in rats with liver damage induced by ethyl alcohol. Twenty-four adult male Sprague Dawley rats weighing 250-300g were used in the study. The rats were kept in a standard light environment, at 25°C, and fed ad libitum water and feed. The rats were divided into two experimental and control groups, with 8 animals in each group.

Control (K) group was given 5 mg/kg isocaloric dextrose by gavage every 24 hours for 6 weeks. Group I (E) was given 7 g/kg/day ethyl alcohol diluted with 50% water for 6 weeks, and Group II (EC1) was given 300 mg/kg *Chlorella* and 7 g/kg/day ethyl alcohol + 50% water for 6 weeks. At the end of the experiment, blood samples taken from rats sacrificed under ether anesthesia were used to determine liver enzyme levels, and liver tissue was used to determine CYP2E1, GSH, MDA, ROS, and NF-κb levels. It was observed that *Chlorella* caused a statistically significant improvement in AST, ALP, ALT and GGT liver enzyme activities ($p<0.05$). Furthermore, it was found that *Chlorella* reduced liver CYP2E1 enzyme, MDA, ROS, and NF-κB levels, which were elevated by ethyl alcohol ($p<0.05$), and the reduced values approached control values ($p<0.01$), while it increased GSH levels ($p<0.05$). In conclusion, this research suggests that liver damage caused by alcohol-induced oxidative stress and increased inflammatory response is suppressed and reduced by *Chlorella* vulgaris. It was also observed that liver enzyme levels returned to their basal levels as *Chlorella* reduced oxidative stress and repaired liver damage.

Keywords: Ethyl alcohol, *Chlorella*, Liver enzymes, Oxidative Stress, CYP2E1, NF-κB

INTRODUCTION

Alcohol-induced liver disease is considered one of the leading causes of liver disease worldwide. Since an effective treatment has not yet been found, a large portion of research focuses on understanding the pathogenesis of alcoholic liver disease. Ethanol consumption has been reported to cause cytokine release, impaired mitochondrial function, endoplasmic reticulum stress, ROS (reactive oxygen species) formation, and oxidative stress. Furthermore, ethanol consumption is known to increase oxidative stress by reducing antioxidant levels. In addition, ROS formation and oxidative stress are thought to occur through the stimulation of cytochrome P450-2E1 (CYP2E1) (Bhopale et al. 2006, Lu and Cederbaum 2008a, Lu et al. 2008b).

The regenerative capacity of the adult liver is impaired when alcohol damage occurs. Progenitor stem cells of the liver have been shown to play an important role in liver regeneration in various chronic inflammations (Kaphalia 2014). However, the effects of alcohol on stem cell differentiation are not well understood. Ethanol has been reported to negatively affect the differentiation of hepatic progenitor cells by suppressing the mitogen-activating protein kinase (MAPK/ERK) signaling pathway and subsequently weakening the WNT signaling pathway (Gao 2014).

A large portion of ingested alcohol is metabolized oxidatively in the liver by alcohol dehydrogenase (ADH). However, chronic high-dose alcohol consumption suppresses hepatic ADH activity and stimulates hepatic microsomal monooxygenase, particularly cytochrome P450 2E1 isozyme (CYP2E1) activity (Cederbaum, 2010). ADH and CYP2E1, which catalyze the oxidation of ethanol, have been shown to cause the formation of acetaldehyde (which binds to proteins and DNA) and ROS (reactive oxygen species). These two biochemical substances lead to the peroxidation of unsaturated fatty acids and the oxidation of proteins and DNA. These types of reactions alter systemic redox balance by reducing antioxidant capacity (Cederbaum 2010, Joshi and Guidot 2007 and Kershaw and Guidot, 2008). Chlorella species have been used as a food source for years due to their protein, carbohydrate, vitamin, and mineral content. Animal studies have shown that Chlorella species have antiatherogenic, anticholesterolemic, anti-inflammatory, and antitumorogenic effects (Hasegawa et al. 2000).

It has also been reported to induce apoptosis and reduce oxidative damage in HepG2 cells, a liver cancer cell line, in culture medium (Saad et al. 2006). Algal chloroplasts have a complex membrane system rich in polyunsaturated fatty acids. As with other plants, algae increase their antioxidant activity to protect their membranes under oxidative stress conditions. Like many antioxidant protective agents, chlorella exhibits antiapoptotic and cellular protective effects due to its high antioxidant activity, targeting signaling molecules and protecting damaged cells from further damage. It has been reported that the chlorella cell wall acts as a binding site for toxic metals and plays an important role in detoxification. Chlorella has a high concentration of chlorophyll and also contains high concentrations of vitamins, minerals, nucleic acids, enzymes, and many other substances. This algae has a strong cell wall that maintains its natural form and is only digestible by humans (Randall et al. 2001).

The breakdown of the chlorella cell wall during digestion releases chlorella growth factor, a water-soluble extract containing amino acids, peptides, proteins, vitamins, sugars, and nucleic acids.

Studies (Yamaguchi 1985, Miyazawa et al. 1988) have shown that when Chlorella is taken orally, its cell wall degradation products stimulate growth and wound healing, strengthen the immune system, show protective activity against infections, and exhibit significant anti-cancer activity (Randall et al. 2001, Farage al. 2025). When a special enzyme system called endonucleases, which repairs DNA damage and keeps cells alive and healthy, is activated by radiation and toxins, errors in DNA cannot be corrected, and cancer can develop. Studies have also shown that Chlorella increases the activity of cell nuclear enzymes and stimulates DNA repair (Cai et al. 2015, Wang et al 2022).

NF-κB is a transcription factor that regulates intracellular processes such as inflammation, immune response, cell proliferation, and apoptosis. Normally, it exists in an inactive state in the cytoplasm, bound to an inhibitory protein called IκB. When a stimulus such as oxidative stress, cytokines, toxins, or alcohol metabolites arrives, IκB is degraded, and NF-κB enters the nucleus, increasing the expression of inflammatory genes (Byun et al. 2015). In the liver, the metabolism of ethyl alcohol by alcohol dehydrogenase (ADH) and CYP2E1 enzymes produces acetaldehyde and reactive oxygen species (Lee et al. 2003). This oxidative stress is one of the signals that activates NF-κB. activated NF-κB increases the expression of genes encoding pro-inflammatory cytokines such as TNF-α, IL-1β, and IL-6; enzymes such as COX-2 and iNOS; and adhesion molecules such as ICAM-1 and VCAM-1. Chronic exposure to alcohol can lead to inflammation and cell death in liver cells, resulting in alcoholic hepatitis, fibrosis and cirrhosis. NF-κB inhibitors or antioxidants can reduce the inflammatory response caused by alcohol (Moradi et al 2021, Farage et al. 2025).

Following alcohol consumption, impaired liver cell membrane permeability increases the plasma levels and serum activities of enzymes such as aspartate aminotransferase (AST), and alanine transaminase (ALT). Additionally, increased plasma levels of enzymes such as alkaline phosphatase (ALP) and glutamic transferase (GGT), which are produced in the liver and released into the bile, are also considered a sign of impaired liver function. ALT and AST are liver-specific enzymes frequently used to identify liver damage. ALT, an enzyme used in protein production in the liver and found only in the liver, is released into the bloodstream in excessive amounts when liver cells are damaged, leading to increased plasma levels. AST, another enzyme used in protein production, is found not only in the liver but also in the heart and skeletal muscles. Elevated plasma levels of AST suggest potential problems in the liver, muscles, or heart. GGT, an enzyme used in the metabolism of alcohol in the liver, is known to increase with excessive alcohol consumption. Plasma levels of the ALP enzyme, found in liver cells near the bile ducts and in bones, are known to rise in liver and bone diseases, and along with GGT, in bile duct obstructions (Cai et al 2015, Byun et al. 2015).

This study investigated the effects of Chlorella on oxidative stress, GSH, cytochrome P450-2E1 (CYP2E1), NF-κB (Nuclear Factor kappa B), and liver enzymes in rats with liver damage induced by ethyl alcohol.

MATERIAL and METHODS

This study was conducted at the Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine of Kafkas University, in accordance with the principles of the "Local Ethics Committee" of Caucasus University (HAYDEK Decision No: 2014/43). 24 adult male Sprague Dawley rats weighing 200-250 g were used in this study. The rats were kept in a standard light environment (12 hours daylight/12 hours darkness), at 25°C and fed with sufficient water and feed (ad libitum). All animal experiments were started after one week acclimatization period and carried out according to protocols in line with institutional guidelines.

The rats were divided into 3 groups, with 8 animals in each group, creating 2 experimental and 1 control group. The control group was given 5 mg/kg isocaloric maltose via gavage for 6 weeks. Group 2 received ethyl alcohol at a dose of 7 g/kg/day, diluted with 50% water and administered via gavage for 6 weeks; and Group 3 received 300 mg/kg/day of Chlorella vulgaris (Solgar, USA) and by 7 g/kg of ethyl alcohol + 50% water via gavage for 6 weeks.

At the end of the experiment, blood and tissue samples taken from rats sacrificed under ether anesthesia were stored under appropriate conditions. Liver tissue and blood samples were stored at -80°C to determine liver enzyme levels, NF-κB, cytochrome P450-2E1 (CYP2E1), GSH, MDA, and ROS levels.

Tissue Homogenization

Blood and tissue samples taken from rats sacrificed after anesthesia were stored under appropriate conditions. Before analysis, tissues were cut on ice and weighed at 1 gram. The previously prepared phosphate buffer solution (1.7 g KH2PO4 and 0.73 g EDTA were dissolved in 200 mL of distilled water, pH was adjusted to 7.4, and the final volume was completed to 250 mL with distilled water) was added in a 1:9 ratio, and the tissue was homogenized using a homogenizer. The homogenized samples were centrifuged at 10000 g at 4°C for 10 minutes using a refrigerated centrifuge and used according to the procedures of the kits.

Determination of Liver ROS, CYP2E1, NF-κB Levels and Liver Enzyme Activities

To determine ROS levels, the Rat ROS ELISA Kit (MBS2802061, MyBioSource, USA) was used; to determine CYP2E1 enzyme levels, the CYP2E1 ELISA Kit (Rat, OKEH03259, Aviva Systems Biology, USA) was used; and to determine NF-κB protein levels, the Rat NF-κB ELISA Kit (Cat. No. E0290Ra, BT Lab, China) was used. All analysis steps were performed according to the manufacturers' ELISA kit procedures.

Plasma AST, ALT, ALP, GGT, and LDH levels were measured on a Cobas C 501-6000 autoanalyzer using a Cobas (Roche, Germany) kit.

RESULTS

Changes in Liver Enzyme Activities

The changes observed in liver enzyme activities of the groups are given in Figure 1. It was observed that *Chlorella* caused a statistically significant improvement in AST, ALP, ALT and GGT liver enzyme activities ($p<0.05$).

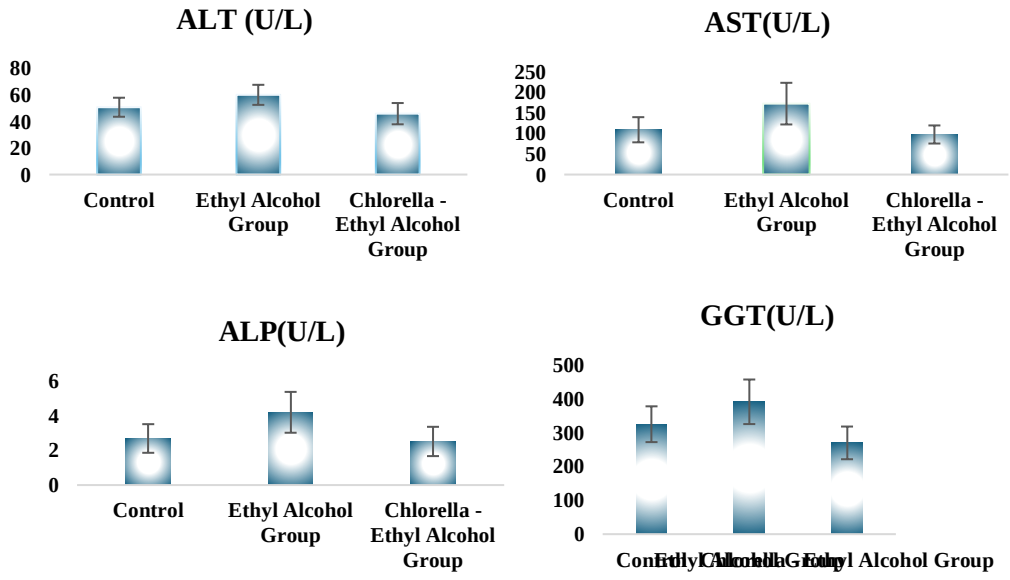


FIGURE 1. Changes in liver enzyme activities of the groups.

Changes in Liver ROS Levels

Changes in ROS levels of the groups are given in Figure 2. It was found that ROS levels, which increased with ethyl alcohol, decreased statistically significantly between the groups with the application of Chlorella vulgaris ($p<0.05$).

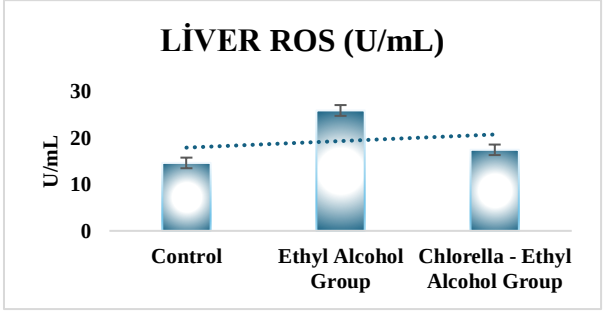


FIGURE 2. Changes in liver ROS levels in the groups.

Changes in Liver and Blood MDA Levels

Changes in MDA levels in the groups are given in Figure 3. It was found that liver and blood MDA levels, which were elevated with ethyl alcohol, were statistically significantly reduced between the groups with the application of Chlorella vulgaris ($p<0.01$).

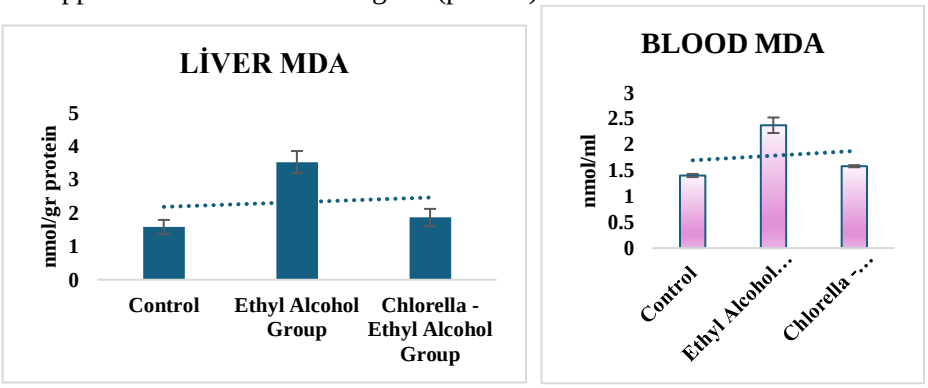


FIGURE 3. Changes in liver and blood MDA levels of the groups.

Changes in Liver and Blood GSH Levels

Changes in GSH levels of the groups are given in Figure 4. It was found that liver and blood GSH levels, which decreased with ethyl alcohol, increased statistically significantly between the groups with the application of Chlorella vulgaris ($p<0.001$).

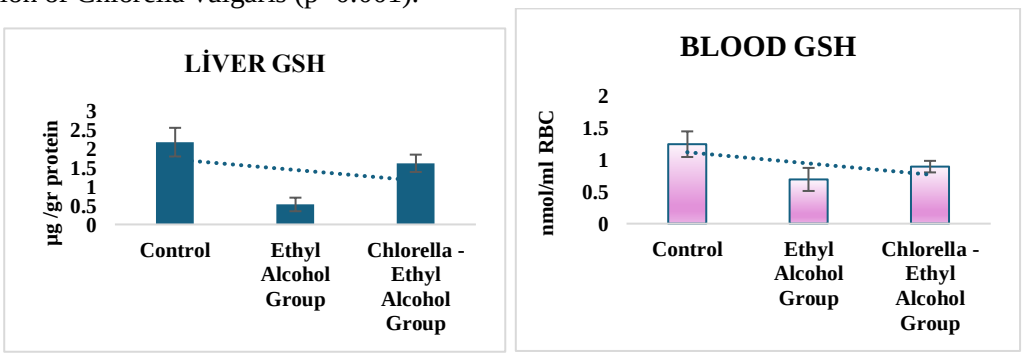


FIGURE 4. Changes in liver and blood GSH levels of the groups.

Liver NF-κB and CYP2E1 Enzyme Levels

Changes in NF-κB and CYP2E1 levels in the groups are given in Figure 5. It was found that liver NF-κB and CYP2E1 levels, which were elevated with ethyl alcohol, were statistically significantly decreased between the groups with the application of Chlorella vulgaris ($p<0.01$).

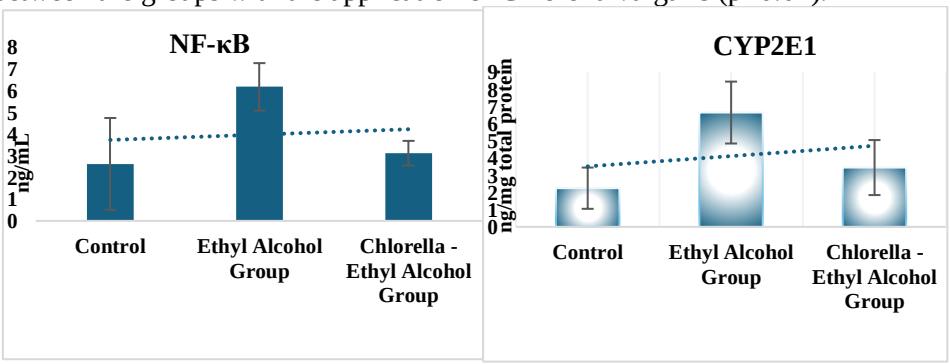


FIGURE 5. Changes in liver NF-Kb and CYP2E1 levels of the groups.

DISCUSSION

The main mechanisms of liver damage caused by alcohol consumption include oxidative stress, lipid peroxidation, activation of the inflammatory response, and deficiencies in the antioxidant defense system. Increased cytochrome P450 2E1 (CYP2E1) activity during ethanol metabolism, in particular, contributes to the development of hepatocellular oxidative damage by increasing the formation of

reactive oxygen species (Lu and Cederbaum 2008b, Contreras-Zentella et al 2022). It is reported that CYP2E1 plays a role in ethanol metabolism, as well as contributing to the formation of reactive oxygen species such as superoxide anion and hydrogen peroxide, and is therefore an important mechanism in ethanol-induced liver damage (Kessova and Cederbaum 2003, Caro and Cederbaum 2004). This study revealed that ethanol activates CYP2E1 activity and the NF-κB pathway via oxidative stress and inflammation by increasing lipid peroxidation and decreasing antioxidant enzyme activity, thereby enhancing cellular damage and deepening toxicity.

Increased plasma levels of enzymes such as AST, ALP, and GGT, which are produced in the liver and released into the bile, are also considered an indicator of impaired liver function. Altered liver enzyme activities due to liver damage in chronic and acute alcohol intoxication have been reported in many studies (Cai et al. 2015, Moradi et al 2021). A systematic review of studies with *C. vulgaris* also reported that supplementation with this microalgae may be associated with positive changes in liver function markers (Yarmohammadi et al. 2021). In our study, the significantly different AST and ALP activities of the ethyl alcohol group compared to other groups supports the negative functional changes caused by ethanol exposure on the hepatobiliary system. Conversely, this suggests that *C. vulgaris* administration may contribute to limiting the biochemical changes caused by ethanol.

It is known that ethanol metabolism increases ROS formation and is one of the important mechanisms of hepatocellular oxidative damage (Contreras-Zentella et al 2022). Alcohol dehydrogenase, catalase, and especially the CYP2E1-mediated microsomal ethanol oxidation system are involved in the metabolism of ethanol in the liver. Reactive oxygen species formed during these metabolic processes cause oxidative stress when cellular antioxidant capacity is exceeded. In addition, MDA is a commonly used indicator of lipid peroxidation, and previous studies have shown that liver lipid peroxidation increases with ethanol exposure. It is reported that polyunsaturated fatty acids, especially those in membrane phospholipids, become more susceptible to oxidative damage as a result of ethanol-induced oxidative stress (Comporti et al. 2010, Das and Vasudevan 2007, Setshedi et al. 2010). Our study found a significant increase in liver ROS levels with ethanol administration, indicating that ethanol metabolism causes oxidative stress. It is also important that the ROS findings in our study are parallel to the MDA results. The increase in both liver and blood MDA levels in the Ethyl Alcohol group suggests that increased oxidative stress increases peroxidation in membrane lipids. In contrast, the significant reduction in blood MDA and liver MDA and ROS levels in the C. vulgaris treated group indicates that this treatment can limit ethanol-induced lipid peroxidation.

Studies have investigated the antioxidant properties of plants in liver cells during various intoxications, their ability to reduce lipid peroxidation, increase antioxidant enzymes, and lower liver enzymes (Dobrzyńska 2010, Szachowicz-Petelska 2012, Farage et al. 2025). GSH is one of the main non-enzymatic antioxidants of the cell, playing a significant role particularly in the detoxification of ROS and the limitation of oxidative damage.

A close relationship has been reported between CYP2E1-mediated oxidative stress and GSH homeostasis, and it is suggested that decreasing GSH levels may increase cellular susceptibility to CYP2E1-induced oxidative damage (Caro and Cederbaum 2004, Jimenez-Lopez and Cederbaum 2005). Our study showed a significant decrease in liver and blood GSH levels with ethanol administration, indicating that the antioxidant defense system is suppressed during ethanol exposure. However, the significant increase in liver and blood GSH levels after Chlorella vulgaris administration suggests that C. vulgaris administration may contribute to the preservation of antioxidant defense capacity. It has been evaluated that the application of Chlorella vulgaris can prevent acetaldehyde-induced glutathione depletion and lipid peroxidation damage.

The increase in CYP2E1 in response to ethanol exposure is considered one of the central mechanisms in the development of ethanol-induced oxidative stress. CYP2E1 not only participates in ethanol metabolism but also contributes to the formation of ROS such as superoxide and hydrogen peroxide through the transfer of electrons to oxygen. Therefore in our study, the observation of increased CYP2E1, increased ROS, and elevated MDA in the same group in our study suggests a biologically significant relationship between these parameters. The observation that the decrease in CYP2E1 levels is accompanied by a decrease in ROS and MDA levels and an increase in GSH levels suggests that C. vulgaris may modulate CYP2E1-related mechanisms involved in the development of ethanol-induced oxidative stress. However, the findings here do not prove that the CYP2E1 decrease is directly mediated by C. vulgaris. Our findings show that a change consistent with a decrease in CYP2E1-mediated oxidative stress occurs.

Our study showed that ethyl alcohol significantly increased NF-κB levels, indicating that ethanol exposure activates inflammatory signaling pathways as well as oxidative stress. There is a bidirectional relationship between oxidative stress and inflammation. It has been reported that ROS, formed as a result of ethanol metabolism, can contribute to the emergence of an inflammatory response by affecting cellular signaling pathways (Lee et al. 2003, Byun and Lee 2015). Conversely, activation of inflammatory cells and signaling pathways can also lead to a further increase in oxidative stress. Therefore we suggest that alcohol-induced liver damage is considered not only as direct oxidative damage, but also as a multifactorial process in which oxidative stress and inflammation reinforce each other. The significant reduction in NF-κB levels in our study following C. vulgaris application suggests that microalgae treatment may contribute to limiting the ethanol-induced inflammatory response. The specific signaling mechanism through which the change in NF-κB levels occurs could not be directly elucidated in this study. Therefore, future studies evaluating IκBα, p-IκBα, p65/NF-κB nuclear translocation, and inflammatory markers such as TNF-α, IL-1β, and IL-6, which are downstream targets of NF-κB, may enable a more detailed explanation of the mechanism.

In conclusion, the findings of this study suggest that C. vulgaris administration may be associated with reducing oxidative stress, supporting antioxidant defenses, and suppressing the inflammatory response in liver damage due to ethanol exposure. On the other hand, more detailed molecular studies are needed to determine whether the effect of C. vulgaris on CYP2E1 and NF-κB is direct or a secondary consequence of the reduction in ROS levels. In this context, further studies evaluating the different components of oxidative stress, inflammation, and antioxidant response together will contribute to a more comprehensive understanding of the possible protective mechanism of C. vulgaris against ethanol-induced hepatotoxicity.

ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank the PhD and Master's students of the Physiology Department of the Faculty of Veterinary Medicine at Kafkas University, and the "Local Ethics Committee" of Kafkas University (HAYDEK Decision No: 2014/43) for their support and assistance in this study.

REFERENCES

Bhopale K.K., Boor H. Wu, P.J., Popov V.L., Ansari G.A.S., Kaphalia B.S.: Metabolic basis of ethanol-induced hepatic and pancreatic injury in hepatic alcohol dehydrogenase deficient deer mice. Alcohol, 39: 179–188, 2006.

Byun HG, Lee JK. Chlorella ethanol extract induced phase II enzyme through NFE2L2 (nuclear factor [erythroid-derived] 2-like 2, NRF2) activation and protected ethanol-induced hepatoxicity. J Med Food. 2015 Feb;18(2):182-9. doi: 10.1089/jmf.2014.3159. Epub 2015 Jan 20. PMID: 25602788.

Cai X, Yang Q, Wang S. Antioxidant and hepatoprotective effects of a pigment–protein complex from Chlorella vulgaris on carbon tetrachloride-induced liver damage in vivo. RSC Adv. 2015;5:96097-96104. doi:10.1039/C5RA17544E.

Caro AA, Cederbaum AI. Oxidative stress, toxicology, and pharmacology of CYP2E1. Annu Rev Pharmacol Toxicol. 2004;44:27-42. doi: 10.1146/annurev.pharmtox.44.101802.121704. PMID: 14744237.

Cederbaum A.I.: Role of CYP2E1 in ethanol-induced oxidant stress, fatty liver and hepatotoxicity, Dig. Dis., 28, 802–811, 2010.

Comporti M, Signorini C, Leoncini S, Gardi C, Ciccoli L, Giardini A, Vecchio D, Arezzini B. Ethanol-induced oxidative stress: basic knowledge. Genes Nutr. 2010 Jun;5(2):101-9. doi: 10.1007/s12263-009-0159-9. Epub 2009 Dec 24. PMID: 20606811; PMCID: PMC2885167.

Contreras-Zentella ML, Villalobos-García D, Hernández-Muñoz R. Ethanol Metabolism in the Liver, the Induction of Oxidant Stress, and the Antioxidant Defense System. Antioxidants (Basel). 2022 Jun 26;11(7):1258. doi: 10.3390/antiox11071258. PMID: 35883749; PMCID: PMC9312216.

Das SK, Vasudevan DM. Alcohol-induced oxidative stress. Life Sci. 2007;81(3):177-187.

Dobrzyńska, I., Szachowicz-Petelska, B., Skrzydlewska, E., & Figaszewski, Z. (2010). Effect of L-carnitine on liver cell membranes in ethanol-intoxicated rats. *Chemico-biological interactions*, *188*(1), 44-51.

Farage, A. E., Abdel-Kareem, M. A., Taha, M., Abubakr, S., Helal, N. E., Hendawy, M., ... and Ibrahim, M. M. (2025). Protective effect of Chlorella vulgaris against experimental hepatic ischemia reperfusion injury downregulating oxidative stress, inflammation, and apoptosis. *Anatomy & Cell Biology*, *58*(3), 460-472.

Gao W, Zhou P, Ma X, Tschudy-Seney B, Chen J, Magner NL2 Revzin A, Nolta JA, Zern MA, Duan Y: Ethanol Negatively Regulates Hepatic Differentiation of hESC by Inhibition of the MAPK/ERK Signaling Pathway In Vitro. 13;9(11):112698, 2014.

Hasegawa T, Matsuguchi T, Noda K, Tanaka K, Kumamoto S, Shoyama Y, et al. Tolllike receptor 2 is at least partly involved in the antitumor activity of glycoprotein from Chlorella vulgaris. Int J Immunopharmacol, 2: 579-89, 2002.

Jimenez-Lopez JM, Cederbaum AI. CYP2E1-dependent oxidative stress and toxicity: role in ethanol-induced liver injury. Expert Opin Drug Metab Toxicol. 2005;1(4):671-685.

Kaphalia L, Boroumand N, Hyunsu J, Kaphalia BS, Calhoun WJ: Ethanol metabolism, oxidative stress, and endoplasmic reticulum stress responses in the lungs of hepatic alcohol dehydrogenase deficient deer mice after chronic ethanol feeding. Toxicol Appl Pharmacol. 1;277(2):109-17, 2014.

Kessova I, Cederbaum AI. CYP2E1: biochemistry, toxicology, regulation and function in ethanol-induced liver injury. Curr Mol Med. 2003 Sep;3(6):509-18. doi: 10.2174/1566524033479609. PMID: 14527082.

Lee HS, Choi CY, Cho C, Song Y. Attenuating effect of chlorella supplementation on oxidative stress and NFkappaB activation in peritoneal macrophages and liver of C57BL/6 mice fed on an atherogenic diet. Biosci Biotechnol Biochem. 2003 Oct;67(10):2083-90. doi: 10.1271/bbb.67.2083. Erratum in: Biosci Biotechnol Biochem. following 2003 Dec;67(12):2686.PMID:14586094. https://doi.org/10.1271/bbb.67.2083

Lu Y, Cederbaum AI. CYP2E1 and oxidative liver injury by alcohol. Free Radic Biol Med; 44(5):723-38, 2008a. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2007.11.004. Epub 2007 Nov 17. PMID: 18078827; PMCID: PMC2268632.

Lu Y, Zhuge J, Wang X, Bai J and Cederbaum A. I.: Cytochrome P450 2E1 contributes to ethanol-induced fatty liver in mice. Hepatology, 47(5):1483-1494**,** 2008b.

Moradi M. N., Behrouj H., Alipoor B., Kheiripour N., Ghasemi H., Ghasemi H. (2021). Chlorella vulgaris is an effective supplement in counteracting non-alcoholic fatty liver disease-related complications through modulation of dyslipidemia, insulin resistance, and inflammatory pathways. Journal of food biochemistry, 45(10), e13914.

Saad, S. M., Yusof, Y. A. M., Ngah, W. Z. W. (2006). Comparison between locally produced Chlorella vulgaris and Chlorella vulgaris from Japan on proliferation and apoptosis of liver cancer cell line, HepG2. *Malays J Biochem Mol Biol*, *13*, 32-36.

Setshedi M, Wands JR, Monte SM. Acetaldehyde-mediated epigenetic changes in chronic alcohol abuse. Alcohol Res. 2010;33(1-2):17-30.

Szachowicz-Petelska, B., Dobrzyńska, I., Skrzydlewska, E., & Figaszewski, Z. (2012). Protective effect of blackcurrant on liver cell membrane of rats intoxicated with ethanol. *The Journal of Membrane Biology*, *245*(4), 191-200.

Wang B, Ye T, Li C, Li X, Chen L, Wang G (2022). Cell damage repair mechanism in a desert green algae Chlorella sp. against UV-B radiation. *Ecotoxicology and environmental safety*, *242*, 113916. ISSN 0147-6513, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113916.

Yarmohammadi S, Hosseini-Ghatar R, Foshati S, Moradi M, Hemati N, Moradi S, Kermani MAH, Farzaei MH, Khan H. Effect of *Chlorella vulgaris* on Liver Function Biomarkers: a Systematic Review and Meta-Analysis. Clin Nutr Res. 2021 Jan 29;10(1):83-94. doi: 10.7762/cnr.2021.10.1.83. PMID: 33564655; PMCID: PMC7850816.

SIĞIRLARDA ERKEN TEŞHİS EDİLMİŞ, KOMPLİKE OLMAYAN İNTERDİGİTAL HİPERPLASİA SAĞILTIMINDA SALİSİLİK ASİT BANDAJI KULLANIMININ ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF SALICYLIC ACID BANDAGE USE IN THE TREATMENT OF EARLY DIAGNOSED, UNCOMPLICATED INTERDIGITAL HYPERPLASIA IN CATTLE

Prof. Dr. Alkan KAMİLOĞLU
Department of Surgery, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2722-8190

Prof. Dr. Nadide Nabil KAMİLOĞLU
Department of Physiology, Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8645-7957

Özet
İnterdigital Hiperplasia (Limax) (IH), sığırlarda topallığın neden olan önemli bir ayak hasalığıdır. Başlangıçta interdigital phlegmon özelliği gösteren hastalık zamanla interdigital aralıktaki kitlenin büyümesi ile kitlenin intrdigital aralığa yapığı basınçla sığırlarda ciddi topallığa neden olur. Kitle bir nohut büyüklüğünden bir yumurta büyüklüğüne kadar ulaşabilir. Kitle büyüdükçe sığırlarda topallık artar. Genelikle sığırlarda interdigital phlegmon gibi ayak hastalıklarının bir komplikasyonu olarak da ortaya çıkabilir. Çalışmanın amacı, erken teşhis edilmiş IH'si olan sığırlarda interdigital boşluğa uygulanan salisilik asit bandajının tedavi etkisini değerlendirmektir. Çalışmaya, üreticiler tarafından teşhis edilmiş ve tedavi edilmemiş IH'li sığırlar (n = 16) dahil edilmiştir. 0. günde rektal sıcaklık, genel durum, kitle büyüklüğü ve topallık skoru kaydedilmiştir. Sığırlar hareketsiz hale getirilmiş ve interdigital boşluk temizlenip incelenmiş ve interdigital hiperplasia tanısı konmuştur. Tedavi için, interdigital boşluğa iki yemek kaşığı %100 salisilik asit tozu uygulanmış ve ardından ilgili ayak bandajlanmıştır. Yedi gün süre ile günlük olarak rektal sıcaklık, genel durum ve topallık skoru kaydedilmiştir. Salisilik asit ile IH tedavisi tatmin edici bir sonuca ulaşmıştır. Tedaviye başlandığı güne kıyasla, dört ile altı gün içinde tedavi edilen sığırlarda topallıkta azalma, vücut sıcaklığında düşüş, kile büyüklüğünde azalma ve genel durumda iyileşme gözlendi. Bu nedenle salisilik asitin, erken teşhis edilmiş ve komplike olmayan IH tedavisinde alternatif bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır.
Anahtar kelimeler: İnterdigital Hiperplasia, Limax, Topallık, Ayak, Sağalım

Abstract
Interdigital hyperplasia (Limax) (IH) is a significant foot disease causing lameness in cattle. Initially exhibiting characteristics of interdigital phlegmon, the disease progresses over time, with the growth of a mass in the interdigital space and the pressure exerted by this mass on the interdigital space causing severe lameness in cattle. The mass can range in size from a pea to an egg. As the mass grows, lameness in cattle increases. It can also occur as a complication of other foot diseases such as interdigital phlegmon in cattle. The aim of this study is to evaluate the therapeutic effect of salicylic acid bandaging applied to the interdigital space in cattle with early-diagnosed IH. The study included cattle (n = 16) diagnosed by producers with untreated IH. On day 0, rectal temperature, general condition, mass size, and lameness score were recorded. The cattle were immobilized, and the interdigital space was cleaned and examined to diagnose interdigital hyperplasia. For treatment, two tablespoons of 100% salicylic acid powder were applied to the interdigital space, followed by bandaging of the affected foot. Rectal temperature, general condition, and lameness score were recorded daily for seven days. Treatment of IH with salicylic acid yielded satisfactory results. Within four to six days of initiation of treatment, a reduction in lameness, a decrease in body temperature, a reduction in bushel size, and an improvement in general condition were observed in treated cattle. Therefore, it was concluded that salicylic acid is an alternative method in the treatment of early diagnosed and uncomplicated IH.
Keywords: Interdigital Hyperplasia, Limax, Lameness, Foot, Treatment

FROM INTERVENTION ERAS TO DEMOCRATIC GOVERNANCE: THE EVOLUTION OF MILITARY DISCOURSE AND CIVIL-MILITARY RELATIONS IN TÜRKİYE

Asst. Prof. Dr. Şeyda BÜKRÜCÜ KAZKONDU
Department of Management and Organization, Devrek Vocational School, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1170-317X

Abstract
Civil-military relations constitute one of the most dynamic and critical areas of debate in Türkiye's modernization and democratization process. Throughout the history of the Republic, the military positioned itself as the guardian and protector of the regime; this institutional identity transformed into concrete practices of tutelage through the military interventions of 1960, 1971, 1980, and most recently, the 2016 coup attempt. However, with the 2000s, the European Union harmonization processes and subsequent structural reforms led to a fundamental shift in Turkish civil-military relations, establishing democratic control mechanisms based on the supremacy of civilian authority. The purpose of this study is to analyze this historical transformation in Turkish civil-military relations through the shifts in the institutional discourse of the military. The study comparatively examines the declarations published during military intervention periods, the justifications for coups, and institutional statements alongside official discourses in the modern democratic oversight process. The methodological framework of the research is based on a qualitative content analysis conducted under the guidance of the "Principal-Agent Theory" in the civil-military relations literature. In this direction, the study demonstrates how the tutelary discourse of past periods has evolved into a discourse of adherence to the constitutional order and subordination to civilian authority today. The findings indicate that the political role and institutional narrative of the military in Türkiye have changed radically not only through legal regulations but also at the discursive level. In conclusion, by reinterpreting Turkey's history of coups in light of civil-military relations theories, this study offers an original perspective that contributes to the literature on the role of institutional discourse transformation in democratization processes.
Keywords: Civil-Military Relations, Democratic Oversight, Military Interventions, Military Discourse, Principal-Agent Theory.

Özet
Sivil-asker ilişkileri, Türkiye'nin modernleşme ve demokratikleşme serüveninin en dinamik ve kritik tartışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Cumhuriyet tarihi boyunca ordu, kendisini rejimin koruyucusu ve kollayıcısı olarak konumlandırmış; bu kurumsal kimlik 1960, 1971, 1980 ve en güncel olarak 2016 darbe kalkışması ile somut birer vesayet pratiğine dönüşmüştür. Ancak 2000'li yıllarla birlikte, Avrupa Birliği uyum süreçleri ve ardından yaşanan yapısal reformlar, Türkiye'de sivil-asker ilişkilerinde köklü bir eksen kaymasına yol açmış ve sivil iradenin üstünlüğüne dayalı demokratik denetim mekanizmaları inşa edilmiştir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de sivil-asker ilişkilerinde yaşanan bu tarihsel dönüşümü, ordunun kurumsal söylemindeki değişimler üzerinden analiz etmektir. Çalışmada, askeri müdahale dönemlerinde yayınlanan bildiriler, darbe gerekçeleri ve kurumsal açıklamalar ile modern demokratik denetim sürecindeki resmi söylemler karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Araştırmanın yöntemsel zeminini, sivil-asker ilişkileri literatüründeki "Ajans Teorisi" (Principal-Agent Theory) rehberliğinde yürütülen nitel içerik analizi oluşturmaktadır. Bu doğrultuda, geçmiş dönemlerdeki vesayetçi söylemin, günümüzde anayasal düzene bağlılık ve sivil otoriteye tabiiyet söylemine nasıl evrildiği ortaya konmaktadır. Elde edilen bulgular, Türkiye'de ordunun siyasal alandaki rolünün ve kurumsal anlatısının sadece yasal düzenlemelerle değil, söylemsel düzeyde de radikal bir biçimde değiştiğini göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışma, Türkiye'deki darbe tarihini sivil-asker ilişkileri teorileri ışığında yeniden yorumlayarak, kurumsal söylem dönüşümünün demokratikleşme süreçlerindeki rolünü literatüre katkı sağlayacak özgün bir perspektifle sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Sivil-Asker İlişkileri, Demokratik Denetim, Askeri Müdahaleler, Ordu Söylemi, Ajans Teorisi.

SOSYAL MEDYADA GÖRÜNME ARZUSU VE KAYBOLMA KORKUSU: DİJİTAL ÖZNE ÜZERİNE KURAMSAL BİR OKUMA

THE DESIRE FOR VISIBILITY AND THE FEAR OF DISAPPEARING ON SOCIAL MEDIA: A THEORETICAL READING OF THE DIGITAL SUBJECT

Asst. Prof. Dr. Ferhat ATİK
Department of Communication and Media Management, Faculty of Communication, Girne American University, Girne, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0009-0008-9089-9051

Özet
Bu bildiri, sosyal medya ortamlarında görünür olma arzusunun ve görünmez kalma korkusunun dijital öznenin kimlik performansını nasıl biçimlendirdiğini iletişim bilimi perspektifinden incelemektedir. Çalışmanın temel problemi, çağdaş medya ekosistemlerinde bireyin yalnızca mesaj alan ya da mesaj üreten bir aktör olarak değil, sürekli uyarılan, ölçülen, yönlendirilen ve duygusal olarak biçimlendirilen kırılgan bir özne olarak konumlanmasıdır. Bu çerçevede çalışma, dijital benlik, performatif kimlik, görünürlük kültürü ve platform sosyolojisi yaklaşımları arasında disiplinlerarası bir bağ kurarak konuyu yalnızca teknik medya kullanımı düzeyinde değil, psikolojik, etik ve kültürel sonuçları bakımından ele almaktadır. Yöntem bakımından eleştirel kuramsal çözümleme ve kavramsal karşılaştırma yöntemi benimsenmiştir. Bildiri, önce kavramın kuramsal sınırlarını belirlemekte, ardından bu kavramın dijital medya pratikleri, gündelik iletişim biçimleri ve toplumsal anlam üretimi içinde nasıl görünür hale geldiğini tartışmaktadır. Analiz, iletişim süreçlerinin nötr ve araçsal yapılar olmadığı; aksine öznenin dikkatini, duygusunu, hafızasını ve ilişki kurma biçimini dönüştüren aktif anlam sistemleri olduğu varsayımına dayanmaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, tartışılan olguyu tekil bir medya davranışı olarak değil, günümüz iletişim kültürünün daha geniş bir semptomu olarak kavramsallaştırmasıdır. Bu yönüyle bildiri, iletişim süreçlerinde görünür olan davranışların arkasındaki duygu, dikkat, güç ve anlam ilişkilerini birlikte okumayı önermekte; böylece güncel medya tartışmalarına daha bütüncül bir teorik zemin kazandırmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda bildirinin temel savı şudur: dijital özne, kendisini ifade ettiği ölçüde özgürleşmemekte; çoğu zaman beğeni, görünürlük ve algoritmik hatırlanma zorunluluğu içinde yeni bir bağımlılık alanına girmektedir. Bu nedenle bildiri, kuramsal tartışmanın pratik iletişim etiğiyle birlikte düşünülmesi gerektiğini vurgular. Sonuç olarak çalışma, çağdaş iletişim ortamlarında daha bilinçli, etik, yavaş, seçici ve insan merkezli bir iletişim anlayışının geliştirilmesi gerektiğini savunmaktadır.
Anahtar kelimeler: görünürlük, dijital özne, sosyal medya, kimlik performansı, kaybolma korkusu, platform kültürü

Abstract
This paper examines how the desire for visibility and the fear of invisibility shape identity performance in social media environments from the perspective of communication studies. The central problem of the study is that, within contemporary media ecosystems, the individual is no longer positioned merely as a receiver or producer of messages, but as a fragile subject who is continuously stimulated, measured, directed, and affectively shaped.
Within this framework, the paper establishes an interdisciplinary connection between digital selfhood, performative identity, visibility culture, and platform sociology and approaches the issue not only as a matter of technical media use, but also in terms of its psychological, ethical, and cultural consequences. Methodologically, the study adopts critical theoretical analysis and conceptual comparison. The paper first clarifies the conceptual boundaries of the topic and then discusses how the phenomenon becomes visible within digital media practices, everyday communication patterns, and the social production of meaning.
The analysis is based on the assumption that communication processes are neither neutral nor merely instrumental structures; rather, they are active systems of meaning that transform attention, emotion, memory, and modes of relationality. The original contribution of the paper lies in conceptualizing the phenomenon not as an isolated media behavior, but as a broader symptom of contemporary communication culture.

In this sense, the paper proposes reading visible communicative behaviors together with the underlying relations of affect, attention, power, and meaning; it thus aims to provide a more integrated theoretical ground for current debates in media and communication studies. In this respect, the main argument of the paper is that the digital subject does not necessarily become freer by expressing itself; rather, it often enters a new field of dependence structured by likes, visibility, and algorithmic remembrance. In conclusion, the study argues for a more conscious, ethical, and human-centered understanding of communication today.
Keywords: visibility, digital subject, social media, identity performance, fear of disappearing, platform culture

İNSAN DIŞI VARLIKLARIN HUKUKİ KORUMA YÜKÜMLÜLÜĞÜ VE SINIRLARI

THE LEGAL DUTY OF PROTECTION FOR NON-HUMAN ENTITIESAND ITS LIMITS

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR
Department of Private Law, Faculty of Law, Cyprus Aydın University, Girne, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0000-0003-0710-8375

Lecturer Dr. Ecem KOCAOĞLAN
Department of Public Law, Faculty of Law, Cyprus Aydın University, Girne, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0009-0007-9955-4327

ÖZET

Modern hukuk sistemleri yıllar boyunca hukuki korumanın merkezine insanı yerleştirmiş; hak ehliyeti, hukuki kişilik ve temel haklar büyük ölçüde insan merkezli bir anlayış üzerine inşa edilmiştir. Günümüzde hayvan hakları, doğa hakları, ekosistemlerin korunması, gelecek kuşakların menfaatleri ve yapay zekâ gibi yeni tartışma alanlarının ortaya çıkması, hukuki korumanın kapsamı ve sınırlarının yeniden değerlendirilmesini gerektirmiştir. Artık hukuk, yalnızca insanın haklarını düzenleyen bir sistem olmaktan çıkarak insan dışındaki varlıkların hangi gerekçelerle ve hangi ölçüde korunması gerektiği sorusuna cevap aramaktadır. Çalışmamızda, insan dışı varlıkların hukuki korunmasını klasik hukuki statü tartışmalarının ötesine taşıyarak, insan dışı varlıkların korunmasının, yalnızca hukuki kişilik veya hak ehliyeti tartışmalarıyla açıklanamayacağına, asıl tartışmanın hukukun koruma yükümlülüğünün sınırları ve gerekçesi üzerinde yoğunlaşması gerektiğine odaklanmıştır.

Hukuki koruma, yalnızca hak sahibi öznelere tanınan bir sonuç değil, korunmaya değer varlıkların hukuk düzeni içerisinde görünür hâle getirilmesini sağlayan, temel bir normatif işlevdir. Çalışmada hayvan hakları, doğa hakları ve ekolojik koruma yaklaşımları değerlendirilerek, hukuki kişilik, temsil, hukuki görünürlük ve kırılganlık kavramlarıyla birlikte insan dışı varlıkların korunmasına ilişkin ortak normatif temeller araştırılmaya çalışılmaktadır. Böylece hukuki korumanın yalnızca hak sahipliğine değil, korunmaya değer varlıkların özelliklerine ve yaşamın bütünlüğüne dayanan daha kapsayıcı bir anlayış çerçevesinde yeniden yorumlanması sağlanabilir. Zira çağdaş hukuk, karşı karşıya bulunduğu dönüşümle yeni hak kategorileri oluşturmanın ötesinde, hukuki korumanın teorik temellerini de yeniden inşa etmek zorundadır. Bu kapsamda önerilen hukuki korumanın gerekçesi, hukuki statü yanında kırılganlık, temsil ihtiyacı, hukuki görünürlük ve korunmaya değer olma ölçütlerinin birlikte değerlendirilmesine dayandırılmaktadır. İnsan dışı varlıkların korunması, istisnai bir hukuk politikası tercihi olmaktan çıkarak, çağdaş hukukun gelişim yönünü belirleyen genel bir koruma anlayışının parçası hâline gelmekte ve insan dışı varlıkların hukuki korunmasına ilişkin tartışmaların, hukuki statü ve kişilik ekseninden koruma ve korunma temeline doğru kaydığı görülmektedir.

Bu tartışmaların hayvan hakları, doğa hakları, biyohukuk, gelecek kuşakların korunmasıyla gelişen teknoloji karşısında hukukun koruma işlevinin yeniden tanımlanmasında teorik bir zemin oluşturabileceği şimdiden öngörülebilir.

Anahtar Kelimeler: Hukuki koruma, insan dışı varlıklar, hayvan hakları, doğa hakları, hukuki görünürlük, kırılganlık, hukuk teorisi.

ABSTRACT

For many years, modern legal systems have placed human beings at the center of legal protection, constructing concepts such as legal personality, legal capacity, and fundamental rights upon an anthropocentric foundation. However, the emergence of new fields of debate—including animal rights, the rights of nature, ecosystem protection, the interests of future generations, and artificial intelligence—has made it necessary to reconsider both the scope and the limits of legal protection. Law is no longer concerned solely with regulating human rights; it must also address the normative question of why and to what extent non-human entities deserve legal protection. This study moves beyond the traditional debates on legal status and argues that the protection of non-human entities cannot be adequately explained solely through the concepts of legal personality or legal capacity.

Instead, it maintains that the central issue should be the justification and limits of the legal duty of protection. Legal protection should not be regarded merely as a consequence of possessing rights but as a fundamental normative function through which entities worthy of protection become legally visible within the legal order. Drawing upon discussions on animal rights, the rights of nature, and ecological protection, the study explores the common normative foundations of protecting non-human entities through the concepts of legal personality, representation, legal visibility, and vulnerability. It argues that legal protection should be reinterpreted within a more inclusive framework based not only on rights-holding but also on the characteristics of entities deserving protection and on the integrity of life itself. Contemporary law is therefore required not only to recognize new categories of rights but also to reconstruct the theoretical foundations of legal protection. Within this framework, the proposed justification for legal protection rests on the combined evaluation of legal status, vulnerability, the need for representation, legal visibility, and protectability. Accordingly, the protection of non-human entities should no longer be viewed as an exceptional legal policy but as an integral component of a general theory of legal protection that defines the future direction of contemporary law. The study concludes that debates concerning non-human entities are gradually shifting from questions of legal status and personality toward a protection-centered approach, providing a theoretical foundation for redefining the protective function of law in areas such as animal rights, the rights of nature, biolaw, the protection of future generations, and emerging technologies.
Keywords: Legal protection, non-human entities, animal rights, rights of nature, legal visibility, vulnerability, legal theory.

GİRİŞ

Modern hukuk düşüncesinin kavramsal mimarisi büyük ölçüde insan özne etrafında kurulmuştur. Hak ehliyeti, hukuki kişilik, irade, özerklik, sorumluluk ve temel haklar gibi temel kategoriler tarihsel olarak insanın hukuk düzeni içerisindeki konumunu açıklamak üzere geliştirilmiş; insan dışındaki varlıklar ise çoğunlukla hukuki ilişkilerin öznesi değil, konusu olarak değerlendirilmiştir. Hayvanlar, doğal varlıklar ve ekosistemler bu model içerisinde esas itibarıyla mülkiyetin, ekonomik kullanımın veya kamusal düzenlemenin nesnesi hâline gelmiş; bunlara ilişkin koruma da uzun süre insanın mülkiyet, sağlık, ekonomik refah veya çevresel yaşam koşullarına ilişkin menfaatleri üzerinden gerekçelendirilmiştir (Stone, 1972, ss. 450–456; Francione, 1995, ss. 17–32).

Bununla birlikte çağdaş hukukta hayvanların statüsü, doğanın hakları, nehir ve ekosistemlere hukuki kişilik tanınması, biyolojik çeşitliliğin korunması ve gelecek kuşaklara yönelik sorumluluklar etrafında gelişen tartışmalar, hukuki korumanın öznesi ve gerekçesi hakkında daha temel sorular ortaya çıkarmıştır. Bu gelişmeler, yalnızca hukukun koruma alanını genişletmemekte; aynı zamanda "kim hak sahibidir?", "kim hukuki kişi olabilir?" ve "hukuken korunmanın ön koşulları nelerdir?" sorularını birbirinden ayırmayı zorunlu hâle getirmektedir (Stone, 1972, ss. 456–482; Kurki, 2019, ss. 91–126; Stucki, 2020, ss. 533–560).

Özellikle hukuki kişilik tartışmasının insan dışı varlıkların korunmasına ilişkin bütün meseleleri taşıyabilecek tek teorik zemin olarak kullanılması sorunludur. Hukuki kişilik güçlü bir hukuki araçtır; hakların ileri sürülebilmesi, temsil, dava ehliyeti ve belirli kurumsal imkânlar bakımından önemli sonuçlar doğurabilir. Ancak bir varlığın korunabilmesi ile onun tam anlamıyla hukuki kişi olması aynı şey değildir. Hukuk düzeni bir varlığa kişilik tanımaksızın da onu özel koruma statüsüne alabilir, ona zarar verilmesini yasaklayabilir, belirli kamu makamlarına koruma yükümlülükleri yükleyebilir veya onun menfaatlerini temsil edecek kurumsal mekanizmalar kurabilir (Kurki, 2019, ss. 91–126; Kempers, 2022, ss. 533–556).

Bu ayrım çalışmanın temel problematiğini oluşturmaktadır. İnsan dışı varlıkların hukuk içerisindeki konumu yalnızca "hangi varlıklara hukuki kişilik tanınmalıdır?" sorusuna indirgenirse, koruma gerekçesi ile koruma aracı birbirine karıştırılmış olur. Oysa daha önce cevaplandırılması gereken soru şudur: Hukuk hangi varlıkları, hangi normatif gerekçelerle ve hangi ölçüde bağımsız bir koruma konusu hâline getirmelidir? Bu soru, hukuki statüden önce hukuki korumanın gerekçesine yönelmektedir.

Çalışmamız, insan dışı varlıkların hukuki korunmasının zorunlu olarak kişilik veya hak sahipliği üzerinden kurulması gerekip gerekmediğine odaklanmaktadır. Hukuki kişilik, korumanın olası araçlarından biridir; ancak korumanın normatif gerekçesi değildir.

Koruma gerekçesi daha önceki bir aşamada, söz konusu varlığın zarar görebilirliği, kendi menfaatlerini hukuk alanında temsil edememesi, uğradığı zararın hukuk tarafından bağımsız biçimde görünür kılınması ihtiyacı ve bu zararın kendi başına normatif önem taşıyıp taşımadığı üzerinden araştırılmalıdır.

1. İNSAN MERKEZLİ KORUMA MODELİ VE SINIRLARI

1.1. Hukuki Özne Merkezli Koruma Anlayışı

Modern hukuk sistemlerinde insan yalnızca hukuki kişiliğin paradigmatik örneği değil, aynı zamanda hukuki korumanın temel referans noktasıdır. Özel hukukta hak ehliyetine sahip gerçek kişi, anayasa hukukunda temel hakların taşıyıcısı birey ve ceza hukukunda sorumluluk yeteneğine sahip fail, farklı hukuk alanlarında aynı insan merkezli normatif mimarinin görünümleridir. İnsan dışındaki varlıklar ise geleneksel olarak bu özne modelinin dışında kalmış ve daha çok hakların konusu olarak değerlendirilmiştir.

Bu yapı hukuk tarihinin belirli koşullarında işlevsel olmakla birlikte, insan dışındaki varlıkların bütün hukuki konumunu açıklamakta giderek yetersiz kalmaktadır. Özellikle hayvanların duyarlı varlıklar olarak korunması ve doğal varlıkların yalnızca ekonomik kaynak değil ekolojik bütünlükler olarak dikkate alınması, hukuki korumanın kişi–eşya karşıtlığına bütünüyle indirgenemeyeceğini göstermektedir (Francione, 1995, ss. 17–32; Stucki, 2020, ss. 533–560; Kempers, 2022, ss. 533–556).

Antroposentrik koruma yaklaşımı, insan dışındaki varlıkların hiçbir zaman korunmadığı anlamına gelmez. Çevre hukuku, doğal kaynak düzenlemeleri ve hayvan refahına ilişkin normlar uzun süredir insan dışındaki varlıklar üzerinde koruyucu sonuçlar doğurmaktadır. Ancak bu korumanın gerekçesi büyük ölçüde insanın kendi menfaatleri üzerinden kurulmuştur. Bir doğal alan insan sağlığını koruduğu, ekonomik kaynak sağladığı veya gelecekte insanlar tarafından kullanılacağı için korunabilir; bir hayvana zarar verilmesi ise sahibinin malvarlığı veya toplumun ahlaki değerleri üzerinden yasaklanabilir.

Bu modelin temel sınırlılığı, insan dışındaki varlığın kendisinin hukuk tarafından bağımsız normatif değer taşıyan bir referans noktası hâline gelememesidir. Eğer bir nehrin kirlenmesi yalnızca insanın ekonomik kaybı veya sağlığına verilen zarar üzerinden değerlendiriliyorsa nehrin ekolojik bütünlüğündeki bozulma kendi başına hukuki zarar olarak görülmeyebilir. Benzer biçimde bir hayvanın acısı yalnızca sahibinin mülkiyet kaybına dönüştürülürse hayvanın kendisinin uğradığı zarar hukuk bakımından ikincil kalabilir.

Stone'un klasik çalışmasının teorik gücü, doğal varlıklara ilişkin koruma tartışmasını tam da bu noktada dönüştürmesidir. Stone, doğal varlıkların hukuk önünde temsil edilebilmesini, uğradıkları zararın kendi zararları olarak değerlendirilmesini ve sağlanacak giderimin onların onarımına yöneltilebilmesini tartışmıştır (Stone, 1972, ss. 464–482). Bu yaklaşımın önemi, yalnızca "doğaya hak tanınması" talebinde değil, hukuki zararın merkezini değiştirmesinde yatmaktadır.

Böyle bir değişim, insanın hukuk düzenindeki önemini ortadan kaldırmaz. İnsan onuru ve insan hakları çağdaş hukuk sistemlerinin temel normatif dayanakları olmaya devam etmektedir. Sorun, insanın korunması değil; yalnızca insan menfaatlerinin bağımsız normatif değer taşıdığı varsayımıdır. İnsan dışındaki varlıkların hukuki görünürlüğü, insan haklarının yerini almak yerine koruma alanını çoğullaştırmaktadır.

Bu nedenle çağdaş dönüşüm, insan merkezli hukuktan bütünüyle insan-sonrası bir hukuka geçiş olarak açıklanmamalıdır. Daha ölçülü bir ifade ile hukuk, insan dışındaki bazı varlıkların menfaat ve bütünlüklerini de bağımsız biçimde dikkate alabilecek bir koruma anlayışına yönelmektedir. Bu dönüşümün teorik sorunu, korumanın kimlere ve hangi gerekçelerle genişletileceğinin belirlenmesidir.

1.2. Kişi–Eşya İkiliğinin Yetersizliği

Kişi–eşya ayrımı modern özel hukukun temel kategorilerinden biridir. Kişi hakların öznesi, eşya ise hakların konusu olarak kabul edilir. Ancak hayvanların ve doğal varlıkların çağdaş hukuki konumu, bu ikili ayrımın bütün koruma ilişkilerini açıklamak bakımından yetersiz kalabileceğini göstermektedir.

Hayvanlar bir taraftan mülkiyet ilişkilerine konu olabilmekte, diğer taraftan sıradan eşyalara uygulanmayan özel refah ve koruma kurallarından yararlanmaktadır. Hayvanın gereksiz acıdan korunması veya sahibinin kullanım yetkisinin hayvanın refahı gerekçesiyle sınırlandırılması, hayvanın tamamen sıradan bir eşya olarak kavramsallaştırılmasını güçleştirmektedir (Francione, 1995, ss. 24–32; Stucki, 2020, ss. 533–560).

Bu durum iki farklı biçimde yorumlanabilir. İlk yaklaşım, kişi–eşya ikiliğinin aşılması için hayvanlara veya başka insan dışı varlıklara hukuki kişilik tanınmasını savunabilir. İkinci yaklaşım ise hukuki kişilik

tanınmadan da ara veya farklılaştırılmış koruma statülerinin mümkün olduğunu kabul edebilir. Kempers'in hayvanların hukuki kişiliğine ilişkin kademeli dönüşüm yaklaşımı, hukuki statünün bir anda gerçekleşen kategorik bir devrim yerine aşamalı biçimde değişebileceğini göstermektedir (Kempers, 2022, ss. 533–556).

Kurki'nin hukuki kişilik teorisi de bu noktada önemli bir kavramsal imkân sunmaktadır. Kurki, hukuki kişiliği tek ve bölünmez bir statü olarak değil, farklı hukuki konum ve yetkilerin bir araya gelmesinden oluşan yapı şeklinde incelemektedir. Böylece haklardan yararlanma, yükümlülük taşıma, hukuki işlem yapma veya temsil edilme gibi farklı unsurların birbirinden ayrıştırılabileceği ortaya çıkmaktadır (Kurki, 2019, ss. 91–126).

Bu yaklaşım insan dışı varlıkların korunması bakımından önemli bir sonuç doğurmaktadır: Aktif hukuki özne olma kapasitesi ile pasif biçimde hukuki korumadan yararlanma durumu birbirinden ayrılabilir. Bir hayvanın sözleşme yapamaması, onun bedensel bütünlüğünün hukuk tarafından bağımsız biçimde korunmasını engellemez. Bir nehrin irade açıklayamaması da onun ekolojik bütünlüğünün temsil yoluyla korunmasını kavramsal olarak imkânsız hâle getirmez.

Bu noktada insan dışındaki varlıkların bütünü için yeni ve tek bir "üçüncü kategori" yaratılması da çözüm değildir. Böyle bir kategori, farklı varlıkların özgün niteliklerini yeni bir soyut sınıf içinde eritme riski taşır. Daha uygun olan, hukuki statü, hak sahipliği ve koruma düzeyinin birbirinden ayrılmasıdır.

Hukuki statü, bir varlığın hukuk sistemindeki kategorik konumunu; hak sahipliği, belirli hukuki taleplerin doğrudan taşıyıcısı olup olmadığını; hukuki koruma ise söz konusu varlığın zarar görmesini engellemek veya menfaatlerini güvence altına almak üzere hangi normatif ve kurumsal araçların kullanıldığını ifade eder. Bu üç unsur her zaman aynı yönde ilerlemek zorunda değildir.

Bir varlık kişi olmadığı hâlde güçlü biçimde korunabilir veya kişilik benzeri bazı statülere sahip olduğu hâlde uygulamada zayıf biçimde korunabilir. Bu tespit, insan dışı varlıkların korunması bakımından statü tartışmasının neden tek başına yeterli olmadığını göstermektedir.

2. HUKUKİ KİŞİLİKTEN KORUNABİLİRLİĞE

2.1. Hukuki Kişiliğin Amaç Değil Araç Olarak Değerlendirilmesi

Hukuki kişilik, insan dışı varlıkların korunmasına ilişkin çağdaş tartışmalarda güçlü bir sembolik ve teknik araç olarak ortaya çıkmaktadır. Nehirlerin, ekosistemlerin veya başka doğal varlıkların hukuki kişi olarak tanınması, onların temsil edilmesi, mahkemeye erişmesi veya belirli hakların taşıyıcısı olarak kabul edilmesi bakımından önemli sonuçlar doğurabilir. Bununla birlikte hukuki kişiliğin etkili korumayla özdeşleştirilmesi sorunludur.

Doğa hakları alanında ortaya çıkan uygulamalar, hukuki kişilik veya hak tanınmasının etkisinin büyük ölçüde kurumsal tasarıma bağlı olduğunu göstermektedir. Bir doğal varlığa hak tanınması, onun adına kimin hareket edeceği, hangi menfaatlerin doğal varlığın menfaati sayılacağı ve çatışan insan menfaatleriyle nasıl denge kurulacağı sorularını kendiliğinden çözmez (O'Donnell, 2018, ss. 169–194; Tănăsescu, 2020, ss. 429–453; Jolly & Menon, 2021, ss. 467–492).

Bu nedenle hukuki kişiliğin korunmanın amacı değil, koruma gerekçesi belirlendikten sonra kullanılabilecek hukuki araçlardan biri olarak görülmesi daha isabetlidir. Bazı durumlarda kişilik, güçlü usulî ve maddi sonuçları nedeniyle en uygun araç olabilir. Başka durumlarda ise korunan alan statüsü, kamu makamlarına yüklenen pozitif yükümlülükler, geniş dava ehliyeti veya temsil mekanizmaları daha etkili sonuçlar sağlayabilir.

Bu ayrım, insan dışı varlıkların hukuki korunmasına ilişkin tartışmanın sırasını değiştirmektedir. Önce "kişi olabilir mi?" sorusunu sormak yerine, "korunması için yeterli normatif gerekçe var mı?" sorusu sorulmalıdır. Kişilik sorusu ancak ikinci aşamada ortaya çıkmalıdır.

2.2. Hak Sahipliği ile Koruma Arasındaki Ayrım

Hukuki haklar, modern hukuk düzeninde korumanın en güçlü biçimlerinden biridir. Bir menfaatin hak olarak tanınması, onun hukuki taleplere dönüşmesini, yargısal korumadan yararlanmasını ve başka menfaatler karşısında belirli bir normatif ağırlık kazanmasını sağlayabilir. Bununla birlikte bütün hukuki koruma sübjektif hak biçiminde kurulmaz.

Çevresel izin sistemleri, faaliyet yasakları, hayvan refahı yükümlülükleri, korunan alan statüleri ve kamu otoritelerinin denetim görevleri, her durumda doğrudan bir hak sahibinin varlığını gerektirmeksizin koruyucu sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle hak sahipliği ile koruma arasında zorunlu özdeşlik kurulamaz (Kurki, 2019, ss. 62–65; Stucki, 2020, ss. 540–548).

Bu ayrım insan dışı varlıklar bakımından özel önem taşımaktadır. Eğer bir hayvanın korunması için önce tam anlamıyla hak sahibi olduğunun gösterilmesi gerekiyorsa, koruma tartışması statü sorununa bağımlı hâle gelir. Oysa hukuk düzeni hayvanın acısını veya bedensel bütünlüğünü, onun bütün anlamlarıyla hukuki kişi olup olmadığı tartışmasından bağımsız biçimde koruyabilir.

Aynı şekilde bir ekosistem, hukuki kişi olmaksızın ekolojik bütünlüğü nedeniyle koruma konusu yapılabilir. Korunan alan statüleri bunun açık örneğidir. Dolayısıyla koruma, hak sahipliğine indirgenemeyen daha geniş bir hukuki işlevdir.

Bu yaklaşım hak kavramını zayıflatmamaktadır. Tam tersine, hak tanınmasını daha güçlü biçimde gerekçelendirmektedir. Önce varlığın neden korunması gerektiği ortaya konulur; ardından bu korumanın hak biçiminde kurulmasının gerekli olup olmadığı değerlendirilir. Böylece hak tanınması koruma gerekçesinin yerine geçen sembolik bir karar değil, uygun koruma araçlarından biri hâline gelir.

2.3. Korunabilirlik Kavramının İşlevi

Korunabilirlik kavramı, hukuki kişilik ile koruma arasındaki bu ayrımdan doğmaktadır. Kavramın amacı insan dışı varlıklar için yeni bir statü yaratmak değil, hukuk düzeninin bir varlığı bağımsız koruma konusu yapmadan önce hangi normatif soruları sorması gerektiğini belirlemektir.

Korunabilirlik bu anlamda statüden önce gelen bir değerlendirme eşiğidir. Hukuk önce koruma gerekçesinin mevcut olup olmadığını belirler; daha sonra bu korumanın hangi araçlarla gerçekleştirileceğine karar verir.

Bu yaklaşım iki karşıt riski aynı anda azaltmayı amaçlamaktadır. Bir taraftan, hukuki kişilik tanınmadığı için korunmaya değer varlıkların hukuk dışında bırakılmasını önlemektedir. Diğer taraftan, her insan dışı varlık bakımından otomatik olarak yeni hak veya kişilik kategorileri oluşturulmasını engelleyen normatif bir eşik kurmaktadır.

Korunabilirlik ölçütünün bu nedenle dört temel sorusu bulunmaktadır: Varlık ciddi biçimde zarar görebilir mi? Bu zarar veya menfaat hukuk sisteminde etkili biçimde temsil edilebiliyor mu? Hukuk söz konusu zararı başka bir insanın zararından bağımsız biçimde görebiliyor mu?

Meydana gelen kayıp kendi başına hukuk bakımından normatif önem taşıyor mu? Bu soruların birlikte cevaplandırılması, bir varlığın bağımsız hukuki koruma alanına girip girmemesi bakımından daha sistematik bir temel sağlayabilir.

Ancak korunabilirlik bu çalışmada tamamlanmış ve evrensel bir teori olarak ileri sürülmemektedir. Bildiri ölçeğinde kavram, insan dışı varlıkların korunmasını kişilik tartışmasından önce gerekçelendirmek amacıyla geliştirilen normatif bir değerlendirme çerçevesi olarak kullanılmaktadır. Kavramın daha geniş bir hukuk teorisine dönüştürülmesi, farklı varlık kategorileri ve farklı hukuk sistemleri bakımından ayrıca sınanmasını gerektirir.

3. İNSAN DIŞI VARLIKLARIN KORUNMASINDA FARKLI NORMATİF MODELLER

3.1. Hayvanlar: Duyarlılık, Bütünlük ve Bağımsız Menfaat

Hayvanların hukuki statüsü, korunabilirlik yaklaşımının sınanabileceği en açık alanlardan biridir. Hayvanların uzun süre mülkiyet nesnesi olarak değerlendirilmesi, onların korunmasının insan sahipliği ve ekonomik kullanım ilişkileri üzerinden şekillenmesine neden olmuştur. Hayvan refahı düzenlemeleri bu yapıya önemli sınırlamalar getirse de mülkiyet paradigmasının hayvan menfaatlerini yapısal olarak insan menfaatlerine tabi kıldığı yönünde güçlü eleştiriler bulunmaktadır (Francione, 1995, ss. 24–32).

Bu bağlamda hayvanın kendisine ait bağımsız menfaatlerin hukuk tarafından tanınması, korunabilirlik açısından belirleyicidir. Hayvanın acı çekmesi, yaralanması veya yaşamının ortadan kaldırılması yalnızca sahibinin ekonomik zararına indirgenemeyecek nitelikte olabilir. Bu zarar, hayvanın kendisine yönelen bir kayıptır.

Nussbaum'un kapasite yaklaşımı hayvanların korunmasına ilişkin normatif gerekçeyi yalnızca acının azaltılmasının ötesine taşımaktadır.

Hayvanların türlerine özgü yaşam biçimlerini gerçekleştirebilmeleri, hareket edebilmeleri, davranışsal ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri ve bedensel bütünlüklerini koruyabilmeleri adaletin konusu olarak değerlendirilmektedir (Nussbaum, 2004, ss. 299–319; Nussbaum, 2006, ss. 346–366).
Stucki'nin hukuki hayvan haklarına ilişkin yaklaşımı ise hayvanların korunmasının hukuki hak dili içerisinde nasıl sistematikleştirilebileceğini tartışmaktadır. Ancak bu tür yaklaşımlar, korunabilirlik çerçevesi bakımından hak tanınmasının koruma gerekçesinden sonra gelen bir aşama olduğunu göstermektedir. Hayvanın korunmasının normatif temeli, öncelikle onun zarar görebilirliği ve bağımsız menfaat taşıyıcılığıdır; hak bu temelin hukuki biçimlerinden biri olabilir (Stucki, 2020, ss. 533–560).
Hayvanlar bakımından korunabilirliğin dört unsuru belirgin biçimde görünmektedir. Duyarlılık ve bedensel zarar bakımından kırılganlık; kendi menfaatlerini hukuk alanına taşıyamama nedeniyle temsil boşluğu; zararın yalnızca mülkiyet kaybına indirgenmemesi bakımından hukuki görünürlük; acı ve yaşam kaybının hayvanın kendisi bakımından taşıdığı ağırlık ise bağımsız normatif değer unsurunu oluşturmaktadır.
Bu nedenle hayvanlar bakımından kişilik tartışması önemini korusa da, kişilik korumanın ön koşulu değildir. Daha temel soru, hayvanın kendi menfaatinin hukuk tarafından bağımsız biçimde tanınmasının hangi ölçüde gerekli olduğudur.

3.2. Doğa ve Ekosistemler: Ekolojik Bütünlüğün Hukuki Değeri

Doğal varlıklar bakımından korunabilirlik farklı bir normatif yapıya dayanır. Hayvanlarda duyarlılık ve bireysel bütünlük belirleyici olabilirken, ekosistemlerin korunması ilişkisel bütünlük, biyolojik çeşitlilik ve geri döndürülemez zarar üzerinden gerekçelendirilir.
Stone'un önerisinin hukuk teorisindeki öneminin temelinde de bu farklılık bulunmaktadır. Bir nehir veya orman insan benzeri irade veya duyarlılığa sahip olmadığı hâlde hukuk tarafından bağımsız bir zarar birimi olarak görülebilir (Stone, 1972, ss. 464–482).
Doğa hakları yaklaşımı bu doğrultuda doğanın yalnızca insanlar için taşıdığı araçsal değer üzerinden değil, kendi bütünlüğü içerisinde değerlendirilmesini savunmaktadır. Boyd ve Cullinan gibi yazarların çalışmaları, çevresel korumanın antropomerkezci sınırlarını aşmaya yönelik daha geniş ekolojik hukuk anlayışlarını geliştirmektedir (Cullinan, 2011, ss. 95–120; Boyd, 2017). Bununla birlikte doğal varlıklara hak veya kişilik tanınması, uygulamadaki koruma sorunlarını tek başına çözmez. O'Donnell ve Tănăsescu'nun çalışmaları, doğal varlıkların temsili, yönetişimi ve farklı normatif düzenlerle ilişkisi bakımından kişilik veya hak tanımanın kurumsal tasarımla tamamlanması gerektiğini göstermektedir (O'Donnell, 2018, ss. 169–194; Tănăsescu, 2020, ss. 429–453).
Doğa hakları tartışmasının korunabilirlik yaklaşımına en önemli katkısı, doğal varlığın hukuk tarafından bağımsız bir değerlendirme birimi olarak tanınabileceğini göstermesidir. Ancak hangi hukuki statünün en uygun olduğu ayrıca belirlenmelidir.
Ekosistem bakımından kırılganlık, duyarlılıktan değil bütünlüğün bozulabilirliğinden doğar. Temsil boşluğu, ekosistemin kendi adına hukuki talepte bulunamamasından kaynaklanır. Hukuki görünürlük, ekolojik zararın yalnızca insan kaynak kaybına indirgenmeden tanınmasını gerektirir. Bağımsız normatif değer ise biyolojik çeşitliliğin, ilişkisel bütünlüğün veya geri döndürülemez ekolojik kaybın başlı başına hukuk bakımından önem taşıyabilmesidir. Bu farklılık, korunabilirlik çerçevesinin tek bir özellik üzerinden kurulamayacağını doğrulamaktadır. Hayvan ve ekosistem aynı nedenle korunmaz; ancak her ikisi de farklı normatif gerekçeler üzerinden bağımsız koruma alanına girebilir.

3.3. Gelecek Kuşaklar: Temsil Boşluğunu Açıklayan Sınır Örneği

Gelecek kuşakların bu çalışmada ele alınması kategorik bir istisna niteliğindedir. Gelecek kuşaklar insan dışı varlık değildir. Bununla birlikte henüz mevcut olmamaları nedeniyle kendilerini etkileyen bugünkü karar süreçlerine katılamamaları, temsil boşluğunun yapısını anlamak bakımından önemli bir karşılaştırma imkânı sunmaktadır.
Bugün alınan iklim, çevre, enerji, biyoteknoloji ve kaynak kullanımına ilişkin kararlar gelecekteki insanların yaşam koşullarını ciddi biçimde belirleyebilir. Buna karşılık gelecekte yaşayacak kişiler bu kararları bugün yargısal veya siyasal yollarla etkileyemezler (Gosseries, 2008, ss. 446–474; Tremmel, 2009, ss. 1–25).

UNESCO'nun 1997 tarihli bildirgesi, mevcut kuşakların çevre, biyolojik çeşitlilik ve insanlığın ortak mirasına ilişkin gelecek kuşaklara karşı sorumluluklarını açık biçimde tanımaktadır (UNESCO, 1997, md. 1–5). Bu yaklaşım, güncel bir hak sahibinin doğrudan varlığı olmaksızın da koruyucu yükümlülüklerin kurulabileceğini göstermektedir. Bu nedenle gelecek kuşaklar, insan dışı varlıkların kategorisine dahil edilmemekte; yalnızca temsil edememe ile korunmama arasında zorunlu bir ilişki bulunmadığını göstermesi bakımından kullanılmaktadır. Bir menfaatin bugün kendi adına konuşamaması, onun hukuk tarafından dikkate alınmasını imkânsız hâle getirmez.

4. KORUNABİLİRLİĞİN NORMATİF YAPISI

4.1. Kırılganlık

Korunabilirlik çerçevesinin ilk unsuru kırılganlıktır. Kırılganlık hukuk teorisinde özellikle Fineman'ın çalışmalarıyla insan öznenin bağımlılık ve zarar görebilirlik durumunu açıklamak üzere geliştirilmiştir. Fineman, kırılganlığın belirli gruplara özgü istisnai bir özellik değil, insan yaşamının evrensel niteliği olduğunu savunmaktadır (Fineman, 2008, ss. 8–12).

Bu çalışmada kırılganlık kavramı Fineman'ın teorisinin insan dışındaki varlıklara doğrudan genişletilmesi biçiminde kullanılmamaktadır. Böyle bir aktarım hem teorik bağlamı aşırı genişletebilir hem de insan kırılganlığı ile ekolojik kırılganlık arasındaki farklılıkları silebilir.

Burada kırılganlık daha sınırlı biçimde, bir varlığın insan eylemleri veya insan tarafından oluşturulan yapısal koşullar karşısında ciddi zarar görebilmesi ve bu zararı kendi kapasitesiyle etkili biçimde önleyememesi olarak anlaşılmaktadır.

Bu anlamda kırılganlık üç unsur içermektedir: zarar görebilirlik, bağımlılık ve geri döndürülemezlik. Hayvanlarda acı ve bedensel zarar, ekosistemlerde ise bütünlük kaybı ve geri döndürülemez ekolojik bozulma farklı kırılganlık biçimleri oluşturur. Ancak kırılganlık tek başına yeterli değildir. Her fiziksel varlık belirli ölçüde zarar görebilir. Bu nedenle kırılganlığın hukuk bakımından koruma gerekçesine dönüşebilmesi için diğer normatif unsurlarla birlikte değerlendirilmesi gerekir.

4.2. Temsil İhtiyacı ve Temsil Boşluğu

Korunabilirliğin ikinci unsuru temsil problemidir. Hukuk, menfaatlerin taleplere dönüştürüldüğü kurumsal bir sistemdir. Bir menfaat teorik olarak tanınsa bile onu karar süreçlerine veya yargıya taşıyacak mekanizma bulunmadığında etkili koruma gerçekleşmeyebilir. Stone'un doğal varlıkların temsil edilmesine ilişkin önerisi bu nedenle önemini korumaktadır. Doğal varlığın kendi adına konuşamaması, onun menfaatlerinin temsil yoluyla hukuk alanına taşınmasına engel değildir (Stone, 1972, ss. 464–482).

Bu çalışmada temsil boşluğu, bağımsız normatif önem taşıyabilecek bir zarar mevcut olduğu hâlde, bu zararı hukuk düzenine taşıyacak etkili bir mekanizmanın bulunmaması olarak tanımlanmaktadır. Temsil boşluğu hukuki kişilikten farklıdır. Bir varlık hukuki kişi olduğu hâlde temsil edilemiyorsa koruma etkisiz kalabilir. Tersine, kişilik tanınmadan da sivil toplum örgütleri, kamu kurumları veya özel temsil mekanizmaları aracılığıyla güçlü koruma sağlanabilir.

O'Donnell'ın nehir hakları üzerine çalışması, temsilin yalnızca temsilci tayininden ibaret olmadığını göstermektedir. Asıl sorun, temsil edilen varlığın menfaatinin hangi bilgi kaynakları ve hangi kurumsal ölçütlerle belirleneceğidir (O'Donnell, 2018, ss. 169–194). Bu nedenle temsil mekanizmalarının bağımsız, bilgiye dayalı, hesap verebilir ve denetlenebilir olması gerekir. Aksi hâlde insan dışı varlığın menfaati adı altında temsilcinin kendi değer tercihlerinin ileri sürülmesi riski doğar.

4.3. Hukuki Görünürlük

Korunabilirliğin üçüncü unsuru hukuki görünürlüktür. Hukuki görünürlük, bir varlığın yalnızca mevzuatta anılması değil, uğradığı zararın kendi başına hukuk tarafından tanınabilmesi anlamına gelmektedir. Bir hayvanın yaralanmasının yalnızca sahibinin malvarlığı zararına indirgenmesi veya bir nehrin kirlenmesinin yalnızca insanların ekonomik kaybı üzerinden değerlendirilmesi, zarar gören varlığın kendisini hukuk bakımından görünmez kılabilir.

Hukuki görünürlük bu nedenle üç düzeyde düşünülebilir: normatif tanıma, usulî görünürlük ve giderimsel görünürlük.

Normatif tanıma, varlığın menfaatinin hukuk tarafından dikkate alınmasını; usulî görünürlük, bu menfaatin karar süreçlerine veya mahkemeye taşınabilmesini; giderimsel görünürlük ise meydana gelen zararın doğrudan söz konusu varlığın korunması veya onarılması bakımından sonuç doğurmasını ifade eder.
Stone'un doğal varlığın zararının doğrudan tazmin veya restorasyon konusu yapılmasına ilişkin yaklaşımı bu üç düzeyli görünürlüğün erken örneklerinden biri olarak değerlendirilebilir (Stone, 1972, ss. 464–482). Bu yaklaşımda görünürlük kişilikten önce gelir. Bir varlık tam anlamıyla hak sahibi olmasa bile hukuk tarafından bağımsız zarar taşıyıcısı olarak görülebilir. Böylece görünürlük, hak sahipliği ile koruma arasında ara bir normatif alan yaratmaktadır.

4.4. Bağımsız Normatif Değer

Korunabilirliğin dördüncü ve en belirleyici unsuru, meydana gelen zararın hukuk bakımından bağımsız normatif değer taşıyıp taşımadığıdır. Çünkü kırılganlık ve temsil boşluğu tek başına yeterli değildir. Hukukun neden belirli bir zararı kendi başına dikkate alması gerektiği ayrıca açıklanmalıdır. Bu noktada tek bir evrensel ölçüt kullanmak güçtür. Duyarlılık hayvanlar bakımından önemli olmakla birlikte ekosistemleri açıklamaz. Canlılık ölçütü, nehir veya habitat gibi ilişkisel bütünlükleri kapsam dışı bırakabilir. İnsan için faydalılık ise korumayı yeniden araçsal antropomerkezci modele döndürür. Bağımsız normatif değer çoğulcu biçimde düşünülmelidir. Kotzmann'ın duyarlılık ve içkin değeri birlikte ele alan yaklaşımı, hayvanların korunmasında tek bir normatif temel yerine çoğul gerekçelerin kullanılabileceğini göstermektedir (Kotzmann, 2023, ss. 405–435).
Bağımsız normatif değer, bir varlığın kendine özgü bütünlüğünün, yaşam biçiminin veya ekolojik işlevinin ciddi biçimde bozulmasının yalnızca başka kişilerin menfaat kaybı olarak değil, kendi başına hukuk tarafından dikkate alınmaya değer bir kayıp oluşturması şeklinde anlaşılmaktadır. Bu tanımın önemli sonucu, insan dışı varlıkların korunmasını insan benzerliğine bağlamamasıdır. Bir varlığın insanla ne kadar çok ortak özelliği varsa o kadar çok korunması gerektiği biçimindeki doğrusal model reddedilmektedir. Bunun yerine her varlığın kendi ontolojik yapısı içinde değerlendirilmesi önerilmektedir.
Bağımsız normatif değer, mutlak üstünlük anlamına gelmez. Bir varlığın zararının hukuki tartıya girmesi, diğer bütün hak ve menfaatlerden üstün kabul edilmesini gerektirmez. Buradaki amaç söz konusu menfaatin hukuk bakımından "sıfır ağırlıklı" olmamasını sağlamaktır.

5. KORUNABİLİRLİK ÇERÇEVESİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLMESİ

Korunabilirlik çerçevesi, insan dışı bir varlığın hukuki koruma alanına girip girmemesi bakımından farklı normatif soruları ortak bir değerlendirme dizisi içerisinde toplamaktadır. Bu yapı katı bir test olarak değil, gerekçeli hukuki muhakemeyi kolaylaştıran aşamalı bir model olarak anlaşılmalıdır. İlk olarak varlığın ontolojik niteliği belirlenmelidir. Duyarlı bir canlı ile ekolojik bütünlük aynı ölçütlerle değerlendirilmemelidir. İkinci olarak kırılganlık incelenmelidir. Varlığın hangi tür zararlara açık olduğu, zararın ağırlığı ve geri döndürülebilirliği belirlenmelidir.Üçüncü olarak temsil boşluğu ve hukuki görünürlük araştırılmalıdır. Varlığın menfaati hukuk alanında etkili biçimde temsil edilmekte midir ve uğradığı zarar bağımsız biçimde görülebilmekte midir? Dördüncü olarak bağımsız normatif değer değerlendirilmelidir. Ortaya çıkan kayıp, yalnızca başka kişilerin menfaatinde azalma mı yaratmaktadır, yoksa söz konusu varlığın kendisi bakımından hukuk düzeninin dikkate alması gereken bir zarar mı oluşturmaktadır? Bu aşamalar sonucunda korunabilirlik tespit edilirse, ikinci değerlendirme düzeyine geçilir: hangi koruma aracı kullanılmalıdır?
Bu araç hukuki kişilik olabilir; ancak zorunlu değildir. Sınırlı hak sahipliği, özel koruma statüsü, temsil, geniş dava ehliyeti, kamu makamlarının pozitif yükümlülükleri, yasaklama veya restorasyon gibi farklı araçlardan biri veya birkaçı kullanılabilir.
Böylece hukuki kişilik korunmanın nedeni değil, korunabilir olduğu belirlenen varlığın korunması için kullanılabilecek hukuki tekniklerden biri hâline gelmektedir.
Bu modelin amacı statü tartışmasını önemsizleştirmek değildir. Tam tersine statü tartışmasını normatif olarak daha sağlam bir zemine oturtmaktır. Bir varlığa neden kişilik veya hak tanınması gerektiği ancak hangi koruma ihtiyacını karşılayacağı gösterildiğinde daha güçlü biçimde açıklanabilir.

6. HUKUKİ KORUMA YÜKÜMLÜLÜĞÜNÜN SINIRLARI

Korunabilirlik çerçevesinin teorik olarak savunulabilir olabilmesi, yalnızca koruma gerekçelerini değil, korumanın sınırlarını da açık biçimde belirlemeyi gerektirir. Aksi takdirde kavram, insan dışı bütün varlıkların aynı yoğunlukta korunmasını talep eden sınırsız bir genişleme modeline dönüşebilir. Bu nedenle korunabilirlik ile koruma yoğunluğu birbirinden ayrılmalıdır. Bir varlığın bağımsız normatif değer taşıdığının kabul edilmesi, onun mutlak biçimde korunacağı anlamına gelmez.

İlk sınır, zarar görebilirlik ile hukuken dikkate alınması gereken zarar arasındaki ayrımdır. Her fiziksel veya biyolojik varlık belirli koşullarda zarar görebilir. Ancak her zarar hukuk bakımından bağımsız normatif anlam taşımaz. Koruma yükümlülüğünün doğabilmesi için zararın varlığın bütünlüğünü, yaşamını, duyarlılığını, ekolojik işlevini veya kendisine özgü varoluş biçimini ciddi biçimde etkilemesi gerekir. Bu nedenle kırılganlık tek başına yeterli değildir; hukuken korunmaya değer bir kayıpla birleşmelidir. İkinci sınır, çatışan hak ve menfaatlerin varlığıdır. İnsan dışı varlıkların korunması, insan haklarının veya kamu yararının otomatik olarak geri plana itilmesini gerektirmez. Yaşam, sağlık, mülkiyet, bilimsel araştırma özgürlüğü, ekonomik faaliyet özgürlüğü ve kamu güvenliği gibi değerler de hukuk düzeninde güçlü korumaya sahiptir. Bu nedenle insan dışı varlıkların menfaatleri ile insan hakları arasında çatışma ortaya çıktığında kategorik üstünlük yerine gerekçeli dengeleme yapılmalıdır.

Orantılılık ilkesi koruma yükümlülüğünün sınırlandırılmasında merkezi bir rol oynayabilir. Korumanın meşru bir amacı bulunsa dahi seçilen aracın elverişli, gerekli ve ölçülü olması gerekir. Bir ekosistemin korunması amacıyla getirilen sınırlamanın bütün ekonomik faaliyeti gereksiz biçimde ortadan kaldırması veya bilimsel araştırmayı mutlak biçimde engellemesi, koruma yükümlülüğünün sınırlarını aşabilir. Buna karşılık ekonomik yararın bulunması da ekolojik zararı kendiliğinden meşrulaştırmaz.

Hayvan deneyleri bu dengelemenin tipik örneklerinden biridir. İnsan sağlığı ve bilimsel araştırma bakımından önemli yararlar sağlayabilecek deneyler ile hayvanların acı ve bedensel bütünlük bakımından korunması arasında çatışma doğabilir. Bu durumda alternatif yöntemlerin mevcut olup olmadığı, kullanılacak hayvan sayısının azaltılıp azaltılamayacağı, acının yoğunluğu ve araştırmanın bilimsel gerekliliği birlikte değerlendirilmelidir. Böylece hayvanın menfaati hukuki tartıya dahil edilir; ancak her durumda mutlak üstünlük tanınmaz.

Bir başka sınır, bilimsel belirsizliktir. Özellikle ekolojik süreçlerde zararın kapsamı veya nedensellik ilişkisi her zaman tam kesinlikle belirlenemeyebilir. Hukukun kesin bilimsel kanıt beklemesi, geri döndürülemez zararların ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu nedenle ihtiyat ilkesi, ciddi ve geri dönüşü zor zarar ihtimallerinde önemli bir koruma aracı olarak kullanılabilir. Bununla birlikte ihtiyat ilkesinin sınırsız yorumlanması da sorunludur. Teorik ve uzak bir riskin varlığı, her türlü faaliyetin yasaklanmasını haklı kılmamalıdır. Riskin ciddiyeti, gerçekleşme olasılığı, geri döndürülebilirliği ve önleyici tedbirlerin maliyetleri birlikte değerlendirilmelidir. Korunabilirlik bu noktada riskin varlığını değil, riskin normatif ağırlığını dikkate alan bir çerçeve gerektirir.

Dördüncü sınır, temsilin meşruiyetidir. İnsan dışı varlıkların kendi menfaatlerini doğrudan ifade edememeleri, üçüncü kişilerin veya kurumların onlar adına hareket etmesini gerekli kılabilir. Ancak temsil, korumanın aracı olduğu kadar yeni bir yetki problemi de yaratır. Bir temsilci, temsil ettiği varlığın menfaatini gerçekten yansıtmak yerine kendi ideolojik veya siyasal tercihlerini o varlığın menfaati olarak sunabilir. Temsil mekanizmalarının bağımsız, bilgiye dayalı, şeffaf, hesap verebilir ve denetlenebilir olması gerekir. O'Donnell'ın nehir haklarına ilişkin değerlendirmesi, doğal varlıklara hak tanınmasının ancak etkili temsil ve yönetişim mekanizmalarıyla anlam kazanabileceğini göstermektedir (O'Donnell, 2018, ss. 169–194). Tănăsescu da doğa haklarının yalnızca hukuki kişilik diliyle açıklanmasının yeterli olmadığını, farklı normatif gelenekler ve kurumsal yapılarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Tănăsescu, 2020, ss. 429–453).

Beşinci sınır, ontolojik farklılıkların korunmasıdır. "İnsan dışı varlık" kavramı, ontolojik olarak birbirinden tamamen farklı varlıkları bir araya getiren geniş bir üst kavramdır. Bir hayvan, bir orman, bir nehir, bir şirket veya yapay zekâ sistemi aynı nedenle korunamaz. Bu nedenle yalnızca insan olmamak, korunabilirlik için yeterli bir gerekçe değildir.

Bu sınır özellikle yapay zekâ bakımından önemlidir. Yapay zekâ sistemlerinin hukuki kişilik veya hak sahipliği bakımından değerlendirilmesi çağdaş hukukta giderek daha fazla tartışılmaktadır. Bununla birlikte mevcut yapay zekâ sistemlerinin duyarlılık, biyolojik kırılganlık veya kendilerine özgü yaşam bütünlüğü taşıdığı varsayılamaz.

Bu nedenle hayvanlar veya ekosistemler için geliştirilen koruma gerekçelerinin yapay zekâya doğrudan aktarılması kavramsal olarak sorunlu olacaktır (Kurki, 2019, ss. 127–148).
Altıncı sınır, demokratik meşruiyet ve kurumsal uygulanabilirliktir. İnsan dışı varlıkların korunması, yargıç veya idari makamların sınırsız değer tercihlerine bırakılamaz. Özellikle geniş ekonomik veya toplumsal sonuçlar doğuran koruma kararlarının demokratik karar süreçleri, hukuk güvenliği ve öngörülebilirlik ilkeleriyle uyumlu olması gerekir.
Korunabilirlik bu nedenle açık uçlu bir etik kavram olarak kalmamalı; mümkün olduğu ölçüde normatif ölçütler, mevzuat, içtihat ve kurumsal rehberler aracılığıyla somutlaştırılmalıdır. Koruma yükümlülüğünün meşruiyeti yalnızca korunan varlığın değerinden değil, koruma kararının hangi usulle alındığından da kaynaklanır.
Yedinci sınır, hak enflasyonu ve sembolik tanıma riskidir. Her koruma ihtiyacının yeni bir hak veya kişilik kategorisine dönüştürülmesi, hak kavramının normatif yoğunluğunu azaltabilir. Ayrıca sembolik hak tanıma, etkili temsil ve uygulanabilir yaptırımlar olmadan gerçek koruma sağlamayabilir (Kempers, 2022, ss. 533–556; Jolly & Menon, 2021, ss. 467–492).
Bu nedenle korunabilirlik yaklaşımı, hukuki kişilik veya hak tanınmasını otomatik sonuç olarak değil, koruma araçlarından biri olarak görmektedir. Bazı durumlarda özel koruma statüsü, idari yükümlülükler, yasaklar, temsil mekanizmaları veya restorasyon yükümlülükleri daha etkili olabilir. Böylece koruma yükümlülüğünün sınırları iki aşamada belirlenebilir. İlk aşamada, varlığın bağımsız koruma konusu yapılmasını haklı kılan yeterli normatif nedenlerin bulunup bulunmadığı araştırılır. İkinci aşamada ise bu korumanın hangi araçlarla ve hangi yoğunlukta uygulanmasının ölçülü olduğu belirlenir.

7. HUKUKİ KORUMANIN TEORİK SONUÇLARI

Korunabilirlik yaklaşımının hukuk teorisi bakımından en önemli sonucu, kişilik, hak ve koruma arasındaki klasik sıralamanın yeniden düşünülmesini sağlamasıdır. Geleneksel yaklaşımda çoğu zaman kişilik, hak sahipliğinin; hak sahipliği de korumanın ön koşulu gibi görünmektedir. Oysa insan dışı varlıkların korunmasına ilişkin çağdaş gelişmeler bu sıralamanın zorunlu olmadığını göstermektedir.
Koruma gerekçesinin belirlenmesinden sonra bu gerekçenin yeterli yoğunluğa ulaşıp ulaşmadığı, yani varlığın korunabilir olup olmadığı araştırılmaktadır. Ancak bundan sonra hukuki kişilik, hak sahipliği, temsil veya başka koruma araçları arasından seçim yapılmaktadır.
Bu yapı şu şekilde özetlenebilir: Klasik model: Kişilik → hak → koruma.
Önerilen model: Koruma gerekçesi → korunabilirlik → uygun hukuki araç → koruma yoğunluğu. Bu değişiklik, hukuki kişiliğin önemini azaltmamaktadır. Aksine kişiliği daha işlevsel ve gerekçeli bir konuma yerleştirmektedir. Bir varlığa kişilik tanınması, artık sembolik bir statü değişikliğinden çok, belirli bir koruma ihtiyacını karşılayan hukuki teknik olarak değerlendirilir. Korunabilirlik yaklaşımının ikinci teorik sonucu, hukuki korumanın hak sahipliğinden daha geniş bir kategori olduğunun kabul edilmesidir. Hukuk düzeni kimi zaman sübjektif hak tanımaksızın da güçlü koruma sağlayabilir. Bu durum, çevre hukuku ve hayvan refahı düzenlemelerinde açık biçimde görülmektedir.
Hukuki koruma, yalnızca hak sahibinin talebine cevap veren ikincil bir mekanizma olarak değil, hukuk düzeninin neyi normatif olarak önemli kabul ettiğini belirleyen kurucu işlevlerden biri olarak görülebilir.
Üçüncü teorik sonuç, hukuki görünürlük kavramının önem kazanmasıdır. Bir varlığın hukuki kişi olup olmadığı kadar, onun uğradığı zararın hukuk tarafından bağımsız biçimde görülüp görülemediği de önemlidir. Hukuki görünürlük, bir varlığı doğrudan hak sahibi yapmadan da onun menfaatlerini hukuki değerlendirmeye dahil edebilir.
Dördüncü sonuç, temsil boşluğunun hukuki koruma bakımından bağımsız bir problem olarak tanınmasıdır. Bir menfaatin korunmaya değer olması, etkili temsil olmaksızın yeterli değildir. Temsil boşluğu bu nedenle yalnızca usulî eksiklik değil, korumanın gerçekleşmesini engelleyen yapısal bir sorun olarak görülmelidir.
Beşinci sonuç, hukukun antropomerkezci karakteri ile antropojenik karakterinin birbirinden ayrılması gereğidir. Hukuk insanlar tarafından oluşturulmuş bir normatif sistemdir ve insan dışı varlıkların korunması da insan kurumları aracılığıyla gerçekleştirilecektir. Bu anlamda hukuk antropojeniktir. Ancak bu durum, yalnızca insan menfaatlerinin normatif olarak önemli kabul edilmesini gerektirmez.

İnsan dışı varlıkların korunması, insanı hukuk düzeninin dışına çıkarmak veya insan haklarının yerini başka varlıkların haklarıyla değiştirmek anlamına gelmemektedir. Daha uygun ifade, hukuki korumanın merkezinin çoğullaştırılmasıdır.

Bu çoğullaştırılmış modelde insan onuru ve insan hakları temel önemini korurken, hayvanların duyarlılığı, ekosistemlerin bütünlüğü ve gelecek kuşakların menfaatleri de kendi normatif ağırlıklarıyla hukuki değerlendirmeye dahil edilebilir.

Pasif koruma öznesi kavramı, açıklayıcı bir araç olarak kullanılarak, varlığın aktif hukuki işlemlere katılmasa, irade açıklayamasa veya yükümlülük taşımasa da bağımsız biçimde hukuk tarafından korunabilir. Böylece aktif hukuki özne ile pasif koruma öznesi arasında teorik ayrım yapılabilir. Kavramın işlevi, mevcut hukuk sistemlerinde kişi statüsüne sahip olmaksızın bağımsız koruma konusu hâline gelen varlıkları açıklamaktır.

Altıncı teorik sonuç, korunabilirliğin dereceli bir kavram olarak düşünülmesi gereğidir. Hukuki koruma ya tamamen vardır ya tamamen yoktur biçiminde ikili bir mantıkla açıklanmamalıdır. Korumanın yoğunluğu, kırılganlığın derecesine, zararın geri döndürülemezliğine, temsil boşluğunun büyüklüğüne ve bağımsız normatif değerin ağırlığına göre farklılaşabilir. Korunabilirlik, bir "eşik" ile bir "derece"yi birlikte içerir. İlk olarak varlığın bağımsız hukuki koruma alanına girmesi için yeterli normatif nedenlerin bulunması gerekir. Bu eşik aşıldıktan sonra ise korumanın yoğunluğu ve araçları kademeli biçimde belirlenebilir.

8. KORUNABİLİRLİK ÇERÇEVESİNİN FORMÜLASYONU

Üçüncü yazım sonucunda korunabilirlik çerçevesi daha sistematik biçimde şu aşamalar üzerinden formüle edilebilir: Varlığın niteliği: İncelenen varlığın ontolojik ve işlevsel özellikleri belirlenir. Kırılganlık: Varlığın hangi tür zararlara açık olduğu ve bu zararların yoğunluğu, süresi ve geri döndürülebilirliği değerlendirilir.Temsil boşluğu: Varlığın menfaatini hukuk sistemine taşıyabilecek etkili bir mekanizmanın bulunup bulunmadığı araştırılır. Hukuki görünürlük: Uğranılan zararın yalnızca başka kişilerin menfaat kaybı üzerinden mi, yoksa varlığın kendisine yönelen bağımsız zarar olarak mı tanındığı belirlenir. Bağımsız normatif değer: Meydana gelen kaybın hukuk bakımından kendi başına dikkate alınmaya değer olup olmadığı değerlendirilir.

Korunabilirlik: Önceki unsurların birlikte değerlendirilmesiyle varlığın bağımsız hukuki koruma alanına girip girmediği belirlenir. Uygun hukuki araç: Hukuki kişilik, hak sahipliği, özel statü, temsil, dava ehliyeti, kamu yükümlülüğü, yasak veya restorasyon gibi araçlardan uygun olan seçilir. Koruma yoğunluğu ve sınırlandırma: Orantılılık, çatışan haklar, demokratik meşruiyet, bilimsel belirsizlik ve uygulanabilirlik ışığında korumanın kapsamı belirlenir. Bu yapının amacı, insan dışı varlıkların korunmasına ilişkin hukuki muhakemenin temel sorularını sistematik bir sıra içerisinde görünür hâle getirmektir. Modelin özü şu formülle özetlenebilir: Varlığın niteliği → kırılganlık → temsil boşluğu → hukuki görünürlük → bağımsız normatif değer → korunabilirlik → uygun hukuki araç → orantılı koruma. Bu formülün en önemli teorik sonucu, hukuki statünün değerlendirme sürecinin başlangıcından sonrasına taşınmasıdır. Böylece statü korumayı belirleyen önsel kategori olmaktan çıkar; normatif olarak gerekçelendirilmiş korumaya hizmet eden araç hâline gelir.

SONUÇ

İnsan dışı varlıkların hukuki korunması, çağdaş hukukta giderek belirginleşen daha geniş bir normatif dönüşümün parçasıdır. Hayvanların hukuki statüsü, doğa hakları, ekosistemlerin korunması ve gelecek kuşaklara yönelik sorumluluklar, hukukun yalnızca mevcut insan öznenin haklarını koruyan bir sistem olarak açıklanmasının yetersiz kaldığını göstermektedir.

Bu çalışmanın temel savı, insan dışı varlıkların korunmasına ilişkin tartışmanın yalnızca hukuki kişilik veya hak sahipliği ekseninde yürütülmemesi gerektiğidir. Hukuki kişilik güçlü ve kimi durumlarda gerekli bir koruma aracı olabilir; ancak korumanın normatif gerekçesi değildir.

Bu nedenle öncelikle şu soru sorulmalıdır: Hukuk hangi varlıkları, hangi gerekçelerle ve hangi ölçüde bağımsız koruma konusu hâline getirmelidir?

Bu sorunun cevaplandırılması için çalışmada korunabilirlik kavramı geliştirilmiştir. Korunabilirlik, yeni bir kişilik türü veya hak kategorisi değil, hukuk düzeninin belirli bir varlığı bağımsız koruma konusu yapmasını haklı kılan normatif nedenleri değerlendiren analitik bir çerçevedir.

Korunabilirlik dört temel unsur üzerinden kurulmuştur: kırılganlık, temsil ihtiyacı ve temsil boşluğu, hukuki görünürlük ve bağımsız normatif değer. Bu unsurlar mekanik şartlar değil, koruma gerekçesinin yoğunluğunu ortaya koyan ilişkili göstergelerdir.

Hayvanlar bakımından kırılganlık duyarlılık, acı çekme ve bedensel bütünlük üzerinden ortaya çıkarken; ekosistemlerde ekolojik bütünlüğün bozulması, biyolojik çeşitliliğin kaybı ve geri döndürülemez zararlar daha belirleyici olabilir. Bu nedenle insan dışı varlıkların tamamına aynı normatif ölçütün uygulanması mümkün değildir.

Çalışmanın en önemli sonuçlarından biri, ontolojik farklılık ile ortak koruma muhakemesinin birlikte korunabileceğidir. Hayvan ile nehir aynı değildir ve aynı gerekçeyle korunmaz. Ancak her ikisi de kendi özellikleri bakımından hukuk tarafından bağımsız koruma konusu yapılabilir.

Gelecek kuşaklar ise insan dışı varlık kategorisine dahil edilmemiş; yalnızca temsil boşluğu ve zamansal koruma problemini görünür kılan karşılaştırmalı bir sınır örneği olarak kullanılmıştır. Bu ayrım, çalışmanın kavramsal sınırlarını korumaktadır.

Korunabilirlik yaklaşımının ikinci önemli sonucu, kişilik ile koruma arasındaki ilişkinin tersine çevrilmesidir. Kişilik artık korumanın ön koşulu değil, korunabilirliği tespit edilmiş bir varlığın korunması için seçilebilecek araçlardan biridir. Bu değişim şu formülle ifade edilebilir:

Kişilik → hak → koruma yerine Koruma gerekçesi → korunabilirlik → uygun hukuki araç → orantılı koruma. Bu sıralama, hukuki kişilik tartışmasını ortadan kaldırmamakta; aksine onu daha güçlü bir normatif gerekçeye bağlamaktadır.

Korunabilirlik ayrıca hak enflasyonu riskini azaltan bir işlev de görebilir. Her yeni koruma ihtiyacı için yeni hak veya kişilik kategorisi yaratmak yerine, hukuk düzeni farklı koruma araçlarından yararlanabilir. Hak, kişilik, temsil, özel statü, yasak, kamu yükümlülüğü veya restorasyon gibi araçlar somut ihtiyaca göre seçilebilir.

Korunabilirlik mutlak koruma anlamına gelmemektedir. İnsan dışı varlıkların menfaatleri, insan hakları, bilimsel araştırma, ekonomik faaliyet, kamu yararı ve başka hukuki değerlerle çatışabilir. Bu nedenle korunabilirlik korumanın başlangıç eşiğini; orantılılık, demokratik meşruiyet ve temsilin güvenilirliği ise korumanın sınırını belirlemelidir.

Çalışmamızda, ölçülü biçimde, insan dışı varlıkların korunmasına ilişkin dağınık tartışmaları ortak bir normatif zeminde değerlendirmeyi mümkün kılan bir korunabilirlik çerçevesi olarak önerilmektedir. Korunabilirlik düşüncesinin hukuk teorisi bakımından daha geniş bir potansiyeli bulunduğu söylenebilir. Çünkü hukukun önündeki yeni sorunlar yalnızca "kim kişi olabilir?" veya "kim hak sahibidir?" sorularından ibaret değildir. Giderek daha temel hâle gelen soru şudur: Kim veya ne, hangi gerekçeyle hukuk tarafından korunmaya değer kabul edilmelidir? Bu soru, hukuki korumayı statü merkezli bir modelden gerekçe merkezli bir modele taşımaktadır.

İnsan dışı varlıkların hukuk içinde görünür hâle gelmesi, insanın hukuk düzenindeki merkezi öneminin ortadan kalkması anlamına gelmemektedir. Daha doğru biçimde ifade edildiğinde çağdaş hukuk, koruma alanını insanın ötesine genişletirken insan dışındaki varlıkları insanlaştırmadan ve insan haklarını değersizleştirmeden korumanın yollarını aramaktadır.

İnsan dışı varlıkların hukuki korunması, istisnai veya marjinal bir hukuk politikası alanı olarak değil, hukukun koruma işlevinin yeniden düşünülmesini gerektiren daha genel bir teorik dönüşümün parçası olarak görülebilir. Bu dönüşümün gelecekteki başarısı, yeni kişilik kategorileri üretme kapasitesinden çok, korunmaya değer olanı gerekçelendirebilen, hukuken görünür kılabilen, temsil edebilen ve ölçülü biçimde koruyabilen bir normatif mimari geliştirebilmesine bağlı olacaktır.

KAYNAKÇA

Bernet Kempers, E. (2022). Transition rather than revolution: The gradual road towards animal legal personhood through the legislature. *Transnational Environmental Law, 11*(3), 581–602. https://doi.org/10.1017/S2047102522000139

Boyd, D. R. (2017). *The rights of nature: A legal revolution that could save the world*. ECW Press.

Cullinan, C. (2011). *Wild law: A manifesto for Earth justice* (2nd ed.). Green Books.

Fineman, M. A. (2008). The vulnerable subject: Anchoring equality in the human condition. *Yale Journal of Law & Feminism, 20*(1), 1–23.

Francione, G. L. (1995). *Animals, property, and the law*. Temple University Press.

Gosseries, A. (2008). On future generations' future rights. *The Journal of Political Philosophy, 16*(4), 446–474. https://doi.org/10.1111/j.1467-9760.2008.00323.x

Jolly, S., & Menon, K. S. R. (2021). Of ebbs and flows: Understanding the legal consequences of granting personhood to natural entities in India. *Transnational Environmental Law, 10*(3), 467–492. https://doi.org/10.1017/S2047102520000424

Kotzmann, J. (2023). Sentience and intrinsic worth as a pluralist foundation for fundamental animal rights. *Oxford Journal of Legal Studies, 43*(2), 405–428. https://doi.org/10.1093/ojls/gqad003

Kurki, V. A. J. (2019). *A theory of legal personhood*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780198844037.001.0001

Nussbaum, M. C. (2004). Beyond "compassion and humanity": Justice for nonhuman animals. In C. R. Sunstein & M. C. Nussbaum (Eds.), *Animal rights: Current debates and new directions* (pp. 299–319). Oxford University Press.

Nussbaum, M. C. (2006). *Frontiers of justice: Disability, nationality, species membership*. The Belknap Press of Harvard University Press.

O'Donnell, E. (2018). *Legal rights for rivers: Competition, collaboration and water governance*. Routledge.

Stone, C. D. (1972). Should trees have standing?—Toward legal rights for natural objects. *Southern California Law Review, 45*(2), 450–501.

Stucki, S. (2020). Towards a theory of legal animal rights: Simple and fundamental rights. *Oxford Journal of Legal Studies, 40*(3), 533–560. https://doi.org/10.1093/ojls/gqaa007

Tănăsescu, M. (2020). Rights of nature, legal personality, and Indigenous philosophies. *Transnational Environmental Law, 9*(3), 429–453. https://doi.org/10.1017/S2047102520000217

Tremmel, J. C. (2009). *A theory of intergenerational justice*. Earthscan.

UNESCO. (1997). *Declaration on the responsibilities of the present generations towards future generations*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

ALGORİTMİK EKONOMİNİN DEMOKRATİK MEŞRUİYETİ: *DİJİTAL PARA ÇAĞINDA HABERMAS*

THE DEMOCRATIC LEGITIMACY OF THE ALGORITHMIC ECONOMY: HABERMAS IN THE AGE OF DIGITAL CURRENCY

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR
Department of Private Law, Faculty of Law, Cyprus Aydın University, Girne, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0000-0003-0710-8375

Lecturer Dr. Ecem KOCAOĞLAN
Department of Public Law, Faculty of Law, Cyprus Aydın University, Girne, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0009-0007-9955-4327

ÖZET

Dijital para sistemleri, blokzincir teknolojileri, merkez bankası dijital paraları (CBDC), kripto varlıklar ve yapay zekâ destekli finansal algoritmalar, ekonomik ilişkilerin işleyişini köklü biçimde dönüştürmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca finansal araçların dijitalleşmesiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda ekonomik karar alma süreçlerinin giderek algoritmalar tarafından yönlendirilmesine neden olmaktadır. Böylece ekonomik iktidarın önemli bir bölümü demokratik denetim mekanizmalarının dışında işleyen dijital platformlara ve algoritmik yapılara kaymaktadır. Yaşanan gelişmeler, dijital ekonominin demokratik meşruiyeti sorununu hukuk ve siyaset felsefesinin temel tartışma alanlarından biri hâline getirmektedir. Çalışmamızda, dijital para çağında algoritmik ekonominin demokratik meşruiyetini, Jürgen Habermas'ın iletişimsel eylem kuramı ve söylem etiği perspektifinden değerlendirmeye çalışacağız. Habermas'a göre hukukun meşruiyeti, yalnızca pozitif hukuk kurallarının varlığına değil, bu kuralların özgür, eşit ve katılımcı kamusal tartışmalar sonucunda oluşmasına bağlıdır. Buna karşılık algoritmik finans sistemleri, kredi değerlendirmeleri, otomatik yatırım kararları, dijital ödeme altyapıları ve veri temelli ekonomik yönlendirmeler büyük ölçüde kapalı algoritmalar tarafından yürütülmekte; bireylerin bu süreçlere katılımı, denetimi ve itiraz imkânı önemli ölçüde sınırlandırılmaktadır. Çalışmada, dijital para sistemlerinin yalnızca teknik veya ekonomik yenilikler olmadığı; aynı zamanda hukuki meşruiyet, demokratik hesap verebilirlik ve kamusal denetim bakımından yeni sorunlar doğurduğu gösterilmektedir. Özellikle ekonomik kararların yapay zekâ sistemlerine devredilmesi, kamusal iradenin yerini algoritmik rasyonelliğin alması riskini beraberinde getirmektedir. Dijital ekonominin demokratik meşruiyeti, yalnızca teknolojik güvenlik veya finansal istikrar kriterleriyle birlikte şeffaflık, açıklanabilirlik, katılımcılık, hesap verebilirlik ve temel hakların korunması ilkeleri çerçevesinde değerlendirilmelidir. Çalışmamız, Habermas'ın iletişimsel meşruiyet anlayışının dijital para çağında yeniden yorumlanması gerektiğini savunmaktadır. Algoritmaların ekonomik düzenin görünmez karar vericileri hâline geldiği bir dönemde hukukun temel görevi, dijital piyasaları düzenlemekle birlikte, aynı zamanda ekonomik iktidarın demokratik denetimini sağlayacak, bireylerin söylemsel katılımını güçlendirecek ve algoritmik ekonomiyi hukukun meşruiyet ilkeleriyle uyumlu hâle getirecek yeni kurumsal ve hukuki mekanizmalar geliştirmektir.

Anahtar Kelimeler: Habermas, dijital para, algoritmik ekonomi, demokratik meşruiyet.

ABSTRACT

Digital currency systems, blockchain technologies, central bank digital currencies (CBDCs), crypto-assets, and artificial intelligence-driven financial algorithms are fundamentally transforming the functioning of economic relations. This transformation extends beyond the mere digitalization of financial instruments; it also results in economic decision-making processes increasingly being governed by algorithms. Consequently, a significant portion of economic power is shifting toward digital platforms and algorithmic structures that operate largely outside traditional mechanisms of democratic oversight. These developments have made the democratic legitimacy of the digital economy one of the central issues in contemporary legal and political philosophy.

This study examines the democratic legitimacy of the algorithmic economy in the age of digital currency from the perspective of Jürgen Habermas's theory of communicative action and discourse ethics. According to Habermas, the legitimacy of law depends not merely on the existence of positive legal rules but on the fact that such rules emerge through free, equal, and participatory public deliberation. In contrast, algorithmic financial systems—including credit scoring mechanisms, automated investment decisions, digital payment infrastructures, and data-driven economic governance—are largely operated through opaque algorithms, significantly restricting individuals' opportunities to participate in, scrutinize, and challenge these decision-making processes.

The study demonstrates that digital currency systems are not merely technological or economic innovations but also generate new challenges concerning legal legitimacy, democratic accountability, and public oversight. In particular, the delegation of economic decision-making to artificial intelligence systems raises the risk that algorithmic rationality may gradually replace public will. Therefore, the democratic legitimacy of the digital economy should be evaluated not only in terms of technological security and financial stability but also according to the principles of transparency, explainability, public participation, accountability, and the protection of fundamental rights.

This study argues that Habermas's concept of communicative legitimacy should be reinterpreted for the age of digital currency. At a time when algorithms have become the invisible decision-makers of the economic order, the fundamental task of law is not only to regulate digital markets but also to develop new institutional and legal mechanisms capable of ensuring democratic oversight of economic power, strengthening citizens' discursive participation, and aligning the algorithmic economy with the principles of legal legitimacy.

Keywords: Habermas, digital currency, algorithmic economy, democratic legitimacy.

GİRİŞ

Dijitalleşme, ekonomik ilişkilerin yalnızca teknik araçlarını değil, ekonomik kararların üretildiği kurumsal ve epistemik yapıyı da dönüştürmektedir. Merkez bankası dijital paraları, kripto varlıklar, blokzincir tabanlı finansal altyapılar, algoritmik kredi değerlendirmeleri ve yapay zekâ destekli risk analizleri, ekonomik sistemin giderek daha yoğun biçimde veri işleme, sınıflandırma, tahmin ve otomatik karar mekanizmalarına dayanmasına yol açmaktadır. Bu dönüşümün önemi, paranın fiziksel biçimden dijital biçime geçmesinden daha geniştir. Asıl değişiklik, ekonomik fırsatlara erişimi, bireylerin risk kategorilerine yerleştirilmesini, ekonomik profillerin oluşturulmasını ve ekonomik davranışların yönlendirilmesini etkileyen karar kapasitesinin giderek veri temelli teknik sistemler içerisinde kullanılmaya başlanmasıdır (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732; Yeung, 2018, ss. 505–523; Srivastava, 2023, ss. 989–1000).

Algoritmik sistemler, hangi ekonomik bilginin önemli olduğunu belirleyebilmekte, bireyleri sınıflandırabilmekte, gelecekteki davranışlar hakkında olasılıksal tahminler üretebilmekte ve bu tahminleri ekonomik sonuçlara dönüştürebilmektedir. Böylece algoritmik karar, yalnızca mevcut ekonomik ilişkilerin işleyişini hızlandıran teknik bir araç olmaktan çıkarak ekonomik fırsatların ve risklerin dağılımını etkileyen bir kurumsal yapıya dönüşebilmektedir (Yeung, 2018, ss. 505–523; Srivastava, 2023, ss. 989–1000). Bu dönüşüm özellikle kredi değerliliğinin belirlenmesi, sigorta riski, dolandırıcılık tespiti, yatırım ve fiyatlandırma kararlarında belirginleşmektedir. Veri temelli karar sistemlerinin geçmişteki eşitsizlikleri veri içerisinde yeniden üretmesi, korunan özelliklerle ilişkili değişkenler aracılığıyla dolaylı ayrımcılık yaratabilmesi veya bireyleri içinde bulundukları toplumsal bağlamdan koparark yalnızca istatistiksel profillere indirgemesi, algoritmik ekonomik kararın salt teknik doğruluk meselesi olmadığını göstermektedir (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732; Citron, 2008, ss. 1249–1313).Hukuk ve siyaset felsefesinde çok daha temel bir soru vardır artık. Ekonomik karar verme kapasitesinin giderek algoritmik sistemler içerisinde kullanıldığı bir düzende ekonomik iktidar hangi koşullarda demokratik olarak meşru kabul edilebilir? Bu soru, algoritmanın doğru çalışıp çalışmadığından veya ekonomik sistemin verimli olup olmadığından farklıdır. Bir algoritma yüksek tahmin doğruluğuna sahip olabilir; bir finansal sistem riskleri insan karar vericiden daha hızlı değerlendirebilir; bir dijital ödeme altyapısı son derece güvenli ve etkili çalışabilir. Ancak teknik etkinlik, sistemin hangi amaçlara yönelmesi gerektiğini, hangi kişisel verilerin kullanılmasının kabul edilebilir olduğunu, hangi hata risklerinin kimler bakımından tolere edilebileceğini veya bireylerin ekonomik kararlara karşı hangi hukuki güvencelere sahip olması gerektiğini belirleyemez.

Teknik etkinlik ile normatif meşruiyet aynı kategori değildir (Habermas, 1984, ss. 8–42; Yeung, 2018, ss. 505–523).

Algoritmik ekonomideki dönüşüm "iktidarın insandan algoritmaya geçmesi" şeklinde açıklanmamalıdır. Daha doğru ifade, ekonomik karar yetkisinin kullanımının teknik ve kurumsal mimariler içerisine dağılmasıdır. Algoritmik sistemin arkasında veri sağlayıcıları, yazılım geliştiricileri, finans kuruluşları, kamu kurumları, merkez bankaları, düzenleyici otoriteler ve platform işletmecilerinden oluşan karmaşık bir karar zinciri bulunmaktadır. Bu nedenle algoritmik sistemler iktidarı ortadan kaldırmamakta; iktidarın kurumsal kaynağını, kararın nedenlerini ve sorumluluğun yerini daha az görünür hâle getirebilmektedir (Citron, 2008, ss. 1249–1313; Srivastava, 2023, ss. 989–1000).

Algoritmik ekonomide demokratik meşruiyet sorunu, ekonomik kararın insan yerine makine tarafından verilmesi probleminden çok, kararın arkasındaki normatif tercihlerin teknik zorunluluk görünümü kazanarak kamusal gerekçelendirme alanından uzaklaşması problemidir. "Algoritma böyle hesapladı" ifadesi, hangi verilerin kullanıldığı, hangi amaçların optimize edildiği, hangi risklerin kabul edilebilir bulunduğu ve ortaya çıkan zararlardan kimin sorumlu olduğu sorularını teknik kararın arkasında görünmezleştirebilir (Citron, 2008, ss. 1249–1313; Yeung, 2018, ss. 505–523).

Çalışmamızda teknik açıklanabilirlik ile normatif gerekçelendirilebilirlik arasında ayrım yapılarak, hangi değişkenlerin sonucu etkilediğini göstermesi ve teknik açıklanabilirlik kavramına odaklanışmıştır. Ancak bu değişkenlerin kullanılmasının hukuken ve normatif olarak neden kabul edilebilir olduğu ayrı bir sorudur. Demokratik meşruiyet bakımından esas olan yalnızca algoritmanın nasıl çalıştığını bilmek değil, algoritmik kararın tabi olduğu amaçları ve sınırları gerekçelendirebilmektir.

Dijital para çağında algoritmik ekonomik iktidarın demokratik meşruiyeti, algoritmik karar üretiminden vazgeçilmesine değil; bu karar yetkisinin amaçlarının kamusal olarak gerekçelendirilebilir, kurumsal olarak hesap verebilir, bireysel olarak itiraz edilebilir ve temel haklarla uyumlu bir hukuki düzen içerisinde kullanılmasına bağlıdır.

Çalışma, bu üç düzeyi; kamusal-normatif meşruiyet, kurumsal meşruiyet ve bireysel-usulî meşruiyet olarak ortaya koymuştur. Böylece şeffaflık, açıklanabilirlik, katılım, hesap verebilirlik ve temel hak koruması, birbirinden kopuk teknoloji etiği ilkeleri olarak değil, Habermasçı söylemsel meşruiyetin algoritmik ekonomideki kurumsal karşılıkları olarak değerlendirilmiştir (Habermas, 1996, ss. 82–131; Citron, 2008, ss. 1249–1313; Yeung, 2018, ss. 505–523).

1. HABERMAS'TA EKONOMİ, SİSTEM VE DEMOKRATİK MEŞRUİYET

1.1. İletişimsel Rasyonaliteyle Algoritmik Rasyonalite Arasındaki Ayrım

Habermas'ın modernlik teorisinin temel yönelimlerinden biri, rasyonaliteyi yalnızca belirli amaçlara ulaşmak için en etkili araçların seçilmesine indirgeyen anlayışın eleştirisidir. Araçsal ve stratejik rasyonalite modern bilim, teknoloji ve ekonominin işleyişi bakımından vazgeçilmezdir; ancak toplumsal normların geçerliliğini ve demokratik kararların meşruiyetini tek başına açıklayamaz. Habermas bu nedenle rasyonaliteyi gerekçe ileri sürme, karşılıklı anlaşma ve eleştirilebilirlik üzerinden iletişimsel bir boyutta yeniden kurmaktadır (Habermas, 1984, ss. 8–42; Baxter, 1987, ss. 39–86).

İletişimsel eylemde aktörler yalnızca karşı tarafın davranışını kendi amaçlarına göre yönlendirmeyi değil, ileri sürdükleri geçerlilik iddialarının karşılıklı olarak kabul edilebilir olmasını hedefler. Bu nedenle iletişimsel rasyonalite, gerektiğinde "neden?" sorusuna cevap verebilme kapasitesiyle yakından ilişkilidir. Rasyonel bir iddia, yalnızca etkili sonuç ürettiği için değil, eleştirildiğinde gerekçelendirilebildiği ölçüde geçerlilik iddiasında bulunabilir (Habermas, 1984, ss. 86–101).

Algoritmik ekonomik sistemlerin temel rasyonalitesi ise büyük ölçüde hesaplama, sınıflandırma, tahmin ve optimizasyona dayanır. Sistem belirli bir hedef fonksiyonu çerçevesinde en uygun sonucu hesaplayabilir. Bu açıdan algoritmik rasyonalite önemli ölçüde araçsal niteliktedir (Yeung, 2018, ss. 505–523).

Ancak algoritma kendisine verilen amacın neden seçilmesi gerektiğini belirlemez. Kredi sisteminin temerrüt riskini azaltması teknik olarak anlamlıdır; ancak risk azaltma ile finansal kapsayıcılık arasındaki dengenin nasıl kurulacağı normatif bir meseledir. CBDC altyapısının yüksek düzeyde izlenebilir olması teknik açıdan mümkün olabilir; fakat ekonomik mahremiyet ile suçla mücadele arasındaki sınırı algoritmanın kendisi belirleyemez.

Benzer biçimde bir finans algoritması getiriyi maksimize edebilir; ancak kâr maksimizasyonunun hangi hukuki ve toplumsal sınırlar içinde meşru kabul edileceği ayrı bir normatif sorudur (Habermas, 1984, ss. 8–42; Yeung, 2018, ss. 505–523).
Bu nedenle algoritmik ekonomi bakımından temel ayrım hesaplanabilirlik ile gerekçelendirilebilirlik arasındadır. Bir karar hesaplanabilir olabilir; ancak bu kararın dayandığı normatif amaç ve sınırlar ayrıca gerekçelendirilmelidir. Optimizasyon, gerekçelendirmenin yerini alamaz. Bu önerme algoritmik rasyonaliteyi reddetmemektedir. Ekonomik sistemin işlemesi bakımından tahmin, hesaplama ve optimizasyon gerekli olabilir. Ancak teknik sistem araçların etkinliği konusunda güçlü iken, amaçların ve normatif sınırların meşruiyetini tek başına belirleyemez. Algoritmik rasyonalite ile iletişimsel rasyonalite arasında işlevsel bir ayrım yapılabilir. Algoritmik rasyonalite "nasıl?" sorusuna; iletişimsel-demokratik rasyonalite ise "neden ve hangi sınırlar içinde?" sorusuna cevap vermelidir.

1.2. Sistem–Yaşam Dünyası Ayrımı ve Para–Veri–Algoritma Bileşimi

Habermas'ın sistem–yaşam dünyası ayrımı modern toplumların farklı koordinasyon biçimlerini açıklamaktadır. Yaşam dünyası kültürel anlamların, toplumsal dayanışmanın ve bireysel kimliğin iletişimsel süreçler içerisinde yeniden üretildiği alandır. Ekonomi ve idari sistem ise giderek karmaşıklaşan toplumsal ilişkileri para ve iktidar gibi genelleştirilmiş yönlendirme araçları üzerinden koordine etmektedir (Habermas, 1987, ss. 117–197; Baxter, 1987, ss. 39–86).
Habermas'ın eleştirisi sistemlerin varlığına yönelik değildir. Modern ekonomik ilişkilerin her işleminin iletişimsel uzlaşma aracılığıyla yürütülmesi mümkün değildir. Para, çok sayıda ekonomik işlemin tarafların her seferinde normatif uzlaşma üretmesine ihtiyaç duyulmaksızın koordine edilmesini sağlar. Sorun, sistemik koordinasyon mekanizmalarının yaşam dünyasının iletişimsel yeniden üretim alanlarına müdahale ederek kendi araçsal mantıklarını burada belirleyici hâle getirmeleridir (Habermas, 1987, ss. 301–373; Baxter, 1987, ss. 70–83).
Dijital ekonomide sistemik koordinasyonun yapısı daha karmaşık hâle gelmektedir. Para ekonomik değişimin temel aracı olmayı sürdürürken, ekonomik işlemler sürekli veri üretmekte ve bu veriler algoritmik sistemlerin yeni ekonomik sınıflandırmalar ve tahminler üretmesine imkân sağlamaktadır. Böylelikle ekonomik işlem yalnızca mevcut değerin değişimini değil, gelecekteki kararlar için kullanılabilecek yeni bilgi üretimini de içermektedir (Yeung, 2018, ss. 505–523).
Çalışmada "para–veri–algoritma bileşimi" ifadesi kullanılmaktadır. Ancak veri ve algoritma, Habermas'ın para kavramının yanına aynı statüde yerleştirilmiş yeni yönlendirme araçları olarak görülmemektedir. Daha doğru biçimde, veri ve algoritma paranın sistemik koordinasyon kapasitesini yoğunlaştıran teknik altyapılar olarak değerlendirilmektedir.
Bu süreç üç aşamada ifade edilebilir: ekonomik işlem veri üretir; veri bireyin ekonomik davranışını okunabilir hâle getirir; algoritma ise bu okunabilirliği sınıflandırma, tahmin ve yönlendirme kapasitesine dönüştürebilir (Yeung, 2018, ss. 505–523; Srivastava, 2023, ss. 989–1000).
Böylece ekonomik sistem, yalnızca bireyin gerçekleştirdiği işlemlere tepki veren bir yapı olmaktan çıkarak gelecekteki davranışı hakkında olasılıksal çıkarımlar üretebilen bir sisteme dönüşmektedir. Bu durum ekonomik iktidarın bilgi boyutunu güçlendirmektedir. Ekonomik sistemin birey hakkında ne bildiği kadar, bu bilgiden hareketle onun hangi fırsatlarla karşılaşacağını nasıl şekillendirdiği de önem kazanmaktadır (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732; Srivastava, 2023, ss. 989–1000).
Bu kapasite kendi başına demokratik olarak gayrimeşru değildir. Veri kullanımı dolandırıcılığı azaltabilir, finansal hizmetlere erişimi kolaylaştırabilir ve insan kararındaki bazı keyfîlikleri azaltabilir. Habermasçı eleştirinin hedefi teknoloji değil; sistemik kapasitenin normatif sınırlarının görünmezleşmesidir.

1.3. Yaşam Dünyasının Sömürgeleştirilmesi ve Algoritmik Yeniden Yorum

Habermas'ın yaşam dünyasının sömürgeleştirilmesi tezi, dijital ekonominin eleştirisi bakımından güçlü fakat dikkatli kullanılması gereken kavramlardan biridir. Habermas'a göre sistemik yönlendirme mekanizmalarının iletişimsel olarak yeniden üretilmesi gereken alanları kendi araçsal mantığına tabi kılması, modern toplumun temel patolojilerinden birini oluşturmaktadır (Habermas, 1987, ss. 301–373; Baxter, 1987, ss. 70–83).
Bu kavram algoritmik ekonomi bakımından doğrudan ve sınırsız biçimde kullanılamaz.

Her otomatik ödeme, her yapay zekâ destekli finansal işlem veya her dijital para sistemi yaşam dünyasının sömürgeleştirilmesi değildir. Böyle bir kullanım Habermas'ın kavramını aşırı genişletir. Algoritmik sömürgeleştirmeden söz edebilmek için daha yüksek bir normatif eşik gerekir. Bu çalışma bakımından söz konusu eşik, algoritmik sistem mantığının normatif meseleleri teknikleştirmesi, iletişimsel gerekçelendirme alanını daraltması ve bireyin itiraz kapasitesini sistematik biçimde zayıflatmasıdır.

İlk olarak eşitlik, mahremiyet, finansal erişim veya risk paylaşımı gibi meseleler salt optimizasyon sorunları şeklinde sunulduğunda kamusal tartışma daralabilir. İkinci olarak birey kendisini etkileyen kararın gerekçesine erişemediğinde iletişimsel karşılıklılık zayıflar. Üçüncü olarak algoritmik ekonomik sistemler yalnızca mevcut tercihleri değerlendirmek yerine seçenek ortamlarını sürekli biçimde yapılandırdığında sistemin davranışsal yönlendirme kapasitesi yoğunlaşabilir (Habermas, 1987, ss. 301–373; Yeung, 2018, ss. 505–523).

Algoritmik sömürgeleştirme kavramı, algoritmaların ekonomik sistemde kullanılmasını değil, teknik optimizasyon mantığının gerekçelendirme, itiraz ve iletişimsel özerklik alanlarını sistematik biçimde ikame etmeye başlamasını ifade etmek üzere sınırlı kullanılmalıdır.

1.4. Hukuk ve Demokratik Meşruiyet

Habermas'ın hukuk teorisi, algoritmik ekonominin demokratik meşruiyetini değerlendirmek bakımından sistem–yaşam dünyası analizini tamamlamaktadır. *Between Facts and Norms*'ta hukuk yalnızca devlet tarafından yaptırımla desteklenen normlar bütünü olarak değil, normların muhataplarının kendilerini aynı zamanda bu normların oluşum süreçlerinin özgür ve eşit katılımcıları olarak görebilmelerine dayanan bir meşruiyet sistemi içerisinde ele alınmaktadır (Habermas, 1996, ss. 82–131). Bu yaklaşımda demokratik meşruiyet yalnızca kararın sonucuyla ilgili değildir. Kararın hangi süreç içerisinde oluştuğu ve kararın muhataplarının bu normatif çerçeveyi eleştirme ve gerekçelerini sorgulama imkânına sahip olup olmadığı da önemlidir. Temel haklar ile demokratik halk egemenliği bu nedenle birbirinin alternatifi değil, karşılıklı olarak birbirini mümkün kılan yapılardır (Habermas, 1996, ss. 118–131).

Algoritmik ekonomi bakımından buradan önemli bir sonuç çıkmaktadır. Her algoritmik ekonomik kararın demokratik müzakereyle verilmesi gerekmez; ancak bu kararları mümkün kılan temel hukuki yetkilerin, amaçların ve sınırların demokratik olarak meşru hukuk normlarına dayanması gerekir.

Bir banka algoritmik kredi modelini kendi teknik altyapısı içerisinde geliştirebilir. Fakat hangi verilerin kullanılabileceği, hangi ayrımcılık biçimlerinin yasak olduğu, bireyin karara hangi koşullarda itiraz edebileceği veya insan gözetiminin hangi durumlarda gerekli olduğu özel şirketin tek taraflı teknik kararına bırakılamaz. Bunlar demokratik hukuk düzeninin belirlemesi gereken normatif sınırlardır (Citron, 2008, ss. 1249–1313; European Parliament & Council of the European Union, 2024).

Bu nedenle hukuk algoritmik ekonomi karşısında yalnızca dışsal bir yasaklama mekanizması değildir. Hukuk, demokratik kamusal alanda oluşan normatif beklentileri ekonomik ve teknik sistemlerin işleyişine aktarabilecek bir normatif çeviri mekanizması olarak düşünülebilir (Habermas, 1996, ss. 327–387; Baxter, 2002, ss. 473–615).

2. ALGORİTMİK EKONOMİK İKTİDARIN KAVRAMSAL YAPISI

2.1. Otomasyondan İktidara: Yapılandırma Kapasitesi

Algoritmik ekonomik iktidarın kavramsallaştırılmasında ilk dikkat edilmesi gereken husus, otomasyon ile iktidarın aynı şey olmadığıdır. Her otomatik sistem iktidar kullanmaz. Basit hesaplama, ödeme iletimi veya veri işleme sistemi, bireylerin ekonomik fırsatları üzerinde anlamlı bir yapılandırma kapasitesi taşımadığı sürece bu çalışmada kullanılan anlamda algoritmik ekonomik iktidardan söz etmek doğru değildir. Algoritmik ekonomik iktidarı ayırt eden temel özellik yapılandırma kapasitesidir. Sistem yalnızca veri işlememekte; bireyin ekonomik erişimini, risk sınıflandırmasını, fiyatlandırmasını veya görünür seçeneklerini etkileyebilmektedir (Yeung, 2018, ss. 505–523; Srivastava, 2023, ss. 989–1000). Algoritmik ekonomik iktidar, veri temelli sınıflandırma, tahmin ve optimizasyon sistemlerinin bireylerin ekonomik seçeneklere, kaynaklara ve fırsatlara erişimini doğrudan veya dolaylı biçimde yapılandırma kapasitesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu tanım bilgi, sınıflandırma ve sonuç üretme kapasitesini birlikte içermektedir.

Bir sistem birey hakkında veri toplamakta, bu veriler üzerinden kategori üretmekte ve oluşturduğu kategoriyi krediye erişim, fiyatlandırma veya başka ekonomik kararlara dönüştürmekteyse algoritmik ekonomik iktidarın üç temel boyutu bir araya gelmektedir (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732; Yeung, 2018, ss. 505–523).
Bu nedenle dijital ekonomide ekonomik güç yalnızca sermaye mülkiyetiyle veya resmî karar yetkisiyle açıklanamaz. Kimin sınıflandırma yapabildiği, kimlerin davranışları hakkında tahmin üretebildiği ve bu tahmini ekonomik sonuçlara dönüştürebildiği de ekonomik iktidarın önemli bir parçası hâline gelmektedir (Srivastava, 2023, ss. 989–1000).

2.2. Karar Yetkisinin Teknik Mimarilere Dağılması

Algoritmik sistemlerin önemli özelliklerinden biri karar sürecini farklı kurumsal katmanlara dağıtabilmeleridir. Model bir teknoloji şirketi tarafından geliştirilebilir; veriler başka kuruluşlardan gelebilir, finans kuruluşu sistemi kullanabilir, sonuç otomatik biçimde üretilebilir ve nihai karar farklı bir kurumun sorumluluğunda bulunabilir. Bu karmaşık yapı kararın kaynağını ve sorumluluğu belirsizleştirebilir. Otomasyon böylece yalnızca işlemi hızlandırmaz; aynı zamanda karar zincirini birey açısından daha az görülebilir hâle getirebilir (Citron, 2008, ss. 1249–1313; Yeung, 2018, ss. 505–523).
Bu nedenle "algoritma karar verdi" ifadesi analitik olarak yanıltıcı olabilir. Kararın nihai çıktısı algoritmik sistem tarafından üretilmiş olsa dahi sistemin kullanılmasına, hangi amaçla optimize edileceğine ve sonuçlarının hangi hukuki etkilere sahip olacağına insanlar ve kurumlar karar vermektedir.
Dolayısıyla ekonomik iktidar algoritmaya devredilmemekte; ekonomik karar yetkisinin kullanımı teknik mimarilere dağıtılmaktadır. Bu ayrım hesap verebilirlik bakımından belirleyicidir. Hesap vermesi gereken algoritma değildir. Sistemi geliştiren, yetkilendiren, kullanan ve onun ekonomik sonuçlarından yararlanan kurumsal aktörlerdir (Citron, 2008, ss. 1249–1313).

2.3. Algoritmik Otorite ve Teknik Tarafsızlık Görünümü

Algoritmik karar sistemleri ekonomik iktidarı yalnızca dağıtmakla kalmayabilir; aynı zamanda karara teknik otorite kazandırabilir. Matematiksel, istatistiksel veya veri temelli sonuçlar, insan kararına kıyasla daha nesnel ve tarafsız algılanabilir. Bu durum algoritmik sonucun daha az sorgulanmasına yol açabilir (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732). Oysa algoritmik sistemler değerlerden bağımsız değildir. Hangi verilerin kullanılacağı, hangi hedefin optimize edileceği, hangi hata oranının kabul edilebilir olduğu ve hangi sonuçların başarı olarak kabul edileceği tasarım tercihleridir. Bu tercihler teknik olduğu kadar ekonomik ve normatif sonuçlara da sahiptir (Yeung, 2018, ss. 505–523).
Bir kredi modelinin doğru risk tahmini yapması, krediye erişimin yalnızca risk minimizasyonuna göre düzenlenmesi gerektiğini göstermez. Bir dijital ödeme sisteminin bütün işlemleri izleyebilmesi, bütün işlemlerin izlenmesinin hukuken ve demokratik olarak kabul edilebilir olduğu anlamına gelmez. Teknik doğruluk ile normatif doğruluk birbirinden ayrılmalıdır. Habermasçı açıdan algoritmik otoritenin temel tehlikesi, eleştirilebilir gerekçenin yerine teknik sonucu koymasıdır. Sistem "doğru" hesapladığı için kararın meşru kabul edilmesi, araçsal rasyonalitenin normatif meşruiyet alanına taşınması anlamına gelir (Habermas, 1984, ss. 8–42). Algoritmik ekonomik iktidarın demokratik meşruiyeti, sonucun teknik doğruluğundan değil; sistemi kuran amaçların, yetkilerin ve sınırların kamusal olarak gerekçelendirilebilir olmasından doğmalıdır.

3. DİJİTAL PARA ÇAĞINDA ALGORİTMİK İKTİDARIN FARKLI YÜZLERİ

3.1.Kamusal Para ve Yüksek Söylemsel Meşruiyet Yükü

Merkez bankası dijital paraları algoritmik ekonomik iktidarın diğer biçimlerinden kamusal nitelikleri nedeniyle ayrılmaktadır. CBDC özel bir ödeme ürünü değil, merkez bankası tarafından ihraç edilen kamusal para biçimidir. Bu nedenle CBDC tasarımı yalnızca teknik verimlilik veya finansal inovasyon meselesi değildir; kamu otoritesi, para, veri, mahremiyet ve ekonomik özgürlük arasındaki ilişkinin yeniden düzenlenmesini içermektedir (BIS, 2020; BIS, 2024; IMF, 2024).
CBDC sistemleri tasarımlarına bağlı olarak ödeme etkinliğini artırabilir, finansal kapsayıcılığı geliştirebilir ve merkez bankası parasına dijital erişim sağlayabilir. Bununla birlikte veri yönetişimi, mahremiyet, finansal suçlarla mücadele, sistem güvenliği ve hukuki yetki bakımından önemli sorunlar ortaya çıkarabilir (BIS, 2024; IMF, 2024).

CBDC'nin bir kamu kurumu tarafından ihraç edilmesi tek başına demokratik meşruiyet için yeterli değildir. Kamusal kurumun hukuki yetkisi meşruiyetin başlangıç koşuludur; ancak sistemin hangi verileri toplayacağı, verileri kimlerin kullanabileceği, ekonomik işlemlerin hangi ölçüde izlenebilir olacağı ve programlanabilirliğin hangi sınırlar içerisinde kullanılabileceği ayrıca demokratik gerekçelendirme gerektirir (IMF, 2024).

Burada özellikle mahremiyet önem taşımaktadır. Dijital para sisteminde işlem verilerinin toplanabilmesi teknik olarak mümkündür. Ancak teknik kapasite hukuki yetki değildir. Bir sistemin belirli ekonomik davranışları görebilmesi, kamu otoritesinin bunları sınırsız biçimde izlemesinin meşru olduğu anlamına gelmez. CBDC bakımından söylemsel meşruiyet yükünün özel piyasa ürünlerine kıyasla daha yüksek olduğu savunulabilir. Kamusal para altyapısı geniş toplumsal etkiler doğurduğu için tasarımın temel normatif tercihleri yalnızca merkez bankası uzmanlığına bırakılamaz. Parlamento, düzenleyici kurumlar, kamusal istişare süreçleri ve temel hak denetimi bu yapının parçası olmalıdır (BIS, 2024; IMF, 2024).

Habermasçı açıdan burada uzmanlık ile meşruiyet birbirinden ayrılmalıdır. Teknik uzmanlık, doğru ve güvenli sistem kurmak için vazgeçilmezdir. Fakat normatif tercihlerin demokratik meşruiyetini tek başına sağlayamaz. Bu nedenle CBDC bakımından temel sonuç;Kamusal para dijitalleştikçe teknik uzmanlığın önemi artar; fakat aynı ölçüde kamusal gerekçelendirme gereksinimi de artar, şeklinde ifade edilebilir.

3.2. Programlanabilirlik ve Ekonomik Davranışın Yönlendirilmesi

CBDC bakımından demokratik meşruiyetin en hassas boyutlarından biri programlanabilirliktir. Burada programlanabilir ödeme altyapısı ile programlanabilir paranın birbirinden ayrılması gerekir. Ödeme işlemlerinin otomatikleştirilmesi, akıllı sözleşmeler veya koşullu ödeme mekanizmaları ekonomik etkinlik sağlayabilir. Buna karşılık paranın nerede, hangi amaçla veya ne kadar süre içerisinde kullanılabileceğinin dışarıdan sınırlandırılması daha farklı bir normatif mesele yaratır (BIS, 2024).

İkinci durumda para, ekonomik değişimi kolaylaştıran genel bir araç olmaktan çıkarak ekonomik davranışın yönlendirilmesinde kullanılabilecek bir teknik altyapıya dönüşebilir. Bu durum para aracının sistemik kapasitesini bireyin tercih ortamına daha doğrudan biçimde taşıyabilir. Programlanabilirliğin demokratik meşruiyeti teknik kapasite üzerinden değil, amaç, yetki, orantılılık ve temel haklar üzerinden değerlendirilmelidir.

3.3. Kripto Varlıklar ve Merkeziyetsizlik Paradoksu

Kripto varlıklarda meşruiyet sorunu CBDC'den farklıdır. CBDC'de kamu otoritesinin teknik kapasitesinin demokratik sınırları tartışılırken kripto sistemlerinde merkezi otoritenin protokoller, geliştirici topluluklar, token sahipleri ve diğer ağ aktörleri arasında dağıtılması söz konusudur. Bu yapı sıklıkla merkeziyetsizlik ve özerklik ile ilişkilendirilmektedir. Ancak merkeziyetsizlik, demokratiklik ile özdeş değildir. Devlet otoritesinin bulunmaması iktidarın ortadan kalkması anlamına gelmez; iktidar farklı teknik ve ekonomik düğümlerde yeniden yoğunlaşabilir.

Büyük token sahipleri, temel protokol geliştiricileri, doğrulayıcılar veya büyük platformlar yönetişim üzerinde diğer kullanıcılardan çok daha güçlü etkiye sahip olabilir. Bu nedenle merkeziyetsizlik bir demokratik sonuç değil, ampirik olarak test edilmesi gereken yönetişim özelliğidir. Habermasçı açıdan temel soru sistemde merkez bulunup bulunmadığı değil; kurallardan etkilenen kişilerin bu kuralların oluşumu ve değişimi üzerinde ne ölçüde etkili, eşit ve gerekçeye dayalı katılım imkânına sahip olduğudur. Merkeziyetsizlik iktidarın yokluğu değil, iktidarın yeniden dağılımıdır. Demokratik meşruiyet ise bu dağılımın hangi aktörler arasında, hangi kurallarla ve hangi hesap verebilirlik mekanizmaları içerisinde gerçekleştiğine bağlıdır.

3.4. Özel Dijital Platformlar ve Algoritmik Ekonomik İktidarın Yoğunlaşması

CBDC ve kripto varlıkların dışında algoritmik ekonomik iktidarın üçüncü önemli görünümü, özel dijital platformlar ve finansal teknoloji şirketleri üzerinden ortaya çıkmaktadır. Bu yapılarda ekonomik iktidar ne doğrudan kamu otoritesinde ne de dağıtık protokol mimarisinde yoğunlaşmaktadır. Aksine ödeme altyapısı, kullanıcı verisi, algoritmik sınıflandırma kapasitesi ve ekonomik hizmet sunumunun aynı veya birbiriyle bağlantılı özel aktörler tarafından kontrol edilmesi söz konusudur.

Bu durum, algoritmik yönetişimin yalnızca devletin veya klasik finans kuruluşlarının kullanabileceği bir araç olmadığını; özel teknoloji şirketlerinin de geniş ölçekli ekonomik ve toplumsal sonuçlar doğurabilecek yeni otorite biçimleri geliştirebildiğini göstermektedir (Yeung, 2018, ss. 505–523; Srivastava, 2023, ss. 989–1000).

Dijital platformların ekonomik gücü yalnızca piyasadaki büyüklüklerinden kaynaklanmamaktadır. Platform aynı anda ekonomik işlemin altyapısını sağlayabilir, kullanıcı hakkında sürekli veri toplayabilir, bu verileri davranışsal ve ekonomik profillere dönüştürebilir ve elde ettiği profilleri yeni hizmetlerin, fiyatlandırmanın veya finansal erişimin belirlenmesinde kullanabilir. Böylece ekonomik işlem, veri üretimi ve algoritmik karar verme aynı kurumsal yapının birbirini besleyen bileşenleri hâline gelebilir (Srivastava, 2023, ss. 989–1000).

Bu yapı, çalışmada önerilen para–veri–algoritma bileşiminin özel ekonomik iktidar bakımından en açık örneklerinden birini oluşturmaktadır. Platform ekonomik değişime aracılık ettikçe veri üretmekte; veri biriktikçe sınıflandırma ve tahmin kapasitesi artmakta; algoritmik tahmin kapasitesi arttıkça platformun ekonomik karar ortamını biçimlendirme gücü güçlenmektedir. Böylelikle veri yalnızca geçmiş işlemlerin kaydı değil, gelecekteki ekonomik iktidarın girdisi hâline gelmektedir (Yeung, 2018, ss. 505–523; Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732).

Bu durum klasik piyasa iktidarından bazı yönleriyle farklıdır. Ekonomik aktör yalnızca belirli bir mal veya hizmetin fiyatını belirlememekte; aynı zamanda bireyin hangi seçeneklerle karşılaşacağını, hangi ürünlerin görünür olacağını veya hangi risk kategorisinde değerlendirileceğini etkileyebilmektedir. Bu nedenle algoritmik platform iktidarı, ekonomik iktidarın seçenek ortamını yapılandırma kapasitesi olarak da değerlendirilmelidir.

Habermasçı perspektiften bu noktada özel ve kamusal iktidar arasındaki ayrım önemini korumakla birlikte yeterli değildir. Özel bir şirketin algoritmik kararı devlet kararı değildir ve doğrudan demokratik irade oluşumuna tabi tutulması beklenemez. Bununla birlikte özel ekonomik iktidarın bireylerin yaşam fırsatları üzerinde sistematik ve yapısal sonuçlar doğurduğu ölçüde, demokratik hukuk düzeni bu iktidarın sınırlarını belirlemek zorundadır. Habermas'ın hukuk teorisinde ekonomik sistemin demokratik siyasetin dışında farklılaşmış olması, piyasa aktörlerinin hukuk dışı veya normatif denetimden bağımsız olması anlamına gelmemektedir (Habermas, 1996, ss. 327–387; Baxter, 2002, ss. 473–615).

Algoritmik platform ekonomisinin demokratik meşruiyeti, özel şirketlerin doğrudan demokratik organlara dönüştürülmesi üzerinden değil, özel ekonomik iktidarın demokratik olarak meşru hukuk normlarına bağlanması üzerinden kurulmalıdır. Veri kullanımının sınırlandırılması, ayrımcılığın önlenmesi, otomatik kararların denetlenmesi, bireysel itiraz mekanizmaları ve kurumsal hesap verebilirlik bu hukuki bağın temel araçlarıdır (Citron, 2008, ss. 1249–1313; Yeung, 2018, ss. 505–523). Bu noktada, çalışmanın genel yaklaşımına uygun olarak "özel olduğu için demokratik denetim gerektirmez" veya "toplumsal etki yarattığı için her özel karar demokratikleştirilmelidir" şeklindeki iki uç yaklaşımın da aşılması gerekmektedir. Asıl mesele ekonomik iktidarın kamusal etkisinin yoğunluğu ile hukuki denetimin yoğunluğu arasında normatif bir ilişki kurulmasıdır. Algoritmik ekonomik iktidarın kamusal etkisi arttıkça, özel niteliğine rağmen gerekçelendirme, hesap verebilirlik ve temel hak korumasına ilişkin hukuki yükümlülüklerin yoğunluğu da artmalıdır.

4.AÇIKLANABİLİRLİKTEN GEREKÇELENDİRİLEBİLİRLİĞE DOĞRU YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ FİNANSAL KARARLAR

4.1. Ekonomik Kararın Tahmine Dönüşmesi

Yapay zekâ destekli finansal sistemlerin ayırt edici özelliklerinden biri, ekonomik kararın giderek olasılıksal tahmine dayanmasıdır. Geleneksel finansal değerlendirme de geleceğe ilişkin tahminler içerir; kredi veren kuruluş zaten borcun geri ödenip ödenmeyeceğini öngörmeye çalışmaktadır. Bununla birlikte makine öğrenmesi temelli sistemler çok daha geniş veri kümelerini kullanabilmekte ve insan karar vericinin doğrudan anlamlandırmakta güçlük çekebileceği ilişkiler üzerinden olasılıksal sınıflandırmalar üretebilmektedir (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732; Yeung, 2018, ss. 505–523). Bu dönüşüm sonucunda birey yalnızca mevcut hukuki veya ekonomik durumuna göre değil, gelecekte belirli bir davranışı sergileme ihtimaline göre de sınıflandırılabilir. Böylece finansal sistem, "kişinin ne yaptığı" sorusundan giderek "kişinin ne yapmasının muhtemel olduğu" sorusuna doğru hareket etmekte ve bu değişiklik ekonomik kararın epistemik yapısını dönüştürmektedir.

Birey, kendi davranışlarının doğrudan hukuki sonuçlarıyla karşılaşmanın yanı sıra, veri modeli tarafından kendisi hakkında üretilmiş istatistiksel çıkarımların sonuçlarıyla da karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle algoritmik finansın temel sorunlarından biri, kişi ile onun veri profili arasındaki mesafedir.
Algoritmik profil bireyin bütün toplumsal, ekonomik ve kişisel bağlamını temsil etmez. Belirli bir karar amacı bakımından seçilen veri ve korelasyonlardan oluşan bir modeldir. Buna rağmen profil ekonomik fırsata erişimin belirleyicisi hâline geldiğinde istatistiksel temsil ile gerçek kişinin hukuki konumu arasındaki ayrım önem kazanır (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732).
Bu nedenle algoritmik finansın meşruiyeti yalnızca tahminin doğruluğuna indirgenemez. Model doğru tahmin yapıyor olsa bile bu tahminin hangi hukuki sonuçları üretmesine izin verileceği ayrıca normatif olarak belirlenmelidir.

4.2. Teknik Açıklanabilirlik ve Normatif Gerekçelendirilebilirlik

Algoritmik finans tartışmalarında açıklanabilirlik temel ilkelerden biri hâline gelmiştir. Bununla birlikte "açıklama" kavramı farklı türden soruları içerebilir ve bu soruların ayrıştırılması gerekir. İlk anlamıyla açıklanabilirlik teknik veya nedensel niteliktedir. Modelin hangi girdiler nedeniyle belirli bir sonuca ulaştığını veya hangi değişkenlerin kararda etkili olduğunu anlamaya yöneliktir. İkinci ve bu çalışma bakımından daha önemli olan anlam ise normatiftir: Bu değişkenlerin kullanılmasına neden izin verildi? Bu karar ölçütü neden adildir? Bu sonucun birey üzerinde bu kadar güçlü bir ekonomik etki doğurması neden hukuken kabul edilebilir? Bu sorular teknik açıklanabilirlikten normatif gerekçelendirilebilirliğe geçişi ifade etmektedir.
Habermas'ın iletişimsel rasyonalite anlayışı açısından bu ayrım belirleyicidir. Bir olgunun nasıl ortaya çıktığını açıklamak ile o olguya dayanan normatif kararın neden kabul edilmesi gerektiğini gerekçelendirmek aynı şey değildir. İletişimsel rasyonalite, geçerlilik iddialarının eleştiriye açık olmasını gerektirir (Habermas, 1984, ss. 8–42).
Bu nedenle algoritmik ekonomik karar bakımından yalnızca "model bu nedenle bu sonucu üretti" demek yeterli olmayabilir. Aynı zamanda sistemin kullandığı kriterlerin ve ortaya çıkardığı ekonomik sonuçların hukuken savunulabilir olması gerekir (Citron, 2008, ss. 1249–1313).
Bu ayrım çalışmanın özgün Habermasçı önerilerinden birini oluşturmaktadır: Algoritmik ekonominin demokratik meşruiyetinde açıklanabilirlik, gerekçelendirilebilirliğin teknik ön koşuludur; fakat onun yerine geçmez.
Anlamlı bir meşruiyet modeli için en az üç aşama gerekir. Öncelikle karardan etkilenen birey, sonucun temel nedenlerini anlayabilmelidir. İkinci olarak kullanılan kriterlerin hukuken ve normatif olarak savunulabilir olması gerekir. Üçüncü olarak birey bu gerekçelere itiraz edebilmelidir. Böylece açıklanabilirlik teknik bir kalite niteliğinden çıkarak gerekçe isteme hakkıyla bağlantılı hukuki bir meşruiyet koşuluna dönüşmektedir.

4.3. İtiraz Edilebilirlik ve Algoritmik Kararın Söylemsel Sınırı

Habermasçı söylem yaklaşımının algoritmik ekonomik kararlar bakımından en önemli sonuçlarından biri, itiraz edilebilirlik ilkesidir. İletişimsel rasyonalite bakımından hiçbir geçerlilik iddiası eleştiriden bütünüyle bağışık değildir. Algoritmik karar da bireyin önemli ekonomik imkânlarını etkilediği ölçüde hukuken sorgulanabilir olmalıdır (Habermas, 1984, ss. 8–42; Citron, 2008, ss. 1249–1313).
İtiraz edilebilirlik yalnızca sistemin teknik hata yapması hâliyle sınırlandırılmamalıdır. Bireyin kendi hakkında kullanılan verinin yanlış olduğunu ileri sürmesi elbette önemlidir; ancak daha geniş anlamda kişi kullanılan sınıflandırmanın kendisine uygulanışını, kararın ölçülülüğünü veya ortaya çıkan sonucun hukuki meşruiyetini de sorgulayabilmelidir.
Bu nedenle etkili itiraz en az üç düzey içermelidir: veriye itiraz, sınıflandırmaya itiraz ve sonuca itiraz. Veriye itiraz, bireyin kendi hakkında kullanılan yanlış veya eksik bilgileri düzeltmesini sağlar. Sınıflandırmaya itiraz, doğru veri kullanılmış olsa bile modelin kişiyi yanlış veya haksız bir kategoriye yerleştirdiği iddiasını mümkün kılar. Sonuca itiraz ise algoritmik değerlendirmenin doğurduğu ekonomik kararın somut olay bakımından yeniden incelenmesini sağlar. Bu yapı, Citron'un otomatik karar sistemleri karşısında usulî güvencelerin ve teknolojik due process yaklaşımının önemini vurgulayan analizleriyle uyumludur (Citron, 2008, ss. 1249–1313). İnsan gözetiminin niteliği de önem taşımaktadır. Bir sistemin karar zincirinde insanın bulunması tek başına yeterli değildir.

İnsan karar verici algoritmik sonucu anlamadan veya değiştirme kapasitesine sahip olmadan yalnızca onay veriyorsa insan gözetimi sembolik kalabilir. Anlamlı insan gözetimi, algoritmik çıktıyı sorgulama ve gerektiğinde değiştirme kapasitesini içermelidir.
AB Yapay Zekâ Tüzüğü'nün yüksek riskli sistemler bakımından insan gözetimi ve risk yönetimine verdiği önem de otomatik kararların kurumsal sorumluluğun dışına çıkarılamayacağını göstermektedir (European Parliament & Council of the European Union, 2024). İtiraz edilebilirlik, söylemsel meşruiyetin bireysel düzeydeki en somut karşılıklarından biri olarak değerlendirilebilir. Kamusal alanda yurttaş normların oluşumunu sorgular; bireysel düzeyde ise kararın muhatabı normun kendisine nasıl uygulandığını sorgulayabilir.

4.4. Algoritmik Ayrımcılık ve Demokratik Eşitlik

Yapay zekâ destekli finansal kararların bir başka önemli sorunu ayrımcılık riskidir. Veri temelli sistemlerin doğrudan korunan özellikleri kullanmaması, ayrımcı sonuçların ortaya çıkmayacağı anlamına gelmemektedir. Geçmiş toplumsal eşitsizlikleri içeren veri kümeleri, korunan özelliklerle ilişkili değişkenler veya belirli grupları sistematik biçimde dezavantajlı hâle getiren hedef fonksiyonları ayrımcı etkiler üretebilir (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732).
Habermasçı açıdan eşitlik yalnızca karar sonucunun istatistiksel dağılımı bakımından değil, demokratik öznelerin hukuk düzeni içerisindeki eşit konumları bakımından da önemlidir. Demokratik meşruiyet, normların muhataplarının özgür ve eşit yurttaşlar olarak kabul edilebilmesine dayanır (Habermas, 1996, ss. 118–131).
Bu nedenle algoritmik ekonomik sistemlerin belirli grupları sistematik biçimde ekonomik fırsatlardan dışlaması yalnızca model performansının teknik sorunu olarak değerlendirilemez. Finansal kaynaklara erişim, bireyin toplumsal ve ekonomik yaşamına katılımını ciddi biçimde etkileyebildiği ölçüde ayrımcılık demokratik eşitlik bakımından da önem taşır.
Bu nedenle algoritmik ayrımcılığın önlenmesi, algoritmik ekonominin söylemsel meşruiyetinin maddi sınırlarından biri olarak görülmelidir.

5. ALGORİTMİK EKONOMİNİN SÖYLEMSEL MEŞRUİYETİ

Yapılan değerlendirmeler, algoritmik ekonomik iktidarın demokratik meşruiyetinin tek bir etik ilkeye veya yalnızca algoritmik şeffaflığa indirgenemeyeceğini göstermektedir. Şeffaf bir sistem demokratik bakımdan gayrimeşru amaçlara hizmet edebilir; teknik olarak açıklanabilir bir karar adaletsiz olabilir; katılımcı görünen bir yönetişim sistemi ekonomik güç eşitsizlikleri nedeniyle fiilen birkaç aktörün kontrolünde bulunabilir.
Bu nedenle algoritmik ekonomik iktidarın demokratik meşruiyeti çok düzeyli bir yapı içerisinde değerlendirilmelidir (Habermas, 1996, ss. 82–131; Yeung, 2018, ss. 505–523; Citron, 2008, ss. 1249–1313). Çalışmada bu yapı üç düzeyde kurulmaktadır: kamusal-normatif meşruiyet, kurumsal meşruiyet ve bireysel-usulî meşruiyet.

5.1. Kamusal Normatif Meşruiyet

Kamusal-normatif meşruiyet algoritmik ekonomik sistemin temel amaçlarının ve sınırlarının demokratik hukuk düzeni içerisinde gerekçelendirilebilir olmasını ifade etmektedir.
Bu düzeyde temel soru: "Sistem ne yapabiliyor?" değil, "Sisteme ne yapma yetkisi verilmelidir?" sorusudur. Bu ayrım özellikle CBDC bakımından önemlidir. Dijital para altyapısının teknik olarak işlem verilerini ayrıntılı biçimde takip edebilmesi, bu kapasitenin kullanılmasına otomatik hukuki yetki sağlamaz. Benzer biçimde algoritmik kredi sisteminin çok geniş veri kümelerini kullanabilmesi, bütün bu verilerin kredi kararında kullanılmasının hukuken kabul edilebilir olduğu anlamına gelmez (BIS, 2024; IMF, 2024; European Parliament & Council of the European Union, 2024).
Kamusal-normatif meşruiyet, algoritmik ekonomik sistemlerin temel değer tercihlerinin demokratik süreçlerden tamamen koparılmamasını gerektirir. Teknik ayrıntıların yasama organı tarafından belirlenmesi gerekmeyebilir; ancak mahremiyet, ekonomik eşitlik, finansal erişim ve kamu otoritesinin sınırları gibi temel tercihler yalnızca teknik uzmanların takdirine bırakılamaz. Habermas'ın dijitalleşmiş kamusal alana ilişkin daha yeni değerlendirmeleri de önem taşımaktadır. Dijital iletişim ortamları kamusal tartışmanın yapısını dönüştürmekte ve demokratik irade oluşumunun koşullarını yeniden şekillendirmektedir (Habermas, 2023; Eisenegger & Schäfer, 2023, ss. 61–69).

Algoritmik ekonominin kamusal-normatif meşruiyeti, yalnızca düzenleyici kurumların varlığına değil, ekonomik teknolojiye ilişkin temel değer tercihlerinin kamusal olarak görünür ve tartışılabilir olmasına bağlıdır.

5.2. Kurumsal Meşruiyet

İkinci düzey, algoritmik ekonomik sistemin arkasındaki kurumların yetki, sorumluluk ve denetim ilişkilerini ifade etmektedir. Algoritmik kararın kurumsal zinciri çoğu zaman karmaşıktır. Veriyi sağlayan, modeli geliştiren, sistemi satın alan, kullanan ve nihai ekonomik kararı uygulayan aktörler farklı olabilir. Bu yapı, algoritmik ekonomik iktidarın sorumluluk ilişkilerini görünmezleştirme riskini doğurmaktadır (Citron, 2008, ss. 1249–1313; Srivastava, 2023, ss. 989–1000).

Kurumsal meşruiyet bu nedenle algoritmanın arkasındaki insan ve kurumların yeniden görünür hâle getirilmesini gerektirir. Şu soruların cevabı açık olmalıdır: Sistemin kullanımına kim karar vermektedir? Hangi kurum sistem üzerinde nihai kontrol yetkisine sahiptir? Sistemin hatalarını kim izlemektedir? Kararın sonuçlarından kim sorumludur? Kim sistemi durdurabilir veya değiştirebilir? Bu sorular cevapsız kaldığında algoritmik karar teknik süreç içerisinde sorumluluktan kopar. Kurumsal hesap verebilirlik, algoritmik ekonomik iktidarın demokratik meşruiyetinin vazgeçilmez unsurudur (Yeung, 2018, ss. 505–523).

5.3. Bireysel Usulî Meşruiyet

Üçüncü düzey, algoritmik karardan doğrudan etkilenen bireyin hukuki konumuna ilişkindir. Bir sistem kamusal olarak meşru amaçlara sahip ve iyi düzenlenmiş olabilir; fakat bireyin somut uygulama karşısında hiçbir anlamlı itiraz hakkı yoksa iktidar birey bakımından yine gerekçesiz hâle gelebilir. Bireysel-usulî meşruiyet en az dört unsuru gerektirir: karardan haberdar olma,

anlamlı gerekçeye erişme, yanlış veya adaletsiz değerlendirmeye itiraz etme, bağımsız veya insan tarafından gerçekleştirilen yeniden incelemeye erişme.

Bu unsurlar algoritmik kararın bütünüyle iletişimsel bir sürece dönüşmesini gerektirmez. Ancak kararın muhatabını tamamen pasif bir veri nesnesine indirgemesini önler (Citron, 2008, ss. 1249–1313). Bireysel-usulî meşruiyet, algoritmik ekonomik sistem karşısında bireyin iletişimsel özerkliğinin korunması olarak da görülebilir.

Bu üç düzey birbirinin alternatifi değildir. Kamusal-normatif meşruiyet varsa fakat kurumsal sorumluluk yoksa sistem demokratik olarak kontrol edilemeyebilir.

Kurumsal sorumluluk varsa fakat bireysel itiraz yoksa somut karar gerekçesiz iktidar yaratabilir.

Bireysel itiraz mekanizması varsa fakat sistemin temel amaçları demokratik olarak sorunluysa usulî koruma yapısal meşruiyet sorununu çözemez. Algoritmik ekonomik iktidarın demokratik meşruiyeti ancak üç düzeyin birlikte değerlendirilmesiyle kurulabilir. Bu yapı şu şekilde formüle edilebilir: Kamusal gerekçelendirme → kurumsal sorumluluk → bireysel gerekçe ve itiraz → temel haklarla uyum → demokratik meşruiyet.

6. HUKUKUN NORMATİF ÇEVİRİ İŞLEVİ

Habermas'ın hukuk teorisi bu üç düzeyli meşruiyet modelini teknik sistemlerin işleyişine bağlayabilecek temel kurumsal mekanizmayı sağlamaktadır. Hukuk bir taraftan kamusal iletişim ve demokratik irade oluşumuyla bağlantılıdır; diğer taraftan ekonomik ve idari sistemler üzerinde bağlayıcı etki yaratmaktadır (Habermas, 1996, ss. 327–387; Baxter, 2002, ss. 473–615). Çalışmada hukukun algoritmik ekonomi bakımından normatif çeviri işlevi bulunduğu ileri sürülmektedir. Normatif çeviri, demokratik olarak gerekçelendirilmiş değerlerin teknik sistemlerin uygulanabilir sınırlarına dönüştürülmesini ifade etmektedir.

Mahremiyet ilkesi, veri minimizasyonu, erişim sınırları ve saklama sürelerine; eşitlik ilkesi, ayrımcı model testlerine ve yasaklanmış veri kullanımlarına; hesap verebilirlik, kayıt, denetim ve kurumsal sorumluluk yükümlülüklerine; etkili hukuki korunma ise açıklama, itiraz ve yeniden değerlendirme mekanizmalarına dönüştürülebilir (Citron, 2008, ss. 1249–1313; Yeung, 2018, ss. 505–523). Böylelikle hukuk yalnızca algoritmik sistemin ne yapamayacağını belirleyen dışsal bir yasaklayıcı değildir. Aynı zamanda sistemin meşru biçimde nasıl tasarlanabileceğinin normatif koşullarını kurmaktadır.

Algoritmik ekonominin hukuksallaştırılması, her algoritmanın ayrıntılı biçimde düzenlenmesi anlamına gelmemektedir. Daha sınırlı olarak şu unsurların hukuk tarafından belirlenmesini ifade etmektedir; yetki, amaç, sorumluluk, denetim, gerekçelendirme, itiraz ve temel hak sınırları.

Algoritmik ekonominin hukuksallaştırılması, teknolojiyi hukukla ikame etmek değil; teknik iktidarı demokratik hukuk düzenine yeniden bağlamak anlamına gelmektedir. Bu ilişki şu üçlü yapı içerisinde düşünülebilir: Demokratik normatif tercih → hukuki çeviri → teknik ve kurumsal tasarım. Bu süreç uygulamada tek yönlü değildir. Teknik gelişmeler yeni hukuki sorunlar doğurur; hukuk yeni teknik tasarımları teşvik edebilir, kamuoyu yeni normatif beklentiler geliştirebilir. Analitik olarak bu ayrım, teknik kapasite ile normatif yetkinin birbirine karışmasını önlemektedir. Hukuk algoritmik ekonominin karşısındaki dış sınır değil, algoritmik ekonomik iktidarın demokratik olarak meşrulaştırılabilmesinin kurumsal ara yüzüdür.

7. SÖMÜRGELEŞTİRME TEZİNİN DİJİTAL EKONOMİDEKİ SINIRI

Algoritmik ekonomik iktidarın Habermas'ın sömürgeleştirme tezi bakımından değerlendirilmesi bu noktada nihai biçimine kavuşturulabilir. Her algoritmik ekonomik kararın yaşam dünyasının sömürgeleştirilmesi olarak nitelenmesi teorik olarak aşırı geniştir. Habermas'ın kavramı, sistem mantığının iletişimsel yeniden üretim alanlarını ikame etmesine ilişkin daha güçlü bir toplumsal patolojiyi ifade etmektedir (Habermas, 1987, ss. 301–373; Baxter, 1987, ss. 70–83). Algoritmik sömürgeleştirmeden ancak üç tür etki belirginleştiğinde söz edilmesi daha isabetlidir.

İlk olarak normatif meselelerin teknik optimizasyon sorunlarına indirgenmesi gerekir. Mahremiyet, eşitlik veya ekonomik erişim gibi sorunlar yalnızca veri ve performans problemleri olarak görülmeye başladığında kamusal gerekçelendirme alanı daralır. İkinci olarak bireyin karar karşısındaki iletişimsel konumunun zayıflaması gerekir. Kararın gerekçesine erişemeyen veya etkili biçimde itiraz edemeyen kişi ekonomik sistem karşısında yalnızca veri nesnesi hâline gelebilir. Üçüncü olarak davranışsal yapılandırmanın sistematik hâle gelmesi gerekir. Algoritmik ekonomik sistem bireyin mevcut tercihini değerlendirmekle kalmayıp sürekli biçimde tercih ortamını şekillendirdiğinde sistemin yaşam dünyası üzerindeki yönlendirme kapasitesi yoğunlaşabilir (Yeung, 2018, ss. 505–523).

Bu nedenle algoritmik sömürgeleştirme şu şekilde tanımlanabilir: Algoritmik sömürgeleştirme, ekonomik sistemde algoritma kullanılmasını değil; algoritmik optimizasyon mantığının normatif gerekçelendirme, itiraz ve iletişimsel özerklik alanlarını sistematik olarak daraltmasını ifade eder. Bu tanım, Habermas'ın kavramını dijital çağda kullanılabilir tutarken onu bütün teknolojik sorunları açıklayan aşırı geniş bir metafora dönüştürmekten kaçınmaktadır.

SONUÇ

Dijital para sistemleri, merkez bankası dijital paraları, kripto varlıklar, özel ödeme platformları ve yapay zekâ destekli finansal karar mekanizmaları, çağdaş ekonominin yalnızca teknik araçlarını değil, ekonomik iktidarın kullanılma biçimini de dönüştürmektedir. Ekonomik işlemlerin veri üretmesi, verinin algoritmik sistemler tarafından sınıflandırılması ve bu sınıflandırmaların yeni ekonomik kararların temelini oluşturması, ekonomik sistemin bireyler hakkında bilgi üretme ve davranış koşullarını yapılandırma kapasitesini artırmaktadır (Yeung, 2018, ss. 505–523; Srivastava, 2023, ss. 989–1000). Bu dönüşüm karşısında temel sorun algoritmaların ekonomik sistemde kullanılıp kullanılmaması değildir. Algoritmalar risk tahmini, dolandırıcılık tespiti, ödeme etkinliği ve finansal hizmetlerin sunumu bakımından önemli yararlar sağlayabilir. Demokratik meşruiyet problemi, bu teknik kapasitenin hangi amaçlarla, hangi hukuki yetkilerle ve kimin sorumluluğu altında kullanılacağı noktasında ortaya çıkmaktadır.

Ekonomik iktidarın algoritmaya "devredildiği" ve ekonomik karar yetkisinin kullanımının teknik ve kurumsal mimarilere dağıldığı ileri sürülmüştür. Bu ayrım meşruiyet ve sorumluluk bakımından önemlidir; çünkü algoritmik sistemin varlığı, arkasındaki kurumsal sorumluluğu ortadan kaldırmaz (Citron, 2008, ss. 1249–1313). Çalışmanın üçüncü temel sonucu, hesaplanabilirlik ile gerekçelendirilebilirlik arasındaki ayrımdır. Bir algoritmik karar teknik olarak doğru olabilir; ancak bu kararın amaçları, kullandığı normatif ölçütler veya temel haklar üzerindeki etkileri ayrıca gerekçelendirilmelidir. Optimizasyon gerekçelendirmenin yerini alamaz. Aynı biçimde teknik açıklanabilirlik de normatif gerekçelendirilebilirlik ile özdeş değildir.

Demokratik meşruiyet için yalnızca sistemin neden belirli bir çıktı ürettiğinin bilinmesi değil, o çıktının dayandığı ölçütlerin neden hukuken kabul edilebilir olduğunun da açıklanabilmesi gerekir.
Çalışmamızda algoritmik ekonomik iktidarın demokratik meşruiyeti üç düzeyde kurulmuştur: kamusal-normatif meşruiyet, kurumsal meşruiyet ve bireysel-usulî meşruiyet. Bu üçlü mimari, şeffaflık, açıklanabilirlik, katılımcılık, hesap verebilirlik ve temel haklar gibi ilkeleri birbirinden kopuk etik talepler olmaktan çıkararak daha sistematik bir meşruiyet yapısına yerleştirmektedir.
Hukuk algoritmik ekonomiyi dışarıdan sınırlayan bir yasaklama sistemi olarak değil, demokratik normatif tercihleri teknik ve ekonomik sistemlere aktarabilecek bir normatif çeviri mekanizması olarak değerlendirilmiştir (Habermas, 1996, ss. 327–387; Baxter, 2002, ss. 473–615). Algoritmik ekonominin hukuksallaştırılması teknolojik yeniliğin hukuk tarafından ikame edilmesi anlamına gelmemektedir. Daha sınırlı biçimde yetki, amaç, sorumluluk, denetim, gerekçelendirme, itiraz ve temel hak sınırlarının belirlenmesini ifade etmektedir.
Son olarak Habermas'ın yaşam dünyasının sömürgeleştirilmesi tezi dijital ekonomi bakımından sınırlı biçimde yeniden yorumlanmıştır. Her algoritmik karar sömürgeleştirme değildir. Ancak teknik optimizasyon mantığı normatif gerekçelendirme, bireysel itiraz ve iletişimsel özerklik alanlarını sistematik biçimde daraltmaya başladığında Habermasçı sömürgeleştirme eleştirisi yeniden önem kazanabilir (Habermas, 1987, ss. 301–373).
Dijital para çağında Habermas'ın güncelliği de tam burada ortaya çıkmaktadır. Habermas'ın dijital para veya yapay zekâ hakkında öngörüde bulunmuş olması gerekmez. Onun düşüncesinin güncelliği daha temel bir soruda yatmaktadır: Ekonomik ve toplumsal iktidar teknik olarak ne kadar karmaşık hâle gelirse gelsin, kamusal gerekçelendirme yükümlülüğünden kurtulabilir mi? Bu çalışmanın cevabı, olumsuzdur.
Ekonomik kararın kod içinde üretilmesi, iktidarın demokratik meşruiyet ihtiyacını ortadan kaldırmaz. Tam tersine kararın kurumsal kaynağı ve gerekçeleri daha az görünür hâle geldikçe şeffaflık, kamusal gerekçelendirme, hesap verebilirlik ve bireysel itirazın önemi artmaktadır.
Bu nedenle algoritmik ekonominin demokratik geleceği yalnızca daha güçlü hesaplama sistemleri geliştirmeye değil, teknik iktidarı demokratik hukukla yeniden ilişkilendirebilen kurumsal mekanizmalar kurabilmeye bağlıdır. Ve çalışmanın temel sonucunu tek cümlede ifade etmek gerekirse: Algoritma ekonomik sistemi optimize edebilir; fakat ekonomik iktidarı meşrulaştıramaz.

KAYNAKÇA

Bank for International Settlements. (2020). *Central bank digital currencies: Foundational principles and core features*. Bank for International Settlements.
Bank for International Settlements. (2024). *Central bank digital currencies: Legal and system design considerations*. Bank for International Settlements.
Barocas, S., & Selbst, A. D. (2016). Big data's disparate impact. *California Law Review, 104*(3), 671–732.
Baxter, H. (1987). System and life-world in Habermas's "Theory of communicative action." *Theory and Society, 16*(1), 39–86.
Baxter, H. (2002). System and lifeworld in Habermas's theory of law. *Cardozo Law Review, 23*, 473–615.
Citron, D. K. (2008). Technological due process. *Washington University Law Review, 85*(6), 1249–1313.
Eisenegger, M., & Schäfer, M. S. (2023). Editorial: Reconceptualizing public sphere(s) in the digital age? On the role and future of public sphere theory. *Communication Theory, 33*(2–3), 61–69.
European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence. *Official Journal of the European Union, L, 2024/1689*.
Habermas, J. (1984). *The theory of communicative action: Vol. 1. Reason and the rationalization of society* (T. McCarthy, Trans.). Beacon Press.
Habermas, J. (1987). *The theory of communicative action: Vol. 2. Lifeworld and system: A critique of functionalist reason* (T. McCarthy, Trans.). Beacon Press.
Habermas, J. (1989). *The structural transformation of the public sphere: An inquiry into a category of bourgeois society* (T. Burger & F. Lawrence, Trans.). MIT Press.
Habermas, J. (1996). *Between facts and norms: Contributions to a discourse theory of law and democracy* (W. Rehg, Trans.). MIT Press.

Habermas, J. (2023). *A new structural transformation of the public sphere and deliberative politics* (C. Cronin, Trans.). Polity.

International Monetary Fund. (2024). *Central bank digital currency data use and privacy protection*. International Monetary Fund.

Jungherr, A., & Schroeder, R. (2023). Artificial intelligence and the public arena. *Communication Theory*, *33*(2–3), 164–173. https://doi.org/10.1093/ct/qtad006

Srivastava, S. (2023). Algorithmic governance and the international politics of Big Tech. *Perspectives on Politics*, *21*(3), 989–1000. https://doi.org/10.1017/S1537592721003145

Yeung, K. (2018). Algorithmic regulation: A critical interrogation. *Regulation & Governance*, *12*(4), 505–523. https://doi.org/10.1111/rego.12158

EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN TEACHER PERFORMANCE, SCHOOL ADMINISTRATORS' LEADERSHIP STYLES AND TECHNOLOGICAL LEADERSHIP BEHAVIORS

Specialist Feyman APTULA
Department of Educational Administration and Supervision, Institute of Graduate Education, Teaching and Research, Cyprus Health and Social Sciences University, Güzelyurt, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0009-0000-8214-964X

Assoc. Prof. Dr. Hülya ŞENOL
Department of Educational Administration and Supervision, Institute of Graduate Education, Teaching and Research, Cyprus Health and Social Sciences University, Güzelyurt, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0000-0003-1701-8103

ÖZET
Bu araştırma, öğretmen performansı, okul yöneticilerinin liderlik stilleri ve teknolojik liderlik davranışları arasındaki ilişkileri incelemiştir. Bu nicel çalışmada, korelasyonel bir anket modeli kullanmıştır. Veriler, 2025-2026 akademik yılında Kuzey Kıbrıs'taki 422 devlet ilkokul öğretmeninden rastgele örnekleme yöntemiyle seçilmiştir. Katılımcılar dört bölümden oluşan bir anket doldurmuştur: Kişisel bilgi formu, Öğretmen Performans Değerlendirme Ölçeği, Okul Yöneticilerinin Liderlik Stilleri Ölçeği ve Okul Müdürü Teknolojik Liderlik Davranışı Ölçeği. Veri analizi için SPSS 25 yazılımı ve parametrik olmayan testler kullanılmıştır. Öğretmenlerin performans algılarının çok yüksek düzeyde olduğu bulunmuştur. Öğretmenlerin okul yöneticilerinin liderlik stillerine ilişkin algılarının orta ila yüksek düzeyde olduğu bulunurken, okul müdürlerinin teknolojik liderlik davranışlarına ilişkin algılarının da yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Korelasyon testi, ortalama öğretmen performans puanı ile okul yöneticilerinin genel liderlik stilleri arasında pozitif, düşük düzeyde ve anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Ortalama öğretmen performans puanı ile yöneticilerin teknolojik liderlik davranışları arasında pozitif, orta düzeyde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Ortalama genel liderlik stili puanı ile ortalama teknolojik liderlik davranışı arasında pozitif, düşük düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuştur. Okul yöneticilerinin demokratik liderlik stilleri ile teknolojik liderlik davranışları arasında pozitif, orta düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon; otokratik liderlik stili ile ortalama teknolojik liderlik davranışı arasında pozitif, orta/düşük düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon; ve serbest bırakıcı liderlik stili ile ortalama teknolojik liderlik davranışı arasında negatif, düşük düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon bulunmuştur. Regresyon analizi sonuçları, okul yöneticilerinin liderlik stillerinin ve teknolojik liderlik davranışlarının öğretmen performansı üzerinde önemli pozitif bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Genel olarak, okul yöneticilerinin liderlik kapasitesini geliştirmeye yönelik yatırımların doğrudan öğretmen performansında artışa ve dolayısıyla eğitim kalitesinde iyileşmeye yol açacağı söylenebilir.
Anahtar Kelimeler: liderlik stilleri, teknolojik liderlik, öğretmen performansı, okul yöneticisi, öğretmen algısı

ABSTRACT
This research examined the relationships between teacher performance, school administrators' leadership styles and technological leadership behaviors. This quantitative study used a correlational survey model. Data were obtained from 422 state primary school teachers in Northern Cyprus during the 2025–2026 academic year, selected using random sampling. Participants completed a four-part questionnaire: a personal information form, Teacher Performance Evaluation Scale, School Administrators' Leadership Styles Scale, School Principal Technological Leadership Behavior Scale. SPSS 25 software and non-parametric tests were used for the data analysis. The teachers' performance perceptions were found to be at a very high level. While teachers' perceptions of school administrators' leadership styles were found to be at a moderate to high level, their perceptions of school principals' technological leadership behaviors were also found to be at a high level.

Correlation test revealed a positive, low-level, and significant relationship between the average teacher performance score and the general leadership styles of school administrators. A positive, moderate-level, and significant relationship was also found between the average teacher performance score and the technological leadership behaviors of administrators. A positive, low-level, and statistically significant correlation was found between the average overall leadership style score and the average technological leadership behavior. A positive, moderate-level, and statistically significant correlation was found between school administrators' democratic leadership styles and their technological leadership behaviors; a positive, moderate/low-level, and statistically significant correlation was found between autocratic leadership style and average technological leadership behavior; and a negative, low-level, and statistically significant correlation was found between laissez-faire leadership style and average technological leadership behavior. The regression analysis results indicate that the leadership styles and technological leadership behaviors of school administrators have significant positive effect on teacher performance. In general, it can be said that investments in improving the leadership capacity of school administrators will directly result in increased teacher performance and, consequently, improved educational quality.
Keywords: leadership styles, technological leadership, teacher performance, school administrator, teacher perception

OKUL MÜDÜRLERİNİN YÖNETİM BİÇİMLERİNİN ÖĞRETMENLERİN SANAL GERÇEKLİK TUTUMLARI VE GİRİŞİMCİ DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

EXAMINING THE IMPACT OF SCHOOL PRINCIPALS' MANAGEMENT STYLES ON TEACHERS' ATTITUDES TOWARDS VIRTUAL REALITY AND ENTREPRENEURIAL BEHAVIORS

Specialist Duygu HIZAL
Department of Educational Administration and Supervision, Institute of Graduate Education, Teaching and Research, Cyprus Health and Social Sciences University, Güzelyurt, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0009-0004-5188-8203

Assoc. Prof. Dr. Hülya ŞENOL
Department of Educational Administration and Supervision, Institute of Graduate Education, Teaching and Research, Cyprus Health and Social Sciences University, Güzelyurt, Turkish Republic of Northern Cyprus (TRNC).
ORCID ID: 0000-0003-1701-8103

ÖZET

Bu nicel araştırmanın temel amacı, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde ortaöğretim kurumlarında görev yapan öğretmenlerin algılarına dayanarak, okul müdürlerinin benimsedikleri yönetim biçimlerinin öğretmenlerin sanal gerçeklik (VR) teknolojilerine yönelik tutumları ve girişimci davranışları üzerindeki etkisini incelemektir. Araştırmada, ilişkisel tarama modeli kullanılmıştır. Araştırmanın evrenini, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde 2024–2025 öğretim yılında Ortaöğretim Dairesi'ne bağlı okullarda görev yapan toplam 2.943 öğretmen, örneklemini ise seçkisiz örnekleme metodu ile seçilen 520 öğretmen oluşturmuştur. Katılımcılara dört bölümden oluşan bir anket yüzyüze uygulanmıştır. Anket kişisel bilgi formu, İlköğretim Yöneticilerinin Kullandıkları Yönetim Biçimleri Ölçeği, Girişimci Öğretmen Davranışları Ölçeği, ve Sanal Gerçeklik Tutum Ölçeği maddelerinden oluşturulmuştur. Çalışmada toplanan veriler IBM SPSS Statistics 28 paket programı ve parametrik testler kullanılarak analiz ediliştir. Araştırma bulgularına göre, öğretmenlerin Girişimci Öğretmen Davranışları Ölçeğinin "fırsatları tanıma", "inisiyatif alma" ve "risk alma" alt boyutlarından orta düzeyde puanlar aldıkları belirlenmiştir. Öğretmenlerin Sanal Gerçeklik Tutumları Ölçeğinden ise yüksek düzeyde puan aldıkları görülmüştür. Okul Müdürlerinin Yönetim Biçimleri Ölçeğinin "yetkeci yönetim", "koruyucu yönetim", "destekçi yönetim" ve "birlikçi yönetim" alt boyutlarında ise orta düzeyde puanlar elde edilmiştir.Yapılan analizler sonucunda, okul müdürlerinin yönetim biçimlerine ilişkin alt boyutların, öğretmenlerin girişimci öğretmen davranışlarını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yordadığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, yönetim biçimlerinin öğretmenlerin girişimci davranışları üzerinde pozitif yönlü bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, okul yöneticilerinin yönetim biçimlerinin öğretmenlerin sanal gerçeklik tutumları üzerinde de pozitif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir yordayıcı olduğu belirlenmiştir. Ancak, destekçi yönetim biçiminin öğretmenlerin sanal gerçeklik tutumları üzerindeki yordayıcılığının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde bu kapsamda gerçekleştirilen öncü çalışmalardan biri olması, araştırmanın alana özgün bir katkı sunmasını sağlamaktadır. Elde edilen bulguların, gelecekte yapılacak araştırmalar için kuramsal ve uygulamalı bir temel oluşturacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Okul müdürü, yönetim biçimleri, öğretmen, sanal gerçeklik tutumu, girişimci davranış, ilkokul

ABSTRACT

The main objective of this quantitative study is to examine the impact of the management styles adopted by school principals on teachers' attitudes towards virtual reality (VR) technologies and their entrepreneurial behaviors, based on the perceptions of teachers working in secondary education institutions in the Turkish Republic of Northern Cyprus. A correlational survey model was used in the research.

The population of the study consisted of a total of 2,943 teachers working in schools affiliated with the Secondary Education Department in the Turkish Republic of Northern Cyprus during the 2024–2025 academic year, and the sample consisted of 520 teachers selected using a random sampling method. A four-part questionnaire was administered face-to-face to the participants. The questionnaire consisted of a personal information form, the Management Styles Used by Primary School Administrators Scale, the Entrepreneurial Teacher Behaviors Scale, and the Virtual Reality Attitude Scale. The data collected in the study were analyzed using the IBM SPSS Statistics 28 software package and parametric tests. According to the research findings, teachers scored moderately on the "recognizing opportunities," "taking initiative," and "risk-taking" sub-dimensions of the Entrepreneurial Teacher Behaviors Scale. However, they scored highly on the Virtual Reality Attitudes Scale. Furthermore, moderate scores were obtained on the "authoritarian management," "protective management," "supportive management," and "collaborative management" sub-dimensions of the School Principals' Management Styles Scale. The analyses revealed that the sub-dimensions related to school principals' management styles statistically significantly predicted teachers' entrepreneurial teacher behaviors. This finding shows that management styles have a positive effect on teachers' entrepreneurial behavior. Furthermore, it was determined that the management styles of school administrators are also a statistically significant positive predictor of teachers' attitudes towards virtual reality. However, it was concluded that the supportive management style did not have a statistically significant predictive effect on teachers' attitudes towards virtual reality. Being one of the pioneering studies conducted in this field in the Turkish Republic of Northern Cyprus, this research makes a unique contribution to the field. It is believed that the findings will provide a theoretical and applied basis for future research.

Keywords: School principal, management styles, teacher, virtual reality attitude, entrepreneurial behavior, primary school

KÜÇÜK ÖLÇEKLİ TARIM İŞLETMELERİNDE EKONOMİK KIRILGANLIK VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA: POLİTİKA PERSPEKTİFİ

ECONOMIC VULNERABILITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN SMALL-SCALE AGRICULTURAL ENTERPRISES: A POLICY PERSPECTIVE

Prof. Dr. Zeynep KARAÇOR
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2050-644X

Prof. Dr. Burcu GÜVENEK
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7159-2555

Saim Mert KALIN
Konya Veterinary Control Institute, Ministry of Agriculture and Forestry, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0009-6935-2497

ÖZET

Bu çalışmada, küçük ölçekli tarım işletmelerinin ekonomik sürdürülebilirliği ele alınmaktadır. Günümüzde tarım sektörü; artan girdi maliyetleri, üretim süreçlerindeki belirsizlikler ve piyasa fiyatlarındaki dalgalanmalar nedeniyle önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Bu gelişmeler, özellikle finansal imkânları sınırlı olan küçük ölçekli üreticiler üzerinde daha belirgin bir baskı oluşturmaktadır. Küçük işletmeler, hem üretim maliyetlerini karşılamakta zorlanmakta hem de gelir istikrarını sağlama konusunda ciddi güçlükler yaşamaktadır. Çalışmada ayrıca, pazarlama süreçlerinde karşılaşılan yapısal sorunlar üzerinde durulmaktadır. Üreticilerin büyük bir kısmı ürünlerini doğrudan nihai tüketiciye ulaştıramamakta, aracıların yoğun olduğu pazarlama kanalları nedeniyle daha düşük gelir elde etmektedir. Bunun yanında, krediye erişimde yaşanan zorluklar ve finansman maliyetlerinin yüksekliği, üreticilerin yatırım yapma ve üretimlerini geliştirme kapasitesini sınırlandırmaktadır. Tarım politikaları ve devlet destekleri de bu çerçevede değerlendirilmektedir. Mevcut destek mekanizmalarının her zaman yeterli ve hedef odaklı olmadığı, özellikle küçük ölçekli üreticilere ulaşma konusunda çeşitli eksiklikler içerdiği görülmektedir. Bu nedenle, kooperatifleşmenin yaygınlaştırılması, sözleşmeli üretim modellerinin geliştirilmesi ve üreticilerin pazara doğrudan erişimini artıracak uygulamaların desteklenmesi önemli çözüm alanları olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, küçük ölçekli tarım işletmeleri yalnızca ekonomik açıdan değil, kırsal kalkınma, istihdam ve gıda güvenliği açısından da kritik bir rol oynamaktadır. Bu işletmelerin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için daha kapsayıcı, uzun vadeli ve üretici odaklı politikaların geliştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: küçük ölçekli tarım, ekonomik sürdürülebilirlik, pazara erişim

ABSTRACT

This study examines the economic sustainability of small-scale agricultural enterprises. Today, the agricultural sector is undergoing a significant transformation due to rising input costs, uncertainties in production processes, and fluctuations in market prices. These developments create a more pronounced pressure, particularly on small-scale producers with limited financial resources. Small enterprises face serious difficulties both in covering production costs and in maintaining income stability. The study also focuses on structural problems encountered in marketing processes. A large proportion of producers are unable to deliver their products directly to end consumers and therefore earn lower incomes due to intermediary-dominated marketing channels. In addition, difficulties in accessing credit and the high cost of financing limit producers' capacity to invest and improve their production. Agricultural policies and government supports are also evaluated within this framework. It is observed that existing support mechanisms are not always sufficient or well-targeted, and they contain various shortcomings, particularly in reaching small-scale producers.

Therefore, promoting cooperatives, developing contract farming models, and supporting practices that enhance producers' direct access to markets emerge as important solution areas. In conclusion, small-scale agricultural enterprises play a critical role not only in economic terms but also in rural development, employment, and food security. In order to ensure the sustainability of these enterprises, more inclusive, long-term, and producer-oriented policies need to be developed.
Keywords: small-scale farming, economic sustainability, market access

GİRİŞ

Türkiye'de tarımsal üretim yapısı büyük ölçüde geleneksel küçük ölçekli köylü işletmeleri ve aile temelli üretim modeli üzerine şekillenmiştir. Bu çerçevede "aile çiftçiliği" kavramı, hane halkı üyelerinin üretim, işleme, pazarlama ve çoğu zaman tüketim süreçlerinde birlikte hareket ederek emek, bilgi ve kaynaklarını ortak bir düzlemde kullanmalarını ifade etmektedir. Söz konusu yapı yalnızca tarımsal üretimi gerçekleştiren bir ekonomik birim olmanın ötesinde, kırsal yaşamın devamlılığını sağlayan sosyal bir örgütlenme biçimi olarak da değerlendirilmektedir. Aile çiftçiliği, üretim faaliyetlerinin yanı sıra karar alma süreçlerinin, iş bölümünün ve risk paylaşımının da hane içinde yürütüldüğü, bu yönüyle bireysel değil kolektif bir yaşam stratejisini yansıtan bir sistemdir. Bu nedenle aile çiftçiliği, hem ekonomik faaliyet hem de toplumsal dayanışma mekanizması olarak kırsal kalkınma açısından önemli bir yere sahiptir (Djurfeldt, 1996; Kasimis ve Papadopoulos, 1997).

Bununla birlikte, küçük ölçekli aile işletmeleri günümüzde çeşitli yapısal sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Girdi maliyetlerindeki artış, tarımsal ürün fiyatlarındaki dalgalanmalar, pazarlama kanallarına erişimde yaşanan güçlükler ve iklim değişikliğinin neden olduğu üretim riskleri bu işletmelerin sürdürülebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Ayrıca teknolojik yeniliklere erişimdeki sınırlılıklar ve örgütlenme eksikliği de verimlilik ve rekabet gücünü düşüren önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda küçük ölçekli tarım işletmelerinin sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi için kooperatifleşmenin teşvik edilmesi, devlet desteklerinin etkinliğinin artırılması, eğitim ve yayım hizmetlerinin güçlendirilmesi ve modern tarım tekniklerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Böylece hem ekonomik dayanıklılık artacak hem de kırsal alanlarda sosyal sürdürülebilirlik desteklenmiş olacaktır (Arslan, 2025).

Küçük Ölçekli Tarim İşletmelerinin Sorunlari Ve Sürdürülebilirliği

Küçük ölçekli tarım işletmeleri, ekonomik, yapısal ve çevresel nitelikte çok boyutlu sorunlarla karşı karşıyadır. Yapılan çalışmalar, bu işletmelerin en temel problemleri arasında düşük gelir düzeyi, finansmana erişimde yaşanan güçlükler ve ek gelir getirici ekonomik faaliyetlere katılım imkanlarının sınırlı olmasını göstermektedir. Söz konusu kısıtlar, küçük ölçekli üretim yapılarının ekonomik kırılganlığını artırmakta ve üretim faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini zorlaştırmaktadır.

Bunun yanında, küçük ölçekli tarım işletmeleri ile daha büyük ölçekli işletmeler arasındaki yapısal farklılıklar da önemli bir sorun alanı oluşturmaktadır. Arazi büyüklüğü, sermaye birikimi ve üretim kapasitesi bakımından ortaya çıkan bu eşitsizlikler, küçük işletmelerin ölçek ekonomilerinden yeterince yararlanamamasına neden olmaktadır. Bu durum, tarımsal gelirlerin düşüklüğünü pekiştiren önemli bir yapısal engel olarak değerlendirilmektedir.

Kırsal alanda yaşam kalitesine ilişkin faktörler de küçük ölçekli tarım işletmelerinin sürdürülebilirliği üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Eğitim, sağlık, ulaşım ve sosyal hizmetler gibi temel kamu hizmetlerinin yetersizliği, kırsal alanlarda ekonomik faaliyetlerin devamlılığını zorlaştırmaktadır. Bu kapsamda, kırsal altyapı eksiklikleri yalnızca üretim süreçlerini değil, aynı zamanda kırsalda kalma eğilimini de olumsuz etkilemektedir.

Mevcut tarımsal destekleme politikalarının küçük ölçekli işletmeler açısından yeterli etkinliği sağlayamadığı görülmektedir. Destek mekanizmalarının genellikle homojen bir yapıda olması, farklı ölçek ve ihtiyaçlara sahip işletmelerin özel koşullarını yeterince dikkate almamaktadır. Bu nedenle desteklerin sektörel ve mekânsal farklılıklar gözetilerek yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Ayrıca kooperatifleşme, üretici örgütlerinin güçlendirilmesi ve finansal erişim mekanizmalarının geliştirilmesi, küçük ölçekli işletmelerin pazarlık gücünü artırabilecek önemli araçlar arasında yer almaktadır.

Ekonomik kırılganlık açısından değerlendirildiğinde, küçük ölçekli tarım işletmeleri için gelir istikrarsızlığı önemli bir risk faktörüdür. Tarımsal gelirlerin doğrudan iklim koşullarına ve piyasa fiyat dalgalanmalarına bağlı olması, bu işletmelerin gelir güvenliğini zayıflatmaktadır.

Bu bağlamda tarımsal sigorta sistemlerinin geliştirilmesi, fiyat istikrarını sağlayıcı mekanizmaların oluşturulması ve risk yönetim araçlarının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır.
İklim değişikliği, küçük ölçekli tarım işletmeleri üzerinde giderek artan bir baskı unsuru oluşturmaktadır. Literatürde iklim değişikliğinin özellikle kırılgan üretim yapısına sahip tarım işletmeleri için önemli bir tehdit olduğu vurgulanmaktadır (Vermeulen vd., 2012). Tarım sektörü bir yandan iklim değişikliğinden doğrudan etkilenirken, diğer yandan üretim süreçlerinde kullanılan girdiler aracılığıyla çevresel etkiler yaratmaktadır. Gelişmekte olan ekonomilerde tarım sektörü, doğal kaynakların en yoğun kullanıldığı alanlardan biridir (FAO, 2011).
Yoğun tarımsal üretim modelleri, verimliliği artırma amacıyla kimyasal gübre, pestisit ve fosil yakıt kullanımını artırmakta; bu durum sera gazı emisyonlarının yükselmesine neden olmaktadır (Stehle & Schulz, 2015; Gomiero, 2016). Jevons paradoksu çerçevesinde değerlendirildiğinde, verimlilik artışının üretim ölçeğini büyütmesi nedeniyle toplam kaynak kullanımını da artırabildiği görülmektedir (Alcott, 2020; Turgut ve Gökten, 2023). Bu bağlamda küçük ölçekli tarım işletmelerinde sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının benimsenmesi, girdi kullanımının optimize edilmesi ve çevresel etkilerin azaltılması gereklilik haline gelmektedir.

Sonuç Ve Öneriler

Bu çalışma, Türkiye tarımının temelini oluşturan küçük ölçekli aile işletmelerinin, yalnızca ekonomik birer birim değil, aynı zamanda kırsal yaşamın sürdürülebilirliğini sağlayan toplumsal ve kültürel yapılar olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak güncel veriler, bu işletmelerin artan girdi maliyetleri, pazarlama kanalındaki tıkanıklıklar ve finansmana erişim kısıtları nedeniyle ciddi bir varoluşsal tehdit altında olduğunu doğrulamaktadır. Üreticilerin büyük bir kısmının piyasa fiyatlarındaki dalgalanmalar ve iklim değişikliğinin yarattığı riskler karşısında kırılgan bir yapıya sahip olması, tarımsal sürdürülebilirliğin önündeki en büyük engel olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, kırsal altyapı eksiklikleri ve temel kamu hizmetlerine erişimdeki yetersizlikler, üretimin devamlılığını ve kırsalda kalma eğilimini olumsuz yönde etkilemektedir.
Küçük ölçekli tarım işletmelerinin ekonomik ve sosyal dayanıklılığını artırmak amacıyla şu politika önerileri geliştirilmiştir:
Ölçek ekonomisinden yararlanma ve örgütlenme; Küçük üreticilerin pazarlık gücünü artırmak ve girdi maliyetlerini düşürmek amacıyla kooperatifleşme ve üretici örgütlenmeleri stratejik düzeyde desteklenmelidir.
Hedef odaklı destekleme politikaları; Mevcut homojen tarımsal destekler yerine, işletme ölçeğine ve bölgesel ihtiyaçlara göre kademelendirilmiş, küçük aile işletmelerini önceleyen daha etkin bir destekleme modeli hayata geçirilmelidir.
Doğrudan pazarlama kanalları; Üreticinin ürünlerini aracıları devre dışı bırakarak doğrudan tüketiciye ulaştırabileceği kısa tedarik zincirleri ve dijital pazarlama platformları teşvik edilmelidir.
İklim ve risk yönetimi; İklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek için tarımsal sigorta sistemleri yaygınlaştırılmalı ve üreticilere modern, sürdürülebilir üretim teknikleri konusunda sürekli eğitim desteği verilmelidir.
Kırsal yaşam kalitesinin iyileştirilmesi; Tarımsal faaliyetlerin devamlılığı için kırsal bölgelerdeki eğitim, sağlık ve sosyal hizmet altyapısı güçlendirilerek kırsal alanlar cazibe merkezi haline getirilmelidir.
Sonuç olarak, küçük ölçekli tarım işletmelerinin korunması ve güçlendirilmesi; gıda güvenliğinin tesisi, kırsal istihdamın korunması ve sürdürülebilir bir tarım ekosisteminin inşası için vazgeçilmez bir zorunluluktur.

KAYNAKÇA

Alcott, B. (2020). Jevons Paradoksu (Geri Sekme Etkisi - 27. Bölüm). In G. D'Alisa, F. Demaria ve G. Kallis (Eds.), *Küçülme: Yeni Bir Çağ İçin Kavram Dağarcığı* (çev. A. C. Sarı, B. Öktem, B. Gürden, Y. Kurtsal, s. 177-181). Metis Yayınları.

Arslan, H. (2025). Küçük üreticinin hayatta kalma stratejisi olarak "seracılık": Bir durum çalışması. *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 31(2), 257-270.

Djurfeldt, G. (1996). Defining and operationalizing family farming from a sociological perspective. *Sociologia Ruralis*, 36(3), 340-351.

FAO. (2011). *A multiplication of green concepts in agriculture: Building the path towards wide up-scaling* (Bockel, L., Tinlot, M., & Jonsson, M.). FAO. https://doi.org/10.13140/2.1.1234.5678 (varsa gerçek link eklenebilir)

Kasimis, C., & Papadopoulos, A. G. (1997). Family farming and capitalist development in Greek agriculture: A critical review of the literature. *Sociologia Ruralis*, 37(2), 209-227. https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.1997.tb00046.x

Stehle, S., & Schulz, R. (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. *PNAS*, 112(18), 5750-5755.

Turgut, E., & Gökten, Y. S. (2023). Jevons paradoksu hala geçerli mi? Yükselen piyasa ekonomileri örneği. *Verimlilik Dergisi*, 57(1), 85-102.

Vermeulen, S. J., Campbell, B. M., & Ingram, J. S. I. (2012). Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1), 195-222. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608

SÜRDÜRÜLEBİLİR KIRSAL KALKINMADA KOOPERATİFLEŞMENİN STRATEJİK ROLÜ

THE STRATEGIC ROLE OF COOPERATIVES IN SUSTAINABLE RURAL DEVELOPMENT

Prof. Dr. Zeynep KARAÇOR
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2050-644X

Prof. Dr. Burcu GÜVENEK
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7159-2555

Saim Mert KALIN
Konya Veterinary Control Institute, Ministry of Agriculture and Forestry, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0009-6935-2497

Özet
Bu çalışma, kooperatiflerin kırsal kalkınma sürecindeki rolünü ve ekonomik, sosyal ve kurumsal açıdan sağladığı katkıları kavramsal bir çerçevede incelemeyi amaçlamaktadır. Kırsal alanlarda ekonomik faaliyetlerin büyük ölçüde tarımsal üretime dayanması, üreticilerin bireysel olarak piyasa koşulları karşısında kırılgan bir yapıya sahip olmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda kooperatifler, küçük üreticilerin bir araya gelerek ölçek ekonomilerinden yararlanmasını sağlayan, pazarlık gücünü artıran ve gelir istikrarına katkı sunan önemli kurumsal yapılar olarak öne çıkmaktadır. Kooperatifler, özellikle pazarlama kanallarında aracılık maliyetlerini azaltarak üreticilerin ürünlerini daha adil fiyatlarla tüketiciye ulaştırmasına imkân tanımaktadır. Bunun yanı sıra girdi temininde sağlanan toplu alım avantajları, üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkıda bulunmaktadır. Kırsal kalkınma açısından değerlendirildiğinde kooperatifler yalnızca ekonomik bir örgütlenme modeli değil, aynı zamanda sosyal dayanışmayı güçlendiren ve kırsal toplulukların örgütlenme kapasitesini artıran yapılar olarak da önem taşımaktadır. Çalışmada ayrıca kooperatiflerin finansmana erişim, eğitim, teknoloji kullanımı ve bilgi paylaşımı gibi alanlarda üreticilere sağladığı destekler üzerinde durulmaktadır. Bu unsurlar, kırsal bölgelerde üretim verimliliğinin artırılmasına ve sürdürülebilir bir ekonomik yapı oluşturulmasına katkı sunmaktadır. Ancak kooperatiflerin etkinliği, yönetim yapısı, kurumsal kapasite ve üyelerin katılım düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Sonuç olarak, kooperatiflerin kırsal kalkınmada sadece ekonomik değil, aynı zamanda sosyal ve kurumsal bir araç olduğu; kırsal alanlarda sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi için kooperatifleşmenin desteklenmesi gerektiği değerlendirilmektedir. Bu doğrultuda, kooperatiflerin kurumsal kapasitesini güçlendiren ve üreticilerin katılımını artıran politikaların geliştirilmesi önem arz etmektedir.
Anahtar Kelimeler: kooperatifler, kırsal kalkınma, tarım ekonomisi

Abstract
This study aims to examine the role of cooperatives in rural development and their economic, social, and institutional contributions within a conceptual framework. In rural areas, where economic activities are largely based on agricultural production, small-scale producers are often structurally vulnerable to market conditions. In this context, cooperatives emerge as important institutional structures that enable small producers to benefit from economies of scale, increase their bargaining power, and contribute to income stability. Cooperatives particularly help reduce intermediary costs in marketing channels, allowing producers to sell their products at fairer prices to consumers. In addition, collective purchasing of agricultural inputs contributes to reducing production costs. From the perspective of rural development, cooperatives are not only economic organizations but also structures that strengthen social solidarity and enhance the organizational capacity of rural communities. The study also emphasizes the support provided by cooperatives to producers in areas such as access to finance, training, technology adoption, and knowledge sharing.

These factors contribute to increasing production efficiency and establishing a more sustainable economic structure in rural areas. However, the effectiveness of cooperatives varies depending on factors such as governance structure, institutional capacity, and the level of member participation. In conclusion, cooperatives are considered not only economic but also social and institutional instruments in rural development. It is argued that promoting cooperative structures is essential for achieving sustainable rural development. Accordingly, policies that strengthen the institutional capacity of cooperatives and increase producer participation are of great importance.
Keywords: cooperatives, rural development, agricultural economics

GİRİŞ

Kooperatiflerin kurumsal anlamda gelişimi, Sanayi Devrimi sonrasında belirginleşmiş olsa da, bu yapının kökenleri çok daha eski dönemlere, hatta erken medeniyetlere kadar uzanmaktadır. Özellikle 19. yüzyılda sanayi kapitalizminin işçiler ve küçük üreticiler üzerinde yarattığı olumsuz yaşam koşulları, kooperatiflerin başta İngiltere olmak üzere sanayileşmiş toplumlarda hızla yayılmasına zemin hazırlamıştır.

Günümüzde ise kooperatifler; demokratik ve özerk yönetim anlayışı, üyelerin ekonomik katılımı ve toplumsal sorumluluk ilkeleri çerçevesinde faaliyet göstermektedir. Bu özellikleri sayesinde bölgesel ekonomik dengenin sağlanmasına katkı sunmakta, gelir dağılımındaki eşitsizliklerin azaltılmasına yardımcı olmakta ve ekonomik demokrasinin gelişimini desteklemektedir. Dolayısıyla kooperatifler, sürdürülebilir bölgesel kalkınmanın gerçekleştirilmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Hacısüleyman, 2019).

Bölgesel ve yerel kalkınma, özellikle 1960'lı ve 1970'li yıllardan itibaren hem ulusal hem de yerel düzeyde kamu otoriteleri açısından giderek daha fazla önem kazanan bir ekonomik alan haline gelmiştir. Bu döneme paralel olarak, ekonomik faaliyetlerin yapısında meydana gelen köklü dönüşümler, bölgesel kalkınma anlayışının da önemli ölçüde yeniden şekillenmesine ve daha karmaşık bir yapıya bürünmesine neden olmuştur.

Bu yeniden yapılanma süreci, bölgesel kalkınma politikalarında hem içsel dinamikleri hem de dışsal faktörleri dikkate alan çeşitli müdahale araçlarının geliştirilmesini teşvik etmiştir. Aynı zamanda kalkınma tartışmaları, yalnızca ekonomik büyüklüklerin artışına odaklanmak yerine, kalkınmanın niteliği ve sürdürülebilirliği üzerine yoğunlaşmaya başlamıştır.

Başlangıçta ekonomik faaliyetlerin çevre üzerindeki olumsuz etkileri ve bu etkilerin kalkınma üzerindeki sınırlayıcı rolü ön plana çıkarken, zamanla bu tartışmalar daha geniş bir perspektif kazanarak yaşam kalitesinin bütüncül biçimde değerlendirilmesine yönelmiştir. Bu dönüşüm sürecinin bir sonucu olarak sürdürülebilir kalkınma yaklaşımı ortaya çıkmış ve giderek daha fazla kabul gören bir paradigma haline gelmiştir (Pike, Rodríguez-Pose ve Tomaney, 2006: 3-4).

TÜRKİYE'DE KOOPERATİFÇİLİK TARİHÇESİ

Türkiye'de kooperatifçilik anlayışının temelleri oldukça eski dönemlere uzanmaktadır. Bu bağlamda, 13. yüzyılda Ahi Evran tarafından oluşturulan ve ahlaki değerlerle üretim faaliyetlerini bir araya getiren Ahi teşkilatları, kooperatif düşüncesinin ilk örnekleri arasında değerlendirilmektedir. Daha sonraki süreçte ise, 1863 yılında Mithat Paşa öncülüğünde kurulan Memleket Sandıkları, Türkiye'de modern kooperatifçilik uygulamalarının gelişiminde önemli bir aşama olarak öne çıkmaktadır (Şahankaya Adar vd., 2023).

Cumhuriyet döneminde kooperatifçilik alanında önemli yasal ve kurumsal adımlar atılmıştır. Bu kapsamda 1924 yılında İktisadi Zirai Birlikler Kanunu yürürlüğe girmiş, 1929'da Zirai Kredi Kooperatifleri Kanunu kabul edilmiştir. Bunu takiben 1931 yılında Türk Kooperatifçilik Cemiyeti kurulmuş, 1935 yılında ise Tarım Satış Kooperatifleri ve Birlikleri Kanunu hayata geçirilmiştir (Mülayim, 1982).

Bu gelişmelerin devamında, kooperatifçiliğin hukuki altyapısını bütüncül bir şekilde düzenleyen 1163 sayılı Kooperatifler Kanunu 1969 yılında yürürlüğe girerek sektörde temel bir çerçeve oluşturmuştur (Anonim, 1969).

KOOPERATİFLERIN EKONOMİK ETKİLERİ

Kooperatifler, rekabetin yeterli düzeyde oluşmadığı piyasalarda sosyal politika aracı olarak ortaya çıkmış ve temel olarak bireyler arasında ekonomik dayanışmayı esas alan yapılar olarak gelişim göstermiştir (Öksüz, 1982: 332). Bu bağlamda kooperatiflerin kuruluş amacı; dini, etnik, politik veya benzeri aidiyetler üzerinden bir birliktelik oluşturmak değil, doğrudan ekonomik iş birliğini ve ortak çıkarların geliştirilmesini sağlamaktır.

Uluslararası uygulamalar incelendiğinde, kooperatiflerin temel yapısında genel çerçeve itibarıyla önemli benzerlikler bulunduğu görülmektedir. Bununla birlikte ülkeler arasındaki farklılıklar; faaliyet alanları, coğrafi koşullar ve sosyo-kültürel yapıdan kaynaklanan özgünlüklerle açıklanabilmektedir. Ayrıca devletlerin benimsediği yasal düzenlemeler ve politika çerçeveleri de kooperatiflerin gelişim sürecini doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu nedenle kooperatiflerin güçlendirilmesi sürecinde mevcut mevzuatların yeniden değerlendirilmesi ve başarılı uluslararası örneklerin incelenmesi önemli bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Ekonomik kalkınma sürecinde kooperatiflerden etkin şekilde yararlanılabilmesi, bu yapıların küreselleşmenin getirdiği yoğun rekabet koşullarına karşı gösterdiği dayanıklılıkla yakından ilişkilidir. Rekabet ortamına uyum sağlayamayan işletmelerde olduğu gibi, gerekli stratejik ve kurumsal önlemleri alamayan kooperatiflerin de sürdürülebilirliği risk altına girebilmekte, hatta yalnızca düşük ölçekli geçim düzeyinde faaliyet göstermeleri söz konusu olabilmektedir. Oysa kalkınma hedefleri doğrultusunda kooperatiflerin; ortaklarının gelir düzeyini artırması, tasarruf imkânı sağlaması, iç pazardaki payını büyütmesi ve ihracata katılım kapasitesini güçlendirmesi beklenmektedir.

Bu çerçevede, haksız rekabetin önlenmesi açısından devletin doğrudan müdahalesinden ziyade kooperatif yönetimlerinin ve ortakların sorumluluk bilincinin geliştirilmesi daha kritik bir unsur olarak değerlendirilmektedir. Kooperatiflere sağlanacak doğrudan mali destekler yerine eğitim, danışmanlık, kurumsal kapasite geliştirme ve teşvik mekanizmalarının ön plana çıkarılması daha dengeli ve sürdürülebilir bir yaklaşım olarak görülmektedir. Sonuç olarak, kooperatifler desteklenirken piyasa içindeki diğer işletmelerin rekabet gücünün zedelenmemesi, serbest piyasa ekonomisinin temel ilkeleri açısından önemli bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır (Örki, 2016).

SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma, kooperatiflerin kırsal kalkınma sürecindeki kritik rolünü hem teorik hem de tarihsel bir perspektifle ele almıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, kooperatiflerin küçük ölçekli üreticilerin piyasa mekanizması karşısındaki kırılganlığını azaltan, onlara ölçek ekonomisinden yararlanma imkânı sunan ve pazarlık gücünü artıran vazgeçilmez bir kurumsal yapı olduğu görülmektedir. Özellikle aracılık maliyetlerini düşürerek üretici gelirlerini stabilize etmesi ve girdi temininde maliyet avantajı sağlaması, kırsal ekonominin sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşımaktadır. Ancak kooperatifler yalnızca ekonomik bir birleşme değil, aynı zamanda sosyal dayanışmayı ve yerel örgütlenme kapasitesini güçlendiren toplumsal bir modeldir.

Türkiye'de Ahilikten başlayıp Cumhuriyet dönemi yasal düzenlemeleriyle devam eden köklü bir kooperatifçilik geleneği bulunsa da, günümüzde bu yapıların küresel rekabete uyum sağlaması ve sadece geçimlik düzeyde kalmaması stratejik bir zorunluluktur. Bu doğrultuda aşağıdaki politika önerileri geliştirilmiştir:

Kurumsal kapasitenin güçlendirilmesi; Kooperatiflerin profesyonel yönetim anlayışıyla yönetilmesi, dijitalleşme ve modern teknoloji kullanımı konularında üreticilere rehberlik etmesi sağlanmalıdır.

Eğitim ve danışmanlık odaklı destekler; Doğrudan mali yardımlar yerine; ortakların ve yöneticilerin sorumluluk bilincini artıracak eğitim programları ve kurumsal gelişim teşvikleri ön plana çıkarılmalıdır.

Pazarlama ve ihracat kapasitesinin artırılması; Kooperatiflerin iç pazardaki paylarını büyütmeleri ve doğrudan ihracat yapabilmeleri için bürokratik engeller azaltılmalı, lojistik ve depolama gibi alanlarda kooperatifler arası birlikler teşvik edilmelidir.

Yasal mevzuatın güncellenmesi; Mevcut 1163 sayılı kanun ve ilgili mevzuat, değişen ekonomik koşullar ve başarılı uluslararası örnekler ışığında, kooperatiflerin özerkliğini koruyacak şekilde yeniden değerlendirilmelidir.

Finansmana erişimin kolaylaştırılması; Küçük üreticilerin finansal darboğazlarını aşabilmeleri adına kooperatifler üzerinden sağlanan düşük faizli kredi imkânları ve fonlara erişim kanalları çeşitlendirilmelidir.

Sonuç olarak, kooperatiflerin kırsal kalkınmanın merkezine yerleştirilmesi, hem sosyal adaletin sağlanması hem de ekonomik demokrasinin tesisi için temel bir strateji olarak benimsenmelidir.

KAYNAKÇA

Adar, A. S., Dedeoğlu, S., Kurtuluş, G. (2023). Türkiye'de kadın kooperatifleri mevcut durum analizi kadın güçlenmesi ve istihdam yaratma potansiyeli. Çalışma ve Toplum Dergisi, 2, 1177-1208.

Anonim (1969). Resmî Gazete. 1163 sayılı kooperatifler kanunu.

Andy Pike, Andrés Rodríguez-Pose, John Tomaney (2006). Local and Regional Development. London: Routledge, s.3-4.

Hacısüleyman, D. (2019). Bölgesel kalkınmada yerel yönetimler ve kooperatifçilik politikalarının rolü: Tire süt Kooperatifi örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Mülayim, Z. G. (1982). Atatürk'ün kooperatifçilik konusundaki görüşleri. Bursa Üniversitesi İktisadi ve Sosyal Bilimler Fakültesi Konferans Metni, Bursa.

Öksüz, E. (1982). Kooperatifçilik kavramı ve ilkelerinin ışığında, Türkiye'de köy kalkınma kooperatifleri. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, 31, 329-358.

Örki, A. (2016). Ekonomik kalkınmada kooperatiflerin öneminin örneklerle değerlendirilmesi. Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi, 3(2). https://doi.org/10.17541/optimum.256386

KURAK VE YARI KURAK ALANLARDA ALTERNATİF YAĞLI TOHUMLU BİTKİLERİN ÖNEMİ: ASPİR, SUSAM VE KETENCİK ÜZERİNE BİR DERLEME

THE IMPORTANCE OF ALTERNATIVE OILSEED CROPS IN ARID AND SEMI-ARID REGIONS: A REVIEW ON SAFFLOWER, SESAME, AND CAMELINA

Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 000-0002-3173-6147

Özet

İklim değişikliği, düzensiz yağışlar ve kullanılabilir su kaynaklarının azalması, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini önemli ölçüde sınırlandırmaktadır. Su açığı, bitkilerde büyüme ve gelişmenin yanı sıra çiçeklenme, tohum oluşumu ve tohum dolumu gibi verim açısından kritik dönemleri olumsuz etkileyebilmektedir. Yağlı tohumlu bitkiler açısından değerlendirildiğinde kuraklık, yalnızca tohum veriminde değil, yağ oranı ve yağ kalitesinde de değişimlere neden olabilmektedir. Bu nedenle mevcut üretim sistemlerinde alternatif yağlı tohumlu türlerin değerlendirilmesi, iklim kaynaklı üretim risklerinin azaltılması ve ürün deseninin çeşitlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada aspir (*Carthamus tinctorius* L.), susam (*Sesamum indicum* L.) ve ketencik (*Camelina sativa* (L.) Crantz) kurak ve yarı kurak bölgeler açısından değerlendirilmiştir. Aspirin derin kök sistemi ve su stresine görece yüksek toleransı, susamın sıcak iklimlere ve sınırlı su koşullarına adaptasyon potansiyeli, ketenciğin ise kısa yetişme süresi ve düşük girdi gereksinimi alternatif ürün olma potansiyellerini artırmaktadır. Bununla birlikte bu türlerin hiçbirinin kuraklıktan tamamen etkilenmeyen bitkiler olmadığı; stresin şiddeti, süresi, ortaya çıktığı gelişme dönemi ve genotipe bağlı olarak verim kayıplarının meydana gelebildiği görülmektedir. Sürdürülebilir üretim açısından uygun genotip seçimi, ekim zamanı, toprak neminin korunması, dengeli gübreleme ve uygun rotasyon sistemlerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak aspir, susam ve ketencik; uygun ekolojik koşullarda ve doğru yetiştirme teknikleriyle kullanıldığında kurak ve yarı kurak alanlarda yağlı tohum üretiminin çeşitlendirilmesine katkı sağlayabilecek önemli alternatif ürünlerdir.

Anahtar Kelimeler: kuraklık, su stresi, yağlı tohumlu bitkiler, sürdürülebilir tarım

Abstract

Climate change, irregular precipitation, and the decline of available water resources significantly limit the sustainability of agricultural production, particularly in arid and semi-arid regions. Water deficit can adversely affect not only plant growth and development but also yield-critical stages such as flowering, seed formation, and seed filling. For oilseed crops, drought can cause changes not only in seed yield but also in oil content and oil quality. Therefore, evaluating alternative oilseed species within existing production systems is important for reducing climate-related production risks and diversifying the cropping pattern. In this study, safflower (*Carthamus tinctorius* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.), and camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) were evaluated with respect to arid and semi-arid regions. The deep root system and relatively high tolerance of safflower to water stress, the adaptation potential of sesame to hot climates and limited water conditions, and the short growing season and low input requirements of camelina increase their potential as alternative crops. However, none of these species is entirely unaffected by drought; yield losses can occur depending on the severity and duration of the stress, the developmental stage at which it occurs, and the genotype. For sustainable production, appropriate genotype selection, sowing date, soil moisture conservation, balanced fertilization, and suitable rotation systems need to be considered together. In conclusion, when grown under suitable ecological conditions and with proper cultivation techniques, safflower, sesame, and camelina are important alternative crops that can contribute to diversifying oilseed production in arid and semi-arid areas.

Keywords: Drought, water stress, oilseed crops, sustainable agriculture

1. Giriş

Tarımsal üretim, küresel iklim değişikliğinin getirdiği olumsuzluklardan en doğrudan etkilenen sektörlerin başında gelmektedir (IPCC, 2023). Ortam sıcaklıklarındaki yükseliş, rejim dışı yağışlar, uzayan kuraklık süreleri ve şiddetlenen buharlaşma baskısı, bitkisel üretimin geleceğini tehdit etmektedir (Malhi et al., 2021). Su kaynaklarının oldukça sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak coğrafyalarda, yetiştirilecek bitki türlerinin belirlenmesinde su kullanım etkinliği ana kriter haline gelmiştir. Bitkilerin yaşam döngüleri boyunca ihtiyaç duydukları suya ulaşamamaları durumu, abiyotik bir stres faktörü olan kuraklığı meydana getirir. Yetersiz su mevcudiyeti; hücre turgor basıncının düşmesine, stoma kapanmasına, fotosentetik faaliyetlerin yavaşlamasına ve dolayısıyla büyüme duraksamalarına yol açar (Farooq et al., 2009). Su kıtlığının devam etmesi halinde çiçek ve meyve tutumu ile tohum gelişimi sekteye uğramakta, nihai ürün veriminde ciddi düşüşler yaşanmaktadır. Yağlı tohumlu türlerde ise kuraklık stresi tohum rekoltesinin yanında yağ oranını ve yağ asit bileşimini doğrudan bozabilmektedir (El Sabagh et al., 2019).

Bitkisel yağlar insan beslenmesinde temel enerji ve yağ asidi sağlayıcısı olmalarının yanı sıra karma yem sanayi, biyodizel imalatı ve farklı endüstriyel sektörlerde de yaygın kullanım alanına sahiptir (Gupta, 2017). Dünya genelindeki yağlı tohum yetiştiriciliğinin dar bir tür yelpazesine sıkışmış olması, iklim krizinin etkilediği koşullarda üretim riskini artırmaktadır. Dolayısıyla, zorlu ekolojik şartlara tolerans gösterebilen alternatif yağ bitkilerinin tarımsal sistemlere dâhil edilmesi zorunluluk arz etmektedir. Alternatif kültür bitkilerinin tarlaya girmesi sadece yeni bir ürün elde etmek anlamına gelmez; aynı zamanda ürün desenini zenginleştirir, su kullanımındaki verimliliği artırır, üretim risklerini böler ve sürdürülebilir ekim nöbeti modellerinin oluşturulmasına imkân tanır (Lin, 2011). Nitekim ketenciğin düşük girdi talebi, geniş çevresel adaptasyon yeteneği ve yağının çok yönlü kullanım imkânları sayesinde Avrupa'da yeniden ilgi gördüğü bildirilmektedir (Zanetti et al., 2021). Bu bağlamda aspir, susam ve ketencik kurak ve yarı kurak koşullar için öne çıkan üç alternatif türdür. Aspir özellikle derine ulaşan kök yapısı ve su stresine dayanıklılığı ile; susam yüksek sıcaklık ve kısıtlı nem barındıran ortamlarda yetiştirilebilmesiyle (Langham, 2007); ketencik ise kısa vejetasyon süresi ve minimal girdi ihtiyacıyla öne çıkmaktadır.

Bu derlemenin temel amacı; aspir, susam ve ketenciğin kurak ve yarı kurak alanlardaki yetiştiricilik potansiyellerini incelemek, su stresine verdikleri tepkileri, agronomik niteliklerini ve sürdürülebilir tarıma sunabilecekleri katkıları ortaya koymaktır.

2. Kuraklık ve Yağlı Tohumlu Bitkiler

Tarımsal rekolteyi kısıtlayan en kritik çevresel faktörlerin başında kuraklık gelmektedir. Su eksikliğinin bitki üzerindeki etkisi; stresin derecesi, süresi, maruz kalınan gelişme evresi, toprağın fiziksel özellikleri ve bitkinin genetik yapısı ile doğrudan ilişkilidir (Bray, 1997). Hatta aynı tür içerisindeki farklı genotipler arasında dahi kuraklığa tepki açısından belirgin farklılıklar gözlemlenmektedir. Bitkiler su yetersizliğine karşı çeşitli uyum mekanizmaları geliştirirler. Köklerin daha derin toprak katmanlarına uzaması, transpirasyonu azaltmak adına yaprak alanının küçültülmesi, stomaların kapatılması, ozmotik ayarlamalar ve antioksidan savunmanın devreye sokulması bu tepkilerin başlıcalarıdır (Laxa et al., 2019). Ancak bu savunma mekanizmaları önemli miktarda enerji ve karbon harcanmasını gerektirdiğinden, stresin uzaması durumunda vejetatif ve generatif gelişim gerilemektedir (Fang ve Xiong, 2015).

Yağlı tohumlu bitkilerde kuraklığın etkisi özellikle generatif safhada belirginleşir. Çiçeklenme dönemindeki su yetersizliği döllenme oranını ve çiçek sayısını düşürebilirken; tohum dolum aşamasında yaşanan stres, dane ağırlığında ve yağ birikiminde kayıplara sebep olur (Eslam et al., 2010). Bu sebeple, kuraklığa tolerans değerlendirilirken yalnızca bitkinin canlı kalması değil, stres şartlarında dahi ekonomik düzeyde ürün verebilmesi esas alınmalıdır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde alternatif yağ bitkilerinin yetiştirilmesi, ürün çeşitliliğinin sağlanması açısından da büyük avantaj sunar. Farklı vejetasyon sürelerine ve kök derinliklerine sahip bitkilerin tercih edilmesi, belirli bir periyotta yaşanacak kuraklığın tüm üretim sistemini çökertmesini engeller (Isbell et al., 2015). Bununla birlikte, başarı sağlanabilmesi için bölgenin ekolojik yapısı ile seçilen bitkinin çevre isteklerinin uyumlu olması gerekir.

3. Aspirin Kurak Koşullara Adaptasyonu

Aspir (*Carthamus tinctorius* L.), Asteraceae familyasına mensup, öncelikle yağ elde etmek amacıyla yetiştirilen değerli bir alternatif bitkidir. Aspirin kısıtlı su koşullarında öne çıkmasının başlıca nedeni, diğer birçok yağ bitkisine kıyasla su azlığına karşı gösterdiği yüksek adaptasyon gücüdür. Bitkinin kurak şartlardaki en büyük avantajı kuşkusuz kuvvetli ve derin kök sistemidir. Köklerin toprağın derinliklerine nüfuz edebilmesi, üst katmanlardaki nem bittiğinde dahi derinlerdeki sudan yararlanılmasına imkân tanır. Ancak aspir de su kısıtından tamamen muaf değildir. Şiddetli su stresine maruz kaldığında bitki boyu, biyokütle üretimi, yaprak yüzeyi ve başçık sayısında gerilemeler meydana gelebilir (Hussain et al., 2016). Özellikle çiçeklenme ve dane oluşumu evrelerinde ortaya çıkan su yetersizliği, nihai tohum rekoltesini ciddi oranda düşürebilmektedir (Yau, 2007; Eslam et al., 2010). Dane doldurma döneminde uygulanan kuraklığın tohum ve yağ veriminin yanı sıra yağ asidi bileşimini de değiştirdiği bildirilmiştir (Joshan et al., 2019).

Kuraklık koşullarında aspir bitkisinde transpirasyonu sınırlamaya yönelik morfolojik ve fizyolojik mekanizmalar işletilir. Stomaların kapanması ve yaprak alanının küçülmesi terleme yoluyla su kaybını engellerken, derin kök büyümesinin devam etmesi topraktaki sudan faydalanmayı sürdürür (Hussain et al., 2016). Fakat stomaların uzun süre kapalı kalması, karbondioksit alımını kısıtlayarak fotosentezi ve karbon asimilasyonunu olumsuz etkiler. Dordas ve Sioulas (2008), yağışa dayalı şartlarda yürüttükleri araştırmada, azot gübrelemesinin aspirde tohum verimi, klorofil miktarı, fotosentez oranı ve su kullanım etkinliği üzerinde olumlu etkiler sağladığını saptamışlardır. Bu bulgu, yağışa dayalı koşullarda dengeli gübrelemenin dikkate alınması gerektiğine işaret etmektedir. Çeşit tercihi de aspir yetiştiriciliğinde kuraklık yönetiminin ayrılmaz bir parçasıdır. Genotipler arasında kök mimarisi, su kullanım etkinliği ve stres altındaki verim performansı bakımından belirgin farklar mevcuttur (Joshan et al., 2019; Mosupiemang et al., 2023). Dolayısıyla kurak ve yarı kurak sahalarda yalnızca potansiyel verimi yüksek çeşitler değil, stres anında verim kararlılığını sürdürebilen genotipler seçilmelidir. Aspirin bir diğer önemli avantajı ise tahıllarla ekim nöbetine uygun olmasıdır (Dordas ve Sioulas, 2008). Tahıl ağırlıklı kuru tarım alanlarında aspir gibi bir yağ bitkisinin münavebeye sokulması ürün çeşitliliğini artırır. Bununla beraber, bölgesel bazda hastalık, zararlı, yabancı ot, mekanize hasat ve pazarlama imkânları önceden analiz edilmelidir.

4. Susamın Su Kısıntına Toleransı ve Üretim Potansiyeli

Pedaliaceae familyasının bir üyesi olan susam (*Sesamum indicum* L.), tohumlarındaki yüksek yağ oranı ve yağının besleyici nitelikleri sebebiyle ticari değeri yüksek bir bitkidir.

Sıcak iklimleri seven susam, özellikle yüksek sıcaklık ve uzun vejetasyon süresi sunan coğrafyalarda yetiştirilmektedir (Langham, 2007). Bununla birlikte sıcaklığın su kısıtı ile birleşmesi bitki üzerinde kombine bir stres oluşturabilir. Bu nedenle susamın sıcaklık isteği ile kuraklık toleransı birlikte değerlendirilmelidir. Susam genotiplerinin kuraklığa verdiği yanıtlar geniş bir varyasyon gösterir. Dossa et al. (2017), kuraklığa farklı tepki veren iki susam genotipinde transkriptom düzeyinde önemli değişimler meydana geldiğini bildirmiştir. Dossa et al. (2019) tarafından 400 susam hattı üzerinde yürütülen genom çapında ilişkilendirme çalışmasında, kuraklık toleransıyla ilişkili çok sayıda genetik lokus belirlenmiş; susamın hayatta kalmayı sağlayan alellerinin büyük ölçüde sabitlendiği, ancak verimin kuraklıkta korunmasını sağlayan alellerin çoğunun henüz sabitlenmediği bildirilmiştir. Bu durum, ıslah çalışmalarında toleranslı çeşitlerin geliştirilmesi adına genetik kaynakların korunması ve incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Susamda su eksikliğinin en önemli etkisi generatif organlarda görülür. Çiçeklenme safhasındaki su stresi çiçek ve kapsül gelişimini olumsuz etkileyebilir (Dossa et al., 2017; Pandey et al., 2021). Tohum dolum aşamasındaki su yetersizliği ise bin dane ağırlığını ve toplam tohum rekoltesini geriletebilmektedir (Pandey et al., 2021). Susamda kuraklığa dayanıklılığın genotipler arasında farklılık gösterdiği bildirilmektedir (Boureima et al., 2012; Pandey et al., 2021). Dolayısıyla kurak bölgelerde yüksek verimli çeşitlerin yanında su kısıtı altında verim kararlılığını koruyabilen hatlara öncelik verilmelidir. Susam üretiminde ekim zamanı da kritik bir agronomik karardır. Ekim tarihinin yörenin iklim parametrelerine göre ayarlanması, kritik fenolojik aşamaların aşırı sıcak ve kurak periyotlara denk gelmesini önleyebilir (Nath et al., 2001; Izgi ve Bulut, 2023). Ayrıca, toprak nemini muhafaza eden toprak işleme ve yabancı ot mücadelesi su kullanım etkinliğini yükseltebilir(Baumhardt ve Jones, 2002).

5. Ketenciğin Alternatif Yağ Bitkisi Olarak Önemi

Brassicaceae familyasından bir kültür bitkisi olan ketencik (*Camelina sativa* (L.) Crantz), son yıllarda sürdürülebilir tarım, biyoyakıt üretimi ve fonksiyonel gıda kaynaklarına olan ilginin artmasıyla yeniden gündeme gelmiştir. Ketenciğin en belirgin özelliği, özellikle bahar tiplerinin kısa vejetasyon süresine sahip olmasıdır (Berti et al., 2016). Bu nitelik, yaz kuraklığının erken bastırdığı bölgelerde bir kaçış stratejisi sunabilir; bitkinin yaşam döngüsünü hızla tamamlaması, yüksek sıcaklık ve terminal kuraklık riskinden kaçınmasına yardımcı olur (Neupane et al., 2022). Bununla birlikte, Akdeniz havzasında yapılan çok yıllı ve çok lokasyonlu denemelerde kısa büyüme sezonunun tohum verimi potansiyelini de düşürdüğü bildirilmiştir (Berzuini et al., 2024). Zanetti et al. (2021), ketenciğin Avrupa'da alternatif bir yağ bitkisi olarak yeniden önem kazandığını; düşük girdi gereksinimi ve çevre koşullarına geniş adaptasyon gücünün bu yaygınlaşmada etkili olduğunu bildirmiştir.

Ketencik tohumları yüksek oranda yağ ihtiva eder. Yağ bileşiminin alfa-linolenik asit bakımından zengin olması beslenme açısından önem taşırken, biyodizel ve endüstriyel hammadde olarak kullanılabilmesi ekonomik değerini artırmaktadır (Mondor ve Hernández-Álvarez, 2022; Berti et al., 2016). Bitki, düşük girdi şartlarında dahi ürün verebilmesiyle bilinir. Ancak bu durum, bitkinin gübre ve suya hiç ihtiyaç duymadığı anlamına gelmez; toprak yapısına ve iklim şartlarına bağlı olarak yapılan dengeli besleme verimi artıracaktır (Wysocki et al., 2013). Kurak coğrafyalarda ketenciğin önemli üstünlüklerinden biri gelişme periyodunu yaz kuraklığından önce tamamlayabilmesidir. Kışlık ekimin mümkün olduğu alanlarda bitki kış yağışlarını kullanarak gelişir; ancak kışlık tiplerin vejetasyon süresi bahar tiplerine kıyasla belirgin biçimde uzundur (Berti et al., 2016; Zanetti et al., 2021). Bununla birlikte, ketenciğin ülkemiz tarımına kazandırılması için bölgesel saha araştırmalarının çoğaltılması gerekmektedir (Sevilmiş et al., 2019). Farklı ekolojilerde verim, yağ oranı, yağ kalitesi ve su kullanım verimliliği üzerine yapılacak deneysel çalışmalar, türün adaptasyon haritasını ortaya çıkaracaktır.

6. Alternatif Yağlı Tohumlu Bitkilerin Karşılaştırılması

Aspir, susam ve ketencik farklı ekolojik istek ve agronomik niteliklere sahip olmakla birlikte, kurak ve yarı kurak bölgelerde alternatif ürün olarak değerlendirilebilecek potansiyele sahiptir. Ancak bu üç türün sunduğu avantajlar birbirinden farklıdır. Aspir, güçlü kök mimarisi ve su stresine toleransı ile öne çıkarken; susam sıcak iklim uyumu ve yüksek yağ potansiyeliyle fark yaratmaktadır. Ketencik ise kısa vejetasyon süresi ve düşük girdi talebiyle dikkat çekmektedir. Kurak bölgelerde ürün seçimi yapılırken yalnızca alan başına alınan tohum miktarına bakılmamalı, harcanan birim su başına elde edilen tohum ve yağ miktarı da hesaplanmalıdır. Yağ bitkilerinin su kullanım etkinliği türe göre farklılık göstermektedir (Kar et al., 2007). Bu bağlamda hedef, salt su kullanım etkinliğinden çok, bitkinin eldeki suyu etkin biçimde kullanabilmesi olmalıdır (Blum, 2009). Türlerin farklı fenolojik gelişme sürelerine sahip olması üretim risklerinin dağıtılmasına imkân tanır. Örneğin ketencik kısa gelişme süresi sayesinde yaz kuraklığından kaçınarak avantaj sağlarken; susam yüksek sıcaklık isteği nedeniyle sıcak iklim kuşaklarında değerlendirilmelidir.

7. Kuraklık Yönetiminde Yetiştirme Teknikleri

Kurak ve yarı kurak sahalarda yüksek rekolte elde etmek için doğru tür ve çeşit seçimi kadar, agronomik uygulamaların hassasiyetle yürütülmesi de önemlidir. En kritik faktörlerden biri ekim zamanının ayarlanmasıdır. Ekim tarihinin bölgesel yağış ve sıcaklık rejimine uyarlanması gerekir; aspirde ve susamda ekim zamanının verimi önemli ölçüde etkilediği bildirilmiştir (Yau, 2007; Izgi ve Bulut, 2023). Toprak neminin muhafazası bir diğer önemli stratejidir. Anız bırakılması ve toprak yüzeyinde bitki artığının korunması, kuru tarım koşullarında buharlaşma kayıplarını azaltarak toprakta su depolanmasına katkı sağlayabilir (Baumhardt ve Jones, 2002). Bunun yanı sıra ilk gelişme dönemlerinde etkili bir yabancı ot mücadelesi yürütülmelidir. Öte yandan yetersiz besleme de stres toleransını ve verimi düşürebilir; yağışa dayalı koşullarda azotun aspirde verim ve su kullanım etkinliğini artırdığı bildirilmiştir (Dordas ve Sioulas, 2008). Dolayısıyla toprak analizine dayalı dengeli gübreleme yapılmalıdır. Sulamalı alanlarda ise suyun kısıtlı olduğu dönemlerde kısıntılı sulama stratejileri uygulanabilir (Fereres ve Soriano, 2007). Kritik fenolojik dönemlere öncelik verilerek su kaynakları verimli kullanılmalıdır.

8. Türkiye Açısından Değerlendirme

Aspir, özellikle kuru tarım yapılan Anadolu coğrafyasında önemli bir alternatif üründür. Derin kök yapısı ve kuraklığa adaptasyonu, aspiri su kısıtı olan bölgelerde avantajlı kılmaktadır (Dordas ve Sioulas, 2008). Susam ise özellikle sıcaklık toplamının yüksek olduğu Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu gibi alanlarda değerlendirilmelidir. Ancak verim kararlılığı, elle veya mekanize hasat sorunları ve pazar koşulları dikkatle analiz edilmelidir. Ketencik ise ülkemiz için yeni sayılabilecek bir seçenektir. Kısa gelişme süresi sayesinde bazı münavebe sistemlerine entegre edilebilir. Ancak Türkiye'nin farklı ekolojik bölgelerinde ketencik üzerine çok yıllı tarla denemelerinin artırılması gereklidir (Sevilmiş et al., 2019). Ülkemiz açısından bir diğer husus, yağlı tohum üretiminde miktar artışının yanı sıra ürün deseninin çeşitlendirilmesidir. Tek tip üretime odaklanmak iklim kaynaklı riskleri artırabilir (Lin, 2011). Aspir, susam ve ketenciğin üretime kazandırılması bu riskleri dağıtabilir. Yapılacak araştırmalarda yalnızca tohum verimi değil; yağ oranı, yağ asitleri profili, su ve azot kullanım etkinlikleri, hastalık-zararlı direnci ile ekonomik karlılık parametreleri bütüncül olarak incelenmelidir.

9. Sonuç ve Öneriler

İklim değişikliği ve su kısıtı, yağlı tohum üretimini tehdit eden başlıca unsurlar arasındadır. Sürdürülebilir üretim, yalnızca yüksek verimli çeşitlerin ekilmesine değil, çevresel streslere toleranslı alternatif türlerin üretim sistemlerine katılmasına da bağlıdır. Aspir, susam ve ketencik bu anlamda önemli alternatiflerdir. Aspir derin kök sistemiyle, susam sıcak iklim uyumuyla, ketencik ise kısa yetişme süresiyle öne çıkar. Ancak hiçbir türün her koşulda yüksek verim vereceği düşünülmemelidir. Stresin şiddeti, süresi ve genotip verim üzerinde belirleyicidir. Bu nedenle kuraklığa tam dayanıklı tür kavramı yerine belirli ekolojilerde verim kararlılığı sağlayan genotip yaklaşımı benimsenmelidir. Gelecekte yapılacak deneysel çalışmalarda bu üç türün aynı lokasyonda yan yana kıyaslanması; tohum verimi, yağ kalitesi, su kullanım etkinliği ve ekonomik getirilerinin birlikte değerlendirilmesi önerilir. Türkiye açısından ise bölgesel adaptasyon haritaları çıkarılmalı; kurak alanlarda aspir, sıcak bölgelerde susam, kısa vejetasyon gerektiren ekim nöbetlerinde ise ketencik değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak aspir, susam ve ketencik; doğru genotip, uygun ekim zamanı ve yetkin agronomik uygulamalarla birleştirildiğinde kurak ve yarı kurak alanlarda yağlı tohum üretiminin sürdürülebilirliğine ve çeşitlendirilmesine katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.

Kaynakça

Baumhardt, R. L., Jones, O. R. (2002). Residue management and tillage effects on soil-water storage and grain yield of dryland wheat and sorghum for a clay loam in Texas. *Soil and Tillage Research, 68*(2); 71–82. https://doi.org/ 10.1016/S0167-1987(02)00097-1.

Berti, M., Gesch, R., Eynck, C., Anderson, J., Cermak, S. (2016). Camelina uses, genetics, genomics, production, and management. *Industrial Crops and Products, 94*(8); 690–710. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.09.034

Berzuini, S., Zanetti, F., Alberghini, B., Leon, P., Prieto, J., Herreras Yambanis, Y., Trabelsi, I., Hannachi, A., Udupa, S. M., Monti, A. (2024). Assessing the productivity potential of camelina (*Camelina sativa* L. Crantz) in the Mediterranean basin: Results from multi-year and multi-location trials in Europe and Africa. *Industrial Crops and Products, 219*(1);119080. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119080

Blum, A. (2009). Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research, 112*(2009), 119–123. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.001

Boureima, S., Oukarroum, A., Diouf, M., Cisse, N., Van Damme, P. (2012). Screening for drought tolerance in mutant germplasm of sesame (*Sesamum indicum*) probing by chlorophyll a fluorescence. *Environmental and Experimental Botany, 81*(2012); 37–43. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.02.015

Bray, E. A. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science, 2*(1), 48–54.

Dordas, C. A., Sioulas, C. (2008). Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Industrial Crops and Products. 27(1), 75–85.

Dossa, K., Li, D., Wang, L., Zheng, X., Liu, A., Yu, J., Wei, X., Zhou, R., Fonceka, D., Diouf, D., Liao, B., Cissé, N., Zhang, X. (2017). Transcriptomic, biochemical and physio-anatomical

investigations shed more light on responses to drought stress in two contrasting sesame genotypes. *Scientific Reports, 7*, 8755. https://doi.org/10.1038/s41598-017-09397-6

Dossa, K., Li, D., Zhou, R., Yu, J., Wang, L., Zhang, Y., You, J., Liu, A., Mmadi, M. A., Fonceka, D., Diouf, D., Cissé, N., Wei, X., Zhang, X. (2019). The genetic basis of drought tolerance in the high oil crop *Sesamum indicum*. *Plant Biotechnology Journal, 17*(9), 1788–1803. https://doi.org/10.1111/pbi.13100

El Sabagh, A., Hossaın, A. Barutçular, C. Gormus, O. Ahmad, Z. Hussaın, S. Islam, M.S. Alharby, H. Bamagoos, A. Kumar, N. Akdenız, A. Fahad, S. Meena, R. S. Abdelhamıd, M. Wasaya, A. Hasanuzzaman, M. Sorour, S. Saneoka, H. (2019). Effects of drought stress on the quality of major oilseed crops: Implications and possible mitigation strategies – a review. Applied Ecology and Environmental Research, 17(2), 4019–4043.

Eslam, B. P., Monirifar, H., Ghassemi, M. T. (2010). Evaluation of late season drought effects on seed and oil yields in spring safflower genotypes. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 34*(5), 373–380.

Fang, Y., Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. Cellular and Molecular Life Sciences. *72*(4); 673–689.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development. 29*(1), 185–212. https://doi.org/10.1051/agro:2008021

Fereres, E., Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany, 58*(2), 147–159. https://doi.org/10.1093/jxb/erl165

Gupta, M. K. (2017). *Practical guide to vegetable oil processing* (2nd ed.). Academic Press and AOCS Press. ISBN: 978-1-63067-050-4.

Hussain, M. I., Lyra, D.-A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 36*(4).

IPCC. (2023). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., T. Bezemer, M. Bonin, C. Bruelheide H.,.Luca E.D, Ebeling A., Griffin J. N., Guo Q., Hautier Y., Hector A., Jentsch A., Kreyling J., Lanta V., Manning P., Meyer S.T., Mori A. S., Naeem S., Niklaus P. A., Polley H. W., Reich P.B., Roscher C., Seabloom E. W., Smith M. D., Thakur M.P., Tilman D., Tracy B. F., van der Putten W. H., van Ruijven J., Weigelt A., Weisser W. W., Wilsey B., Eisenhauer N. (2015). Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. *Nature, 526*(7574), 574–577. https://doi.org/10.1038/nature15374

Izgi, M. N., & Bulut, B. (2023). Agronomic characteristics and yield values of sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars at various sowing dates. *Turkish Journal of Agricultural Research, 10*(1); 109–120. https://doi.org/10.19159/tutad.1253570

Joshan, Y., Sani, B., Jabbari, H., Mozafari, H., Moaveni, P. (2019). Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. *Plant, Soil and Environment, 65*(11); 563-567.

Kar, G., Kumar, A., Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. Agricultural Water Management, 87(1); 73–82.

Langham, D. R. (2007). Phenology of sesame. In J. Janick & A. Whipkey (Eds.), *Issues in new crops and new uses* (pp. 144–182). ASHS Press.

Laxa, M., Liebthal, M., Telman, W., Chibani, K., Dietz, K.J. (2019). The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. *Antioxidants, 8*(4), 94. https://doi.org/10.3390/antiox8040094

Lin, B. B. (2011). Resilience in agriculture through crop diversification: Adaptive management for environmental change. *BioScience, 61*(3), 183–193.

Malhi, G. S., Kaur, M., & Kaushik, P. (2021). Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: A review. *Sustainability, 13*(3), 1318. https://doi.org/10.3390/su13031318

Mondor, M., Hernández-Álvarez, A. J. (2022). *Camelina sativa* composition, attributes, and applications: A review. *European Journal of Lipid Science and Technology, 124*(3); 2100035. https://doi.org/10.1002/ejlt.202100035

Mosupiemang, M., Emongor, V. E., Malambane, G., Mapitse, R. (2023). Growth, development and yield of safflower genotypes in response to environmental variations. *Journal of Phytology. 15*, 145–154.

Nath, R., Chakraborty P.K. , Chakraborty A., (2001). Effect of climatic variation on yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) at different dates of sowing. *Journal of Agronomy and Crop Science, 186(2):97-102*

Neupane, D., Lohaus, R. H., Solomon, J. K. Q., Cushman, J. C. (2022). Realizing the potential of *Camelina sativa* as a bioenergy crop for a changing global climate. *Plants*, *11*(6), 772. https://doi.org/10.3390/plants11060772

Pandey, B. B., Ratnakumar, P., Usha, K. B., Dudhe, M. Y., Lakshmi, G. S., Ramesh, K., Guhey, A. (2021). Identifying traits associated with terminal drought tolerance in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Frontiers in Plant Science, 12*, 739896. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.739896

Sevilmiş, U., Bilgili, M. E., Kahraman, Ş., Seydoşoğlu, S., Sevilmiş, D., (2019). Ketencik (*Camelina sativa*) tarımı. *Uluslararası Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, 2*(2), 36–62.

Wysocki, D. J., Chastain, T. G., Schillinger, W. F., Guy, S. O., Karow, R. S. (2013). Camelina: Seed yield response to applied nitrogen and sulfur. *Field Crops Research, 145*, 60–66.

Yau, S. K. (2007). Winter versus spring sowing of rain-fed safflower in a semi-arid, high-elevation Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy, 26*(3), 249–256. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.10.004

Zanetti, F., Alberghini, B., Marjanović Jeromela, A., Grahovac, N., Rajković, D., Kiprovski, B., Monti, A. (2021). Camelina, an ancient oilseed crop actively contributing to the rural renaissance in Europe. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(2).

YAĞLI TOHUMLU BİTKİLERDE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM: MEVCUT YAKLAŞIMLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

SUSTAINABLE PRODUCTION IN OILSEED CROPS: CURRENT APPROACHES AND FUTURE PERSPECTIVES

Aynur BİLMEZ ÖZÇINAR
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 000-0002-3173-6147

Özet

Yağlı tohumlu bitkiler sadece yağ kaynağı değildir; aynı zamanda hayvan beslemede, gıda sanayisinde, biyoyakıt üretiminde ve çeşitli endüstriyel alanlarda da kullanıma sahiptirler. Bu nedenle hem dünya hem de Türkiye tarımı için önemli bir yere sahiptirler. Öte yandan iklim değişikliği, kuraklık, su kaynakları üzerindeki baskı, toprak veriminin düşmesi, artan üretim maliyetleri ve giderek daralan ürün çeşitliliği, bu bitkilerin sürdürülebilir biçimde yetiştirilmesini hem araştırma hem de uygulama açısından önemini artırmıştır. Sürdürülebilir üretimde amaç, birim alandan en yüksek verimi almakla sınırlı değildir; su, toprak ve besin maddeleri gibi kaynakların verimli kullanılması, üretimin çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir kalması da aynı ölçüde önemlidir. Bu derlemede ayçiçeği, soya, kanola, susam, aspir, yerfıstığı ve ketencik başta olmak üzere yağlı tohumlu bitkilerin sürdürülebilir üretimdeki yeri ele alınmıştır. Ürün rotasyonu ve çeşitlendirme, su ve besin maddesi yönetimi, toprak sağlığının korunması, iklim değişikliğine uyum ve bölgesel üretim planlaması, sürdürülebilir yağlı tohum üretiminin ana başlıkları olarak incelenmiştir. Kaynaklarda, yağlı tohumların üretim sistemine katılmasının ürün çeşitliliğini artırdığı ve bazı sistemlerde su ile azot kullanımı bakımından avantaj sağlayabildiği bildirilmektedir. Ayçiçeği, soya ve kanola gibi başlıca yıllık yağ bitkilerinin sürdürülebilirliği ise arazi kullanımı, girdi ihtiyacı ve çevresel etkileriyle birlikte değerlendirilmelidir. Sonuç olarak, gelecekte yağlı tohum üretimini artırmak için yüksek verimli çeşitlerin yanı sıra bölgenin ekolojik koşullarına uygun tür seçimi, çeşitlendirilmiş rotasyonlar, kaynakların etkin yönetimi ve çevresel etkisi düşük üretim sistemlerinin birlikte uygulanması gerekir.

Anahtar Kelimeler: Yağlı tohumlu bitkiler, sürdürülebilir tarım, ürün çeşitlendirmesi, su yönetimi

Abstract

Oilseed crops are not merely sources of oil; they are also used in animal feeding, the food industry, biofuel production, and various industrial applications. For this reason, they occupy an important place in both global and Türkiye agriculture. At the same time, climate change, drought, pressure on water resources, declining soil fertility, rising production costs, and increasingly narrow crop diversity have heightened the importance of cultivating these crops sustainably, in terms of both research and practice. The goal of sustainable production is not limited to obtaining the highest yield per unit area; the efficient use of resources such as water, soil, and nutrients, and keeping production environmentally and economically sustainable, are equally important. This review addresses the role of oilseed crops, primarily sunflower, soybean, canola, sesame, safflower, peanut, and camelina, in sustainable production. Crop rotation and diversification, water and nutrient management, soil health conservation, climate change adaptation, and regional production planning are examined as the main themes of sustainable oilseed production. The literature reports that including oilseeds in production systems increases crop diversity and, in some systems, can provide advantages in water and nitrogen use. The sustainability of major annual oil crops such as sunflower, soybean, and canola, however, should be evaluated together with their land use, input requirements, and environmental impacts. In conclusion, increasing oilseed production in the future will require the combined application of high-yielding cultivars, species selection suited to the ecological conditions of the region, diversified rotations, effective resource management, and production systems with low environmental impact.

Keywords: Oilseed crops, sustainable agriculture, crop diversification, water management

1. Giriş

Yağlı tohumlu bitkiler, insan beslenmesinde kullanılan bitkisel yağların en önemli kaynaklarından biridir. Proteince zengin yan ürünleri sayesinde hayvan beslemede, ayrıca biyoyakıt ve çeşitli sanayi kollarında da değerlendirilmektedir. Küresel ticarete konu olan bitkisel yağ üretiminin %91'inden fazlası palm yağı, soya, kanola ve ayçiçeğinden sağlanır; bunlardan yağ palmı çok yıllık, diğer üçü yıllık bitkilerdir (Murphy, 2025). Soya, ayçiçeği ve kanola, dünya bitkisel yağ piyasasında öne çıkan ve geniş alanlarda yetiştirilen başlıca yıllık türlerdir (Murphy, 2025). Susam, aspir, yerfıstığı ve ketencik ise farklı ekolojik koşullara uyum sağlamaları ve özel kullanım alanları sayesinde önemini korumaktadır.

Tarımın geleceği söz konusu olduğunda yalnızca üretim miktarını artırmak yeterli görülmemektedir. Artan nufusun bitkisel yağ talebi de yükselmekte; bu talebi karşılarken tarım alanlarını korumak, suyu verimli kullanmak, toprak veriminin sürekliliğini sağlamak ve çevresel etkileri azaltmak gerekmektedir. Bu yüzden sürdürülebilir tarım, yüksek verim hedefinin ötesinde ekonomik, çevresel ve sosyal boyutları olan bir üretim anlayışı olarak ele alınmaktadır. Yağlı tohumlu bitkiler bu anlayış içinde önemli fırsatlar sunar. Kök yapıları, büyüme dönemleri ve çevre koşullarına toleransları birbirinden farklı yağ bitkilerinin üretim sistemine katılması, mevcut ürün desenini çeşitlendirebilir. Ürün çeşitlendirmesi; toprak sağlığı, biyolojik çeşitlilik, hastalık ve zararlı yönetimi ile iklim risklerinin dağıtılması bakımından sürdürülebilir tarımın başlıca araçları arasında sayılmaktadır (Mihrete ve Mihretu, 2025). Dünya genelinde ürün rotasyonu ve birlikte yetiştiricilik gibi çeşitlendirme stratejilerinin tarımsal sürdürülebilirliğe katkı sağlayabildiğini yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Beillouin ve ark., 2019).

Bu çalışmada başlıca yağlı tohumlu bitkiler sürdürülebilir üretim açısından ele alınmış; ürün çeşitlendirmesi, rotasyon, su ve besin maddesi yönetimi, toprak sağlığı ve iklim değişikliğine uyum konularındaki temel yaklaşımlar ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. Yağlı Tohumlu Bitkilerin Sürdürülebilir Tarımdaki Yeri

Yağlı tohumlu bitkilerin sürdürülebilir tarımdaki yeri, yağ üretiminden ibaret olmamaktadır. Bu türler farklı tarım sistemlerine girerek üretim desenini çeşitlendirebilir. Ancak uzun yıllar benzer ürünlere dayanan, çeşitliliği düşük sistemlerde bazı hastalık ve zararlılar çoğalabilir, toprak kaynakları dengesiz kullanılabilir ve üretim riskleri tek noktada toplanabilir. (Mihrete ve Mihretu, 2025).

Çeşitlendirme sayesinde farklı zamanlarda ekilip hasat edilen, kök derinlikleri ya da besin maddesi istekleri birbirinden ayrılan bitkiler aynı sistemde birlikte yer alabilir. Mihrete ve Mihretu (2025), ürün çeşitlendirmesinin iklim değişkenliği, zararlı baskısı ve ekonomik riskler karşısında tarımsal dayanıklılığı artırabilecek önemli bir strateji olduğunu vurgulamıştır. Kaynakların daha verimli kullanılması ve riskin farklı ürünlere yayılması da çeşitlendirmenin sağladığı diğer yararlardır.

Yağlı tohumlu bitkiler, özellikle tahıl ağırlıklı üretim sistemlerinde alternatif ürün olarak düşünülebilir. Rotasyona girmeleri, üreticinin tek bir ürüne bağımlılığını azaltabilir ve farklı pazarlama seçenekleri yaratabilir. Yine de her yağ bitkisinin her bölgede ya da her sistemde aynı avantajı sağlayacağını beklemek doğru olmaz. Tür seçiminde iklim, toprak, su olanakları, pazar koşulları ve üretim maliyetleri birlikte göz önünde bulundurulmalıdır.

3. Ürün Rotasyonu ve Çeşitlendirme

Sürdürülebilir yağlı tohum üretiminde en önemli yaklaşımlardan biri, uygun ürün rotasyonlarının kurulmasıdır. Aynı ürün art arda yetiştirilirse hastalık ve zararlı döngüleri güçlenebilir (Kutcher ve ark., 2013), bazı yabancı otlar yaygınlaşabilir. Botanik özellikleri farklı türlerin sırayla ekilmesi ise üretim sisteminin biyolojik çeşitliliğini artırabilir.

Scott ve ark. (2021), keten dâhil özel yağ bitkilerinin geleneksel rotasyonlara katılmasının sürdürülebilirlik bakımından önemli bir potansiyel taşıdığını bildirmiştir. Çalışmada özel yağ bitkilerinin rotasyona girmesi, sonraki yaygın ürünlerin verimini olumsuz etkilememiştir; gözlenen verim farkları kısmen azot mineralizasyonu ve önceki ürünün su kullanımıyla ilişkilendirilmiştir. Bazı özel yağ bitkilerinin belirli çevre koşullarında soya gibi yaygın ürünlere göre daha az su kullanması da dikkat çekici bir bulgulardandır. Yağlı tohumlu bitkilerin ürün rotasyondaki rolü bölgeden bölgeye değişebilir. Örneğin yarı kurak alanlarda ayçiçeği ve aspir, uzun yetişme dönemine ve sıcak koşullara daha uygun türler arasında sayılırken; kanola ve ketencik farklı iklim koşullarında rotasyona alternatif oluşturabilmektedir.

Çeşitlendirme ekonomik riski de azaltmaktadır (Mihrete ve Mihretu, 2025). Sistemde birden fazla ürün varsa, bir üründeki fiyat düşüşünün ya da iklim kaynaklı verim kaybının ekonomik etkisi daha sınırlı kalabilir. Ancak stratejinin işleyebilmesi için uygun bir pazarın ve işleme altyapısının bulunması gerekir.

4. Su Yönetimi ve Kaynak Kullanım Etkinliği

İklim değişikliği ve su kaynakları üzerindeki baskının artması, su kullanım etkinliğini yağlı tohum üretiminin öncelikli konularından biri hâline getirmiştir. Sürdürülebilirlik açısından hedef yalnızca toplam verimi yükseltmek değildir; kullanılan su birimi başına daha fazla ürün ve ekonomik değer elde etmek de gerekir . Bitkilerin su ihtiyacı türe, gelişme dönemine ve çevre koşullarına göre değişir. Bu nedenle sulama programları, bitkinin kritik gelişme dönemleri gözetilerek hazırlanmalıdır. Gereğinden fazla sulama su kaybına ve enerji maliyetinin artmasına yol açabildiği gibi besin maddelerinin topraktan yıkanmasına da neden olabilir. Sulamanın yetersiz kalması ise özellikle çiçeklenme ve tohum dolum dönemlerinde ciddi verim kayıplarına yol açabilir.

Yağ bitkilerinin rotasyona katılması, su kullanımını çeşitlendirmek bakımından da yararlı olabilir. Scott ve ark. (2021), yürüttükleri çalışmada bazı özel yağ bitkilerinin belirli deneme koşullarında soya gibi yaygın ürünlere kıyasla daha düşük mevsimsel su kullanımı gösterebildiğini bildirmiştir. Bu sonuç, özellikle su kaynaklarının kısıtlı olduğu alanlarda doğru tür seçiminin önemini ortaya koymaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde aspir gibi çevresel streslere dayanıklı türler alternatif üretim seçenekleri sunabilir. Teklu ve ark. (2026), aspirin kuraklığa toleranslı ve düşük girdi isteyen bir yağ bitkisi olarak marjinal ya da yarı kurak alanlarda potansiyel taşıdığını vurgulamıştır. Ne var ki bir türün kuraklığa dayanıklı olması, her koşulda yüksek verim vereceği anlamına gelmez. Verim; genotip, çevre ve yetiştirme uygulamalarının birlikte etkisiyle belirlenir.

5. Toprak Sağlığı ve Besin Maddesi Yönetimi

Toprak, sürdürülebilir yağlı tohum üretiminin temel kaynağıdır. Toprak organik maddesinin azalması, erozyon, sıkışma ve besin maddelerinin dengesiz kullanımı uzun vadede üretim kapasitesini sınırlayabilir. Bu yüzden yüksek verim hedefi ile toprak sağlığının korunması birlikte düşünülmelidir. Ürün çeşitlendirmesi ve rotasyon, toprak sağlığını korumaya katkı sağlayabilecek uygulamalardandır. Beillouin ve ark. (2019), farklı çeşitlendirme stratejilerinin sürdürülebilirlik üzerinde önemli etkileri olduğunu; özellikle rotasyon ve birlikte yetiştiriciliğin üretim sistemlerine çeşitli avantajlar getirebildiğini göstermiştir. Araştırmacılara göre birden fazla çeşitlendirme yaklaşımının bir arada uygulanması, tek bir stratejiye kıyasla daha başarılı sonuçlar verebilir. Besin maddesi yönetiminde temel yaklaşım, bol miktarda gübre vermek yerine bitkinin ihtiyacına uygun, dengeli bir besleme programı oluşturmaktır. Toprak analizine dayalı gübreleme, doğru gübre formunun seçilmesi ve uygulama zamanının iyi belirlenmesi, besin maddesi kayıplarını azaltmada belirleyicidir.

Soya ve yerfıstığı gibi baklagil kökenli yağ bitkileri, uygun simbiyotik ilişkiler kurulduğunda biyolojik azot fiksasyonundan yararlanabildikleri için rotasyon sistemlerinde ayrıca öne çıkar. Nitekim yerfıstığının havanın azotunu bağlayarak toprak verimliliğini artırdığı ve rotasyondaki sonraki ürünlere yarar sağlayabildiği bildirilmektedir (Gelaye ve Luo, 2024). Avrupa'daki baklagilli üretim sistemlerine ilişkin araştırmaları sistematik olarak inceleyen Ditzler ve ark. (2021), baklagillerin basitleşmiş rotasyonları çeşitlendirmede umut vadettiğini belirtmiş; ancak ekosistem hizmetleri açısından henüz yeterince çalışılmamış baklagil türleri, bağlamlar ve ölçekler bulunduğunu da eklemiştir.

6. İklim Değişikliği ve Yağlı Tohum Üretimi

İklim değişikliği, önümüzdeki dönemde yağlı tohumlu bitkilerin üretim alanlarını ve verim potansiyelini belirgin biçimde etkileyebilecek etmenlerden biridir. Sıcaklıkların artması, yağışların düzensizleşmesi, uzun süren kuraklıklar ve aşırı hava olayları, özellikle çiçeklenme ve tohum dolum dönemlerinde verim kaybına yol açabilir. Yağ bitkilerinin iklim değişikliğine tepkisi türden türe farklıdır. Küresel üretimde öne çıkan ayçiçeği, soya ve kanolanın sürdürülebilirliği değerlendirilirken yalnızca verime bakmak yetmez; arazi kullanımı, sera gazı emisyonları, girdi ihtiyacı ve ekosistem üzerindeki etkiler de hesaba katılmalıdır. Bu türlerin çevresel performansı üretim bölgesine ve uygulanan yetiştirme sistemine bağlı olarak büyük ölçüde değişmektedir (Murphy, 2025). İklim değişikliğine uyumda en önemli yaklaşımlardan biri, bölgenin çevre koşullarına uygun tür ve çeşitlerin belirlenmesidir.

Kuraklık riskinin yüksek olduğu yerlerde su kullanım etkinliği yüksek ya da kurak koşullara daha iyi uyum sağlayan türler öne çıkabilir. Sulama olanaklarının yeterli, sıcaklık koşullarının uygun olduğu alanlarda ise soya gibi ekonomik değeri yüksek türler değerlendirilebilir. Ürün çeşitlendirmesi, iklim risklerini azaltmada da önemli bir stratejidir .(Mihrete ve Mihretu, 2025). Gelişme dönemleri ve çevre toleransları farklı ürünlerin aynı işletmede ya da rotasyonda yer alması, üreticinin tek bir iklim olayından doğan ekonomik kaybını azaltabilir. Bu nedenle sürdürülebilir üretim sistemlerinin ilerleyen dönemde daha çeşitli yapılara doğru evrilmesi beklenmektedir.

7. Başlıca Yağlı Tohumlu Bitkilerin Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

7.1. Ayçiçeği

Ayçiçeği, dünyada ve Türkiye'de en önemli yağ bitkilerinden biridir. Yağ potansiyelinin yüksek olması ve geniş adaptasyon yeteneği sayesinde birçok bölgede yetiştirilebilir. Sürdürülebilir üretim açısından ise hastalık yönetimi, uygun rotasyon, su kaynaklarının etkin kullanımı ve bölgeye uygun hibrit seçimi ön plana çıkmaktadır. Küresel değerlendirmelerde ayçiçeğinin önemli bir bitkisel yağ kaynağı olduğu, ancak çevresel etkilerinin yetiştirildiği üretim sistemine göre değiştiği belirtilmektedir; örneğin arazi ihtiyacı kolzadan yüksektir ve Ukrayna gibi başlıca üretim bölgelerinde su stresi fazladır (Murphy, 2025).

7.2. Soya

Soya, yağının yanı sıra protein içeriği bakımından da ekonomik değeri yüksek bir bitkidir. Baklagil bitkisi olması ve uygun koşullarda biyolojik azot fiksasyonundan yararlanabilmesi, onu rotasyon sistemlerinde avantajlı kılmaktadır. Buna karşın soya üretiminde su, sıcaklık ve arazi kullanımına ilişkin sürdürülebilirlik sorunları üretim bölgesine göre farklılık göstermektedir (Murphy, 2025). Bu yüzden soyada üretim artışının, mevcut üretim alanlarının verimliliğini yükseltmeye ve uygun rotasyon sistemlerine dayandırılması önemlidir.

7.3. Kanola

Kanola, yüksek yağ verimi sayesinde önemli bir üretim potansiyeline sahiptir. Ancak benzer türlerin kısa aralıklarla art arda yetiştirildiği sistemlerde hastalık ve zararlı baskısı artabilmektedir. Kanada'nın batısında yürütülen 10 yıllık bir çalışmada, rotasyonda kanola sıklığı arttıkça kara bacak hastalığının görülme oranı ve şiddeti de çeşitten bağımsız olarak artmıştır. Hastalık kanola monokültüründe en yüksek, verim ise en düşük düzeyde bulunmuş; dört yıllık rotasyonlarla dayanıklı çeşitlerin birlikte kullanılması hastalığı azaltmıştır (Kutcher ve ark., 2013). Bu nedenle kanolanın sürdürülebilir üretiminde uygun rotasyon planlaması ve entegre hastalık yönetimi önem kazanmaktadır.

7.4. Susam

Susam, yüksek kaliteli yağı ve sıcağa uyum yeteneği nedeniyle önemli bir yağ bitkisidir; özellikle sıcak iklim bölgelerinde üretim potansiyeli taşır. Yarı kurak iklimlerde yapılan model tabanlı bir çalışmalarda, üreticilerin susamı ağırlıklı olarak kuraklığa ve yüksek sıcaklığa toleransı nedeniyle tercih ettiği; kısıtlı sulamanın ise fenolojik dönemleri tam sulamadan önemli ölçüde farklı etkilemediği bildirilmiştir (Jahan ve Nassiri-Mahallati, 2022). Bölgeye uygun çeşitlerin kullanılması ve su ile diğer girdilerin etkili bir şekilde yönetilmesi, susamın sürdürülebilir üretimdeki önemini daha da artırabilmektedir.

7.5. Aspir

Aspir, kurak ve yarı kurak bölgeler için alternatif bir yağ bitkisi olarak dikkat çekmektedir. Derin kök sistemi ve çevresel streslere toleransı, su kısıtı olan bölgelerde değerlendirilmesine imkân verebilir. Bununla birlikte aspir üretiminin sürdürülebilir olması için ekonomik getirinin, tohum veriminin ve pazarlama olanaklarının birlikte geliştirilmesi gerekir. Düşük girdi ihtiyacı ve çeşitli kullanım alanları, bitkinin gelecekteki önemini artırabilecek özellikler arasında gösterilmektedir. Öte yandan aspirin tohum veriminin ve yağ oranının düşük olması nedeniyle uzun süre ihmal edildiği, son yıllarda ise yağın gıda ve gıda dışı kullanımlardaki değeri sayesinde araştırmacıların ilgisini çektiği belirtilmektedir (Teklu ve ark., 2026).

7.6. Yerfıstığı

Yerfıstığı, yağ ve protein bakımından değerli bir üründür. Baklagil olması, uygun üretim sistemlerinde rotasyon açısından avantaj sağlamaktadır (Gelaye ve Luo, 2024).

Yüksek verim için toprak yapısının, sıcaklığın ve su koşullarının uygun olması gerekir; artan sıcaklıklar, düzensiz yağışlar ve toprak kalitesindeki düşüş yerfıstığının verimini ve kalitesini olumsuz etkilemektedir (Gelaye ve Luo, 2024). Dolayısıyla yerfıstığının sürdürülebilir üretimdeki rolü, bölgenin ekolojik koşulları çerçevesinde değerlendirilmelidir.

7.7. Ketencik

Ketencik, son yıllarda alternatif ve düşük girdili yağ bitkileri arasında daha çok ilgi görmektedir. Özellikle ürün çeşitlendirmesinde ve çift ürün sistemlerinde kullanılma potansiyeli vardır. Gesch ve ark. (2022), kışlık ketencik sonrasında ayçiçeği yetiştirmeyi ele aldıkları çalışmada, çift ürün sisteminde ekimin gecikmesinin ayçiçeği tohum verimini, yağ oranını ve oleik/linoleik asit oranını genel olarak düşürdüğünü, bu düşüşlerin erkenci hibritte ise daha sınırlı kaldığını bildirmiştir. Çalışmanın bir sezonunda erkenci hibritle ketencik ve ayçiçeğinin toplam yağ verimi, tek ürün ayçiçeğinin 1,5 katına ulaşmıştır. Yazarlara göre çift ürün sistemi sürdürülebilir yoğunlaştırma açısından potansiyel taşımaktadır; ancak yıllar arası hava farklılıkları ve vejetasyon süresindeki değişimler nedeniyle riskli de olabilir. Ketencik gibi alternatif türlerin yaygınlaşması, üretim sistemlerindeki tür çeşitliliğini artırabilir.

8. Türkiye Açısından Sürdürülebilir Yağlı Tohum Üretimi

Türkiye, iklim ve toprak özelliklerinin çeşitliliği sayesinde farklı yağlı tohumlu bitkilerin yetiştirilmesine uygun bir üretim potansiyeline sahiptir. 1980–2018 döneminde ekim alanı yaklaşık 1,3 milyon hektardan 1,4 milyon hektara çıkarak sınırlı bir artış göstermiş, buna karşılık yağlı tohum üretimi 1,6 milyon tondan 3,9 milyon tona yükselmiştir; göreli artış en çok aspir ve soyada gerçekleşmiştir (Kıllı ve Beycioğlu, 2019). Ancak sürdürülebilir üretim için her bölgede aynı türleri yaygınlaştırmak yerine bölgesel üretim modelleri geliştirilmelidir. Su kaynaklarının sınırlı olduğu kurak ve yarı kurak alanlarda aspir ve belirli koşullarda susam gibi alternatif türler değerlendirilebilir. Ayrıca, FAOSTAT 2023 verilerine göre Türkiye, yaklaşık 39 bin ton üretim ve 1,21 t/ha verimle dünyanın yedinci büyük aspir üreticisidir (Teklu ve ark., 2026). Sulama olanaklarının elverişli olduğu bölgelerde ise ayçiçeği, soya ve yerfıstığı gibi türler üretim sisteminde daha geniş yer bulabilir. Bu değerlendirmeler yalnızca genel bir çerçeve sunmaktadır; çeşit seçimi, ekim zamanı ve yetiştirme teknikleri bölgesel denemelerle belirlenmelidir.

Türkiye'de sürdürülebilir yağlı tohum üretimini geliştirmek için şu yaklaşımlar öne çıkmaktadır:

Bölgesel ekolojik koşullara uygun yağ bitkilerinin belirlenmesi; yüksek verim ile stres toleransını bir arada taşıyan çeşitlerin geliştirilmesi; tahıl ağırlıklı üretim sistemlerine alternatif yağ bitkilerinin katılması; su kullanım etkinliğini artıran sulama tekniklerinin yaygınlaştırılması; toprak analizine dayalı gübreleme programlarının uygulanması; hastalık ve zararlı yönetiminde entegre yaklaşımların kullanılması ve alternatif yağ bitkileri için pazar ve işleme altyapısının geliştirilmesi.

9. Sonuç ve Öneriler

Yağlı tohumlu bitkiler, bitkisel yağ üretimindeki rolleri ve farklı tarım sistemlerine uyum yetenekleri nedeniyle sürdürülebilir tarımın önemli bileşenlerindendir. İleride artacak bitkisel yağ talebini karşılamak için üretimin yükselmesi gerekse de bu artışın doğal kaynaklar üzerindeki baskıyı büyütmeden sağlanması şarttır. Bu derlemede ele alınan çalışmalar, ürün rotasyonu ve çeşitlendirmenin sürdürülebilir üretim açısından önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Yağ bitkilerinin geleneksel rotasyonlara katılması üretim çeşitliliğini artırabilir, belirli koşullarda da su ve azot kullanımı bakımından avantaj sağlayabilir. Sürdürülebilir yağlı tohum üretimi için tek bir model yoktur. Ayçiçeği, soya, kanola, susam, aspir, yerfıstığı ve ketencik türlerinin her biri farklı ekolojik ve ekonomik koşullarda avantaj sağlayabilir. Bu yüzden üretim planlamasında "en yüksek verimli tür" yerine uygun tür, uygun çeşit, uygun bölge ve uygun yetiştirme sistemi yaklaşımı benimsenmelidir. Sonuç olarak sürdürülebilir yağlı tohum üretiminin asıl hedefi, daha fazla girdi kullanarak daha fazla ürün almak değildir; toprak, su ve diğer doğal kaynakları koruyarak birim kaynak başına yüksek ve kaliteli üretim sağlamaktır. Yağlı tohumlu bitkilerin çeşitlendirilmiş ve bölgesel koşullara uyarlanmış üretim sistemlerine katılması, hem üretim güvenliğini hem de tarımsal sürdürülebilirliği güçlendirmesi bakımından önemli görünmektedir

Kaynakça

Beillouin, D., Ben-Ari, T., Makowski, D. (2019). Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. Environmental Research Letters, 14(12); 123001. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4449

Ditzler, L., van Apeldoorn, D.F., Pellegrini, F., Antichi, D., Bàrberi, P., Rossing, W.A.H. (2021). Current research on the ecosystem service potential of legume inclusive cropping systems in Europe. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41(2), 26. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00678-z

FAOSTAT, 2026. https://www.fao.org/faostat. Erişim tarihi: 2026.

Fereres, E., Soriano, M.A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. Journal of Experimental Botany, 58(2), 147–159. https://doi.org/10.1093/jxb/erl165

Gelaye, Y., Luo, H. (2024). Optimizing peanut (*Arachis hypogaea* L.) production: Genetic insights, climate adaptation, and efficient management practices: Systematic review. Plants, 13(21), 2988. https://doi.org/10.3390/plants13212988

Gesch, R.W., Mohammed, Y.A., Walia, M.K., Hulke, B.S., Anderson, J.V. (2022). Double-cropping oilseed sunflower after winter camelina. Industrial Crops and Products, 181, 114811. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114811

Jahan, M., Nassiri-Mahallati, M. (2022). Modeling the response of sesame (Sesamum indicum L.) growth and development to climate change under deficit irrigation in a semi-arid region. PLOS Climate, 1(6), e0000003. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000003

Kıllı, F., Beycioğlu, T. (2019). Türkiye'de ve dünyada yağlı tohum ve ham yağ üretim durumu: Türkiye yağlı tohum üretimine ilişkin önemli sorunlar. Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi, 1(5); 17–33.

Kutcher, H.R., Brandt, S.A., Smith, E.G., Ulrich, D., Malhi, S.S., Johnston, A.M. (2013). Blackleg disease of canola mitigated by resistant cultivars and four-year crop rotations in western Canada. Canadian Journal of Plant Pathology, 35(2), 209–221. https://doi.org/10.1080/07060661.2013.775600

Mihrete, T.B., Mihretu, F.B. (2025). Crop diversification for ensuring sustainable agriculture, risk management and food security. Global Challenges, 9(2), 2400267. https://doi.org/10.1002/gch2.202400267

Murphy, D.J. (2025). Agronomy and environmental sustainability of the four major global vegetable oil crops: Oil palm, soybean, rapeseed, and sunflower. Agronomy, 15(6), 1465. https://doi.org/10.3390/agronomy15061465

Scott, D.A., Eberle, C.A., Gesch, R.W., Schneider, S.K., Weyers, S.L., Johnson, J.M.F. (2021). Yield, nitrogen, and water use benefits of diversifying crop rotations with specialty oilseeds. Agriculture, Ecosystems & Environment, 317, 107472. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107472

Teklu, D.H., Zhou, R., Wang, L., You, J., Wang, L. (2026). A comprehensive seed oil quality profile and pharmacological applications of safflower for sustainable future: A review. Journal of Functional Foods, 142, 107368. https://doi.org/10.1016/j.jff.2026.107368

BUĞDAYDA ETKİLİ GÜBRE YÖNETİMİ

EFFECTİVE FERTİLİZER MANAGEMENT İN WHEAT

Korkmaz BELLİTÜRK
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4944-3497

Mehmet Fırat BARAN
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7657-1227

Özet
Tarım, insanlığın varoluşundan bu yana temel bir yaşam kaynağı olmuş; günümüzde ise artan dünya nüfusunun beslenmesi ile doğal kaynakların korunması sorumluluğunu aynı anda taşıyan stratejik bir sektör hâline gelmiştir. Bu hassas denge içerisinde, tarımın temel yapı taşlarından biri olan tarla bitkileri üretimi; gıda güvenliğinin sağlanması, ekonomik sürdürülebilirliğin desteklenmesi ve ekolojik dengenin korunması açısından kritik bir öneme sahiptir. Etkin ve doğru gübreleme programının ilk şartı "toprak analizidir". Tarla bitkilerinin gübrelenmesinde bilinmesi gereken iki önemli husus vardır; bunlardan *birincisi bitki besin elementinin topraktaki hareketlilik durumu*, diğeri ise *bitkinin hangi gelişme dönemlerinde ne düzeyde bitki besin elementine ihtiyaç duyduğunun bilinmesidir*. Doğru bir gübrelemede sadece N, P ve K elementlerini uygulamak ve bunu da kimyasal içerikli gübreler ile yapmak artık yeterli değildir. Bunu bir örnekle açıklayacak olursak; yüksek kaliteli buğdayı sağlıklı ve ekonomik bir şekilde üretmek için yetiştiricilerin hedef olarak ortalama %13 düzeyinde bir tahıl protein seviyesi belirlemeleri gerekmektedir. Bu hedefe ulaşmak için üreticilerin zamanında N gübrelemesini tamamlaması ve ne kadar N uygulayacaklarını da önceden yaptıracakları toprak analizleri ile bilmeleri şarttır. Ancak hedeflenen bir tahıl protein oranında sadece N değil, kükürt gibi elementlerin de gübreleme programlarında hesaba katılması gerekir. Bilindiği gibi kükürt, proteinlerin önemli bir bileşenidir ve bu nedenle protein miktarı ile kalitesi açısından önemlidir.
Anahtar Kelimeler: Buğday, tarım, toprak analizi, protein.

Abstract
Agriculture has been a fundamental source of life since the dawn of humanity; today, it has become a strategic sector that simultaneously bears the responsibility of feeding the growing world population and protecting natural resources. Within this delicate balance, field crop production, one of the cornerstones of agriculture, is of critical importance in terms of ensuring food security, supporting economic sustainability, and preserving ecological balance. The first requirement for an effective and accurate fertilization program is "soil analysis." There are two important points to know when fertilizing field crops: the first is the mobility of plant nutrients in the soil, and the second is knowing at what stage of development the plant needs what level of plant nutrients. In proper fertilization, it is no longer sufficient to apply only N, P, and K elements, and to do so with chemical fertilizers. To illustrate this with an example, in order to produce high-quality wheat in a healthy and economical manner, growers need to set a target grain protein level of around 13%. To achieve this goal, producers must complete N fertilization on time and know how much N to apply in advance through soil analyses. However, to achieve the targeted grain protein ratio, elements such as sulfuric must also be taken into account in fertilization programs. As is well known, sulphur is an important component of proteins.
Keywords: Wheat, agriculture, soil analysis, protein.

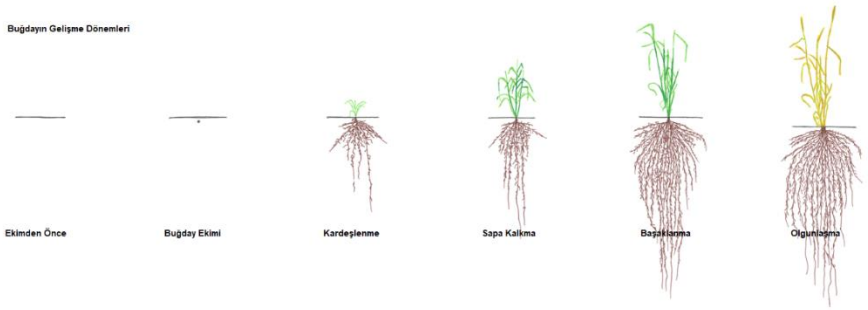
1. Giriş

Gerek dünyada ve gerekse ülkemizde artan nüfusa ilaveten büyük bir iklim değişikliği ile karşı karşıyayız. Şiddetli ve düzensiz yağışlar, seller, su baskınları, aşırı kuraklıklar, toz bulutları, uzun süreli don olayları, fırtınalar, depremler vb. daha birçok doğa olaylarının sebepleri arasında iklim değişikliği de yatmaktadır. Yine iklim değişikliğine bağlı olarak yetersiz ve düzensiz yağış alan, toprağın organik madde bakımından fakirleşmiş, kurak-yarı kurak bölgelerde koşullara göre nadas tercih edilmektedir.

Bu uygulama sebebine göre toprağın en az 14-15 ay gibi bir süre boş bırakılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tarımsal üretimde bu gerçeklere yönelik gelecek planları yapılmalı ve özellikle toprakların verimlilik potansiyellerinin korunmasına dikkat edilmelidir. Özellikle son yıllarda yoğun kullanıma bağlı olarak buğday yetiştirilen tarım topraklarının organik madde, besin element içerikleri ve su tutma kapasitelerinde azalmalar olduğu bildirilmektedir (Bellitürk, 2005; Bellitürk ve Çullu, 2010; Bellitürk ve Çelik, 2025).
Farklı dozlarda vermikompost uygulanarak buğday yetiştirilen bir araştırma sonuçlarına göre, yetiştirme ortamlarına uygulanan tüm vermikompost dozlarının bitkilerin kök üstü organlarının beslenme durumuna istatistiki olarak önemli düzeyde etki ettiği görülmüştür (Barlas ve ark., 2018).
Bu çalışmada, buğdayın gübrelenmesinde dikkat edilecek önemli hususlar üzerinde değerlendirmeler önceki çalışmalardan yararlanılarak yapılmıştır.

2. Buğdayda Verim Esaslı Gübrelemede Dikkat Edilecek Hususlar

Buğday bitkisinin gelişme dönemleri, aşağıdaki Şekil 1'de gösterilmiştir (Anonim, 2026).



Şekil 1. Buğday bitkisinin gelişme dönemleri (Anonim, 2026). Buğday bitkisinin N, P ve K ihtiyaçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

AZOT: Gübreleme ile uygulanan Azot elementi toprakta hareketli olduğundan, buğday bitkisi farklı gelişme dönemlerinde değişik oranlarda azota ihtiyaç duyar. Bu nedenle azotun farklı dönemlerde uygulanması etkinliğini arttırmaktadır. Diğer besin elementlerinden fosfor ve potasyum ise toprakta hareketsizdir. Fosfor ve potasyumun ¾'ü gelişmenin ilk döneminde bitki tarafından alındığından, ekimle birlikte tohum yatağının altına ve yanına bırakılması gerekir. Buğday bitkisi azotu amonyum ve nitrat formunda almaktadırlar. Buğday bitkisi ilk gelişme dönemlerinde aldığı azotu "yaprak oluşumu, kardeşlenme ve başak taslaklarının oluşumunda" kullanmaktadır. Sapa kalkma başlangıcından sonra yapılacak ilk azot uygulaması (genellikle üre) ise "başak iriliğini" olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle çoğunlukla üre formunda ilk N uygulaması, kardeşlenme sonu ile sapa kalkma dönemi öncesinde yapılmalıdır. İlkbaharda yağmurlar nedeniyle oluşabilecek N kayıplarını önlemek için N parçalı olarak verilmelidir. İlk uygulama; KARDEŞLENME SONU-SAPA KALKMA DÖNEMİ ÖNCESİNDE, ikinci uygulama ise SAPA KALKMA DÖNEMİNDE İLK BOĞUM GÖRÜLDÜĞÜNDE yapılmalıdır. Eğer N uygulaması bir defada yapılacaksa, SAPA KALKMADAN HEMEN ÖNCE uygulanmalıdır.
Kışlık ekimlerde ihtiyaçtan fazla N kullanımı; bitkilerin aşırı gelişmesine ve kış zararının artmasına (yatma vs. gibi) neden olmaktadır. Bu nedenle ekimle verilecek N miktarının 1/3'ü geçilmemelidir.

Amonyum nitrat; üre ve A. Sülfat gübresinden daha fazla çözünürlüğe sahip olduğu için, düşük bir rutubette bile eriyerek bitkinin alımına hazır hale gelebilir. Bu durum yağışın az olduğu yıllarda avantaj oluştururken, yağışın fazla olduğu yıllarda yağmurla yıkanma sorunu nedeniyle dezavantaj oluşturur.
Sulu şartlarda buğday yetiştirilecekse, üst gübre olarak verilecek N'un yarısı Üre olarak erken ilkbaharda, diğer yarısı sapa kalkma döneminde A. Nitrat olarak verilmelidir.
Kuru şartlarda ise üst gübrenin tamamı Üre olarak erken ilkbaharda verilmelidir. Erken ilkbaharda A. Nitrat ve A. Sülfat kullanırken, bu gübrelerin erimesi sırasında bitkinin kök bölgesinde ısı düşer ve soğuk zararı nedeni ortaya çıkabilir.

Uygulanacak N miktarı belirlenirken; ilk koşul olarak TOPRAK ANALİZİ gereklidir. Buğdayda birim alandan alınacak her bir 100 kg ürün için ortalama 3 kg saf N gerekir (500-600 mm yıllık yağış ortalamalı bölgelerde). Bu durumda 600 kg ürün hedeflenen bir tarla için ihtiyaç duyulan N miktarı, 18 kg N/da'dır (Halliday ve ark., 1992).
Bütün tarla bitkilerinde mevsim içi azot uygulama oranlarını; tahmini toplam azot ihtiyacından topraktaki kalıntı azotu ve ekim sırasında başlangıç gübresi olarak uygulanacak gübrenin içerdiği azotu çıkararak hesaplamak en doğru yoldur.

FOSFOR: Fosfor, toprakta hareketsiz bir besin elementidir ve buğday bitkisi alması gereken toplam P'un önemli bir bölümünü KARDEŞLENME-BAŞAKLANMA döneminde almaktadır. Bu nedenle P'un ekim öncesinde ya da ekimle birlikte toprak altına uygulanması gerekir. Gübre olarak DTAP veya TSP gibi taban gübreleri çimlenen tohuma zarar vermemek için tohumun yaklaşık 3-4 cm yan tarafına veya altına verilmelidir.

Uygulanacak P miktarı belirlenirken; ilk koşul olarak TOPRAK ANALİZİ gereklidir. Buğdayda birim alandan alınacak her bir 100 kg ürün için ortalama 2 kg saf P gerekir (500-600 mm yıllık yağış ortalamalı bölgelerde). Bu durumda 600 kg ürün hedeflenen bir tarla için ihtiyaç duyulan P miktarı, 12 kg P/da'dır (Halliday ve ark., 1992).

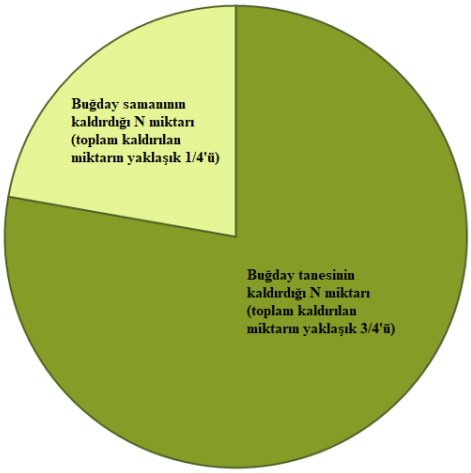
POTASYUM: Potasyum, buğday bitkisinde gelişme, verim ve kalite üzerinde etkili olan, aynı zamanda fazla azotun olumsuz etkisini azaltan bir elementtir. Buğdayın K kullanımı, gelişme dönemi başında düşük, sapa kalkma döneminin sonuna doğru ve çiçeklenme başlangıcında en yüksek düzeye ulaşır. Bu nedenle K gübreleri ekimde, kardeşlenme döneminde veya sapa kalkma dönemlerinde yapılmalıdır. Ancak bu uygulama yaygın ve ekonomik olmadığı için ekimle birlikte tek seferde uygulama daha mantıklıdır. En yaygın olan K gübreleri; Potasyum Nitrat, Potasyum Klorür ve Potasyum Sülfattır.

Uygulanacak K miktarı belirlenirken; ilk koşul olarak TOPRAK ANALİZİ gereklidir. Buğdayda birim alandan alınacak her bir 100 kg ürün için ortalama 2 kg saf K gerekir (500-600 mm yıllık yağış ortalamalı bölgelerde). Bu durumda 600 kg ürün hedeflenen bir tarla için ihtiyaç duyulan K miktarı, 12 kg K/da'dır (Halliday ve ark., 1992). Ancak Türkiye tarım toprakları K elementi bakımından zengin olduğu için bu oran yarıya indirilerek 100 kg ürün için 1 kg saf K uygulanabilir. Halliday ve ark. (1992) tarafından yapılan bir araştırma sonuçlarına göre, 670 kg/da buğday tane verimi elde edilen bir araştırmada buğday bitkisinin tamamının (buğday danesi +sap + kök dahil tüm bitki) dekardan kaldırdığı N miktarı 19 kg/da olurken, kaldırılan P miktarı 4.15 kg/da ve yine tüm bitki tarafından kaldırılan K miktarı ise 25 kg/da olmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. Ortalama 670 kg/da buğday tanesi alınan bir araştırmada bitki tarafından kaldırılan besin element miktarları (Halliday ve ark., 1992).

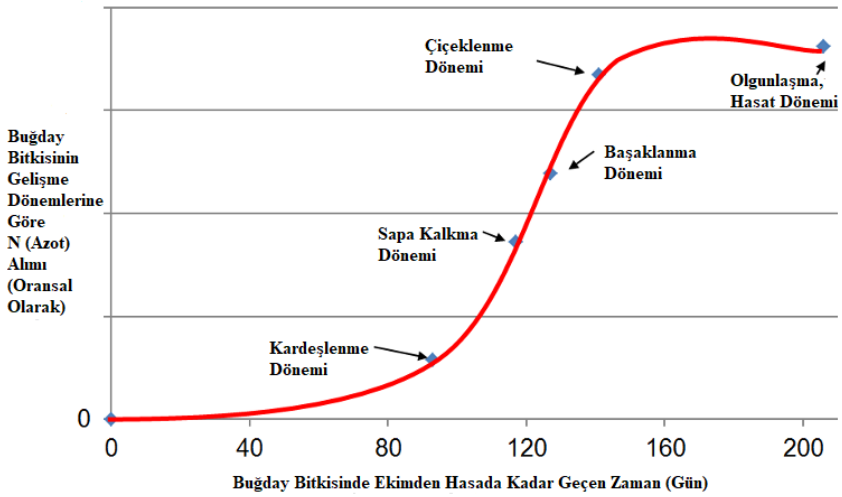
Alınan bitki besin elementinin ismi	**Buğdayın tamamının kaldırdığı miktar (kg/da)**	**Buğday tanesinin kaldırdığı miktar (kg/da)**
N	19.00	13.00
P	4.15	5.50
K	25.00	5.00

Buğday bitkisinin topraktan kaldırdığı N miktarının belirlenmesi ile ilgili yapılan bir araştırmaya göre; olgunlaşma döneminde (Şekil 2), toprak üstü azotun yaklaşık dörtte üçünün tanelerde, dörtte birinin ise samanda bulunduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2026).



Şekil 2. Buğday bitkisi tarafından kaldırılan N oranları (Anonim, 2026).

Buğday bitkisinin büyüme mevsimi boyunca ve ayrıca gelişme dönemlerine göre toprak üstü biokütlesi tarafından N alım oranları ise Şekil 3'de detaylı olarak gösterilmiştir (Anonim, 2026). Şekil 3'ten de anlaşıldığı gibi buğday bitkisi kardeşlenmeye kadar az miktarda N alırken, ihtiyacı olan N elementinin büyük bir çoğunluğunu "kardeşlenme ile çiçeklenme dönemi arasında" almaktadır.



Şekil 3. Buğday bitkisinin büyüme mevsimi boyunca oransal olarak N alımı (Anonim, 2026).

Buğday bitkisinde makro elementlerden N, P ve K eksikliği genellikle yaşlı yapraklarda, mikro elementlerden Fe, Mn, Zn, Cu ve B eksikliği ise genç yapraklarda belirgin olarak görülür. Bu duruma ilişkin bazı örnekler Şekil 4'teki gibidir (Anonim, 2026).

Solda N eksikliği olan uygulama şeridi, sağda iyi gübrelenmiş buğday tarlası.

N eksikliği olan buğday bitkisi. Eksiklik belirtileri en çok yaşlı yapraklarda belirgindir.

Uç kısmında koyu mor renk değişikliği olan ve yaprağın aşağısına doğru geniş alana ilerleyen P eksikliği olan bir buğday bitkisinin yaprağı.

K eksikliği belirtileri gösteren yaşlı buğday yaprakları.

Şekil 4. Buğday bitkisinde N, P ve K eksiklik belirtilerinin görüldüğü fotoğraflar.

3. Sonuç ve Öneriler

Gübrelemede bitki ister buğday isterse ayçiçeği olsun, mutlaka toprak analizleri yaptırılmak suretiyle program yapılmalı ve gübreler uygulanmalıdır. Özellikle gübreleme programlarında eskisi gibi sadece kimyasal gübrelere yer verilmemeli, toprakları düzenleme özelliği olan organik gübrelere de yer verilmelidir.

Toprakta organik maddenin arttırılması için organik gübre kullanımının arttırılması gerekmektedir. Bunun içinde üreticilerin kimyasal gübre kullanımını azaltıp yerine organik madde içeriği yüksek olan ahır gübresi, vermikompost, kompost ve kent atıklarından oluşan organik gübre, sıvı deniz yosunu gübresi ve biyogübre gibi alternatifler oluşturabilirler. Bu şekilde uygulanan gübreleme modeli ile zamanla kimyasal gübreye olan talep azalacak ve topraktan alınan verim daha da artacaktır. Toprağın kalitesi artmış olacak ve ihtiyacımız olan yüksek kaliteli verim elde edilecektir.

4. Kaynaklar

Anonim, 2026. Tarla Bitkilerinin Gelişme Dönemleri. Alındığı Adres: http://geisseler.ucdavis.edu/Guidelines/Wheat.html , Alındığı Tarih: 16.01.2026.

Barlas, N.T., Cönkeroğlu, B., Unal, G. and Bellitürk, K., 2018. The Effect of Different Vermicompost Doses on Wheat (*Triticum vulgaris* L.) Nutrition. Journal of Tekirdag Agricultural Faculty, 15 (2): 1-4.

Bellitürk, K., 2005. Tekirdağ Koşullarında Buğday Yetiştirilen Toprakların Mikro Besin Elementleri ve Ağır Metal İçeriklerinin Saptanması. Türkiye VI. Tarla Bitkileri Kongresi, 5-9 Eylül, Cilt 2, s: 1211-1215, Antalya.

Bellitürk, K. ve E.Z., Çullu, 2010. Organik Tarımda Leonardit Kullanımının Önemi. Türkiye IV. Organik Tarım Sempozyumu 28 Haziran-1 Temmuz, s: 650-654, Erzurum.

Çelik, A. and Bellitürk, K., 2025. Assessment of Irrigable Agricultural Areas under Drought Conditions. 11th International Palandöken Scientific Studies Congress, 20-21 June, 2025, pp. 241-250, ISBN: 978-625-378-254-2, Palandöken, Erzurum.

Halliday, D.J., Trenkel, M.E. Whichman, W., 1992. IFA World Fertilizer Use Manual, 632 p., Germany.

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TOPRAK YÖNETİMİ ÜZERİNDEKİ BAZI ETKİLERİ

SOME EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON SOIL MANAGEMENT

Korkmaz BELLİTÜRK
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4944-3497

Mehmet Fırat BARAN
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7657-1227

Özet
İklim değişikliği, tarımsal üretim üzerinde de olumsuz etkiler yapmaktadır. Özellikle toprak yönetimindeki yaşanan bazı sorunların, iklim değişikliğinden kaynaklandığı ile ilgili çeşitli akademik çalışmalar yapılmaktadır. Toprak sağlığı, toprağın canlılık, yapı ve kimyasal denge açısından işlevlerini sürdürebilme kapasitesini ifade eden çok boyutlu bir kavramdır. Bitkisel üretimin devamlılığı için gerekli olan besin elementlerinin sağlanması, suyun tutulması ve toprak içi biyolojik faaliyetlerin devam etmesi büyük ölçüde sağlıklı bir toprak yapısına bağlıdır. İklim değişikliği ise toprak sağlığını doğrudan etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağışlar ve kuraklık ya da sel gibi aşırı hava olayları, toprak yapısının bozulmasına neden olmaktadır. Bu süreçler, toprak organik maddesinin azalmasına, erozyonun artmasına ve toprak nem dengesinin zarar görmesine yol açar. Toprak sağlığı ile iklim değişikliği arasında karşılıklı bir etkileşim söz konusudur. İklim değişikliği toprak bozulumunu hızlandırırken, sağlıklı topraklar bu sürecin etkilerini azaltmada önemli bir rol oynar. Özellikle organik madde bakımından zengin topraklar, karbonu depolayarak atmosferdeki sera gazı birikiminin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Ancak sıcaklıkların aşırı arttığı tarım topraklarından kaybolan nem, beraberinde organik madde azalmasının da ana sebepleri arasındadır. Bu da tarımsal üretimi olumsuz etkileyen sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Bu derleme çalışmada, iklim değişikliğinin toprak yönetimi üzerindeki etkileri üzerinde durulmuştur.
Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, toprak yönetimi, organik madde.

Abstract
Climate change is also having negative effects on agricultural production. In particular, various academic studies are being conducted on how some problems experienced in soil management are caused by climate change. Soil health is a multidimensional concept that refers to the capacity of soil to maintain its biological activity, structural integrity, and chemical balance. The sustainability of plant production depends on healthy soil systems, which ensure nutrient availability, water retention, and the continuity of biological processes within the soil. Climate change, on the other hand, is one of the most significant environmental factors directly affecting soil health. Rising temperatures, irregular precipitation patterns, and extreme weather events such as droughts and floods contribute to the degradation of soil structure. These changes lead to a decline in soil organic matter, increased erosion, and disruption of soil moisture balance. There is a reciprocal relationship between soil health and climate change. While climate change accelerates soil degradation, healthy soils play a crucial role in mitigating its impacts. Soils rich in organic matter can store carbon and help reduce greenhouse gas accumulation in the atmosphere. Moreover, well-structured soils enhance water retention capacity, thereby increasing plant resilience to stress conditions such as drought. However, the loss of moisture from agricultural soils due to excessively high temperatures is one of the main reasons for the decrease in organic matter. This, in turn, leads to negative consequences for agricultural production. This review focuses on the impacts of climate change on land management.
Keywords: Climate change, soil management, organic matter.

1. Giriş

İklim değişikliği ile ilgili ilk tarihsel bulgular 300 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Atmosferdeki sera etkisi ve sera gazları, bilim dünyasında 17. yüzyıldan yıllardan itibaren araştırılmaya başlanmıştır.

1970 yılına kadar bu çalışmalar iklim kuşkucuları bilim insanları ile ilerlemiş, 1.Dünya İklim Konferansı ile küresel boyutta gündeme taşınmasına sebep olmuştur (Kahraman ve Şenol, 2018).

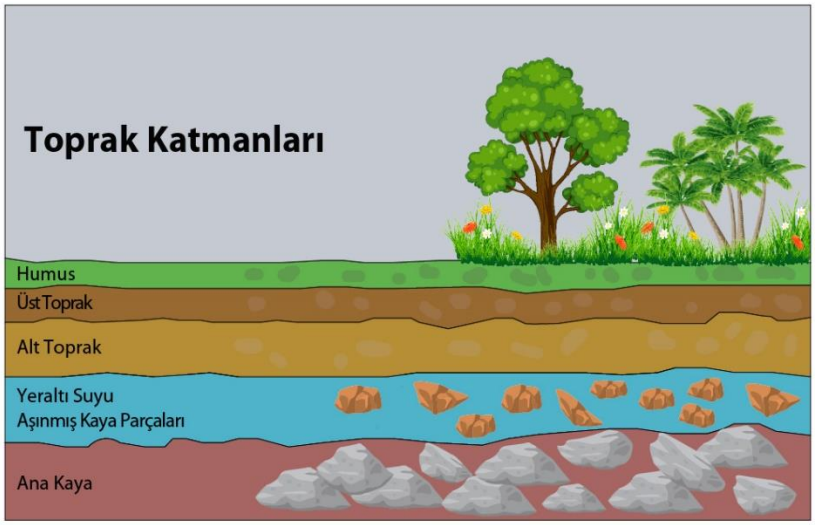
Toprak, yalnızca bitkilerin yetiştiği bir ortam değil; fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin birlikte işlediği, yaşamın devamlılığı açısından temel doğal kaynaklardan biridir. Gıda üretimi, su döngüsü, besin elementlerinin çevrimi, karbon depolanması ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği büyük ölçüde toprak kaynaklarının sağlıklı işleyişine bağlıdır (Doran ve Safley, 1997; Bolat, 2021). Bu nedenle son yıllarda "toprak sağlığı" kavramı, yalnızca verimlilik odaklı bir yaklaşım olmaktan çıkmış; ekosistem dayanıklılığı, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği ile mücadele kapsamında da önem kazanmaya başlamıştır.

Toprak sağlığı; toprağın biyolojik üretkenliğini sürdürebilme, çevresel kaliteyi koruma, bitki ve hayvan yaşamını destekleme ve ekosistem fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Doran ve Safley, 1997). Sağlıklı topraklar; organik maddece zengin, iyi strüktüre sahip, su tutma kapasitesi yüksek ve biyolojik aktivitesi güçlü sistemlerdir. Bu özellikler yalnızca tarımsal üretimin devamlılığı açısından değil, aynı zamanda iklim değişikliğinin etkilerine karşı dayanıklılığın artırılması açısından da kritik öneme sahiptir (Bolat ve Öztürk, 2016). Günümüzde iklim değişikliği, toprak sağlığını tehdit eden en önemli küresel çevre sorunlarından biri olarak kabul edilmektedir. Artan sıcaklıklar, düzensiz yağış rejimleri, kuraklık, sel, erozyon ve aşırı hava olayları toprakların fiziksel yapısını bozmakta, organik madde kayıplarını hızlandırmakta ve biyolojik faaliyetleri olumsuz etkilemektedir (Sharma ve ark., 2021; Tripathi ve ark., 2021). Bununla birlikte, iklim değişikliği ile toprak sağlığı arasındaki ilişki çift yönlüdür. Bir yandan iklim değişikliği toprak bozulumunu hızlandırırken, diğer yandan sağlıklı topraklar karbon sekestrasyonu, su yönetimi ve ekosistem direnci yoluyla iklim değişikliğinin etkilerini azaltmada önemli rol oynamaktadır (Allen ve ark., 2011; Bolat, 2019). Özellikle organik maddece zengin topraklar, atmosferik karbonun depolanmasına katkı sağlayarak sera gazı birikiminin azaltılmasında doğal bir yutak görevi görmekte; uygun strüktüre sahip topraklar ise suyu daha etkin depolayarak kuraklık ve diğer iklim streslerine karşı bitkisel üretimi desteklemektedir (Bellitürk, 2013; Anonim, 2024). Bu nedenle toprak sağlığının korunması ve iyileştirilmesi, sürdürülebilir tarımın yanı sıra iklim değişikliğine uyum ve azaltma stratejilerinin de temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu derlemede, toprak sağlığı kavramı ile iklim değişikliği arasındaki ilişkiler ele alınmakta; iklim değişikliğinin toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerindeki etkileri ile sağlıklı toprak yönetiminin bu süreçteki rolü değerlendirilmektedir.

2. Toprak Sağlığı Nedir?

Toprak sağlığı; yaşamın sürdürülebilmesi açısından canlı bir sistem olarak biyolojik üretkenliğin ekosistem sınırları içinde korunması ya da geliştirilmesi, ekosistem içerisindeki su ve hava kalitesinin düzenlenmesi veya iyileştirilmesi ile bitki, hayvan ve insan sağlığının korunmasına katkı sağlayan toprağın süreklilik gösteren işlevsel kapasitesi şeklinde tanımlanmaktadır. Toprak sağlığının değerlendirilmesinde, ölçülebilir fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri kapsayan çeşitli göstergeler kullanılmaktadır. Fiziksel göstergeler arasında toprak tekstürü, agregat oluşumu (kümeleşme), toprak nemi, porozite (gözeneklilik), toprak derinliği, infiltrasyon (suyun yer çekimi etkisiyle toprak profili boyunca aşağı doğru ilerlemesi) ve hacim ağırlığı yer almaktadır. Kimyasal göstergeler ise organik karbon (C), toplam azot (N), mineral besin elementleri, toprak reaksiyonu (pH), organik madde, katyon değişim kapasitesi ile bitkiler tarafından alınabilir N, P ve K düzeylerini kapsamaktadır. Biyolojik göstergeler arasında ise mikrobiyal biyokütle karbonu ve azotu, biyoçeşitlilik, toprak enzim aktiviteleri, toprak solunumu ve bitki gelişimi öne çıkan parametreler arasında bulunmaktadır. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik nitelikteki bu göstergeler çok sayıda etkene bağlı olarak değişkenlik gösterdiğinden, toprak sağlığının değerlendirilmesi oldukça karmaşık bir süreç olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte atmosferde artan karbondioksit (CO_2) konsantrasyonu, yükselen sıcaklık değerleri, değişime uğrayan yağış düzenleri ve atmosferik azot (N) birikimi, toprak sağlığını belirgin biçimde etkileyen başlıca unsurlar arasında bulunmaktadır. Bunların yanı sıra insan kaynaklı faaliyetler de toprak sağlığı üzerinde olumsuz baskılar oluşturmakta ve bu etkiler günümüzde de sürmektedir. Bu nedenle toprak sağlığının korunması; sürdürülebilir üretim sistemlerinin gelecekte devamlılığının sağlanması ve iklim değişikliğinin olumsuz sonuçlarının azaltılması bakımından en önemli çözüm yaklaşımlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Doran ve Safley, 1997; Bolat, 2011; Bolat ve Öztürk, 2016; Veni ve ark., 2020; Bolat, 2021).

Sağlıklı bir toprakta bulunması gereken katmanlar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Sağlıklı bir toprağın katmanları.

Topraktaki faydalı mikroorganizma varlığının artırılması da büyük önem taşımaktadır. Bitki gelişimi ve performansının yükseltilmesi için sağlıklı kök oluşumunun desteklenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda toprak mikroflorasının aktif tutulması ve toprak mikroorganizmalarının etkin biçimde yönetilmesi, bitkinin dayanıklılığını artırırken aynı zamanda toprak kökenli patojenlerin azalmasına da katkı sağlamaktadır. Yararlı mikroorganizmalar, toprak verimliliğinin yükseltilmesi ve kök sağlığının korunmasında temel unsurlardan biri olarak görülmektedir. Tarım alanlarında yapılan hatalı uygulamalar, yoğun kimyasal kullanımı, tuzluluğun artması, asitleşme ve çoraklaşma gibi olumsuzluklar sonucunda topraktaki organik madde miktarı ile bitkiler için yararlı besin elementleri azalmakta, buna bağlı olarak tarımsal üretimde hem verim hem de kalite bakımından düşüş yaşanmaktadır (Bellitürk, 2013). Sağlıklı bir toprak yapısının korunması, organik madde miktarının uygun düzeylerde tutulmasıyla mümkündür. Bunun yanında yeterli düzeyde (>%2) bulunan toprak organik maddesi, karbon döngüsündeki işlevini etkin biçimde sürdürerek, diğer bir ifadeyle atmosferdeki karbondioksiti toprağa bağlamak suretiyle iklim değişikliğinin düzenlenmesinde de önemli bir rol üstlenmektedir (Anonim, 2024).

Bitkisel üretimde, hasat edilen ürünlerle birlikte topraktan önemli miktarda besin maddesi de uzaklaştırılmaktadır. Bu uygulama sürekli hale geldikçe, topraktaki besin maddeleri giderek azalır, çünkü toprakta gerçekleşen biyokimyasal süreçler, kaybedilen besinleri hızla ve yeterli miktarda yenileyerek bir sonraki mahsulün ihtiyaçlarını karşılayacak düzeye getiremez. Bu durum, besin yönetimini sürdürülebilir tarım sistemlerinin temel bileşenlerinden biri haline getirir. Hasat sırasında kaybedilen besin maddelerinin geri kazandırılması için en yaygın yöntemler, kimyasal ve organik gübrelerin toprağa uygulanması yoluyla besin girdilerinin sağlanmasıdır (Howe ve ark., 2024).

Gübreleme, tarımsal üretimde önemli bir uygulamadır (Lenssen ve ark., 2020) ve gübrelerin doğru yöntem ve miktarlarda kullanımı, verimliliği artırmak ve toprak sağlığını iyileştirmek açısından kritik önem taşımaktadır (Bhattacharyya ve ark., 2007). Ancak gübrelerin uzun süre boyunca aşırı kullanılması, kimyasal gübrelerin düzensiz ve kontrolsüz uygulanması veya organik gübre kullanımının azalması gibi yanlış uygulamalar, toprak organik maddesinin azalması, yeraltı sularının kirlenmesi ve toprak verimliliğinin düşmesi gibi çevresel sorunlara yol açabilmektedir (Bansal ve ark., 2020; Shinoto ve ark., 2020).

3. Organik Gübrelerin Toprak Sağlığı Üzerindeki Bazı Etkileri

Biyolojik ürünlerin ayrışması sonucu oluşan besinler, tarımın sürdürülebilirliği için önemli bir yer kaplar.

Organik gübrelerin sınıflandırılması; katı organik gübreler, yeşil gübreler ve biyo-gübreler olmak üzere farklı gruplar altında incelenmekte olup, bu gruplara ait alt sınıflar Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2. Tarımda kullanılan organik gübre çeşitleri (Liu ve ark., 2024).

Organik gübre uygulamaları; toprağın organik madde miktarını, yapısal özelliklerini, agregat dayanıklılığını, besin elementi alımını, su tutma kapasitesini, katyon değişim kapasitesini ve besin kullanım verimliliğini artırmanın yanı sıra mikrobiyal etkinliği de teşvik ederek toprak sağlığını geliştirir (Brar ve ark., 2015; Maltas ve ark., 2018; Liu ve ark., 2024). Organik gübrelerde besin salınımı, kimyasal gübrelere göre daha yavaş gerçekleşse de (Guo ve ark., 2017), ürün gelişimini ve kaliteyi belirgin biçimde artırmaktadır.

Toprağın katyon değişim kapasitesi (KDK), büyük ölçüde negatif yüklü organik maddeler ile silikat kil minerallerinin katyonları adsorbe etme yeteneğinden ileri gelir. Organik maddenin yüksek KDK değerine sahip olması nedeniyle, organik gübre uygulamaları genellikle bu kapasitenin artmasına katkı sağlar ve bu durum literatürde yaygın olarak belirtilmektedir (Miller ve ark., 2016). Organik gübreler; başta azot (N), fosfor (P) ve potasyum

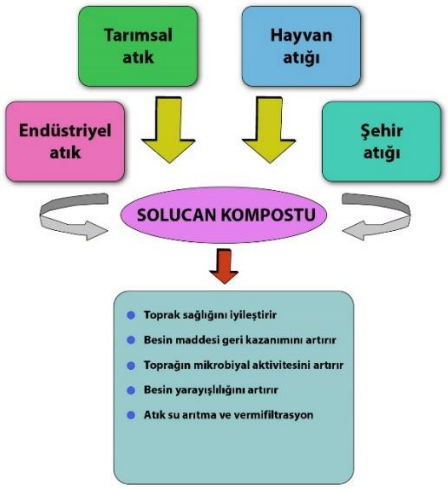
(K) olmak üzere, bitki gelişimi için gerekli makro ve mikro besin elementlerini içeren doğal kaynaklardır. Bu elementler hem organik hem de inorganik formda bulunur. Zaman içerisinde organik formlar, bitkiler tarafından daha kolay alınabilen inorganik formlara dönüşerek mineralize olur. Mineralizasyon süreci mikrobiyal faaliyetlere bağlıdır ve sıcaklık, toprak nemi ile toprak ve gübrenin özellikleri gibi çevresel faktörlerden etkilenir. Bu süreç, özellikle toprak neminin tarla kapasitesine yakın olduğu sıcak koşullarda en yüksek düzeye ulaşır. Gübre kaynaklı azot salınımını bitki ihtiyacıyla uyumlu hale getirmek amacıyla büyüme derece günleri bir tahmin aracı olarak kullanılmaktadır (Griffin ve Honeycutt, 2000).

Organik gübre ilavesinin, toprakların fiziksel özellikleri üzerindeki etkileri çoğunlukla olumlu yönde değerlendirilmektedir (Haynes ve Naidu, 1998; Rayne ve Aula, 2020). Bu uygulamalar sayesinde toprağın su tutma kapasitesi, porozitesi, suyun toprağa giriş hızı (infiltrasyon), hidrolik iletkenliği ve suya dayanıklı agregat oluşumu artarken; hacim ağırlığında ve yüzey kabuklaşmasında azalma meydana geldiği bilinmektedir (Haynes ve Naidu, 1998; Edmeades, 2003). Toprak mikroorganizmaları, organik materyallerin parçalanması ve besin elementlerinin serbest bırakılması süreçlerinde kilit rol oynar. Organik gübre uygulamalarının, toprak enzim aktivitelerini yükselttiği ve toplam organik karbon (TOK) düzeyinde belirgin artışlara neden olduğu rapor edilmiştir (Liu ve ark., 2024). Örneğin, vermikompost kullanımının sukraz, alkalen fosfataz ve katalaz enzim aktivitelerini farklı oranlarda artırdığı; buna karşılık üreaz aktivitesinde azalma gözlendiği belirtilmiştir (Shang ve ark., 2020). Ayrıca organik gübreler, toprak mikrobiyal kompozisyonunu değiştirerek *Bacilli* ve *Flavobacteriales* gibi yararlı bakteri gruplarının yaygınlığını artırır. Bunun yanında, aromatik hidrokarbonların parçalanması ve kitin yıkımı gibi karbon döngüsüyle ilişkili fonksiyonel süreçleri de desteklemektedir (Liu ve ark., 2023).

3.1. Toprak Sağlığında Kompost, Vermikompost Kullanımı

Geleneksel tarım nedeniyle toprak ve su kaynakları her geçen gün kirlenmektedir. Bu yüzden tarımsal üretimde kimyasal gübrelerin yerine organik gübreler tercih edilmeye başlanmıştır.

Tarımsal, hayvansal ve endüstriyel kökenli atıkların ayrışması veya parçalanması sonucunda elde edilen ürüne kompost adı verilir (İlay ve ark., 2013). Kompost üretiminde; dökülmüş yapraklar, biçilmiş çim artıkları, hayvan gübreleri ile sebze ve meyve atıkları gibi çeşitli organik materyaller kullanılabilmektedir. Kompost uygulamaları, toprağın besin içeriğini artırmanın yanı sıra fiziksel yapısının iyileştirilmesine de katkı sağlar. Yüksek düzeyde organik madde içermesi sayesinde yararlı mikroorganizmalar için uygun bir yaşam ortamı oluşturur; ayrıca toprağın su tutma kapasitesini ve porozitesini yükseltir (Peyvast ve ark., 2007; Aksu ve ark., 2017). Son yıllarda yaygınlık kazanan bir diğer organik materyal ise, solucanlar aracılığıyla organik atıkların humus benzeri bir ürüne dönüştürülmesiyle elde edilen vermikomposttur (Garg ve ark., 2010). Vermikompostlama solucanlar ile mikroorganizmaların birlikte etkisiyle organik materyallerin termofilik olmayan koşullarda biyolojik olarak parçalanması ve stabil hale getirilmesi sürecini ifade eder (Arancon ve ark., 2003). Vermikompostun; toprak organik madde içeriğini artırması, kimyasal gübre kullanımını azaltarak üreticilere ekonomik avantaj sağlaması, toprak verimliliği ve sürdürülebilirliğine katkıda bulunması ile sağlıklı bitki gelişimini desteklemesi gibi önemli yararları olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (Aksu ve ark., 2017). Vermikompost olarak bilinen toprak solucanı kompostunun topraklar üzerindeki bazı yararları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Solucan kompostunun üretim kaynakları (vermikompost) ve yararları.

3.2. Toprak Sağlığı Üzerine Çiftlik Gübresi Kullanılmasının Bazı Etkileri

Çiftliklerde ve ahırlarda büyük ve küçükbaş hayvanların dışkıları ile hayvanların altına serilen yataklıktan oluşan çiftlik gübresi, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini iyileştirerek mikroorganizma faaliyetini olumlu yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra, toprağın havalanmasını artırarak sıkışmayı azaltmakta ve böylece bitki köklerinin daha rahat gelişmesine olanak sağlamaktadır (Yetgin, 2010).

Çiftlik gübresi; hayvanların idrarı, katı dışkısı ve yataklık materyallerinin karışımından oluşur. Genel bileşiminde yaklaşık olarak %75 su, %17 organik madde ve %6 inorganik madde yer almaktadır. İdrar kısmında bulunan azot (N) ve potasyum (K_2O), bitkiler tarafından kolaylıkla alınabilir formlara dönüşebilmektedir (Yetgin, 2010; Toy ve Ünlü, 2015). Çiftlik gübresi yalnızca bitki besin elementlerini sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda toprağın fiziksel ve biyolojik özelliklerini de olumlu yönde iyileştirmektedir (Lampkin, 2002; Watson ve ark., 2002; Schoenau, 2006).

4. İklim Değişikliği Nedir?

İklim değişikliği, iklimin ortalama koşullarında ya da değişkenlik yapısında onlarca yıl veya daha uzun süre devam eden istatistiksel açıdan anlamlı değişimler olarak ifade edilmektedir (Türkeş, 2008). Bu değişimler, doğal iç süreçler ve dış zorlayıcı etkenlerin yanı sıra atmosfer bileşiminde veya arazi kullanımında meydana gelen sürekli insan kaynaklı (antropojen) değişimlerden kaynaklanabilmektedir. Bu konuyla ilişkili olarak bilinmesi gereken bir diğer önemli kavram ise iklim değişkenliği ya da iklimsel değişebilirliktir.

İklim değişkenliği ya da iklimsel değişebilirlik, tüm zaman ve mekân ölçeklerinde iklimin ortalama durumunda, standart sapmalarında ve ekstrem olayların meydana gelmesi gibi diğer istatistiksel özelliklerinde görülen değişimler olarak tanımlanmaktadır (Türkeş, 2010).
Güncel araştırmalarda iklim değişimi, gıda üretimini (tarımsal faaliyetler üzerindeki etkiler) ve deniz seviyesindeki yükselmeyi (taşkınlara yol açan) doğrudan etkileyen meteorolojik olaylardaki değişim ya da sapma olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmaya göre iklim değişimi, küresel ısınmadan (sera gazlarına bağlı sıcaklık artışı) farklı bir kavramdır. İklim değişimi, olası etkilerini neredeyse tüm sistemler üzerinde gösterebilmektedir. Birleşmiş Milletlere göre bu etkiler arasında, kutup bölgelerindeki buzulların erimesine bağlı deniz buzu kaybı, deniz seviyesinin yükselmesi (2100 yılı için yaklaşık 0,5–2,5 metre), şiddetli sıcak hava dalgaları, yağış düzeninde meydana gelen değişiklikler, daha güçlü kasırgalar ile yaz kuraklıklarının sıklığında artış (yaz mevsiminin eskisine kıyasla daha uzun sürmesi nedeniyle) yer almaktadır (Sharma ve ark., 2021). Toprak sıcaklığı, doğrudan Güneş'ten gelen ışınım ile bağlantılıdır. Hava sıcaklığındaki yükselmenin toprağın ısısını da artırması nedeniyle, atmosfer sıcaklığı ile toprak sıcaklığı arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Toprak içerisinde gaz ve su hareketlerine bağlı olarak gerçekleşen buharlaşma sürecinde ısı aktarımı meydana gelir.
Atmosfer sıcaklığının toprak üzerindeki etkisi, özellikle topraktaki organik maddenin parçalanma hızını değiştirmesiyle belirginleşir. Bunun yanı sıra toprak sıcaklığı; mikrobiyal etkinliği, nitrifikasyon hızını ve kimyasal reaksiyonları artırarak minerallerin kimyasal çözünmesini kolaylaştırır ve böylece toprak içindeki biyokimyasal süreçleri olumlu biçimde etkiler. Buna karşılık, yüksek sıcaklıklar buharlaşmayı hızlandırarak topraktan su kaybını artırır. Toprak neminin ana kaynağını yağışlar oluşturur. Toprak nemi büyük ölçüde iklim şartları tarafından belirlenmektedir. İklim değişimiyle birlikte görülen ani ve şiddetli yağışlar, toprak nemini doğrudan ve hızlı biçimde etkileyebilmektedir. Bu durum, toprakta su dengesinin bozulmasına ve bazı alanlarda aşırı su birikimi ya da hızlı kuruma gibi sorunların ortaya çıkmasına yol açabilir. Toprak neminde artış ve azalış biçiminde dalgalanmalar gözlenebilir. Toprak yapısı (strüktürü), organik madde miktarı, ayrışma süreçleri ve kil minerallerinin dönüşümü büyük ölçüde toprak nemindeki değişimlerden etkilenir. İklimsel etmenler, toprağı ve toprakta gerçekleşen pek çok süreci doğrudan ya da dolaylı olarak etkilemektedir (Bolat ve Çakıroğlu, 2022).
İklim; toprak strüktürü (toprağın iç düzeni), suyun toprağa sızması (infiltrasyon), toprağın hacimsel yoğunluğu, kök gelişim derinliği ve yüzey örtüsü (tek ya da çok yıllık bitki örtüsü, ham, ayrışmış ve mor humus türleri) gibi toprağa ilişkin fiziksel nitelikleri etkileyebilmektedir. Toprağın kimyasal özellikleri arasında ise toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik, katyon tutma kapasitesi ve katyon değişim kapasitesi ile bitkiler tarafından alınabilir besin elementleri bulunmaktadır. Bu kimyasal özellikler içinde pH, diğerlerine kıyasla en önemli toprak sağlığı göstergelerinden biri olup ayrışma süreçleri, bitki örtüsü ve iklim koşullarından etkilenmektedir. Bununla birlikte söz konusu özellikler; asitlik, tuzluluk, ürün verimi, biyolojik etkinlik ve bitki besin maddelerinin yarayışlılığı gibi toprağın biyolojik ve kimyasal işlevlerindeki değişimlerin belirlenmesine katkı sağlar. Toprak sağlığının değerlendirilmesi çoğunlukla biyolojik göstergelere dayanmaktadır. Bu kapsamda toprak biyotası; toprak organik maddesi, toprak karbonu, ince fraksiyon (kil), makro-organik madde, potansiyel karbon ve azot mineralizasyonu, toprak solunumu, mikrobiyal biyokütle ile enzim faaliyetlerini içermektedir. Dolayısıyla toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri, toprak sağlığının temel göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Bu özellikler özellikle iklim ve çevresel koşullardaki değişimlerden etkilenebilmektedir (Allen ve ark., 2011; Bolat, 2019; Bolat, 2021; Sharma ve ark., 2021).

5. Tarımsal Üretimde Kuraklık

Kuraklık, etkilerini öncelikle tarım alanlarında ve suya bağımlı sektörlerde göstermektedir. Bu nedenle tarım sektöründe ortaya çıkan kuraklık etkilerinin diğer sektörlere kıyasla oldukça farklı olduğu söylenebilir. Tarımsal kuraklık olarak adlandırılan bu durum, bitkilerin çimlenme ve gelişim evrelerinde ihtiyaç duydukları suyun toprakta yeterince bulunmaması şeklinde tanımlanmakta olup, tarımsal üretkenlik üzerinde doğrudan belirleyici olmaktadır (Kapluhan, 2013). Verimi etkileyen diğer faktörler arasında mevsimsel kuraklıklar, buharlaşmanın en yüksek düzeye ulaştığı yaz dönemlerinde sulamanın yetersiz kalması ve beklenmeyen kısa süreli kuraklık olayları yer almaktadır. Tarımsal kuraklık, ürün niteliğini önemli ölçüde düşürmekte ve ekonomisi büyük ölçüde tarıma bağlı bölgeler açısından başlıca sorunlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

Kuraklık görülen alanlarda ayrıca yağışların beklenen seviyenin altında gerçekleşmesi, düzensiz yağış dağılımı, artan nüfusla birlikte su kaynaklarının plansız ve kontrolsüz tüketimi ile su varlıklarının hem miktar hem de kalite bakımından azalması nedeniyle istenen verimin elde edilememesi gibi problemler de ortaya çıkmaktadır (TAKEP, 2008; Başoğlu ve Telatar, 2013).

Toprağın fiziksel nitelikleri ile iklim şartları arasında güçlü bir bağlantı bulunmaktadır. Yağışlı ve serin iklimler daha iri (kaba) tekstürlü yapıyı temsil ederken, sıcak ve kurak iklimler ince tekstürlü toprakların göstergesidir. Sıcak ve kurak koşullar ayrışma ve parçalanma süreçlerini hızlandırarak ince yapılı toprakların oluşumuna neden olmaktadır. Yağmur damlalarının oluşturduğu mekanik parçalama, donan suyun kayaları fiziksel olarak çatlatması, akarsuların farklı kayaç ve toprak materyallerini aşındırması, buzulların mekanik ayrışmadaki etkisi, deniz sularının toprak oluşumuna katkısı ile yüzey akışlarının erozyon ve toprak oluşumundaki rolü, suyun gerçekleştirdiği başlıca fiziksel etkiler arasında yer almaktadır (Karaman, 2007).

Yağışın bol olduğu serin iklimlerde, kireç ve diğer iyonların yıkanması sonucunda toprak kompleksleri büyük ölçüde hidrojen iyonlarıyla doygun hâle gelir ve toprak asidik özellik kazanır. Bu koşullarda gerekli tedbirler alınmadığında toprak hızla verim kaybına uğrayarak zamanla çoraklaşır. Toprak profilinin derinliği de iklimle doğrudan bağlantılıdır. Sıcak ve kurak bölgelerde çözünme süreçleri daha kolay gerçekleştiğinden derin toprak profilleri oluşabilmektedir.

Ancak bu alanlarda rüzgâr erozyonunun güçlü olması nedeniyle toprak tabakası kolayca taşınmakta, bunun sonucunda çıplak kaya yüzeyleri ya da kumul alanları ortaya çıkabilmektedir. Yağış miktarı, farklı bölgelerde çeşitli bitki örtülerinin gelişmesine neden olduğu gibi, toprakta bulunan mikroorganizmalar ve diğer canlıların türünü, yoğunluğunu ve etkinliğini de etkilemektedir. İklimin bu etkisi özellikle toprak nemi, bitki besin elementleri, organik madde düzeyi ve toprak reaksiyonunda meydana getirdiği değişimlerle ilişkilidir. Nemli ve yeterli sıcaklığa sahip ortamlarda toprak canlılarının faaliyetleri ve buna bağlı olarak karbon döngüsü daha yoğun gerçekleştiğinden, daha fazla organik bileşik oluşmakta ve toprağın organik madde içeriği yüksek olmaktadır. Buna karşın, yağışın yetersiz olduğu sıcak ve kurak bölgelerde organik madde hızlı bir şekilde ayrışarak azalır ve ülkemizde de görüldüğü üzere kritik sınırların altına iner. Toprak yüzeyindeki bitki örtüsü ortadan kalkar, biyolojik faaliyetler zayıflar, yüksek sıcaklık ve düşük nemin etkisiyle toprak derin çatlaklar oluşturur ve kısa sürede üretkenliğini yitirir (Karaman, 2007). Ayrıca donmuş toprakların ani sıcaklık yükselişiyle hızla çözülmesi sonucunda toprak tabakasının hacminde artış meydana gelir. Donan suyun hacmi yaklaşık %9 oranında genişler. Bunun yanında, üst toprak katmanlarında donma sırasında toprak çözeltisindeki ozmotik basınç yükselir ve alttan üste doğru güçlü bir su hareketi gerçekleşir; bu durum üst katmanda buz kristallerinin büyümesine ve toprağın daha fazla genişlemesine neden olur. Özellikle gündüz sıcaklığın artıp gece tekrar düşmesiyle bu sürecin tekrarlanması, bitki köklerinin koparak zarar görmesine yol açabilmektedir (Aboumarsa, 2015).

6. Sonuç ve Öneriler

Toprağın yalnızca bitkisel üretim için bir ortam değil; fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin birlikte işlediği, ekosistem sürekliliği açısından kritik bir doğal kaynak olduğu açıkça ortaya konulmuştur. Bu bağlamda toprak sağlığı, tarımsal verimliliğin ötesinde; çevresel kalite, ekosistem dengesi ve iklim sistemiyle doğrudan ilişkili çok boyutlu bir kavram olarak değerlendirilmelidir. İklim değişikliğinin; sıcaklık artışı, yağış rejimlerindeki düzensizlikler, kuraklık ve aşırı hava olayları yoluyla toprakların yapısını ve işlevlerini olumsuz etkilediği görülmektedir. Bu süreçte özellikle toprak nemi, organik madde miktarı, biyolojik aktivite ve besin elementlerinin döngüsü üzerinde belirgin değişimler meydana gelmekte; bu durum hem toprak verimliliğini hem de tarımsal üretim sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Bununla birlikte, iklim değişikliği ile toprak sağlığı arasındaki ilişkinin tek yönlü olmadığı; sağlıklı toprakların karbon depolama, su tutma kapasitesi ve biyolojik dengeyi koruma özellikleri sayesinde iklim değişikliğinin etkilerini azaltıcı bir rol üstlendiği anlaşılmaktadır. Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen değişimler, yalnızca doğal süreçlerin değil, aynı zamanda insan faaliyetlerinin de bir sonucudur. Kuraklık ve çölleşme süreçleri, özellikle yarı kurak ve kurak bölgelerde toprak kaynaklarının hızla bozulmasına neden olmakta ve bu durum tarımsal üretim üzerinde ciddi baskılar oluşturmaktadır.

İklim değişikliği, tarımsal üretim sistemleri üzerinde çok boyutlu ve giderek artan etkiler yaratan küresel bir çevre sorunu olarak bilinmekte, sıcaklık artışı, yağış rejiminde değişim, ekstrem hava olaylarının sıklık ve şiddetindeki artış; tarımsal üretim sistemlerini doğrudan etkileyerek verim, kalite, üretim sürekliliği ve gıda güvenliği üzerinde belirleyici olmaktadır. Önümüzdeki süreçte tarımsal üretimin büyük ölçüde giderek değişmekte olan iklim koşullarına bağımlı olması, iklim değişikliğini bu sektör açısından yalnızca çevresel bir sorun olmaktan çıkararak sosyolojik, ekonomik ve stratejik bir risk alanı haline de getirmektedir. Bu nedenle iklim değişikliği tarımın her alanında dikkate alınmalı ve bundan sonraki süreçte tarımsal üretim planlamalarında üzerinde durulmalıdır.

Son yıllarda Türkiye tarımsal üretiminde iklim kaynaklı olarak artan riskler, tarım ve hayvancılık sistemlerinin iklim değişikliğine karşı dayanıklılığını güçlendirmeye yönelik kapsamlı politika ve uygulamaların gerekliliğini ortaya koyan bir durumdur. Bu kapsamda, Türkiye'de tarım sektörünün iklim değişikliğine uyumu için geliştirilen çeşitli plan ve stratejiler yapılmış olmakla beraber, bu plan ve stratejiler iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaya ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik adımları içermektedir. Yani Türkiye'de gerek ilgili kurumlar ve gerekse konu üzerinde uzman olan akademisyenler, iklim değişikliği ile ilgili olarak tarımsal üretimi yakından ilgilendiren çalışmalar yapmakta olup, önümüzdeki süreçte de bu çalışmaların kalite ve kantite olarak artırılması gerekmektedir.

7. Kaynaklar

Aboumarsa, H. Y. (2015). Verimliliğe Etki Eden Faktörler. İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi.

Aksu, G., Köksal, S.B., Altay, H. (2017). Vermikompostun Bazı Toprak Özellikleri ve Pazı Bitkisinde Verim Üzerine Etkisi. ÇOMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 123-128.

Allen, D. E., Singh, B. P., and Dalal, R. C. (2011). Soil Health Indicators Under Climate Change: A Review of Current Knowledge. In B. Singh, A. Cowie, & K. Chan (Eds.), Soil Health and Climate Change (ss. 25–45). Springer.

Anonim. (2024). Toprak Sağlığı ve İklim Değişikliği. TEMA. https://topraktema.org/kategoriler/iklim-degisikligi-ve-toprak/toprak-sagligi-ve-iklim- degisikligi/

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman P., Metzger, J.D., Lee, S., Welch, C. (2003). Effects of vermicomposts on growth and marketable fruits of field-grown tomatoes, peppers and strawberries. Pedobiologia (47): 731-735.

Bansal, S., Yin, XH., Savoy, HJ., Jagadamma, S., Lee, J., Sykes, V. (2020). Long-term Influence of Phosphorus Fertilization on Organic Carbon and Nitrogen in Soil Aggregates Under No-till Corn–wheat–soybean Rotations. Agronomy Journal (112): 2519-2534.

Başoğlu, A., Telatar, O.M. (2013). İklim Değişikliğinin Etkileri: Tarım Sektörü Üzerine Ekonometrik Bir Uygulama, Karadeniz Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6.

Bellitürk, K. (2013). Toprak Verimliliğinin Belirlenmesinde Toprak ve Bitki Analizlerinin Önemi. Ziraat Haber, 2(7): 10–11.

Bhattacharyya, R., Chandra, S., Singh, RD., Kundu, S., Srivastva, AK., Gupta, HS. (2007). Long-term Farmyard Manure Application Effects on Properties of a Silty Clay Loam Soil Under Irrigated Wheat-soybean Rotation. Soil and Tillage Research (94): 386- 396.

Bolat, İ. (2011). Kayın, Göknar ve Göknar-kayın Meşcerelerinde Üst Toprak ve Ölü Örtüdeki Mikrobiyal Biyokütle Karbon (Cmic), Azot (Nmic), Fosfor (Pmic) ve Mikrobiyal Solunumun Mevsimsel Değişimi (Yayımlanmamış doktora tezi). Bartın Üniversitesi.

Bolat, İ. (2019). Toprak Organik Maddesinin Toprak Verimliliği ve Kalitesi Üzerindeki Rolü. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21(1), 235–246.

Bolat, İ. (2021). Toprak Kalitesi ve Sağlığının Göstergeleri (indikatörleri). Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler I (ss. 1–18): Gece Yayınevi.

Bolat, İ., and Çakıroğlu, K. (2022). The Effects of Different Parent Materials on Some SoilProperties in Forest Ecosystems. Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University.

Bolat, İ., and Öztürk, M. (2016). Effects of altitudinal Gradients on Leaf Area Index, Soil Microbial Biomass C And Microbial Activity in a Temperate Mixed Forest Ecosystem of Northwestern Turkey. Bio geosciences and Forestry, 10(1): 334.

Brar, BS., Singh, J., Singh, G. and Kaur, G. (2015). Effects of Long-term Application of Inorganic and Organic Fertilizers on Soil Organic Carbon and Physical Properties in Maize-wheat Rotation. Agronomy (Basel) 5(2): 220-238.

Doran, J. W., and Saffley, M. (1997). Defining and Assessing Soil Health and Sustainable Productivity. In C. E. Pankhurst, B. M. Doube, And V. V. S. R. Gupta, Biological Indicators of Soil Health (ss. 1–28). CAB International.

Edmeades DC (2003). The Long-term Effects of Manures and Fertilizers on Soil Productivity and Quality: A Review. Nutrient Cycling in Agroecosystems (66): 165–180.

Garg, V.K., Gupta, R., Yadav, A. (2010). Vermicomposting Technology for Solid Waste Management. http://www.environmental-expert.com/Files/0/articles/9047.

Griffin, TS., Honeycutt, CW. (2000). Using Growing Degree Days to Predict Nitrogen Availability from Livestock Manures. Soil Science Society of America Journal (64): 1876–1882.

Guo, JX., Hu, XY., Gao, LM., Xie, KL., Ling, N., Shen, QR., Hu, SJ., Guo, SW (2017). The Rice Production Practices of High Yield and High Nitrogen Use Efficiency in Jiangsu, China. Scientific Reports (7): 2101.

Haynes, RJ., Naidu, R. (1998). Influence of Lime, Fertilizer and Manure Applications on Soil Organic Matter Content and Soil Physical Conditions: A Review. Nutrient Cycling in Agroecosystems (51): 123–137.

Howe, JA., McDonald, MD., Burke, J., Robertson, I., Coker, H., Gentry, TJ., Lewis, KL. (2024). Influence Of Fertilizer and Manure Inputs on Soil Health: A Review. Soil Security (16): 100155.

İlay, R., Kavdır, Y., Sümer, A. (2013). The Effect of Olive Oil Solid Waste Application on Soil Properties and Growth of Sunflower (*Helianthus annuus* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.). International Biodeterioration & Biodegradation, (85): 254-259.

Kahraman, S. ve Şenol, P. (2018). İklim Değişikliği: Küresel, Bölgesel ve Kentsel Etkileri. Akademia Sosyal Bilimler Dergisi, Özel Sayı-1: 353-370.

Kapluhan, Erol. (2013). Türkiye'de Kuraklık ve Kuraklığın Tarıma Etkisi, Marmara Coğrafya Dergisi, 27. Karaman, M. R. (2007). Sürdürülebilir Toprak Verimliliği. Detay Yayıncılık.

Lampkin, N. (2002). Organic Farming. Old Pond Publishing, 104 Valley Road Ipswich, IPI 4PA, U.K.

Liu, Y., Lan, X., Hou, H., Ji J., Liu, X., Lv Z (2024). Multifaceted Ability of Organic Fertilizers to Improve Crop Productivity and Abiotic Stress Tolerance: Review and Perspectives. Agronomy (14): 1141.

Liu, Z., Song, Y., Ge L., Pan, X., Zhao, Y., Cheng, L., Li, Y., Liu, X. (2023). Impact of Various Organic Fertilizers on the Growth, Yield, And Soil Environment of Peanuts Subjected to Continuous Cropping Obstacles. Polish Journal of Environmental Studies (32): 3683–3693

Maltas, A., Kebli, H., Oberholzer, HR., Weisskopf, P., Sinaj, S. (2018). The Effects of Organic and Mineral Fertilizers on Carbon Sequestration, Soil Properties, And Crop Yields from a Long-term Field Experiment Under a Swiss Conventional Farming System. Land Degradation and Development 29(4): 926–938.

Miller, J., Beasley, B., Drury, C., Larney, F., Hao, X. (2016). Influence of Long-term Application of Composted or Stockpiled Feedlot Manure with Straw or Wood Chips on Soil Cation Exchange Capacity. Compost Science and Utilization (24): 54–60.

Peyvast, GH., Olfati, J.A., Madeni, S. And Forghani, A. (2007). Effect of Vermicompost on the GrowthandYield of Spinach *(Spinacia oleracea L.*). J. Food, Agric. &Environ., 6 (1):132-135.

Rayne, N., Aula, L. (2020). Livestock Manure and the Impacts on Soil Health: A Review.Soil Systems (4): 64.

Shang, L., Wan, L., Zhou, X., Li, S., Li, X. (2020). Effects of Organic Fertilizer on Soil Nutrient Status, Enzyme Activity, And Bacterial Community Diversity in Leymus Chinensis Steppe in Inner Mongolia, China. Plops ONE 2020; 15: e0240559.

Sharma, R., Kumar, M., Pandey, S., and Singh, R. (2021). Sustainable Soil Health Management: Current Practices and Future Pathways. Journal Of Soil Science and Plant Nutrition, 21, 1–15.

Schoenau, J.J. (2006). Benefits of Long-Term Application of Manure. Advances in Pork Production, (17): 153.

Tripathi, S., Kushwaha, P., Seth, C. S., and Singh, A. S. (2021). Soil Health and Its Management in a Changing Environment. In Environmental Resilience and Food Security (ss. 115–132). Springer.

Türkeş, M. (2008). Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen ve Öngörülen Değişiklikler. İklim Değişikliği ve Çevre, (1): 45-64.

Türkeş, M. (2010). Klimatoloji ve Meteoroloji. Birinci Baskı, Kriter Yayınevi- Yayın No. 63, Fiziki Coğrafya Serisi No: 1, 650 +22 sayfa, İstanbul.

UNCCD. (1995). The United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, particularly in Africa, Text with Annexes, United Nations Environment Programmed (UNEP): Geneva.

Veni, V. G., Srinivasa Rao, C., Reddy, K. S., Sharma, K. L., and Rai, A. (2020). Soil Health and Climate Change. In Climate Change and Soil Interactions (section 26, ss. 751– 767). Elsevier.

Watson, C.A., Atkinson, D., Gosling, P., Jackson, L.R. and Rayns, F.W. (2002). Managing Soil Fertility in Organic Farming Systems. Soil Useand Management, (18):239-247.

Yetgin, M.A. (2010). Organik Gübreler ve Önemi. https://samsun.tarimorman.gov.tr/Belgeler/Yayinlar/Kitaplarimiz/organik_gubreler_veonemi.pdf

REMOTE SENSING APPLICATIONS IN THE DETERMINATION OF PLANT PATTERNS

Coşkun GÜLSER
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6332-4876

Füsun GÜLSER
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9495-8839

Abstract
Accurate identification of crop patterns which means planting/crop distribution, and natural vegetation structures in agricultural areas is of critical importance for food security, yield estimation, crop monitoring, and sustainable water resources management. Compared to traditional field surveys, Remote Sensing (RS) technologies offer cost-effective, time-saving, and repeatable solutions across large areas. Remote sensing has become a powerful tool for temporal and spatial monitoring of vegetation patterns and crop cover across extensive regions, eliminating the time and cost constraints associated with conventional field studies. In various geographic contexts, remote sensing of plant patterns leverages time-series imagery, phenology-sensitive indices, and machine learning frameworks to reveal planting patterns, land cover distributions, and cropping intensity maps. When temporal information is preserved and verified using ground-truth data, the integration of endmember-based approaches (to address sub-pixel heterogeneity) and machine learning-based classification methods (to map features into pattern distributions) consistently delivers effective results. In this review, sensor systems, spectral indices, data processing approaches, and classification algorithms used to determine vegetation patterns through remote sensing methods are examined in light of current developments in the literature.
Keywords: Vegetation Pattern, Phenology, Remote Sensing, Time Series, Machine Learning

Introduction

Plant patterns refer to the spatial distribution of crop types cultivated across agricultural or natural landscapes, their planting-harvesting cycles (phenology), and crop rotation sequences. Accurate identification and mapping of crop and vegetation patterns are of paramount importance for modern agricultural monitoring, water management, land-use planning, and food security assessment. Precise mapping of these dynamics provides critical data for decision-support systems used by policymakers and agronomists to evaluate agricultural productivity, estimate yields, manage droughts, and optimize resource allocations such as irrigation and fertilization (Weiss et al., 2020). Time-dependent vegetation signals reveal phenological processes and cropping cycles, enabling the distinction between multiple cropping, crop rotation, and land-cover changes (Samarkhanov et al., 2019, Tao et al., 2023, Bantchına and Gündoğdu, 202, Md-Tahir et al., 2024; Sun et al., 2025). Remote sensing technologies have emerged as a powerful tool for spatio-temporal monitoring of vegetation patterns and crop cover across large areas overcoming the time and cost constraints of conventional field surveys by offering non-destructive, cost-effective, and scalable solutions (Weiss et al., 2020). In this paper, the core methodologies, satellite systems, spectral indices, classification algorithms, and challenges associated with the application of remote sensing for plant pattern determination are discussed.

2. Prominent Methods and Technologies in Monitoring Plant Patterns

2.1. Monitoring Platforms and Sensor Nets

Optical Satellite Systems

Used for Earth observation and remote sensing, these satellites provide vital data in numerous fields such as agriculture, forestry, the environment, and disaster management by capturing images of Earth from space and recording data across various wavelengths (spectral bands).

Landsat is a historic remote sensing satellite program conducted jointly by the US space agency (NASA) and the Geological Survey (USGS) that has provided continuous Earth data for decades. Sentinel-2 is a dual satellite system (Sentinel-2A and Sentinel-2B) developed by the European Space Agency (ESA) under the Copernicus Programme and launched into space to monitor vegetation, agriculture, and water resources with high resolution and red-edge bands. Satellite systems such as Landsat and particularly with its high temporal resolution and red-edge bands Sentinel-2 are setting the standard for crop pattern mapping at global and regional scales. Optical satellites measure solar radiation reflected from the plant canopy at visible and infrared wavelengths. Sentinel-2, particularly its Red Edge bands, demonstrates high performance in distinguishing between different plant species by capturing subtle changes in chlorophyll content (Defourny et al., 2018) (Figure 1).

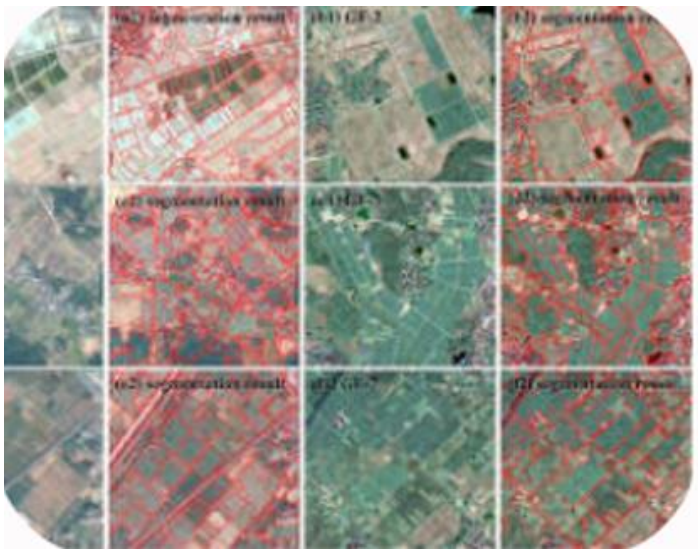


Figure 1. Remote sensing crop pattern classification map (Defourny et al.,2018)

2.2. High-Resolution Systems

High-Resolution Systems are commercial and scientific satellite constellations falling into the category of Very High-Resolution Satellites capable of imaging the Earth's surface with sub-meter or multi-meter precision (Belward and Skøien, 2015). By using satellite constellations composed of hundreds of micro-satellites capable of capturing daily imagery of the same area, the boundaries of small fields, individual buildings, or vehicles can be clearly distinguished without the mixed-pixel effecs (Tatsumi et al., 2015, Houborg and McCabe, 2018). It has been reported Planet Scope data (3–4 m) enhances crop classification accuracy by describing field boundaries in fragmented landscapes and small-scale agricultural areas minimizing sub-pixel scale mixed-pixel effects (Amani et al.,2020).

2.3. Synthetic Aperture Radar (SAR) systems

The greatest limitation of optical sensors is cloud cover and adverse weather conditions. Synthetic Aperture Radar (SAR) systems, such as Sentinel-1, operate in the microwave spectrum, penetrating clouds and providing uninterrupted data day and night. Radar backscatter signals are directly sensitive to plant geometric structure, canopy roughness, and moisture content (Rao et al., 2021).

2.4. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

Unmanned Aerial Vehicles stand out in centimeter-level precision agriculture applications (Figure 1). Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) play a critical role in rapidly and accurately determining vegetation patterns including crop types, planting areas, vegetation distribution, and growth stages within precision agriculture and remote sensing applications. Compared to traditional satellite imagery, they offer advantages such as high resolution, immunity to cloud cover, and the ability to collect data at desired frequencies (Candiago et al., 2015). UAVs equipped with multispectral and hyperspectral cameras provide centimeter-level spatial resolution and are used for the ground-truthing of parcel-scale crop patterns and phenological processes.

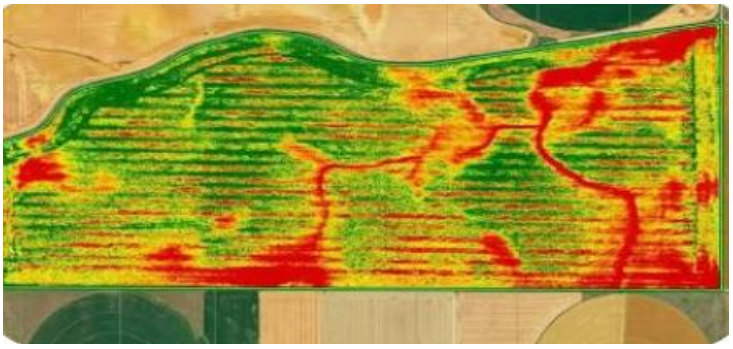


Figure 1. Vegetation index map derived from multispectral imagery (Aeroyantra Technologies Private Limited, www.aeroyantra.com).

3. Spectral Indices and Phenological Analysis

3.1. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

It is the most common index for measuring biomass and live plant density (Tucker, 1979). While living, healthy green plants absorb visible red (RED) light due to chlorophyll molecules, they strongly reflect near-infrared (NIR) light due to the internal cellular structure of their leaves. NDVI measures the amount of chlorophyll and the density of green vegetation by calculating the ratio of the difference between these two bands.

3.2. EVI (Enhanced Vegetation Index)

NDVI loses sensitivity to subtle changes in vegetation growth in high-biomass areas, such as forests and dense crops, due to chlorophyll saturation. By incorporating the blue band, EVI mitigates atmospheric haze and soil background noise, ensuring accurate measurements even under dense canopy conditions (Huete, et al., 2002).

3.4. NDWI (Normalized Difference Water Index)

It is designed to measure water content in leaves and plant canopies. Water within plant leaves strongly absorbs short-wave infrared (SWIR) light while reflecting NIR light. NDWI is used to detect vegetation water stress (drought/irrigation status) and to distinguish irrigated areas from rainfed (dryland) agricultural fields (Gao, 1996). It helps differentiate between irrigated and rainfed croplands by monitoring canopy water content.

Time-Series Tracking of Phenological Dynamics

Mono-temporal satellite data often struggles to distinguish between crops with overlapping canopy reflectance values, such as wheat and barley.Time-series approaches evaluate seasonal canopy trajectory ncluding initial greening, peak photosynthetic activity, senescence, and harvest events providing unambiguous phenological fingerprints for distinct crop species (Defourny et al., 2018) (Figure 2).

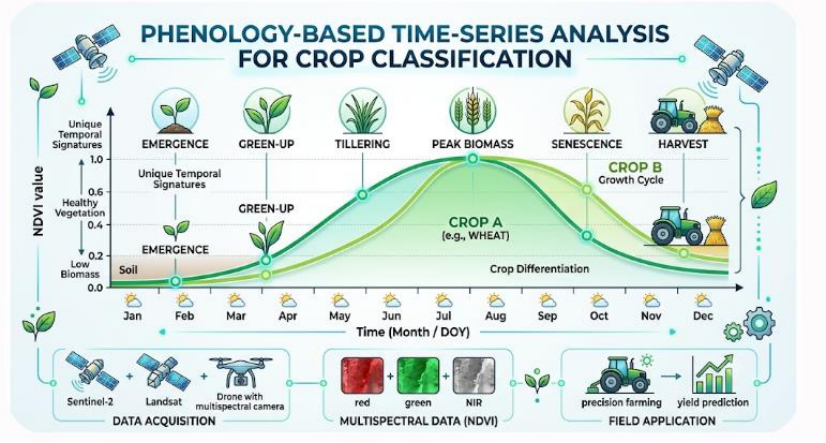


Figure 2. Conceptual framework and workflow of phenology-based time-series analysis for crop classification (Tucker, 1979, Zhang et al., 2003, Drusch et al., 2012, Mulla, 2013 , Defourny et al., 2018).

Figure 2 shows multi-source data acquisition (Sentinel-2, Landsat, UAVs), NDVI calculation using multispectral bands, and distinct temporal phenological signatures through emergence, green-up, tillering, peak biomass, senescence, harvest stages to differentiate crop types (e.g., Crop A vs. Crop B) for precision farming and yield prediction applications .

4. Image Processing and Machine Learning Algorithms

Pixel or object based classification techniques given below are utilized to automatically map crop patterns.

Random Forest (RF) and Support Vector Machines (SVM): These are non-parametric algorithmic approaches that offer high classification accuracy in complex and multi-temporal datasets (Rao et al., 2021, Eisfelder et al., 2024).

Deep Learning (CNN and LSTM): While Convolutional Neural Networks (CNNs) extract spatial patterns, Long Short-Term Memory (LSTM) networks process phenological time series to classify crop rotation and complex agricultural patterns with high precision (Kussul et al., 201, , Bouguettaya et al., 2022).

Object-Based Image Analysis (OBIA): Instead of classifying individual pixels, OBIA segments pixels into homogeneous objects (parcels) based on spectral and geometric similarities, thereby preventing the "salt-and-pepper" noise effect (Blaschke, 2010).

Conclusions

Remote sensing technologies have replaced traditional agricultural censuses, accelerating the process of crop pattern mapping over large areas and enhancing its accuracy. .Small, segmented land parcels alongside intercropping cause mixed-pixel issues that hamper automated mapping (Rao et al., 2021). Furthermore, persistent cloudiness throughout peak vegetative phases limits continuous optical monitoring. Lastly, insufficient in-situ field reference data may compromise model accuracy and lead predictions bias (Eisfelder et al., 2024).In the future, real-time crop pattern monitoring will become possible thanks to the increasing temporal resolution of satellite constellations and the processing power offered by cloud computing platforms

References

Aeroyantra Technologies Private Limited. www.aeroyantra.com

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Application of PlanetScope imagery for agricultural parcel delineation and crop classification in fragmented landscapes. Remote Sensing, 12(8), 1305. https://doi.org/10.3390/rs12081305

Bantchına, B. B., & Gündoğdu, K. S. (2024). Machine learning-based maize (Zea mays L.) extraction at parcel level using Sentinel 2A-derived spectral indices. Journal of Applied Remote Sensing, 18(03). https://doi.org/10.1117/1.jrs.18.034515

Belward, A. S., & Skøien, J. O. (2015). Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian Earth observation satellites. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 103, 115–128. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.03.009

Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 65(1), 2–16.

Bouguettaya, A., Zarzour, H., Kechida, A., & Taberkit, A. M. (2022). Deep learning techniques to classify agricultural crops through UAV imagery: A review. Neural Computing and Applications, 34(12), 9511–9536. https://doi.org/10.1007/s00521-022-07104-9

Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). The Potential of Multispectral Imagery Acquired from UAV Platform for Precision Agriculture Applications. Remote Sensing, 7(10), 13986–14005.

Defourny, P., Bontemps, S., Bellemans, N., Cara, C., Cherlet, M., De Maet, T., ... & Udroiu, C. (2018). Near real-time agriculture monitoring at national scale at 10 m resolution using Sentinel-2. Remote Sensing of Environment, 215, 63–72.

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES/Kopernikus services. Remote Sensing of Environment, 120, 25–36.

Eisfelder, C., Asam, S., & Hirner, A. (2024). Random Forest and Support Vector Machine classification for multi-temporal agricultural crop mapping. Remote Sensing Applications: Society and Environment.

Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. Remote Sensing of Environment, 58(3), 257–266.

Houborg, R., & McCabe, M. F. (2018). A CubeSat enabled spatio-temporal enhancement method for Sentinel-2 imagery. Remote Sensing of Environment, 209, 211–226. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.067

Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 83(1–2), 195–213.

Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. (2017). Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 14(5), 778–782.

Md-Tahir, H., Mahmood, H. S., Husain, M., Khalil, A., Shoaib, M., Ali, M., Ali, M. M., Tasawar, M., Awan, U. K., & Cheema, M. J. M. (2024). Localized Crop Classification by NDVI Time Series Analysis of Remote Sensing Satellite Data; Applications for Mechanization Strategy and Integrated Resource Management. Agriengineering, 6(3), 2429–2444.

Mulla, D. J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. Computers and Electronics in Agriculture, 94, 358–371.

Rao, P., Zhou, W., Bhattarai, N., Srivastava, A. K., Singh, B., Poonia, S., Lobell, D. B., & Jain, M. (2021). Using Sentinel-1, Sentinel-2, and Planet Imagery to Map Crop Type of Smallholder Farms. Remote Sensing, 13(10), 1870.

Samarkhanov, K., Abuduwaili, J., & Samat, A. (2019). The Spatial and Temporal Land Cover Patterns of the Qazaly Irrigation Zone in 2003–2018: The Case of Syrdarya River's Lower Reaches, Kazakhstan. Sustainability, 11(15), 4035. https://doi.org/10.3390/su11154035

Sun, M., Xiao, D., Lu, Y., Bai, H., Pan, P., Zhang, M., Yin, X., Tan, H., & Wang, C. (2025). Spatiotemporal Evolution of Agricultural Land Systems in the North China Plain Over Two Decades (2002–2022). Land Degradation and Development, 37(8), 3380–3394. https://doi.org/10.1002/ldr.70316

Tao, J., Zhang, X., Liu, Y., Jiang, Q., & Zhou, Y. (2023). Estimating Agricultural Cropping Intensity Using a New Temporal Mixture Analysis Method from Time Series MODIS. Remote Sensing, 15(19), 4712. https://doi.org/10.3390/rs15194712

Tatsumi, K., Yamashiki, R., Canales, F. A., & Torres, R. (2015). Crop classification of VHR satellite imagery using machine learning algorithms. Computers and Electronics in Agriculture, 115, 171–181. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.006

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2), 127–150.

Weiss, M., Jacob, F., & Duveiller, G. (2020). Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. Remote Sensing of Environment, 236, 111402. https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111402

Zhang, X., Friedl, M. A., Schaaf, C. B., Strahler, A. H., Hodges, J. C., Gao, F., ... & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. Remote Sensing of Environment, 84(3), 471–475.

CURRENT APPROACHES TO THE USE OF NEXT-GENERATION SOIL AMENDMENTS IN GOOD AGRICULTURAL PRACTICES

Siyami KARACA
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2434-1171

Füsun GÜLSER
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-9495-8839

Metehan AYDIN
Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of Agriculture, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0004-3770-2302

Abstract
Good Agricultural Practices (GAP) represent a holistic production approach that aims to ensure food safety while protecting natural resources, minimizing environmental impacts, and promoting sustainable agricultural production. Maintaining soil health is a fundamental component of this approach, and next-generation soil amendments have become increasingly important in sustainable soil management. Biochar, humic and fulvic substances, microbial inoculants, mineral-based amendments, hydrogels, biopolymers, and nanotechnology-based materials improve the physical, chemical, and biological properties of soil by enhancing water and nutrient use efficiency, stimulating microbial activity, and increasing plant tolerance to environmental stresses. However, the effectiveness of these materials varies depending on soil properties, climatic conditions, and application methods. Therefore, the integration of next-generation soil amendments with Good Agricultural Practices through site-specific management strategies can make significant contributions to maintaining soil health, ensuring the sustainable use of natural resources, and promoting environmentally friendly agricultural production systems.
Keywords: Good Agricultural Practices, soil health, next-generation soil amendments, sustainable agriculture, biochar.

1. Introduction

Good Agricultural Practices (GAP) are a holistic production approach that aims to conserve natural resources, reduce environmental impacts, and ensure the sustainability of agricultural production while ensuring reliable food production. Climate change, soil degradation, and increasing pressures on water resources have made soil health a priority for sustainable agriculture (FAO, 2003; Al-Shammary et al., 2024).Soil health is supported not only by proper land management and traditional practices but also by the use of innovative soil conditioners. Biochar, humic and fulvic agents, microbial inoculants, zeolites, hydrogels, biopolymers, and nanotechnology-based materials have received significant attention in recent years due to their ability to increase water and nutrient use efficiency, improve soil functions, and support environmental sustainability (Bolan et al., 2023; Ali et al., 2024; Elsayed et al., 2025). This section will evaluate the application areas, basic characteristics, and contributions to sustainable soil management of next-generation soil conditioners within the scope of Good Agricultural Practices, in light of current literature.

2. Good Agricultural Practices and Soil Health

Good Agricultural Practices (GAP) represent a holistic approach to agricultural production that aims to ensure food safety while protecting natural resources, reducing environmental impacts, and promoting the long-term sustainability of farming systems. Although GAP was initially developed to improve food safety and product traceability, it has become an essential component of sustainable land management in response to challenges such as climate change, soil degradation, water scarcity, and biodiversity loss (Sharma et al., 2024; Ţopa et al., 2025).

Accordingly, GAP emphasizes the conservation of soil and water resources, the efficient use of agricultural inputs, and the maintenance of ecosystem services (Lehmann et al., 2020; Pandian et al., 2026).

Soil health is a key element of GAP and is defined as the capacity of soil to maintain its physical, chemical, and biological functions while supporting essential ecosystem services, including nutrient cycling, water regulation, carbon sequestration, and biodiversity conservation (Bouma, 2020; Fausak et al., 2024). Recent studies highlight that soil health assessment should include biological indicators, such as microbial biomass and enzyme activity, in addition to conventional physical and chemical properties (Fausak et al., 2024). Furthermore, practices such as crop rotation, conservation tillage, cover cropping, and organic matter application improve soil quality and contribute to sustainable production (Sharma et al., 2024; Al-Shammary et al., 2024). Alongside these practices, next-generation soil amendments—including biochar, humic and fulvic substances, microbial inoculants, hydrogels, and mineral-based soil conditioners are increasingly used to enhance soil functions, improve water and nutrient use efficiency, and support sustainable soil management within the framework of Good Agricultural Practices (Bolan et al., 2023; Ali et al., 2024; Elsayed et al., 2025).

Figure 1. Next-generation soil amendments for sustainable soil management under Good Agricultural Practices.

3. Soil Amendments

Soil conditioners are substances of natural, organic, mineral, or synthetic origin that aim to create a more suitable environment for plant growth by improving the physical, chemical, and biological properties of the soil. Rather than providing nutrients directly to plants, these substances support soil functions by improving soil structure, water-holding capacity, aeration, nutrient availability, and microbial activity (Blanco-Canqui, 2017; Matisic et al., 2024). Today, soil conditioners are viewed not only as inputs that increase yield but also as management tools that contribute to maintaining soil health, improving resource use efficiency, and achieving the goals of sustainable agriculture (Lehmann et al., 2020; Al-Shammary et al., 2024).

Soil conditioners are classified in various ways based on their origins, structures, and mechanisms of action. Based on their origin, they can be classified as organic (compost, manure, vermicompost, biochar, humic and fulvic substances), mineral (lime, gypsum, zeolite, bentonite, etc.), biological (rhizobacteria, mycorrhizal fungi, and other microbial inoculants that promote plant growth), and synthetic materials (hydrogels, biopolymers, and nanotechnology-based amendments) (Matisic et al., 2024; Rahim et al., 2024). In recent years, hybrid systems that combine different soil amendments—rather than relying on a single material—have come to the forefront. In particular, it has been reported that combinations of biochar–microbial inoculants, biochar–humic substances, and biopolymers–minerals can improve soil functions more effectively than materials applied alone (Ross and Emery, 2025; Rahim et al., 2024).

The effectiveness of soil conditioners stems from their combined effects on the soil's physical, chemical, and biological processes.

Physically, they reduce compaction by increasing aggregate stability and improve water-holding and infiltration capacity by increasing porosity. Chemically, they can increase cation exchange capacity, regulate nutrient availability, contribute to pH buffering, and limit the mobility of certain contaminants. Biologically, they support microbial biomass and enzyme activities, thereby enhancing organic matter decomposition, nutrient cycling, and root-microorganism interactions (Bolan et al., 2023; Elsayed et al., 2025). Thanks to these multifaceted mechanisms of action, soil conditioners not only provide short-term yield increases but also contribute to the preservation of soil health, enhance resilience to climate change, and support sustainable land management (Sharma et al., 2024; Matisic et al., 2024).

4. Next-Generation Soil Amendments

Although traditional soil conditioners have long played an important role in maintaining soil fertility, they are not always capable, on their own, of fulfilling the multifunctional requirements demanded by modern sustainable agricultural systems. For this reason, next-generation soil conditioners have been developed that aim not only to increase soil fertility but also to improve soil health, support carbon sequestration, enhance water and nutrient use efficiency, promote microbial activity, and reduce environmental impacts (Matisic et al., 2024; Pandian et al., 2024; Roche et al., 2024). In the following subsections, next-generation soil conditioners will be evaluated individually in terms of their structural properties, mechanisms of action, effects on soil health and crop production, and their potential use within the scope of Good Agricultural Practices.

4.1.1 Biochar

Biochar is a carbon-rich, porous material obtained through the thermochemical conversion of plant residues, animal wastes, forestry by-products, and other biomass sources under oxygen-limited conditions via processes such as pyrolysis, gasification, or hydrothermal carbonization (Pandian et al., 2024; Upadhyay et al., 2024). Since feedstock type together with pyrolysis temperature and duration are decisive factors governing biochar's pH, porosity, surface area, cation exchange capacity, and functional groups, the agricultural performance of the resulting product can vary considerably (Pandian et al., 2024; Li et al., 2024).The significance of biochar in agricultural production stems from its capacity to simultaneously improve the physical, chemical, and biological properties of soil. Owing to its porous structure, it enhances water-holding capacity and aeration, while its high surface area and abundant functional groups support the retention of nutrient elements, reduce leaching losses, and contribute to the long-term storage of soil organic carbon (Pandian et al., 2024; Upadhyay et al., 2024). Biochar can also provide favorable habitats for soil microorganisms, thereby supporting microbial diversity and enzyme activities—an effect that contributes to improved nutrient cycling and enhanced plant growth (Li et al., 2024). Nevertheless, because the effects of biochar vary depending on the properties of the feedstock used, the production method, application dose, soil type, and climatic conditions, it is not possible to recommend a standard application rate applicable to every production system. For this reason, current research advocates that biochar applications be planned on a site-specific basis and evaluated in combination with other biological or organic amendments.

Figure 2. Production pathways of biochar and its multifunctional effects on soil properties and plant growth.

4.1.2 Humic and Fulvic Substances

Humic and fulvic substances are among the most biologically active fractions of soil organic matter, formed through the long-term biochemical decomposition and humification of plant and animal residues. Owing to their high surface reactivity and abundance of oxygen-containing functional groups, these naturally occurring compounds play a fundamental role in maintaining soil fertility, improving nutrient availability, and supporting plant growth and development. Although both belong to the humic substance fraction, they differ considerably in their physicochemical characteristics. Humic substances consist primarily of high-molecular-weight compounds that are soluble under alkaline conditions but precipitate in acidic media, whereas fulvic substances possess lower molecular weights and remain soluble throughout the entire pH range. These differences largely determine their mobility within the soil profile, chemical reactivity, and availability to plant roots (Canellas & Olivares, 2022; Nardi et al., 2021).

In recent years, humic and fulvic substances have gained considerable attention not only as constituents of organic fertilizers but also as effective biostimulants that contribute to sustainable soil management. Numerous studies have shown that their application enhances soil aggregate stability, increases cation exchange capacity (CEC), and promotes root growth, thereby improving the acquisition of both macro- and micronutrients by plants (Canellas et al., 2015). Consequently, within the framework of Good Agricultural Practices (GAP), humic and fulvic substances are widely recognized as next-generation soil amendments that support soil health, reduce dependence on synthetic agrochemicals, and contribute to the sustainability and resilience of agricultural production systems.

4.1.3 Microbial Conditioners (PGPR and Mycorrhizae)

Microbial conditioners are biological soil conditioners that contain beneficial microorganisms which are either naturally present in the soil or applied externally to become active in the rhizosphere. Among this group, the most commonly used microorganisms include Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), nitrogen-fixing bacteria, and phosphate-solubilizing microorganisms (Basu et al., 2021). Since the intensive use of chemical inputs can adversely affect soil biological activity, interest in the use of microbial conditioners within sustainable agricultural systems has increased considerably in recent years (Woo & Pepe, 2018; Chandran et al., 2021). Within the scope of Good Agricultural Practices, these microorganisms are regarded as environmentally friendly biological inputs capable of reducing the use of chemical fertilizers and pesticides.

PGPR and mycorrhizal fungi support plant growth through both direct and indirect mechanisms. Their direct effects include the fixation of atmospheric nitrogen, the enhancement of the availability of nutrients such as phosphorus and potassium, siderophore production, phytohormone synthesis, and the stimulation of root development. Their indirect effects can be summarized as the suppression of plant pathogens, the induction of systemic resistance, and increased plant tolerance to abiotic stress conditions such as drought, salinity, and heavy metal stress (Basu et al., 2021; Chandran et al., 2021).

In addition, these microorganisms have been reported to accelerate nutrient cycling by increasing soil enzymatic activities and microbial diversity, to support the transformation of organic matter, and to contribute to the long-term preservation of soil health (Backer et al., 2018). Current research has shown that the combined application of microbial conditioners with biochar, humic substances, and other organic conditioners produces synergistic effects and yields more successful outcomes for both plant growth and soil functions (Ross & Emery, 2025; Roche et al., 2024). For this reason, microbial conditioners are considered among the sustainable and environmentally friendly next-generation soil conditioners that are compatible with the core principles of Good Agricultural Practices.

Figure 3. Interactions between plant roots and beneficial soil microorganisms in the rhizosphere.

4.1.4 Mineral-Based Soil Conditioners (Zeolite, Bentonite, and Other Minerals)

Mineral-based soil amendments rely on naturally occurring or processed minerals to improve the physical, chemical, and sometimes hydraulic properties of soil. Zeolite, bentonite, perlite, vermiculite, and various clay minerals are the most commonly used materials in this category. Zeolite and bentonite in particular have drawn considerable attention in sustainable farming, largely because of their high cation exchange capacity, large surface area, and strong water-holding ability (Abdi & Kazemi, 2015; Polat et al., 2004). These properties have pushed them beyond their traditional role as simple soil amendments — today they're increasingly seen as multifunctional materials that can raise nutrient use efficiency while cutting down on environmental harm (Mumpton, 1999; Colombani et al., 2024).

Much of the agricultural value of these minerals depends on how well they regulate the behavior of water and nutrients in the soil. By retaining moisture more effectively, they mitigate the impact of water scarcity on plant growth; their high cation exchange capacities also limit the leaching of ions such as ammonium and potassium, ensuring that more of these nutrients remain available to plants. Furthermore, they can adsorb heavy metals and other contaminants, which helps reduce pollution and improve overall soil quality—and by improving soil structure, they provide more space for root growth (Abdi & Kazemi, 2015; Colombani et al., 2024). Zeolite has been shown to be particularly beneficial when incorporated into controlled-release fertilizer formulations; in these formulations, it increases nutrient recovery and reduces losses to the environment (Polat et al., 2004; Colombani et al., 2024). That said, how well these amendments perform depends on a mix of factors — mineral purity, particle size, application rate, and the soil's own baseline characteristics — so getting good results really calls for site-specific management rather than a one-size-fits-all approach. Taken together, these qualities have made mineral-based amendments a meaningful part of Good Agricultural Practices, valued for improving soil health, boosting resource efficiency, and supporting sustainable production.

4.1.5 Hydrogels and Biopolymers

Hydrogels and biopolymers are among the most advanced new-generation soil conditioners, playing a crucial role in sustainable agriculture due to their exceptional ability to absorb large amounts of water and then release it back to the root zone in a controlled manner. Researchers have paid particular attention to the use of these materials in arid and semi-arid agricultural systems; they show real promise in improving water use efficiency, reducing irrigation frequency, and helping plants cope with drought stress (Ahmed, 2015; Ali et al., 2024). Whether derived from natural biopolymers such as starch, cellulose, chitosan, and alginate, or produced synthetically, hydrogels not only retain water but also enhance fertilizer efficiency by ensuring the gradual, rather than immediate, release of agricultural chemicals (Montesano et al., 2015; Ali et al., 2024). When applied, they function almost like small underground reservoirs: They absorb moisture after rain or irrigation and slowly release it back to plant roots during dry periods.

They also help soil particles bind together, which reduces bulk density, increases the efficiency of water infiltration into the soil, and reduces surface runoff (Ahmed, 2015; Montesano et al., 2015). Since synthetic polymers tend to persist in the environment for long periods, much of the current research has focused on developing biodegradable alternatives that are equally effective but far less persistent (Guilherme et al., 2015; Ali et al., 2024). Given all this, hydrogels and biopolymers are increasingly viewed as important tools for soil improvement—particularly in regions experiencing water scarcity—and they are closely aligned with the goals set by Good Agricultural Practices for smart water management, soil health, and long-term sustainability.

4.1.6 Nanotechnology-Based Soil Conditioners

Nanotechnology-based soil amendments comprise materials with at least one dimension in the range of 1–100 nm and characterized by high specific surface area and reactivity. In recent years, these materials have been widely investigated for the controlled release of nutrient elements, enhancement of fertilizer use efficiency, immobilization of soil pollutants, and improvement of plant resistance to biotic and abiotic stresses (Kah, 2015; Usman et al., 2020). Nanoclay minerals, nanosilica, nano iron oxides, nano-hydroxyapatite, carbon nanotubes, and nano-biocomposites are among the most commonly used nanomaterials in agricultural applications; owing to their high surface area and tunable physicochemical properties, they can be effective at lower doses compared to conventional amendments (Elsayed et al., 2025; Gogos et al., 2012; Usman et al., 2020). Among their key advantages are their ability, through controlled-release systems, to reduce nutrient losses and enhance plant uptake efficiency, as well as the capacity of certain nanomaterials to improve soil quality by promoting the adsorption of heavy metals and organic pollutants (Kah, 2015; Elsayed et al., 2025). Nevertheless, significant knowledge gaps remain regarding their long-term effects on the soil microbiome, their environmental mobility, and their ecotoxicological risks (Gogos et al., 2012; Elsayed et al., 2025). For this reason, the use of nanotechnology-based soil amendments within the framework of Good Agricultural Practices should be planned in accordance with comprehensive scientific evaluations addressing efficacy, environmental safety, and human health.

5. Usage Strategies of Next-Generation Soil Conditioners in Good Agricultural Practices

The use of next-generation soil conditioners within the scope of Good Agricultural Practices requires a site-specific management approach rather than applications based on uniform prescriptions. Prior to application, soil analysis, organic matter levels, texture, pH, salinity status, nutrient contents, and the requirements of the crop to be grown must be evaluated collectively. This approach enhances the effectiveness of the conditioners while reducing unnecessary input use and environmental risks (Roche et al., 2024). Furthermore, integrating next-generation conditioners with fertilization, irrigation, and plant protection programs contributes to the establishment of sustainable production systems by increasing nutrient use efficiency.

In the selection of next-generation soil conditioners, not only the increase in crop yield but also their long-term contributions to soil health, environmental safety, economic viability, and compatibility with the existing agricultural production system must be considered. Recent studies show that, especially when biostimulants and organic-based conditioners are used in conjunction with other sustainable agricultural practices, they support soil biological activity, improve nutrient use efficiency, and can increase plant resilience to environmental stresses. However, long-term field studies are needed to fully elucidate the mechanisms of action of these products under different soil and climatic conditions. Therefore, the use of next-generation soil conditioners within the scope of Good Agricultural Practices should be considered as part of sustainable management strategies that are supported by scientific evidence, monitored by regular soil tracking programs, and adapted to regional conditions.

6. Conclusion

Good Agricultural Practices is a holistic production approach aiming to ensure safe food production, as well as the conservation of natural resources, the mitigation of environmental impacts, and the assurance of agricultural production sustainability. The preservation of soil health is of fundamental importance in achieving these goals. Biochar, humic and fulvic substances, microbial conditioners, mineral-based amendments, hydrogels, biopolymers, and nanotechnology-based materials discussed in this section have been evaluated as next-generation soil conditioners that support soil health.

However, the effectiveness of these materials varies depending on numerous factors such as soil properties, climatic conditions, application dose, the source of the material, and the plant species grown. For this reason, site-specific management approaches must be adopted in the use of next-generation soil conditioners instead of standard applications.

In the future, the success of sustainable agricultural systems will depend on the evaluation of next-generation soil conditioners in conjunction with precision agriculture technologies, digital farming practices, and scientific decision support systems. Furthermore, long-term field trials, studies conducted in different agroecological regions, and economic analyses will contribute to demonstrating the effectiveness of these materials more comprehensively. In conclusion, the conscious and scientifically grounded use of next-generation soil conditioners in accordance with the principles of Good Agricultural Practices holds significant potential for preserving soil health, sustainably managing natural resources, and establishing the resilient agricultural systems of the future.

References

Abdi, G. H., & Kazemi, M. (2015). *Effects of zeolite on soil properties, crop growth and nutrient uptake: A review.*

Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications—A review. *Journal of Advanced Research, 6*(2), 105–121.

Al-Shammary, A. A. G., Al-Shihmani, L. S. S., Fernández-Gálvez, J., & Caballero-Calvo, A. (2024). Optimizing sustainable agriculture: A comprehensive review of agronomic practices and their impacts on soil attributes. *Journal of Environmental Management, 364*, 121487. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121487

Ali, K., Shah, T., Khan, A., et al. (2024). Progress and innovations in hydrogels for sustainable agriculture. *Agronomy, 14*, 2815.

Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., et al. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization. *Plant and Soil.*

Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., et al. (2021). Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants. *Frontiers in Sustainable Food Systems.*

Blanco-Canqui, H. (2017). *[Complete reference should be added according to the source cited in the manuscript.]*

Bolan, S., Hou, D., Wang, L., Hale, L., Egamberdieva, D., Tammeorg, P., Li, R., Wang, B., Xu, J., Wang, T., Sun, H., Padhye, L. P., Wang, H., Siddique, K. H. M., Rinklebe, J., Kirkham, M. B., & Bolan, N. (2023). The potential of biochar as a microbial carrier for agricultural and environmental applications. *Science of the Total Environment, 886*, 163968. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163968

Bouma, J. (2020). Reaching out from the soil-box in pursuit of soil security. *SOIL, 6*(2), 453–458. https://doi.org/10.5194/soil-6-453-2020

Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae, 196*, 15–27.

Canellas, N. A., Olivares, F. L., da Silva, R. M., & Canellas, L. P. (2022). Changes in metabolic profile of rice leaves induced by humic acids. *Plants, 11*(23), 3261.

Chandran, H., Meena, M., Barupal, T., & Sharma, K. (2021). Plant growth-promoting rhizobacteria as a green alternative for sustainable agriculture. *Sustainability.*

Colombani, N., et al. (2024). Natural zeolites in sustainable agriculture: Advances, opportunities and challenges.

Elsayed, M. E. A., et al. (2025). Nanotechnology-enabled soil management for sustainable agriculture: Interactions, challenges, and prospects. *Environmental Science: Nano, 12*, 2128–2153.

FAO. (2003). *Development of a Framework for Good Agricultural Practices.* Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fausak, L. K., Bridson, N., Diaz-Osorio, F., Jassal, R. S., & Lavkulich, L. M. (2024). Soil health—A perspective. *Frontiers in Soil Science, 4*, 1462428. https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1462428

Gogos, A., Knauer, K., & Bucheli, T. D. (2012). Nanomaterials in plant protection and fertilization: Current state, foreseen applications, and research priorities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60*, 9781–9792.

Guilherme, M. R., Aouada, F. A., Fajardo, A. R., et al. (2015). Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. *European Polymer Journal, 72*, 365–385.

Kah, M. (2015). Nanopesticides and nanofertilizers: Emerging contaminants or opportunities for risk mitigation? *Frontiers in Chemistry, 3*, 64.

Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment, 1*(10), 544–553.

Li, J., Sun, W., Lichtfouse, E., et al. (2024). Life cycle assessment of biochar for sustainable agricultural application: A review. *Science of the Total Environment.*

Matisic, M., Dugan, I., & Bogunovic, I. (2024). Challenges in sustainable agriculture—The role of organic amendments. *Agriculture, 14*, 643.

Montesano, F. F., Parente, A., Santamaria, P., Sannino, A., & Serio, F. (2015). Biodegradable superabsorbent hydrogel increases water retention properties of growing media and plant growth. *Agriculture and Agricultural Science Procedia, 4*, 451–458.

Mumpton, F. A. (1999). La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 96*, 3463–3470.

Nardi, S., et al. (2021). *[Complete reference should be added according to the source cited in the manuscript.]*

Pandian, K., Vijayakumar, S., Mustaffa, M. R. A. F., et al. (2024). Biochar—A sustainable soil conditioner for improving soil health, crop production and environment under changing climate: A review. *Frontiers in Soil Science, 4*, 1376159.

Polat, E., Karaca, M., Demir, H., & Onus, A. N. (2004). Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research, 12*, 183–189.

Rahim, H. U., Vaccari, F. P., Stazi, S. R., et al. (2024). Biochar aged or combined with humic substances: Fabrication and implications for sustainable agriculture and environment—A review. *Journal of Soils and Sediments, 24*, 139–162.

Roche, D., Rickson, J. R., & Pawlett, M. (2024). Moving towards a mechanistic understanding of biostimulant impacts on soil properties and processes: A semi-systematic review. *Frontiers in Agronomy, 6*. https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1271672

Ross, A. T., & Emery, S. M. (2025). Microbial inocula enhance effects of biochar amendments on crop productivity, soil health, and microbial communities: A meta-analysis. *Soil Science Society of America Journal, 89*, e20792.

Sharma, P., Sharma, P., & Thakur, N. (2024). Sustainable farming practices and soil health: A pathway to achieving SDGs and future prospects. *Discover Sustainability.*

Țopa, D.-C., et al. (2025). Sustainable practices for enhancing soil health and crop quality in modern agriculture: A review. *Agriculture.*

Upadhyay, V., Choudhary, K. K., & Agrawal, S. B. (2024). Use of biochar as a sustainable agronomic tool, its limitations and impact on environment: A review. *Discover Agriculture.*

Usman, M., Farooq, M., Wakeel, A., Nawaz, A., Cheema, S. A., ur Rehman, H., & Sanaullah, M. (2020). Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment.*

Woo, S. L., & Pepe, O. (2018). Microbial consortia: Promoting plant growth and health. *Microbiological Research.*

DSSAT BİTKİ SİMÜLASYON MODELİNDE KALİBRASYON VE DOĞRULAMA AŞAMALARI

CALIBRATION AND VALIDATION STAGES IN THE DSSAT CROP SIMULATION MODEL

Assoc. Prof. Dr. Alper BAYDAR
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1426-466X

Assoc. Prof. Dr. Yeşim BOZKURT ÇOLAK
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Malatya Turgut Özal University, Malatya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1836-3910

Res. Asst. Burak DALKILIÇ
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Malatya Turgut Özal University, Malatya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5317-2186

Özet
Bitki simülasyon modelleri; genotip, çevre ve yetiştirme yönetimi arasındaki etkileşimlerin sayısal olarak değerlendirilmesine, uzun dönemli iklim ve yönetim senaryolarının incelenmesine ve tarla denemelerinden elde edilen bilgilerin farklı koşullara taşınmasına olanak sağlamaktadır. Ancak model çıktılarının güvenilirliği, modelin hedef çevre ve genotip için uygun biçimde kalibre edilmesine ve kalibrasyonda kullanılmayan bağımsız verilerle doğrulanmasına bağlıdır. Bu çalışmada Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) bitki simülasyon modelinde kalibrasyon ve doğrulama aşamaları, DSSAT teknik dokümantasyonu ile farklı bitkilerde yürütülen güncel modelleme çalışmalarından yararlanılarak değerlendirilmiştir. DSSAT uygulamalarında ilk aşamanın meteorolojik veriler, toprak profili, başlangıç koşulları, yetiştirme yönetimi ve bitki gözlemlerinden oluşan veri setinin kalite kontrolü olduğu belirlenmiştir. Kalibrasyonda genel olarak önce fenolojik gelişim, ardından yaprak alanı, biyokütle, verim ve verim bileşenleri; araştırma amacına bağlı olarak da toprak suyu ve azot dinamikleri değerlendirilmektedir. Genetik katsayıların tahmininde manuel iterasyonun yanında GENCALC, GLUE/GLUEP ve PEST tabanlı otomatik optimizasyon yöntemleri kullanılabilmektedir. Doğrulama aşamasında ise kalibre edilmiş parametrelerin değiştirilmeden bağımsız yıl, lokasyon veya yönetim uygulamalarında incelenmesi gerekmektedir. Model performansının RMSE, nRMSE, ortalama hata veya bias, MAE ve Willmott uyum indeksi gibi tamamlayıcı ölçütlerle birlikte değerlendirilmesi, yalnızca R^2 değerine dayalı yorumlardan daha güvenilir sonuç sağlamaktadır. Sonuç olarak DSSAT kalibrasyon ve doğrulamasının, modelin yalnızca gözlenen veriye uyumunu artıran teknik bir işlem değil, sonraki senaryo analizlerinin bilimsel güvenilirliğini belirleyen temel bir modelleme aşaması olduğu değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: DSSAT, bitki simülasyon modeli, kalibrasyon, doğrulama, genetik katsayı, model performansı

Abstract
Crop simulation models allow quantitative assessment of genotype, environment and management interactions and support the analysis of long-term climate and management scenarios. However, the reliability of model outputs depends on appropriate calibration for the target environment and genotype and on evaluation with data that were not used during calibration. This study reviews calibration and validation procedures in the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) using DSSAT technical documentation and published crop-model applications. The first requirement is quality control of weather, soil profile, initial conditions, crop management and observed crop data. Calibration is commonly conducted sequentially, beginning with phenological development and continuing with leaf area, biomass, yield and yield components; soil water and nitrogen dynamics are additionally considered when they are relevant to the research objective.

Genetic coefficients can be estimated by manual iteration or with tools such as GENCALC, GLUE/GLUEP and PEST-based optimization. During validation, calibrated parameters should remain unchanged and model performance should be assessed with independent years, locations or management treatments. Complementary statistics such as RMSE, nRMSE, mean error or bias, MAE and Willmott's index of agreement provide a more informative assessment than relying on R^2 alone. DSSAT calibration and validation should therefore be considered a central component of model-based research because the quality of these stages directly affects the credibility of subsequent management and climate scenario analyses.
Keywords: DSSAT, crop simulation model, calibration, validation, genetic coefficients, model performance

Giriş

Bitkisel üretimde iklim, toprak, genotip ve yetiştirme yönetimi arasındaki etkileşimler, ürün gelişimi ve verimin oluşumunu birlikte belirlemektedir. Bu etkileşimlerin tüm kombinasyonlarının çok sayıda yıl ve lokasyonda yalnızca tarla denemeleriyle incelenmesi yüksek maliyet ve uzun süre gerektirmektedir. Bitki simülasyon modelleri, deneysel verileri matematiksel süreçlerle birleştirerek farklı çevre ve yönetim koşullarında fenoloji, biyokütle, verim, toprak suyu ve besin dinamiklerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle modeller; sulama ve gübreleme yönetimi, ekim zamanı, çeşit seçimi, kuraklık riski, iklim değişikliği ve üretim riskinin incelenmesinde tarla denemelerini tamamlayan önemli araştırma araçları haline gelmiştir (Jones ve ark., 2003; Hoogenboom ve ark., 2019).Bitki simülasyon modelleri genel olarak ampirik/istatistiksel ve süreç temelli modeller olarak sınıflandırılabilmektedir. Ampirik modeller belirli veri aralıklarında gözlenen girdi-çıktı ilişkilerine dayanırken, süreç temelli modeller fenolojik gelişim, karbon kazanımı, kuru madde birikimi ve bölüşümü, kök gelişimi, toprak su dengesi ve besin döngüsü gibi biyofiziksel süreçleri zaman içinde simüle etmektedir. DSSAT, APSIM, AquaCrop, WOFOST, STICS, CropSyst ve EPIC farklı amaç ve ayrıntı düzeylerinde kullanılan başlıca modelleme sistemleridir. Model seçimi; araştırma sorusuna, bitkiye, mevcut veri düzeyine ve simüle edilmesi gereken süreçlere göre yapılmalıdır.

Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT), tek bir bitki modelinden ziyade Cropping System Model çatısı altında farklı ürün modellerini, ortak toprak, iklim ve yönetim bileşenlerini ve veri analiz araçlarını bir araya getiren bir modelleme ekosistemidir. CERES ailesi mısır, buğday ve çeltik gibi tahıllarda; CROPGRO ailesi ise soya, yerfıstığı, baklagiller, pamuk ve farklı ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. DSSAT; günlük meteorolojik verileri, katman bazlı toprak özelliklerini, başlangıç koşullarını, genetik katsayıları ve yetiştirme uygulamalarını birlikte değerlendirerek bitkinin günlük gelişimini simüle etmektedir (Jones ve ark., 2003).

DSSAT'ın önemli özelliklerinden biri çeşit farklılıklarının genetik katsayılarla temsil edilebilmesidir. Ancak bu özellik aynı zamanda model uygulamasının en kritik aşamalarından birini oluşturmaktadır. Bir çeşide ait genetik katsayıların hedef çevreyi temsil etmemesi, fenoloji ve verim tahminlerinde önemli hatalara neden olabilmektedir. Malik ve ark. (2019), Akdeniz koşullarındaki mısır çalışmalarında daha önce belirlenmiş bitki genetik katsayılarının yeni deney verilerinde yeterli performans göstermediğini ve bölgesel veri kullanılarak yeniden kalibrasyon yapılmasının gerekli olduğunu göstermiştir. Bu durum, literatürde bulunan katsayıların doğrudan kullanılmasının her zaman yeterli olmadığını ortaya koymaktadır.

Model kalibrasyonu, gözlenen veriler kullanılarak model parametrelerinin hedef genotip ve çevreyi temsil edecek biçimde belirlenmesi; doğrulama ise kalibre edilen modelin parametreler değiştirilmeden bağımsız veriler karşısında değerlendirilmesidir. Kalibrasyon ve doğrulama birbirini tamamlamakla birlikte aynı işlem değildir. Kalibrasyon sırasında parametrelerin değiştirilmesine izin verilirken, doğrulama aşamasında parametrelerin yeniden ayarlanması bağımsız model değerlendirmesi ilkesini bozmaktadır. Bu nedenle modelin gelecekte kullanılacağı çevre ve yönetim aralığını temsil eden bağımsız yıl, lokasyon veya uygulamaların doğrulamada kullanılması önemlidir.

Çalışmanın amacı, DSSAT bitki simülasyon modelinde kalibrasyon ve doğrulama sürecinin temel aşamalarını açıklamak; farklı bitkilerde yayımlanmış modelleme çalışmalarında kullanılan yaklaşımları karşılaştırmak ve DSSAT ile çalışacak araştırmacılar için veri hazırlamadan performans değerlendirmesine kadar izlenebilecek bilimsel bir iş akışı ortaya koymaktır.

Materyal ve Metod

Bitki Simülasyon Modellerinin Genel Yapısı ve DSSAT Modeli

Bu çalışma, DSSAT modelinin kalibrasyon ve doğrulama aşamalarını yöntemsel olarak değerlendiren bir derleme niteliğinde hazırlanmıştır. Değerlendirmede, DSSAT teknik dokümantasyonu, modelin temel yapısını açıklayan çalışmalar ve farklı bitkilerde kalibrasyon-doğrulama uygulamalarının yayımlandığı hakemli yayınlar esas alınmıştır. İncelenen çalışmalar özellikle kullanılan kalibrasyon verisi, kalibre edilen değişkenler ve genetik katsayılar, optimizasyon yaklaşımı, bağımsız doğrulama veri seti ve model performans ölçütleri bakımından değerlendirilmiştir.

DSSAT'ın çalıştırılması için temel veri grupları günlük meteorolojik veriler, toprak profili, başlangıç koşulları, yetiştirme yönetimi ve bitki gözlemleridir. Günlük maksimum ve minimum sıcaklık, yağış ve güneş radyasyonu temel meteorolojik girdileri oluşturmaktadır. Toprak profili katmanlar halinde tanımlanmakta; tekstür, hacim ağırlığı, organik karbon, alt su sınırı (SLL), drenaj üst sınırı (SDUL), doygun su içeriği (SSAT) ve gerektiğinde hidrolik özellikler modele girilmektedir. Sulama ve azot çalışmalarında başlangıç toprak suyu ve mineral azot durumu da simülasyon sonuçlarını doğrudan etkileyebilmektedir.

Yönetim verileri içerisinde ekim tarihi, ekim derinliği, bitki sıklığı, sıra aralığı, sulama tarih ve miktarları, gübre uygulamaları ve hasat bilgileri yer almaktadır. Gözlemsel veri seti ise çalışmanın amacına göre çıkış, çiçeklenme, başaklanma veya bakla oluşumu ve fizyolojik olgunluk tarihleri; yaprak alan indeksi, organ bazında kuru madde, toplam biyokütle, verim, verim bileşenleri, toprak su içeriği, evapotranspirasyon ve azot değişkenlerini içerebilmektedir. Giriş verilerindeki hataların genetik katsayıların değiştirilmesi yoluyla telafi edilmesi, modelin başka yıllara veya çevrelere aktarılabilirliğini azaltabileceğinden kalibrasyon öncesinde veri kalite kontrolü yapılması gerekmektedir.

DSSAT Modelinde Kalibrasyon Aşamaları

Kalibrasyonun amacı, gözlenen her değeri kusursuz biçimde yeniden üretmek değil, modelin temel süreçlerini biyolojik olarak anlamlı parametrelerle ve kabul edilebilir hata düzeyinde temsil etmektir. Çok sayıda parametrenin yalnızca hata değerini azaltmak amacıyla serbestçe değiştirilmesi aşırı uyuma ve eşsonuçluluk problemine yol açabilmektedir. Bu nedenle hangi parametrelerin kalibre edileceği, parametrenin fizyolojik anlamı ve hangi gözlemle ilişkilendirileceği önceden belirlenmelidir.

DSSAT modelinde kalibrasyonun aşamalı yürütülmesi yaygın bir yaklaşımdır. İlk aşamada fenolojik gelişim ele alınmaktadır. Çıkış, çiçeklenme ve fizyolojik olgunluk gibi gözlemler, gelişme süresini kontrol eden genetik katsayıların belirlenmesinde kullanılmaktadır. Fenoloji doğru temsil edilmeden büyüme ve verim katsayılarının ayarlanması, bitkinin sıcaklık, radyasyon ve su stresine maruz kaldığı dönemlerin yanlış simüle edilmesine neden olabilir.

Fenolojik uyum sağlandıktan sonra yaprak alanı gelişimi, biyokütle, bitki organlarının oluşumu ve verim değerlendirilmektedir. CERES-Maize modelinde P1, P2 ve P5 gelişme süreleri; G2 ve G3 tane oluşumu ve büyümesi; PHINT ise yaprak çıkış aralığıyla ilişkilidir. CROPGRO modellerinde ise fotoperiyot ve gelişme katsayılarının yanında yaprak gelişimi, fotosentez, tohum büyüme hızı ve dolum süresini temsil eden katsayılar bulunmaktadır. Parametrelerin temsil ettiği süreçle ilişkili gözlemlerin kullanılması, yalnızca verime göre yapılan kalibrasyona göre daha güçlü bir fizyolojik kısıtlama sağlamaktadır.

Kalibrasyon için mümkün olduğunca su ve besin stresi bulunmayan uygulamaların seçilmesi önerilmektedir. DSSAT içindeki GENCALC ve GLUE yaklaşımında da genetik katsayıların belirlenmesinde stressiz uygulamaların tercih edilmesi, çevresel stres etkisinin yanlışlıkla genotip katsayılarına yüklenmesini azaltmaktadır. Baydar (2026), DSSAT-CERES-Rice ile yürüttüğü çalışmada 2019 yılı verilerini kalibrasyonda kullanmış ve üç sulama düzeyi bulunmasına karşın genetik katsayıların belirlenmesinde tam sulama uygulamasını esas almıştır. Model 2020 yılı bağımsız saha verileriyle LAI, biyokütle ve verim açısından doğrulanmıştır.

Sulama veya azot yönetimi araştırmalarında genetik katsayıların yanında modelin toprak suyu ve besin süreçleri de değerlendirilmelidir. Ancak ölçülebilir toprak özelliklerinin geniş aralıklarda birer serbest kalibrasyon parametresine dönüştürülmesi uygun değildir. Toprak su tutma ve drenaj parametreleri mümkün olduğunca arazi ve laboratuvar ölçümlerine dayanmalı; gerekli ayarlamalar fiziksel olarak kabul edilebilir sınırlar içinde yapılmalıdır.

Kalibrasyonda Aşamasında Kullanılan Araçlar

Manuel kalibrasyonda araştırmacı, genetik katsayının fizyolojik anlamına göre parametreyi değiştirerek modeli tekrar çalıştırmakta ve gözlenen-simüle edilen farkı değerlendirmektedir.Bu yöntem model davranışının anlaşılmasına katkı sağlamakla birlikte, parametre sayısı arttığında zaman alıcı ve kullanıcı deneyimine bağımlı hale gelmektedir. DSSAT içerisinde yer alan GENCALC, seçilen deney ve uygulamalar için genetik katsayıların iteratif olarak belirlenmesini destekleyen araçlardan biridir.

Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE), çok sayıda parametre kombinasyonunu çalıştırarak gözlemlerle uyumlu katsayı setlerinin belirlenmesine ve parametre belirsizliğinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. GLUEP ise bu yaklaşımın paralel hesaplama ile hızlandırılmış biçimidir. Bu yöntemler özellikle geniş parametre uzaylarında yararlı olmakla birlikte, sonuçların kullanılan amaç fonksiyonuna, parametre aralıklarına ve kalibrasyonda seçilen gözlemlere duyarlı olduğu unutulmamalıdır.

PEST tabanlı otomatik optimizasyon da DSSAT kalibrasyonunda kullanılmaktadır. Ma ve ark. (2020), PEST yazılımını DSSAT ile birleştirerek mısır, soya, buğday, çeltik ve pamuk için genetik parametre tahminini değerlendirmiş; DSSAT-PEST yaklaşımını GLUE ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırmıştır. Fang ve ark. (2019) ise CERES-Maize kalibrasyonunda PEST kullanarak farklı sulama stratejilerinde kalibrasyon veri setinin parametre belirsizliği üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmalar otomatik optimizasyonun parametre aramasını daha sistematik hale getirdiğini, ancak kullanılan veri setinin niteliğinin kalibrasyon sonucunu belirlemeye devam ettiğini göstermektedir.

Doğrulama Aşaması ve Model Performans Ölçütleri

Doğrulama aşamasında kalibrasyonda belirlenen parametreler sabit tutulmakta ve model daha önce parametre ayarlamasında kullanılmamış veriler üzerinde çalıştırılmaktadır.

Farklı yıl veya lokasyon verilerinin kullanılması, aynı denemenin tekrarlarını ayırmaya göre daha güçlü bir bağımsızlık sağlamaktadır. Modelin hangi amaçla kullanılacağı da doğrulama veri setinin kapsamını belirlemelidir. Örneğin kısıntılı sulama senaryoları üretilecek bir modelin yalnızca tam sulama koşullarında doğrulanması, su stresi yanıtı hakkında sınırlı kanıt sağlamaktadır.

Model performansının değerlendirilmesinde gözlenen ve simüle edilen değerlerin grafiksel karşılaştırılması ile istatistiksel ölçütlerin birlikte kullanılması gerekmektedir. RMSE hata büyüklüğünü gözlenen değişkenin biriminde, nRMSE ise gözlenen ortalamaya göre normalize edilmiş biçimde vermektedir. MAE ortalama mutlak sapmayı, ortalama hata veya bias sistematik fazla ya da eksik tahmin yönünü göstermektedir. Willmott uyum indeksi gözlenen ve simüle edilen seriler arasındaki uyumu değerlendirmektedir. R^2 ortak değişkenliği göstermesine karşın sistematik sapmayı veya mutlak hata büyüklüğünü tek başına açıklamamaktadır.

Yang ve ark. (2014), DSSAT-CSM kullanılarak beş farklı bitkiye ait deney veri setlerinde model performans istatistiklerini karşılaştırmış ve yalnızca R^2 değerinin model değerlendirmesi için yeterli olmadığını göstermiştir. Bu nedenle kalibrasyon ve doğrulama sonuçlarında RMSE veya nRMSE gibi hata büyüklüğü ölçütleri ile bias ve uyum indekslerinin birlikte verilmesi daha uygun bir yaklaşımdır. Literatürde nRMSE için çeşitli başarı sınıfları kullanılsa da bu eşiklerin değişkenin ölçüm belirsizliği, örnek sayısı ve araştırma amacından bağımsız evrensel sınırlar olmadığı dikkate alınmalıdır.

Bulgular

İncelenen DSSAT çalışmaları, kalibrasyon ve doğrulama sürecinde ortak ilkeler bulunmakla birlikte kullanılan veri seti, kalibrasyon yöntemi ve performans ölçütlerinin araştırma amacına göre değiştiğini göstermiştir. Çizelge 1'de farklı bitkilerde kullanılan bazı güncel kalibrasyon-doğrulama yaklaşımları özetlenmiştir.

Çizelge 1. Farklı DSSAT çalışmalarında kullanılan kalibrasyon ve doğrulama yaklaşımları

Kaynak	**Bitki / model**	**Kalibrasyon yaklaşımı**	**Doğrulama / değerlendirme**
Malik ve ark. (2019)	Mısır / CERES-Maize	Bölgesel cultivar katsayılarının yeniden ayarlanması; verim, biyokütle ve N süreçlerinin birlikte değerlendirilmesi	Farklı deney ve N koşullarında verim, biyokütle, N alımı ve toprak NO_3
Fang ve ark. (2019)	Mısır / CERES-Maize	PEST ile farklı sulama stratejilerinde parametre optimizasyonu ve belirsizlik analizi	Kalibrasyon veri seçiminin parametre ve çıktı belirsizliğine etkisi
Ma ve ark. (2020)	Mısır, soya, buğday, çeltik, pamuk / DSSAT	DSSAT-PEST; GLUE ve geleneksel yaklaşımla karşılaştırma	Birden fazla ürün ve deney üzerinde yöntem performansının karşılaştırılması
Baydar (2026)	Çeltik / CERES-Rice	2019 yılı, GLUE; genetik katsayılarda tam sulama uygulaması	2020 bağımsız yılı; LAI, biyokütle ve verim; farklı sulama düzeyleri

Çalışmaların karşılaştırılması, genetik katsayıların mümkün olduğunca düşük stresli koşullarda belirlenmesinin ve daha sonra modelin farklı stres düzeylerinde sınanmasının yaygın ve bilimsel olarak savunulabilir bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Baydar (2026) çalışmasında tam sulama uygulamasının genetik kalibrasyonda kullanılması ve bağımsız yılda farklı sulama düzeylerinin değerlendirilmesi bu yaklaşımın açık bir örneğidir. Benzer biçimde Malik ve ark. (2019), modelin yalnızca tane verimini değil, biyokütle ve azot süreçlerini de temsil etmesini hedefleyerek çoklu çıktı değerlendirmesi yapmıştır.

Kalibrasyon veri setinin zenginliği model parametrelerinin tanımlanabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Yalnızca sezon sonu veriminin kullanılması, farklı parametre kombinasyonlarının benzer sonuç üretmesine olanak verebilir. Fenolojik tarihler, LAI, biyokütle ve verim bileşenlerinin birlikte kullanılması ise parametrelerin fizyolojik olarak daha güçlü sınırlandırılmasını sağlamaktadır. Bu nedenle kalibrasyon verisinin yalnızca gözlem sayısı bakımından değil, temsil ettiği süreçler bakımından da değerlendirilmesi gerekmektedir.

Otomatik optimizasyon yöntemleri son yıllarda DSSAT kalibrasyonunda daha fazla kullanılmaktadır. GLUE/GLUEP ve PEST tabanlı yöntemler çok sayıda parametre kombinasyonunun sistematik biçimde denenmesini sağlamakta, manuel deneme-yanılmaya göre tekrarlanabilirliği artırmaktadır. Bununla birlikte otomatik optimizasyonun yanlış meteorolojik veri, hatalı toprak profili veya eksik yönetim bilgisini düzeltemeyeceği açıktır. Kalibrasyon algoritması yalnızca kendisine tanımlanan parametre ve amaç fonksiyonu içerisinde optimum çözümü aramaktadır. Bu nedenle veri kalite kontrolü modelleme sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır.

Kalibrasyon ve doğrulamada en sık karşılaşılan metodolojik risklerden biri aynı verinin iki aşamada da kullanılmasıdır. Parametrelerin ayarlanmasında kullanılan bir veri setinin daha sonra bağımsız doğrulama olarak sunulması model performansını olduğundan daha yüksek gösterebilir. Diğer bir risk, çok sayıda parametrenin yalnızca hata değerini azaltmak amacıyla değiştirilmesidir. Bu yaklaşım kalibrasyon verisinde yüksek uyum üretse bile farklı yıl veya lokasyonlarda model başarısını azaltabilir. Sulama çalışmaları açısından model değerlendirmesinde verimle birlikte toprak suyu ve evapotranspirasyon gibi değişkenlerin kullanılması ayrıca önem taşımaktadır.

Bir modelin doğru verimi, toprak su dengesi içindeki hataların birbirini telafi etmesi sonucunda üretmesi mümkündür. Bu nedenle su yönetimi amacıyla kullanılacak DSSAT uygulamalarında, veri mevcut olduğunda toprak su içeriğinin zamansal değişimi, ET ve su stresi göstergelerinin de doğrulanması modelin süreç doğruluğu hakkında daha güçlü kanıt sağlayacaktır.
İncelenen literatürlerden hareketle DSSAT için önerilen iş akışı; model amacının ve hedef çıktılarının belirlenmesi, hava-toprak-yönetim verilerinin kalite kontrolü, kalibrasyon ve doğrulama veri setlerinin önceden ayrılması, modelin başlangıç parametreleriyle kontrol edilmesi, gerekirse duyarlılık analizi yapılması, genetik katsayıların önce fenoloji ve ardından büyüme/verim gözlemleriyle belirlenmesi, su ve azot süreçlerinin araştırma amacına göre ayrıca değerlendirilmesi, kalibre edilmiş parametrelerin bağımsız veri üzerinde değiştirilmeden test edilmesi ve performansın çoklu istatistiklerle raporlanması biçiminde özetlenebilir.

Sonuç

DSSAT, genotip, çevre ve yönetim etkileşimlerini birlikte değerlendirebilmesi nedeniyle sulama, gübreleme, çeşit adaptasyonu ve iklim değişikliği çalışmalarında güçlü bir modelleme altyapısı sunmaktadır. Ancak modelin senaryo üretme kapasitesi, kalibrasyon ve doğrulama aşamalarının niteliğinden bağımsız değildir. Güvenilir bir DSSAT uygulaması doğru giriş verileri, fizyolojik olarak anlamlı parametreler, açık biçimde tanımlanmış kalibrasyon verisi ve bağımsız doğrulama gerektirmektedir.
Kalibrasyonda önce fenolojik gelişimin, ardından yaprak alanı, biyokütle, verim ve verim bileşenlerinin ele alınması süreç temelli bir yaklaşım sağlamaktadır. Sulama ve azot yönetimi çalışmalarında toprak suyu, evapotranspirasyon, bitki N alımı ve toprak mineral N gibi değişkenlerin de değerlendirilmesi, modelin yalnızca nihai verimi değil bu verimi oluşturan süreçleri ne ölçüde doğru temsil ettiğini göstermektedir. GENCALC, GLUE/GLUEP ve PEST gibi araçlar parametre tahminini daha sistematik hale getirebilmekte, ancak araştırmacının model süreçlerini ve deneysel verinin sınırlarını değerlendirme sorumluluğunu ortadan kaldırmamaktadır.
Doğrulama aşamasında kalibre edilmiş parametrelerin değiştirilmeden farklı yıl, lokasyon veya yönetim uygulamalarında sınanması temel ilkedir. Model performansının yalnızca R^2 ile değil, hata büyüklüğü, hata yönü ve uyumu birlikte gösteren RMSE, nRMSE, MAE, bias ve Willmott d-indeksi gibi ölçütlerle değerlendirilmesi daha güvenilir bir yaklaşım sunmaktadır. Sonuç olarak kalibrasyon ve doğrulama, DSSAT modelleme çalışmalarında senaryo analizinden önce tamamlanması gereken ve model sonuçlarının bilimsel güvenilirliğini doğrudan belirleyen temel aşamalardır.

Kaynaklar

Baydar, A. 2026. Assessing rice yield responses to climate change scenarios using a crop simulation model. PeerJ 14:e20965. https://doi.org/10.7717/peerj.20965

Fang, Q., Ma, L., Harmel, R. D., Yu, Q., Sima, M. W., Bartling, P. N. S., Malone, R. W., Nolan, B. T., & Doherty, J. 2019. Uncertainty of CERES-Maize Calibration under Different Irrigation Strategies Using PEST Optimization Algorithm. Agronomy 9(5):241. https://doi.org/10.3390/agronomy9050241

Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Shelia, V., Wilkens, P. W., Singh, U., White, J. W., Asseng, S., Lizaso, J. I., Moreno, L. P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L. A., Tsuji, G. Y., & Jones, J. W. 2019. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: Boote, K. J. (Ed.), Advances in Crop Modeling for a Sustainable Agriculture. Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 173–216. https://doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10

Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., & Ritchie, J. T. 2003. The DSSAT cropping system model. European Journal of Agronomy 18(3–4):235–265. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7

Ma, H., Malone, R. W., Jiang, T., Yao, N., Chen, S., Song, L., Feng, H., Yu, Q., & He, J. 2020. Estimating crop genetic parameters for DSSAT with modified PEST software. European Journal of Agronomy 115:126017. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126017

Malik, W., Isla, R., & Dechmi, F. 2019. DSSAT-CERES-maize modelling to improve irrigation and nitrogen management practices under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management 213:298–308. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.022

Wallach, D., Buis, S., Seserman, D.-M., Palosuo, T., Thorburn, P. J., Mielenz, H., Justes, E., Kersebaum, K.-C., Dumont, B., Launay, M., & Seidel, S. J. 2024. A calibration protocol for soil-crop models. Environmental Modelling & Software 180:106147. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106147

Yang, J. M., Yang, J. Y., Liu, S., & Hoogenboom, G. 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. Agricultural Systems 127:81–89. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.01.008

Röll, G., Memic, E. ve Graeff-Hönninger, S. 2020. Implementation of an automatic time-series calibration method for the DSSAT wheat models to enhance multi-model approaches. Agronomy Journal 112(5):3891–3912. https://doi.org/10.1002/agj2.20328

Shawon, A. R., Attia, A., Ko, J., Memic, E., Uptmoor, R., Hackauf, B. ve Feike, T. 2025. Impact of calibration strategy and data on wheat simulation with the DSSAT-Nwheat model. Agronomy Journal 117(4):e70111. https://doi.org/10.1002/agj2.70111

Machado, A. B. B., Dias, H. B., Ferreira, T. B., Pavan, W. ve Reis, A. F. B. 2026. A large-scale, yield-only approach for DSSAT-CROPGRO cultivar parameter calibration. Computers and Electronics in Agriculture 241:111263.

Ma, H., Malone, R. W., Jiang, T., Yao, N., Chen, S., Song, L., Feng, H., Yu, Q. ve He, J. 2020. Estimating crop genetic parameters for DSSAT with modified PEST software. European Journal of Agronomy 115:126017. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126017

Malik, W., Isla, R. ve Dechmi, F. 2019. DSSAT-CERES-maize modelling to improve irrigation and nitrogen management practices under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management 213:298–308. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.022

Yang, J. M., Yang, J. Y., Liu, S. ve Hoogenboom, G. 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. Agricultural Systems 127:81–89. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.01.008

Wallach, D., Buis, S., Seserman, D.-M., Palosuo, T., Thorburn, P. J., Mielenz, H., Justes, E., Kersebaum, K.-C., Dumont, B., Launay, M. ve Seidel, S. J. 2024. A calibration protocol for soil-crop models. Environmental Modelling & Software 180:106147. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2024.106147

Fang, Q., Ma, L., Harmel, R. D., Yu, Q., Sima, M. W., Bartling, P. N. S., Malone, R. W., Nolan, B. T. ve Doherty, J. 2019. Uncertainty of CERES-Maize calibration under different irrigation strategies using PEST optimization algorithm. Agronomy 9(5):241. https://doi.org/10.3390/agronomy9050241

FARKLI TURP (RAPHANUS SATIVUS L.) ÇEŞİTLERİNE AİT TOHUMLARIN BAZI AGROTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF SOME AGROTECHNICAL CHARACTERISTICS OF SEEDS FROM DIFFERENT RADISH (Raphanus sativus L.) SPECIES

Assoc. Prof. Dr. Zeynep DUMANOĞLU
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bingöl University, Bingöl, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7889-9015

Agricultural Engineer Muhammed Emre ORMAN, MSc
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Bingöl University, Bingöl, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0008-7692-5495

Özet
Bu çalışma da ticari olarak temin edilen dört farklı turp (*Raphanus sativus* L.) çeşidine (Japon turp, İri yuvarlak kırmızı turp, Kırmızı-beyaz turp ve siyah turp) ait tohumların tarımsal mekanizasyon açısından önem taşıyan bazı agroteknik özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, kontrollü şartlar altında laboratuvar ortamında 2026 yılı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Her bir çeşidi temsil eden, rastgele olacak şekilde belirlenen tohumların uzunluk (mm), genişlik (mm), yüzey alan (mm^2), aritmetik çap (mm), geometrik çap (mm) ve küresellik değerleri belirlenmiştir. Çeşitlere ait elde edilen veriler, $p<0.05$ önemlilik düzeyinde istatistiksel analizle değerlendirilmiştir. Ulaşılan sonuçların özellikle tohumların ekim performanslarının belirlenmesinde, ürün işleme aşamasında (temizlik, sınıflandırma vb.) optimal tasarımların oluşturulmasına katkı sağlayacağı böylelikle ürün kayıplarının önüne geçilmesi ön görülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Turp, *Raphanus sativus* L., Agroteknik özellikler

Abstract
The aim of this study was to determine certain agrotechnical characteristics of seeds from five different commercially available radish (*Raphanus sativus* L.) species (Japanese radish, large round red radish, red and white radish, and black radish) that are important from the perspective of agricultural mechanization. The study was conducted in a laboratory setting under controlled conditions in 2026. The length (mm), width (mm), surface area (mm^2), arithmetic diameter (mm), geometric diameter (mm), and sphericity values of seeds selected at random to represent each species were determined. The data obtained for the different varieties were evaluated using statistical analysis at a significance level of $p < 0.05$. It is predicted that the results achieved will contribute to determining the sowing performance of seeds in particular and to developing optimal designs for the product processing stage (cleaning, grading, etc.), thereby preventing product losses.
Keywords: Radish, *Raphanus sativus* L., Agrotechnical Characteristics

Giriş

Brassicaceae (Cruciferae) familyasının bir üyesi olan turp, hem kökleri hem de yaprakları tüketilebilen, kültüre alınan bilinenen en eski sebze türlerinden birisidir (Kara, 2025). Yapılan araştırmalar sonucunda, MÖ 4000'li yıllardan günümüze ulaşan belgelerde turp bitkisinin yetiştirilmesi, tüketilmesi ve kullanımına dair bilgilerin yer aldığı belirtilmektedir. İlk olarak *Raphanus raphanistrum* L.'nın kültüre alındığı akabinde yabani formları ile melezleme çalışmalarının yapıldığı belirtilmektedir (Pala ve ark., 2021). Köklerinin farklı şekil, renk ve irilikte olmasına bağlı olarak; küçük ve kırmızı köklere sahip olanlara fındık; beyaz olanlara kestane, siyah renkte olanlarda bayır turbu olarak adlandırılmaktadır (Vural ve ark., 2000; Akan ve ark., 2013).

Uzak Doğu Ülkeleri (Japonya, Kore, Çin vb.) ile Güney Asya'da yaygın olarak üretilen ve tüketilen bir sebze türü olan turp; yeme alışkanlıklarına ve damak tadına bağlı olarak, çiğ, buharda pişirilerek, kızartılarak ya da turşu gibi farklı şekillerde değerlendirilerek tüketilebilmektedir. Avrupa da daha çok taze olarak tüketilmektedir (Akan ve ark., 2013). Zengin içeriği nedeniyle; zaman içerisinde tıbbi ilaç ve yağ bitkisi olarak da değerlendirildiğine dair bilgilerde bulunmaktadır (Shen et al., 2013; Solmaz ve ark., 2017; Uslu & Solmaz, 2020).

Folik asit, C vitamini ve potasyum ile magnezyum gibi mineraller açısından bitkisel bir besin kaynağıdır (Zohary ve Hopf 2000). Yapılan araştırmalara göre, beyaz-kırmızı turpların karotenoid bakımından zengin iken; siyah turbun köklerinin yüksek antioksidan içerdiği belirlenmiştir. Ayrıca genel olarak *Brassicaceae* familyasının farklı türlerinde değişik oranlarda ve formalarda glukozinotların bulunduğu belirlenmiştir. Glukozinotlar, kükürt ve azot elementlerini içeren; bitkilerin yaprakları, gövde ve köklerinde yer alan sekonder metabolitlerdir. Turbun bilinen acı aroması da glukozinolat bileşiklerden gelmektedir (Ishii, 1991). Bu nedenle, turp bitkisi son yıllarda metabolik rahatsızlıklar başta olmak üzere özellikle de kanser tedavisinde değerlendirilmektedir (Sarıkamış ve ark., 2009). Bunların yanında pek çok rahatsızlığa da iyi geldiği yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir (Akan ve ark., 2013). Diğer yandan, alleolopatik etkilere sahip olduğu bu nedenle turp üretimi gerçekleştirildikten sonra, tarlada kalan artıklarının toprağa karıştırılması ile yabancı ot kontrolü sağlandığı belirtilmektedir (Özdemir & Üremiş, 2019). Genellikle beyaz, yeşil, kırmızı, mor, siyah ya da sarımsı renklerde olabildiği gibi kök kısmında renk desenleri beyaz, kırmızı, yeşil gibi renklerde çeşitlilik gösterebilmektedir (Li et al., 2025).

Tablo 1. Bitkisel üretim istatistiklerine göre turpla ilgili veriler (TÜİK, 2026)

Turplar	**2024 (t)**	**2025 (t)**
Turp (bayır)	12.879	12.113
Turp (kırmızı)	165.129	151.482
Turp (beyaz)	3.445	4.159

Dünyada turp üretimi yıllık yaklaşık 7 milyon ton civarındadır. Bu miktar, global anlamda tüm sebze üretimininde %2'sini oluşturmaktadır (Husnain et al., 2020; Manzoor et al., 2021). TÜİK (2026) Bitkisel üretim istatistik verilerine göre 2024 yılındaki bayır ve kırmızı olarak ayrılmış olan turp çeşitlerinin üretim miktarları 2025 yılında düşmüştür. Diğer yandan beyaz turp çeşidinin üretiminde belirgin bir artış yaşanmıştır (Tablo 1).
Türkiye'de turp yetiştiriciliğinin büyük bir bölümü Akdeniz, Ege ve İç Anadolu Bölgelerinde gerçekleştirilirken (Cankurtaran Kömürcü, 2023); en fazla üretim Osmaniye İlinde gerçekleştirilmektedir (yaklaşık %70) (Kocaoğlu & Çağlıyan, 2024).

Japon turbu (Daikon- Raphanus sativus var. longipinnatus): Serin iklim sebzesi olarak yetiştirilen bu turp çeşidi, yaklaşık 15-21°C sıcaklık aralığında optimum gelişme göstermektedir. Sıcaklığın yükselmesi ve gün uzunluğunun artması durumunda gövdesinin odunlaşabileceği yapılan araştırmalar sonucunda belirtilmektedir. Uzun ve silindirik bir kök yapısına sahip olduğundan daha çok geçirgen kumlu-tınlı, tınlı, taşsız toprakları tercih etmektedir. Ağır bünyeli topraklarda kök gelişiminde olumsuzluklar yaşanacağından hedeflenen verime ulaşılması zordur. Yaklaşık 30-40 cm sıra arası ila 10-15 cm sıra üzeri mesafelere tohumları ekilebilmektedir (Akan ve ark., 2013).

İri yuvarlak kırmızı turp (Raphanus sativus var. radicula): Serin ve ılıman iklim koşullarında yaklaşık 12-18°C optimum sıcaklık aralığında yetiştirilebilmektedir. Aşırı sıcak yetiştirme ortamlarında köklerinin acılaşması veya bitki de koflaşma görülebilmektedir (Topçuoğlu, 2001; Kaymak & Güvenç, 2010). Küçük fındık turplarından farklı olarak sıra arası yaklaşık 20-25 cm ila sıra üzeri 8-10 cm olacak şekilde toprağa dikimleri gerçekleştirilmektedir. Kök gelişimlerinin sağlıklı olabilmesi için homojen bir yapıya sahip genel olarak tınlı, killi-tınlı ya da yeterli organik madde içeriğine sahip bir toprak tercih ederler. Toprağın düzenli olarak havalandırılması da kök gelişimine olumlu yönde etki eden etmenler arasında yer almaktadır.

Kırmızı-Beyaz turp (*Raphanus sativus* var. *radicula*): Serin ve nemli iklimleri daha çok tercih ederken yaklaşık 10-15°C optimum sıcaklıkta yetiştirilebilmektedirler. Aşırı soğuklar ve don gibi hava olaylarına hassasiyet göstermektedirler. Yüzlek bir kök yapısına sahip olduğundan hafif bünyeli ve geçirgen topraklarda kolaylıkla yetiştirilebilmekte, sera ve yastıklara ekim için uygun yapıya sahiptirler. Vejetasyon süresi kısa olduğundan hızlı bir şekilde ürüne ulaşılabilmektedir (Vural ve ark., 2010).

Siyah turp (*Raphanus sativus* var. *niger*): Soğuğa olan dayanımı ve sert kabuklu yapısıyla diğer turp çeşitleri arasında yer almaktadır. Yaklaşık 10-16°C optimum yetiştirme sıcaklığında yetiştirilebilmektedir. Ancak vejetasyon süresi diğer turp çeşitlerine göre uzundur. Sonbahar ve kış mevsimleri bu turp çeşidinin yetiştirilmesi için önerilen zaman dilimleridir. Köklerinin sağlıklı bir şekilde gelişebilmesi için sıra arası 30-35cm ila 12-15cm sıra üzeri mesafelerde yetiştirilmesi önerilmektedir. Derin, ağır ve organik maddece zengin olan toprakları daha çok tercih etmektedir (Vural ve ark., 2010).
Bu çalışmada birbirinden farklı dört çeşit turpa ait tohumların özellikle tarımsal mekanizasyon uygulamalarında sıkça kullanılan bazı agroteknik özellikleri, kontrollü şartlar altında belirlenmiştir.

Materyal ve Method

Bu çalışma, Bingöl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem ve Tarla Bitkilerine ait laboratuvarlarda, 2026 yılı içerisinde gerçekleştirilmiştir. Ticari olarak temin edilen dört farklı turp (*Raphanus sativus* L.) çeşidine (Japon turp, İri yuvarlak kırmızı turp, Kırmızı-beyaz turp ve Siyah turp) ait tohumların tarımsal mekanizasyon açısından önem taşıyan, bazı agroteknik özellikleri belirlenmiştir. Her bir çeşidi temsil edecek, rastgele olacak şekilde 100'er adet tohum seçilmiş ve kendine ait yazılımı olan stereo mikroskop (Nikon SMZ 745T) aracılığı ile tohumların uzunluk (mm), genişlik (mm), yüzey alana (mm^2) ait değerler belirlenmiştir. Buradan elde edilen veriler kullanılarak tohum çeşitlerine ait aritmetik çap (mm), geometrik çap (mm) ve küresellik parametrelerine ulaşılmıştır. (((L+W)/2)), geometrik çap (mm) ($\sqrt{(LxD2)}$) ile küresellik (Do/L) parametreleri saptanmıştır ((L:Tohuma ait uzunluk değeri (mm) W:Tohuma ait genişlik değeri (mm)) (Mohsenin, 1970; Alayunt, 2000; Kara, 2012:2017; Dumanoğlu & Boydak, 2025). Elde edilen veriler, SPSS v.17 de $p<0.05$ önemlilik düzeyinde TUKEY istatistik analizine tabii tutulmuştur.

Bulgular ve Tartışma

Çalışmada incelenen turp (*Raphanus sativus* L.) çeşitlerine ait (Japon turp, İri yuvarlak kırmızı turp, Kırmızı-beyaz turp ve siyah turp) tohumların incelenmesi sonucunda; genel olarak uzunluk değerleri 3,403 mm; genişlik 2,614 mm; 5,031 mm^2 yüzey alan; 3,009 mm aritmetik çap; 11,609 mm geometrik çap ve 3,144 küresellik değerine sahip oldukları belirlenmiştir (Tablo 2). Belirlenen veriler, SPSS v.17 de $p<0.05$ önemlilik düzeyinde TUKEY istatistik analizine tabii tutulmuştur. Japon turbu ile ilgili belirlenen ölçülerin diğer turp çeşitlerine göre belirgin bir şekilde önde olduğu, ancak kırmızı-beyaz ait tohumların ise bu gruplandırma en düşük değerlerle alt sırada kaldığı saptamıştır. Japon turbunun en iri boyutlara sahip çeşit olduğu belirlenmiştir. Siyah ve İri yuvarlak kırmızı turpların ölçülerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Kırmızı-Beyaz turp çeşidi ise en küçük boyutlara sahip çeşit olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2. Farklı turp çeşitlerine ait tohumların bazı agronomik özellikleri

Tohum	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Alan (mm^2)	Ortalama Aritmetik Çap (mm)	Ortalama Geometrik Çap (mm)	Küresellik
İri Yuvarlak Kırmızı	3,285[b]	2,476[b]	6,744[b]	2,881[b]	9,334[b]	2,791[b]
Japon	4,410[a]	3,413[a]	12,179[a]	3,911[a]	22,812[a]	5,126[a]
Kırmızı-Beyaz	2,616[c]	2,079[c]	4,399[c]	2,347[c]	4,893	1,848[c]
Siyah	3,301[b]	2,488[b]	6,803[b]	2,895[b]	9,397[b]	2,811[b]
Ortalama	**3,403**	**2,614**	**5,031**	**3,009**	**11,609**	**3,144**

Dört farklı turp çeşidine ait tohumlardan elde edilen verilere Pearson Korelasyon Katsayısı ile incelediğimizde; genel olarak tohumların genişlik (mm) değerlerinin artmasıyla küresellik değerleri arasında doğrusal ve tam bir paralellik (r:1.000; $p<0.001$) olduğu belirlenmiştir. Benzer durum tohumların uzunluğu (mm) arttıkça, aritmetik çap değerlerinde de görülmektedir (r:0.999; $p<0.001$).

Diğer yandan; tohumların yüzey alan (mm^2) değerleri ile uzunluk (*r*: -0.560), genişlik (*r:*-0.641), aritmetik çap (*r:* -0.595), geometrik çap (*r:* - 0.691) ve küresellik (*r:* -0.652) ile p>0.05 önemlilik düzeyinde negatif yönlü bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durum, japon turbunun agronomik olarak en uzun/geniş tohum olmasına rağmen yüzey alanın düşük olmasından kaynaklanmaktadır.
Çetin ve ark. (2010) yapmış oldukları çalışmada, Antep çeşidi turba ait tohumların %6,95 nem düzeyinde 3,34 mm uzunluğunda ve 2,52 mm genişliğinde olduklarını belirlemişlerdir. Bu çalışma kapsamında incelenen dört farklı çeşidin uzunluk ve genişlik değerleri ile örtüşmektedir. Manzoor ve arkadaşları (2024) yapmış oldukları çalışmada 11 farklı turp genotipini agromorfolojik ve genetik olarak incelemişlerdir. Tohum boyutları ile kök morfolojisi arasında genotipler açısından geniş bir varyasyon bulunduğunu belirlemişlerdir. Genotipik varyasyon katsayısı (GCV) ile Fenolik varyasyon katsayısı (PVC) analizleri sonucunda tohum ve bitki boyutlarının çevresel faktörlerden ziyade daha çok genetik kökenli etmenlerin etkili olduklarını ortaya koymuşlardır. Bu nedenle, japon turbu ile kırmızı-beyaz turp çeşitlerinin iki ayrı uçlarda verilere sahip olmalarının kümeleme (cluster) analizine göre, çeşitlerin boyut-biçim bakımından farklı gruplara ayrılması açısından uyumlu oldukları belirtilebilir.

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, dört farklı turp (*Raphanus sativus* L.) çeşidine (Japon turp, İri yuvarlak kırmızı turp, Kırmızı-beyaz turp ve siyah turp) ait tohumların özellikle tarımsal mekanizasyon açısından önem taşıyan bazı agroteknik özelliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Rastgele olacak şekilde seçilen, kontrollü ortamda, stereo mikroskop altında tohumların incelenmesi ile elde edilen veriler ve bunlardan yola çıkılarak ulaşılan değerler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Dünyada ve Türkiye'de üretim ve tüketim yoğun bir şekilde gerçekleştirilen, kısa vejetasyon süresi nedeniyle üreticilere ekonomik anlamda fayda sağlayan, turp sebzesinin daha hızlı ve tohum kayıplarının en aza indirilerek yetiştirilmesine olanak sağlayacak olan verilere bu araştırma sonunda ulaşılmıştır. Ayrıca, çalışma ile elde edilen veriler tohumların sınıflandırılması, ayrılması ve temizlenerek paketlenmesi gibi ürün işleme basamaklarında da sıkça değerlendirilmekte, ürüne uygun olarak doğru makine ve sistemlerin tasarlanarak kullanım olanaklarının artacağı ön görülmektedir. Araştırmacıların, bu kadar sevilerek tüketilen turp sebzesi ile ilgili olarak daha fazla çalışma yapmalarını önerilmekle birlikte; özellikle ıslah ve yeni çeşitlerin geliştirilmesi sonucunda ekonomik anlamda elde edilen katma değerin artacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Akan, S., Veziroğlu, S., Özgün, Ö. & Ellialtıoğlu, Ş. (2013). Turp (*Raphanus sativus* L.) sebzesinin fonksiyonel gıda olarak değerlendirilmesi. *YYÜ TAR BİL DERG*. 23(3):289-295.

Alayunt, F.N., (2000). Biyolojik Malzeme Bilgisi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Tarım Makineleri Bölümü Ders Kitabı, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 541, Bornova, İzmir.

Cankurtaran Kömürcü, T. (2023). Potansiyel bir fonksiyonel gıda olarak farklı turp (*Raphanus sativus*) çeşitlerine ait tozların kimyasal ve fonksiyonel özelliklerinin değerlendirilmesi. *GIDA*. 48 (6):1185- 1198.

Çetin, M., Şimşek, E., Akbaş, T. & Özarslan, C. (2010). Physical Properties of Radish (*Raphanus sativus* L.) Seed as a Function of Moisture Content. *Philipp Agric. Scientist* 93(3):291-298.

Dumanoğlu, Z. ve Boydak, E. (2025). Farklı Yıllarda Depolanan Susam (*Sesamum indicum* L.) Çeşitlerine Ait Tohumların Bazı Agronomik Özellikleri. 13. Internatıonal European Congress On Advanced Studıes In Basıc Scıences, İstanbul.

Husnain, R.T., M. Amjad, K. Ziaf & S.T. Sahi. (2020). Planting geometry effects on seed yield and quality of two radish cultivars. *Pak. J. Agric. Sci.*, 57(3): 637-643.

Kara, E. (2025). Polietilen Glikol (PEG) ile oluşturulan kuraklık stresine karşı farklı turp (*Raphanus sativus* L.) çeşitlerinin *İn vitro* tepkileri. *Ordu Univ. Bil.Tek. Derg*. 15(2):372-386.

Kara, M., (2012). Biyolojik Ürünlerin Fiziksel Özellikleri. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları No: 242, Erzurum.

Kara, M. 2017. Physical Properties of Biological Products. Güven Bilimsel. ISBN: 978-975-6240-56-4, İstanbul.

Kaymak, H.Ç. & Güven., İ. (2010). Turp çeşitlerinin bazı fizyolojik bozukluklar bakımından değerlendirilmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*. 3(2):167-173.,

Kocaoğlu, E. & Çağlıyan, A. (2024). Sürdürülebilirlik Açısından Kadirli İlçesinde Turp Üretimi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 64, 185-203.

Li, X., Li, X.M. & Ahmad, J. (2025). Radish (*Raphanus sativus* L.) Germplasm Resources. Vegetable Crops. Handbooks of Crop Diversity:Conservation and Use of Plant Genetic Resources. Ed: Kalia, P. Springer Nature Singapore Pte Ltd. pp:759-794.

Ishii, G. (1991). Glucosinolate in Japanese radish, *Raphanus sativus* L. *JARQ* 24: 273-279

Özdemir, Ş. & Üremiş, İ. (2019). Şalgam ve Baz Turp Genotiplerinin *Amaranthus retroflexus* L. ve *Portulaca oleracea* L. Üzerine Allelopatik Etkileri. *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*. 2(1):35-45.

Manzoor, A., Naveed, M.S., Ali, S.R., Ibrar, D., Syed, S., Ashraf, S. & Ahmed R. (2021). Standardization of Seed Production Technology in Radish (*Raphanus sativus*) Cv. Mino using Different Stecklings Size. Pakistan Journal of Agricultural Research. 34(4):725-731.

Manzoor, A., Naveed, M.S., Hussain, T., Ali, I, Akram, M.T., Liaquat, M., Ahmad, R., Anwar, A., Khan, M.A. & Ahmad, I. (2024). Morphological Characterization and Analysis of Genetic Variability in Radish (*Raphanus sativus*) Genotypes for Important Qualitative and Qantitative Traits. *Brazillian Archives of Biology and Technology*. Vol 67:e24230627.

Pala, K., Karaağaç, O. & Balkaya, A., (2021). Biyotik Stres Koşullarına Dayanıklı Turp Islah Programında Kullanılan Genitörler. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(Özel Sayı): 3429-3437.

Sarıkamış G, Balkaya A, Yanmaz R (2009). Glucosinolates within a collection of white head cabbages (*Brassica oleraceae* var. *capitata subvar.alba*) from Turkey. *African Journal of Biotechnology* 8(19): 5046-5052

Shen, D., Sun, H., Huang, M., Zheng, Y., Li, X. & Fei, Z. (2013). Radishbase: A Database for Genomics and Genetics of Raidsh. *Plant Cell Physiol*. 54 (2): 1-6.

Solmaz, İ., Akbaş, F., Erköse, H., Sari, N. & Dal, B. (2017). Farklı Dozlarda Kükürt Uygulamasının Turp (*Raphanus sativus* L.)'ta Verim ve Kalite Üzerine Etkileri. *Akademik Ziraat Dergisi*, 6 (257): 257-262.

Uslu, A.S. & Solmaz, İ. (2020). Farklı dozlarda yapraktan ve topraktan uygulanan bor gübrelemesinin turpta (*Raphanus sativus* L.) bitki gelişimi verim ve yumru kalitesine etkileri. *ÇÜ Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi.* 39 (13):100-107.

Topçuoğlu, B. (2001). Azotlu Gübrelerin Turp Bitkisinde (*Raphanus sativus*) Bazı Ürün Ölçütleri ve Koflaşma ile Nitrat Birikimi Üzerine Etkileri. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 14(2):9-15.

TÜİK (2026). Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel üretim/yağlı tohumlar üretim miktarları (Erişim:31.08.2026)

Vural, H., Eşiyok, D. & Duman, İ. (2000). Kültür Sebzeleri (Sebze Yetiştirme). Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü, Bornova-İzmir.

Zohary, D. & Hopf, M. (2000). Domestication of Plants in the Old World (3rd ed.). Oxford: University Press.

BAKLAGİLLER (FABACEAE)'DE YARARLI BAKTERİLERİN ABİYOTİK STRES TOLERANSINDAKİ ROLÜ: GÜNCEL DURUM VE GELECEĞE YÖNELİK YAKLAŞIMLAR

THE ROLE OF BENEFICIAL BACTERIA IN ABIOTIC STRESS TOLERANCE OF LEGUMES (FABACEAE): CURRENT STATUS AND FUTURE APPROACHES

Assoc. Prof. Dr. Zeynep DUMANOĞLU
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bingöl University, Bingöl, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7889-9015

Agricultural Engineer Muhammed Emre ORMAN
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Bingöl University, Bingöl, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0008-7692-5495

Özet
Bu çalışmada, baklagillerde (*Fabaceae*) verim ve gelişimi olumsuz etkileyen kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi abiyotik stres koşullarına karşı yararlı bakterilerin rolünün güncel çalışmalar doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Konu ile ilgili güncel bilimsel literatürün araştırılarak, değerlendirilmesi ile oluşturulan bu derlenme; özellikle baklagillerle simbiyotik ilişki kuran *Rhizobium* bakterileri ile bitki gelişimini teşvik eden rizobakterilerin (PGPR) bitki gelişimi, biyolojik azot fiksasyonu, besin maddelerinin alımı, kök gelişimi ve stres toleransı üzerindeki etkileri gibi başlıklar ele alınmıştır. Ayrıca yararlı bakterilerin abiyotik stres koşullarındaki davranışını doğrudan etkileyen bitki genotipi, bakteri özellikleri, toprak koşulları ve çevresel faktörler bir arada değerlendirilmiştir. Elde edilen literatür bulgularının, yararlı bakterilerin baklagillerde abiyotik stres koşullarına dayanıklılığın artırılmasında önemli bir potansiyele sahip olduğunu, ancak uygulama başarısının iklim, çevre ve bitki–bakteri etkileşimlerine bağlı olarak değişebildiği; yararlı bakterilerin uygun bakteri suşlarının belirlenmesi ve uygulanmasıyla sürdürülebilir baklagil üretimine katkı sağlayabileceği öngörülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Baklagiller, Abiyotik stres, PGPR, *Rhizobium*, Stres toleransı

Abstract
This study aimed to evaluate the role of beneficial bacteria against abiotic stress conditions such as drought, salinity, and high temperature, which negatively affect yield and growth in legumes (*Fabaceae*), based on current studies. This review was prepared by investigating and evaluating the current scientific literature on the subject and addresses topics including the effects of *Rhizobium* bacteria, which establish symbiotic relationships with legumes, and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant growth, biological nitrogen fixation, nutrient uptake, root development, and stress tolerance. In addition, plant genotype, bacterial characteristics, soil conditions, and environmental factors that directly affect the effectiveness of beneficial bacteria under abiotic stress conditions were evaluated together. The findings from the literature indicate that beneficial bacteria have significant potential to improve the tolerance of legumes to abiotic stress conditions; however, the effectiveness of their application may vary depending on climate, environmental conditions, and plant–bacteria interactions. It is anticipated that beneficial bacteria may contribute to sustainable legume production through the identification and application of suitable bacterial strains.
Keywords: Legumes, abiotic stress, PGPR, *Rhizobium*, stress tolerance

1. GİRİŞ

Baklagiller (*Fabaceae*), yüksek besin değerleri ve tarımsal üretim sistemlerindeki önemli rolleri nedeniyle insan beslenmesi ve sürdürülebilir tarım açısından önemli bitki grupları arasında yer almaktadır. Diğer yandan, kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi abiyotik stresler, baklagillerin büyüme ve gelişmesini sınırlandırarak verim ve ürün kalitesinde kayıplara neden olabilmektedir. İklim değişikliğiyle birlikte bu streslerin daha sık ve şiddetli ortaya çıkması, baklagil üretiminde stres koşullarına dayanıklılığın artırılmasına yönelik sürdürülebilir yaklaşımların geliştirilmesini gerekli hale getirmektedir (Jha et al., 2024; Machado et al., 2025).

Kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık, baklagillerde bitkinin su ve besin maddelerini kullanımı, fotosentetik faaliyetleri ve gelişme süreçleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Su yetersizliği fotosentetik aktivitenin azalmasına ve buna bağlı olarak büyüme ile verimin sınırlandırılmasına yol açarken, tuzluluk bitkide iyon dengesinin ve besin maddesi alımının bozulmasına yol açabilmektedir. Yüksek sıcaklık ise özellikle çiçeklenme, döllenme ve tane oluşumu gibi üreme dönemlerini olumsuz etkileyerek verim kayıplarına neden olabilmektedir (Bouzroud et al., 2023; Jafarullakhan et al., 2024; Alam Sher et al., 2024). Bu gibi durumlar karşısında, bitkilerin abiyotik stres koşullarındaki gelişimini desteklemek amacıyla yararlı bakterilerin kullanımı, tarımsal üretim açısından dikkat çeken yaklaşımlardan biri haline gelmiştir. Özellikle baklagiller ile simbiyotik ilişki kuran *Rhizobium* türleri ile bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler (PGPR), kök bölgesindeki etkileşimler aracılığıyla bitki gelişimini ve stres koşullarına uyumunu destekleyebilmektedir. Farklı baklagil türlerinde yürütülen çalışmalar, stres toleransına sahip kök nodül bakterilerinin ve PGPR'lerin bitki gelişimi ile stres koşullarındaki performans üzerinde olumlu etkiler oluşturabileceğini göstermektedir (Megu et al., 2024; da Silva et al., 2024).

Bu çalışmanın amacı baklagillerde yararlı bakterilerin kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi başlıca abiyotik stres koşullarında bitki gelişimi ve stres toleransı üzerindeki etkilerini değerlendirmek, bu etkilerin altında yatan fizyolojik, biyokimyasal ve mikrobiyal mekanizmaları güncel literatür ışığında ortaya koymak ve söz konusu bakterilerin sürdürülebilir baklagil üretimindeki kullanım potansiyelini değerlendirmektir.

2. BAKLAGİLLERDE YARARLI BAKTERİLERİN ROLÜ

Baklagillerde yararlı bakterilerin etkisi, yalnızca kök bölgesinde bulunmalarından değil, aynı zamanda bitki ile kurdukları biyolojik etkileşimlerin niteliğinden kaynaklanmaktadır. *Rhizobium* bakterileri ile baklagiller arasındaki simbiyotik ilişkinin temelinde kök nodüllerinin oluşumu ve atmosferik azotun bitkinin yararlanabileceği forma dönüştürülmesi yer alırken; PGPR grubu bakteriler (örneğin *Bacillus subtilis, Pseudomonas fluorescens* ve *Azospirillum brasilense,*) bitki kökleri çevresinde kolonize olarak farklı bitki gelişimini teşvik edici özellikler gösterebilmektedir. Bu özellikler arasında besin maddelerinin yarayışlılığının artırılması, kök gelişiminin desteklenmesi ve bitkinin çevresel koşullara verdiği yanıtların düzenlenmesi öne çıkmaktadır (Khoso et al., 2024; Porter et al., 2024).

Baklagil–*Rhizobium* ilişkisi sırasında gerçekleşen sinyal alışverişi, bakterinin köke yerleşmesini ve nodül içerisinde biyolojik azot fiksasyonunun gerçekleşmesini mümkün kılmaktadır. Bu simbiyotik ilişkinin etkinliği bütün baklagil–bakteri kombinasyonlarında farklı oranlarda olabilmektedir. Bitki türü ve genotipi ile bakteriyel özellikler arasındaki uyum, nodül oluşumu vb. azot fiksasyonunun başarısını etkileyen önemli faktörler arasında değerlendirilmektedir (Yu & Zhu, 2025).

PGPR bakterileri ise; baklagillerin kök bölgesinde kolonize olarak bitkinin gelişimini destekleyen çeşitli özellikler gösterebilmektedir. Bu bakterilerin özellikle bitki gelişimini teşvik eden bileşikler üretmesi ve bitkinin besin maddelerinden yararlanmasını kolaylaştırması, baklagillerdeki önemli etkileri arasında değerlendirilmektedir. Baklagiller üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar da PGPR uygulamalarının bitki gelişimi ve besin durumunda olumlu değişiklikler oluşturabileceğini göstermektedir (Agbodjato & Babalola, 2024).

Baklagillerde yararlı bakterilerin etkileri değerlendirildiğinde, *Rhizobium* ve diğer bitki gelişimini teşvik eden bakterilerin birlikte ele alınması, bitki–mikroorganizma etkileşimlerinin daha bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Özellikle nodül çevresinde veya nodül içerisinde bulunan bazı bakterilerin, *Rhizobium* ile kurulan simbiyotik ilişkinin etkinliğine katkıda bulunabildiği bildirilmektedir. Bu tür bakteri etkileşimlerinin stres koşullarında nodül gelişimi, bitki büyümesi ve genel stres dayanıklılığı açısından da potansiyel taşıdığı yapılan çalışmalar sonucunda belirtilmektedir (Etesami & Santoyo, 2025).

3. KURAKLIK STRESİNDE YARARLI BAKTERİLERİN ROLÜ

Kuraklık stresinde yararlı bakterilerin etkisi, özellikle kök gelişimi, nodül oluşumu ve biyolojik azot fiksasyonu gibi süreçler üzerinde özellikle önem kazanmaktadır. Baklagiller üzerinde yapılan araştırmalarda *Rhizobium, Bacillus, Pseudomonas* ve diğer yararlı bakterilerin kuraklık koşullarında kök ve sürgün gelişimi, nodül oluşumu, azot fiksasyonu ve verim gibi özellikler üzerinde olumlu sonuçlar oluşturabildiği görülmektedir. Bununla birlikte, bakterilerin sağladığı etkinin kullanılan bakteri suşuna, bitki türüne ve kuraklığın şiddetine bağlı olarak değişebildiği belirtilmektedir (El-Saadony et al., 2024). Bu durum, *Vigna radiata* üzerinde yürütülen bir çalışmada da ortaya konmuştur. Çalışmada; kuraklığa tolerans gösterebilen kök nodülü bakterilerinin uygulanması sonucunda özellikle şiddetli su kısıtı altında

bitkilerin sürgün kuru ağırlığı ve nodül kuru ağırlığında artış sağlandığı belirlenmiştir. Araştırmada kullanılan bakterilerin azot fiksasyonu, fosfat çözündürme ve ACC deaminaz aktivitesi gibi farklı bitki gelişimini teşvik edici özelliklere sahip olması, bu bakterilerin kuraklık koşullarında bitki gelişimini destekleme potansiyelini ortaya koymuştur (Mondal & Gera, 2024).

Baklagil–*Rhizobium* simbiyozunun devamlılığı ve biyolojik azot fiksasyonunun etkinliği, su kısıtından önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Su yetersizliğinin kök ile bakteri arasındaki sinyal alışverişini sınırlandırması, enfeksiyon iplikçiklerinin oluşumunu ve nodül gelişimini azaltabilmekte; buna bağlı olarak nodüllerdeki azot fiksasyon aktivitesi düşebilmektedir. Nitekim; fasulye üzerinde yürütülen bir çalışmada, kuraklık koşullarının biyolojik azot fiksasyonuyla ilişkili nodül genlerinin ifade düzeylerinde önemli değişikliklere neden olduğu ve bu yanıtın genotiplere göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kuraklık toleransında yalnızca bakterinin varlığının değil, bitki genotipi ile bakteriyel simbiyozun birlikte değerlendirilmesinin de önemli olduğunu göstermektedir (Yeremko et al., 2025; da Silva et al., 2024).

Su dengesindeki bozulma ve reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikmesi, kuraklık altında hücre zarlarının ve fotosentetik süreçlerin zarar görmesine neden olabilmektedir. Yararlı mikroorganizmalar ise bu süreçte antioksidan savunma sistemlerinin düzenlenmesine ve oksidatif hasarın sınırlandırılmasına katkı sağlayabilmektedir. Fasulye üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, *Bacillus velezensis* inokulasyonunun kuraklık koşullarında bitkinin su durumunu ve fotosentetik özelliklerini iyileştirdiği, malondialdehit (MDA) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) düzeylerini azaltırken antioksidan enzim aktivitelerini artırdığı bildirilmiştir. Bu sonuçlar, yararlı bakterilerin kuraklık toleransına katkısının yalnızca kök bölgesindeki etkilerle sınırlı olmadığını, bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal stres yanıtlarının düzenlenmesini de kapsayabildiğini göstermektedir (Zamani et al., 2024).

4. TUZLULUK STRESİNDE YARARLI BAKTERİLERİN ROLÜ

Toprakta artan NaCl düzeyleri, baklagillerde büyüme ve gelişmenin yanı sıra nodül oluşumu ve biyolojik azot fiksasyonu üzerinde de baskı oluşturabilmektedir. *Vicia faba* üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, artan tuz konsantrasyonlarının kök ve sürgün gelişimini, nodül sayısı ve ağırlığını, leghemoglobin içeriğini ve nitrogenaz aktivitesini azalttığı belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan *Rhizobium leguminosarum* suşunun uygulanması ise nodülasyon ve azot fiksasyonunun desteklenmesine katkı sağlamış; ayrıca kalsiyum ilavesinin NaCl kaynaklı olumsuz etkileri azaltabildiği gösterilmiştir. Bu bulgular, tuzluluk koşullarında baklagil–*Rhizobium* ilişkisinin korunmasının bitki gelişimi ve biyolojik azot fiksasyonu açısından önemli olduğunu göstermektedir (Danial & Basset, 2024).

İyon dengesindeki bozulma, tuz stresinin bitkiler üzerindeki önemli etkilerinden biri olup özellikle Na^+ birikimi ve K^+ alımındaki azalma üzerinden hücresel işlevleri olumsuz etkileyebilmektedir. Soya fasulyesi üzerinde yürütülen bir tarla çalışmasında, tuz stresi altında PGPR uygulamasının yapraklardaki Na^+ birikimini azaltırken yaprak, kök ve tanelerde K^+ konsantrasyonunu artırdığı belirlenmiştir. PGPR uygulaması ayrıca fotosentetik özellikleri ve antioksidan savunma sistemini iyileştirmiş ve tuz stresi altındaki soya fasulyesinde tane verimini %32,57 oranında artırmıştır. Benzer şekilde, nohut üzerinde yapılan bir çalışmada halotolerant *Bacillus* sp. BSE01 uygulamasının tuz stresi altında bitki boyu, nispi su içeriği ve klorofil miktarını artırdığı; ayrıca K^+/Na^+ oranı ve prolin içeriğinin yükselmesine katkı sağladığı belirlenmiştir. Bakteri uygulamasının reaktif oksijen türlerinin oluşumunu azaltması ve antioksidan enzim aktivitelerini artırması da bitkinin tuz stresine karşı dayanıklılığını desteklemiştir (Lin et al., 2025; Basu et al., 2023).

Tek bakteri uygulamalarına alternatif olarak, farklı yararlı bakterilerin birlikte kullanıldığı mikrobiyal konsorsiyumlar da tuzluluk stresinin azaltılması da araştırılmaktadır. Nohut üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, tuzluluğa toleranslı *Nocardiopsis alba, Sinorhizobium meliloti* ve *Bacillus safensis* gibi bakterilerden oluşturulan mikrobiyal konsorsiyumların yanı sıra farklı bakteriyel suşlardan oluşturulan konsorsiyumlar değerlendirilmiştir. Bulgular, bazı konsorsiyumların tuzluluk koşullarında bitkinin toprak üstü ve toprak altı gelişimini ve verim bileşenlerini olumlu yönde etkileyebildiğini göstermiştir.

Bu sonuçlar, farklı yararlı bakterilerin tamamlayıcı özelliklerinden yararlanılmasının, baklagillerde tuzluluk toleransını destekleyen alternatif bir biyolojik yaklaşım olabileceğini ortaya koymaktadır (Sathya et al., 2024).

5. YÜKSEK SICAKLIK STRESİNDE YARARLI BAKTERİLERİN ROLÜ

Rhizobium ile kurulan simbiyotik ilişkinin devamlılığı ve nodül oluşumu, yüksek sıcaklık koşullarına karşı hassas süreçler arasında yer almaktadır. Bezelye üzerinde yapılan bir çalışmada, sıcaklık stresinin *Rhizobium leguminosarum* ile bitki arasındaki simbiyotik ilişkiyi zayıflattığı ve ACC deaminaz aktivitesinin bulunmamasının bu olumsuzluğu daha belirgin hâle getirdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, *Rhizobium* ile birlikte farklı bitki gelişimini teşvik eden endofitik bakterilerin kullanılması, sıcaklık stresi altında nodül oluşumu ve bitki gelişimindeki kayıpların azaltılmasına katkı sağlamıştır. Bu sonuçlar, yüksek sıcaklık koşullarında bakterilerin yalnızca tek tek özelliklerinin değil, bitki–bakteri etkileşimlerinin birlikte değerlendirilmesinin de önemli olabileceğini göstermektedir (Ben Gaied et al., 2024).

Bazı yararlı bakterilerin bitkinin fizyolojik ve moleküler stres yanıtlarını düzenleyerek yüksek sıcaklık koşullarında büyümeyi destekleyebildiği bildirilmektedir. Soya fasulyesi üzerinde yapılan bir çalışmada, *Priestia megaterium* SH-19 suşunun yüksek sıcaklık koşullarında bitki gelişimini desteklediği ve antioksidan savunma sistemini güçlendirdiği belirlenmiştir. Bakteri uygulaması glutatyon (GSH), süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX) ve katalaz (CAT) aktivitelerini artırırken, salisilik asit düzeyinin yükselmesine ve absisik asit düzeyinin azalmasına katkı sağlamıştır. Ayrıca sıcaklık ve hormon yanıtıyla ilişkili bazı genlerin ifade düzeylerinde değişiklikler gözlenmiştir. Bu bulgular, yararlı bakterilerin yüksek sıcaklık toleransını hormonal düzenleme, antioksidan savunma ve stresle ilişkili genlerin düzenlenmesi yoluyla destekleyebileceğini göstermektedir (Shaffique et al., 2024).

Yararlı bakterilerin sıcaklık stresine karşı sağladığı katkı, kullanılan bakteri suşunun özelliklerinin yanı sıra baklagil genotipine ve stres düzeyine göre de değişebilmektedir. Fasulye genotipleri üzerinde yapılan bir çalışmada, yerel *Bacillus* suşlarının uygulanması 30–35 °C sıcaklık koşullarında bazı genotiplerde sıcaklık stresine bağlı fizyolojik ve biyokimyasal yanıtları iyileştirmiştir. Bununla birlikte, 40 °C koşullarında bazı genotiplerde benzer gelişme yanıtlarının bakteriyel uygulama yapılmadan da ortaya çıkması, genotipin kendi sıcaklık toleransının önemli olduğunu göstermiştir. Bu bulgular, yüksek sıcaklık stresinin azaltılmasında yararlı bakterilerin kullanımının bitki genotipi, bakteri suşu ve stres şiddeti birlikte değerlendirilerek planlanması gerektiğine işaret etmektedir (Meza et al., 2025).

Bitkiyle doğal olarak ilişki kuran mikrobiyal toplulukların yapısındaki değişimler de sıcaklık stresine karşı dayanıklılığın anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Soya fasulyesinin tarla koşullarında uzun süreli yüksek sıcaklık ve kuraklığa maruz kaldığı bir çalışmada, hayatta kalan bitkilerin köklerindeki endofitik mikrobiyal toplulukların yapısının stres koşullarına bağlı olarak farklılaştığı ve özellikle *Pseudomonas* ile *Pantoea* cinslerine ait bakterilerin bu bitkilerin köklerinde daha belirgin olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, yüksek sıcaklık ve eşlik eden kuraklık koşullarında bitkiyle ilişkili bakterilerin doğal olarak seçilmesinin veya zenginleşmesinin, stres koşullarında bitkinin yaşamını sürdürmesine katkı sağlayabilecek mikrobiyal ilişkilerin belirlenmesi açısından önemli olduğunu göstermektedir (Gouli et al., 2024).

Verim oluşumunun önemli bir aşaması olan üreme döneminde ortaya çıkan sıcaklık stresinin etkilerinin azaltılmasında, yararlı bakterilerin bitki gelişimini desteklemesi de önem taşımaktadır. Fasulye üzerinde yapılan bir çalışmada, *Bacillus subtilis* uygulamasının yüksek sıcaklık koşullarında çiçek ve bakla sayısını artırdığı, buna karşılık çiçek dökülmesini azalttığı belirlenmiştir. Bakteri uygulamasının özellikle sıcaklık stresinin üreme gelişimi üzerindeki olumsuz etkilerini sınırlandırması, yararlı bakterilerin yalnızca bitkinin vejetatif gelişimini destekleyen mikroorganizmalar olarak değil, verim oluşumunun kritik aşamalarında bitkinin stres toleransına katkı sağlayabilecek biyolojik araçlar olarak da değerlendirilebileceğini göstermektedir (de Lima et al., 2022).

6. BAKLAGİLLERDE YARARLI BAKTERİ UYGULAMALARININ SINIRLILIKLARI

Yararlı bakterilerin baklagillerde abiyotik stres toleransını destekleme potansiyeline rağmen, elde edilen sonuçların farklı bitki ve çevre koşullarında aynı düzeyde ortaya çıkmaması bu uygulamaların önemli sınırlılıklarından biridir. Bakteri suşunun özellikleri, bitki genotipi ve stres koşulları, uygulamadan elde edilen sonuçları etkileyebilmektedir.

Nohut üzerinde yürütülen bir çalışmada, farklı *Mesorhizobium* suşlarının farklı nohut genotiplerinde ve su rejimlerinde büyüme ve nodülasyon açısından farklı sonuçlar oluşturduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, baklagillerde yürütülen küresel bir meta-analiz, toprak tuzluluğu, kuraklık ve pH gibi abiyotik streslerin *Rhizobium* ve mikoriza uygulamalarından elde edilen olumlu etkileri sınırlayabildiğini göstermiştir. Bu durum, yararlı bakterilerin abiyotik stres yönetiminde kullanımında tek bir bakteri suşunun veya uygulama yönteminin bütün koşullar için doğrudan önerilemeyeceğini ve bitki–bakteri–çevre etkileşimlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Duan et al., 2024; Iqbal et al., 2025).

Kontrollü koşullarda elde edilen olumlu sonuçların tarla koşullarına aktarılması da önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Sera, saksı veya iklim kabini çalışmalarında stres düzeyi ve diğer çevresel faktörlerin daha kolay kontrol edilebilmesine karşılık, tarla koşullarında toprak özellikleri, sıcaklık, nem ve mevcut mikrobiyal topluluklar gibi çok sayıda değişken aynı anda etkili olabilmektedir. Nitekim; bakla üzerinde yürütülen bir çalışmada, farklı kuraklık düzeyleri altında *Bacillus megaterium* ve *Azospirillum lipoferum* uygulamalarının bitkinin bazı fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, çalışmanın kontrollü iklim kabini koşullarında yürütülmüş olması, elde edilen sonuçların farklı toprak ve çevre koşullarında da benzer şekilde ortaya çıkıp çıkmayacağının ayrıca değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu durum, yararlı bakterilerin tarımsal uygulamalarda kullanım potansiyelinin belirlenmesinde kontrollü koşullardaki çalışmaların yanı sıra farklı çevrelerde yürütülecek tarla denemelerine de ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Çirka et al., 2022).

Uygulanan bakterilerin etkinliği, inokulasyon sonrasında bitkinin ve çevrenin mevcut koşullarından da etkilenebilmektedir. Özellikle baklagillerde nodül oluşumu ve biyolojik azot fiksasyonu; su durumu, sıcaklık ve bitki genotipi gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Soya üzerinde yürütülen iki yıllık bir çalışmada, farklı sulama düzeyleri, çeşitler ve *Rhizobium* inokulantları birlikte değerlendirilmiş ve *Rhzobiumların* nodül oluşturma performansının sulama uygulamaları ile yüksek sıcaklık koşullarından etkilendiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, uygun bir bakteri suşunun seçilmesinin tek başına yeterli olmayabileceğini ve inokulasyonun başarısının çevre koşulları ile bitkinin özellikleri birlikte değerlendirilerek ele alınması gerektiğini göstermektedir (Yaraşır et al., 2024).

Bakteriyel uygulamaların başarısını etkileyen bir diğer sınırlılık da kullanılan preparatların depolama, taşıma ve uygulama sırasında canlılığını ve etkinliğini koruyabilmesidir. Yararlı bakterilerin bitkiye ulaştığında yeterli sayıda ve metabolik olarak aktif durumda olması, uygulamadan beklenen etkinin ortaya çıkması açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte, kullanılan taşıyıcı materyallerin özellikleri ve formülasyonun stabilitesi, bakterilerin canlılığını ve uygulama sürecindeki etkinliğini etkileyebilmektedir. PGPR inokulantlarının laboratuvar ve sera koşullarından tarla uygulamalarına aktarılmasını değerlendiren çalışmalarda, uygun olmayan formülasyon ve yetersiz raf ömrünün inokulantların etkinliğinde tutarsızlıklara neden olabildiği bildirilmektedir. Bu durum, yararlı bakterilerin tarımsal kullanımında yalnızca etkili suşların belirlenmesinin yeterli olmadığını, aynı zamanda bakterinin canlılığını uygulama aşamasına kadar koruyabilecek uygun formülasyonların geliştirilmesinin de gerekli olduğunu göstermektedir (Fadiji et al., 2024).

Yararlı bakterilerin uygulanmasında kullanılan doz, uygulama zamanı ve uygulama yöntemlerindeki farklılıklar da elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını ve tarımsal uygulamalara aktarılmasını güçleştiren önemli bir sınırlılıktır. Farklı çalışmalarda inokulantların bakteri yoğunluğu, uygulama zamanı ve tohum kaplama veya toprağa uygulama gibi yöntemler açısından farklı protokollerin kullanılması, aynı bakteri için elde edilen sonuçların doğrudan karşılaştırılmasını zorlaştırabilmektedir. Bitki gelişimini teşvik eden mikroorganizmaların tarla koşullarındaki etkinliğinin değerlendirilmesine yönelik çalışmalar, inokulant konsantrasyonu, uygulama zamanı ve uygulama tekniğinin standartlaştırılmasının daha güvenilir sonuçlara ulaşılması açısından gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle yararlı bakterilerin tarımsal kullanımında yalnızca uygun bakteri suşunun belirlenmesi değil, aynı zamanda etkili dozun, uygulama zamanının ve uygulama yönteminin de belirlenmesi gerekmektedir (Neuhoff et al., 2024).

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Baklagillerde yararlı bakterilerin kullanımı, bitki gelişiminin desteklenmesi, biyolojik azot fiksasyonunun sürdürülmesi ve kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi abiyotik stres koşullarının olumsuz etkilerinin azaltılması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

İncelenen çalışmalar, yararlı bakterilerin kök ve sürgün gelişimi, nodül oluşumu, su ve iyon dengesi, antioksidan savunma ve verim gibi birçok özelliği olumlu yönde etkileyebildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen sonuçların bakteri suşu, bitki genotipi, stres düzeyi, çevre koşulları ve uygulama özelliklerine göre değişebilmesi, yararlı bakteri uygulamalarının her koşulda aynı sonucu verecek standart bir yaklaşım olarak değerlendirilmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

İncelenen çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, yararlı bakterilerin baklagillerde abiyotik stres toleransını destekleyebildiği, ancak bu etkinin her koşulda aynı düzeyde ortaya çıkmadığı görülmektedir. Bakteri suşunun özellikleri, bitki genotipi, stresin şiddeti ve süresi, toprak ve çevre koşulları ile uygulama dozu ve yöntemi elde edilen sonuçları etkileyebilmektedir. Bu nedenle yararlı bakteri uygulamalarının yalnızca bakterinin bitki üzerindeki olumlu etkileri üzerinden değil, farklı koşullardaki etkinliği, tekrarlanabilirliği ve tarımsal uygulanabilirliği birlikte dikkate alınarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, baklagillerde yararlı bakterilerin abiyotik stres koşullarındaki kullanımına yönelik çalışmalarda, öncelikle bakteri suşu ile bitki genotipi arasındaki uyumun belirlenmesine ve farklı stres düzeylerinde bu ilişkinin değerlendirilmesine önem verilmelidir. Denemelerin yalnızca kontrollü ortamlarla sınırlandırılmayarak farklı çevre koşullarında ve tarla koşullarında tekrarlanması, elde edilen sonuçların tarımsal koşullardaki karşılığının ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır. Bunun yanında, bakteri dozu, uygulama zamanı ve uygulama yöntemlerinin birlikte değerlendirilmesi; inokulantların canlılığını koruyabilecek formülasyonların geliştirilmesi ve tek bakteri uygulamalarının yanı sıra farklı yararlı bakterilerden oluşturulan konsorsiyumların karşılaştırılması önerilmektedir. Özellikle kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi streslerin tek başına değil, doğal koşullarda birlikte ortaya çıkabildiği durumların dikkate alınması, yararlı bakterilerin baklagillerdeki gerçek stres toleransına katkısının daha kapsamlı değerlendirilmesine olanak sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Agbodjato, N. A., & Babalola, O. O. (2024). Promoting sustainable agriculture by exploiting plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) to improve maize and cowpea crops. *PeerJ*, 12, e16836. https://doi.org/10.7717/peerj.16836

Basu, S., Kumari, S., Subhadarshini, P., Rishu, A. K., Shekhar, S., & Kumar, G. (2023). Plant growth promoting rhizobacterium *Bacillus* sp. BSE01 alleviates salt toxicity in chickpea (*Cicer arietinum* L.) by conserving ionic, osmotic, redox and hormonal homeostasis. *Physiologia Plantarum*, 175(6), e14076. https://doi.org/10.1111/ppl.14076

Ben Gaied, R., Sbissi, I., Tarhouni, M., & Brígido, C. (2024). Enhancing *Pisum sativum* growth and symbiosis under heat stress: the synergistic impact of co-inoculated bacterial consortia and ACC deaminase-lacking *Rhizobium*. *Archives of Microbiology*, 206(5), 203. https://doi.org/10.1007/s00203-024-03943-3

Bouzroud, S., Henkrar, F., Fahr, M., & Smouni, A. (2023). Salt stress responses and alleviation strategies in legumes: a review of the current knowledge. *3 Biotech*, 13(8), 287. https://doi.org/10.1007/s13205-023-03643-7

Çirka, M., Tunçtürk, R., Kulaz, H., Tunçtürk, M., Eryiğit, T., & Baran, İ. (2022). Kuraklık stresi altında yetiştirilen bakla (*Vicia faba* L.) bitkisinde rizobakteri ve alg uygulamalarının bitki gelişimi üzerindeki etkilerinin incelenmesi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 1124-1133. https://doi.org/10.21597/jist.1076428

Danial, A. W., & Basset, R. A. (2024). Amelioration of NaCl stress on germination, growth, and nitrogen fixation of *Vicia faba* at isosmotic Na–Ca combinations and *Rhizobium*. *Planta*, 259(3), 69. https://doi.org/10.1007/s00425-024-04343-z

da Silva, F. B., Barbosa, J. Z., Tiecher, T., Borin, J. B. M., Treichel, B., & de Sá, E. L. S. (2024). Species-dependent effect of rhizobacteria co-inoculation in legume plants: A global meta-analysis. *Rhizosphere*, 30, 100869. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2024.100869

da Silva, H. A. P., Caetano, V. S., Pessôa, D. D. V., Pacheco, R. S., Meneses, C. H. S., & Simões-Araújo, J. L. (2024). Unraveling the drought-responsive transcriptomes in nodules of two common bean genotypes during biological nitrogen fixation. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1345379. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1345379

de Lima, B. C., Bonifacio, A., de Alcantara Neto, F., Araujo, F. F., & Araujo, A. S. F. (2022). *Bacillus subtilis* rhizobacteria ameliorate heat stress in the common bean. *Rhizosphere*, 21, 100472. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2022.100472

Duan, H. X., Luo, C. L., Wang, X., Cheng, Y. S., Abrar, M., & Batool, A. (2024). Responses of legumes to rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi under abiotic stresses: a global meta-analysis. *Agronomy*, 14(11), 2597. https://doi.org/10.3390/agronomy14112597

El-Saadony, M. T., Saad, A. M., Mohammed, D. M., Fahmy, M. A., Elesawi, I. E., Ahmed, A. E., ... & El-Tarabily, K. A. (2024). Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria alleviate drought stress and enhance soil health for sustainable agriculture: A comprehensive review. *Plant Stress*, 14, 100632. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100632

Etesami, H., & Santoyo, G. (2025). Boosting *Rhizobium*-legume symbiosis: The role of nodule non-rhizobial bacteria in hormonal and nutritional regulation under stress. *Microbiological Research*, 297, 128192. https://doi.org/10.1016/j.micres.2025.128192

Fadiji, A. E., Xiong, C., Egidi, E., & Singh, B. K. (2024). Formulation challenges associated with microbial biofertilizers in sustainable agriculture and paths forward. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 3(3), e70006. https://doi.org/10.1002/sae2.70006

Gouli, S., Majeed, A., Liu, J., Moseley, D., Mukhtar, M. S., & Ham, J. H. (2024). Microbiome structures and beneficial bacteria in soybean roots under field conditions of prolonged high temperatures and drought stress. *Microorganisms*, 12(12), 2630. https://doi.org/10.3390/microorganisms12122630

Iqbal, N., Brien, C., Jewell, N., Berger, B., Zhou, Y., Denison, R. F., & Denton, M. D. (2025). Chickpea displays a temporal growth response to *Mesorhizobium* strains under well-watered and drought conditions. *Physiologia Plantarum*, 177(1), e70041. https://doi.org/10.1111/ppl.70041

Jafarullakhan, S. S., Vijayakumar, V., Singh, K. V., Saravanan, N. A., Seshadri, G., Chockalingam, V., Muthurajan, R., Rathinavelu, S., & Rajaprakasam, S. (2024). Salinity tolerance in legumes: classical and molecular breeding perspectives. In *Agronomy and Horticulture Annual Volume 2025*. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.114944

Jha, U. C., Priya, M., Naik, Y. D., Nayyar, H., Thudi, M., Punnuri, S. M., ... & Prasad, P. V. (2024). Major abiotic stresses on quality parameters in grain legumes: Impacts and various strategies for improving quality traits. *Environmental and Experimental Botany*, 228, 105978. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105978

Khoso, M. A., Wagan, S., Alam, I., Hussain, A., Ali, Q., Saha, S., Poudel, S. R., Manghwar, H., & Liu, F. (2024). Impact of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) on plant nutrition and root characteristics: Current perspective. *Plant Stress*, 11, 100341. https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100341

Lin, T., Haider, F. U., Liu, T., Li, S., Zhang, P., Zhao, C., & Li, X. (2025). Salt tolerance induced by plant growth-promoting rhizobacteria is associated with modulations of the photosynthetic characteristics, antioxidant system, and rhizosphere microbial diversity in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Agronomy*, 15(2), 341. https://doi.org/10.3390/agronomy15020341

Machado, J., Nunes da Silva, M., Vasconcelos, M. W., & Santos, C. S. (2025). The impact of climate change-induced abiotic stresses on the nutritional quality of legume seeds. *Journal of Experimental Botany*, 76(12), 3288-3310. https://doi.org/10.1093/jxb/eraf085

Megu, M., Paul, A., & Deb, C. R. (2024). Isolation and screening of stress tolerant and plant growth promoting root nodulating rhizobial bacteria from some wild legumes of Nagaland, India. *South African Journal of Botany*, 168, 260-269. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.03.021

Meza, C., Valenzuela, F., Yáñez, M., Cabeza, R. A., Ramos, P., Plaza, A., ... & Banerjee, A. (2025). Auxin producing plant growth promoting bacteria enhance temperature stress tolerance in Chilean common bean landraces. *Scientific Reports*, 15(1), 30359. https://doi.org/10.1038/s41598-025-15645-x

Mondal, H. K., & Gera, R. (2024). Screening for drought-tolerant mungbean root nodule bacteria with multiple plant growth promoting traits in Aridisol. *Applied Soil Ecology*, 201, 105510. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105510

Neuhoff, D., Neumann, G., & Weinmann, M. (2024). Testing plant growth promoting microorganisms in the field-a proposal for standards. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1324665. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1324665

Porter, S. S., Dupin, S. E., Denison, R. F., Kiers, E. T., & Sachs, J. L. (2024**).** Host-imposed control mechanisms in legume–rhizobia symbiosis. *Nature Microbiology*, 9(8), 1929-1939. https://doi.org/10.1038/s41564-024-01762-2

Sathya, A., Rehman, V., Srinivas, V., Kudapa, H., & Gopalakrishnan, S. (2024). Efficacy of two different microbial consortia on salinity tolerance in chickpea: an in-planta evaluation on biochemical, histochemical, and genomic aspects. *3 Biotech*, 14(11), 285. https://doi.org/10.1007/s13205-024-04124-1

Shaffique, S., Shah, A. A., Peter, O., Injamum-Ul-Hoque, M., Elansary, H. O., Kang, S. M., ... & Lee, I. J. (2024). The rhizobacterial *Priestia megaterium* strain SH-19 mitigates the hazardous effects of heat stress via an endogenous secondary metabolite elucidation network and molecular regulation signalling. *BMC Plant Biology*, 24(1), 827. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05534-2

Sher, A., Noor, M. A., Li, H. X., Nasir, B., Manzoor, M. A., Hussain, S., Zhang, J., Riaz, M. W., & Hussain, S. (2024). Heat stress effects on legumes: challenges, management strategies and future insights. *Plant Stress*, 13, 100537. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100537

Yaraşır, N., Yiğit, A., & Erekul, O. (2024). Yield and quality responses of soybean (*Glycine max* L. Merr.) varieties inoculated with rhizobia strains under drought stress. *Turkish Journal of Field Crops*, 29(2), 165-176. https://doi.org/10.17557/tjfc.1550335

Yeremko, L., Czopek, K., Staniak, M., Marenych, M., & Hanhur, V. (2025). Role of environmental factors in legume-rhizobium symbiosis: A review. *Biomolecules*, 15(1), 118. https://doi.org/10.3390/biom15010118

Yu, X., & Zhu, H. (2025). Enacting partner specificity in legume–rhizobia symbioses. *Abiotech*, 6(2), 311-327. https://doi.org/10.1007/s42994-024-00193-1

Zamani, F., Hosseini, N. M., Oveisi, M., Arvin, K., Rabieyan, E., Torkaman, Z., & Rodriguez, D. (2024). Rhizobacteria and phytohormonal interactions increase drought tolerance in *Phaseolus vulgaris* through enhanced physiological and biochemical efficiency. *Scientific Reports*, 14(1), 30761. https://doi.org/10.1038/s41598-024-79422-y

TIME TO MEDICAL CONSULTATION IN HEART FAILURE: GENDER DIFFERENCES IN CARE-SEEKING BEHAVIOR

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Hygiene Department, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Cardiology Department, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Hygiene Department, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Cardiology Department, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Cardiology Department, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Hygiene Department, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Cardiology Department, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Hygiene Department, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Cardiology Department, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Hygiene Department, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Cardiology Department, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Hygiene Department, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Delayed care-seeking is a major barrier to timely HF diagnosis and management. Gender differences in pain perception, symptom attribution, and healthcare access may influence the time from symptom onset to initial medical consultation. Understanding these delays can help design targeted early warning campaigns for HF.

Objectives: To analyze gender differences in symptom-to-consultation delay in HF patients and to assess whether delayed care-seeking correlates with disease severity or adherence behaviors.

Methods: Duration from first symptoms to diagnosis was categorized as ≤1 hour, 1–2 hours, 3–4 hours, or ≥5 hours. Gender-stratified comparison was performed using Chi-square tests in 1,288 HF patients.

Results: Consultation within 3–4 hours of symptoms was significantly more frequent in men (23.5% vs. 16%, OR=0.620, p=0.001). No significant gender differences were found for other time categories. This finding may reflect that women delay seeking care in the 3–4 hour window, possibly due to domestic responsibilities or greater symptom normalization.

Conclusion: Men seek HF medical consultation more promptly in the 3–4 hour window, while women show a tendency toward delayed care. Gender-specific public health messaging emphasizing HF warning signs and empowering women to seek timely care is essential for early diagnosis and prognosis improvement.
Keywords: Care-seeking behavior, Symptom delay, Heart failure, Gender differences, Early diagnosis, Public health

THE HOMEMAKER PHENOTYPE: A HIGH-RISK PROFILE FOR NON-ADHERENCE IN HEART FAILURE

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Homemakers, predominantly women, represent a distinctive sociodemographic profile in HF cohorts. Despite the perception that homemakers may have more time for medication management, multiple barriers including social isolation, limited financial autonomy, competing household responsibilities, and restricted access to healthcare may impair their adherence. This 'homemaker phenotype' of non-adherence deserves clinical recognition.

Objectives: To characterize the clinical and social profile of homemaker HF patients and to assess their adherence risk relative to other professional categories.

Methods: Professional status was documented for 1,288 HF patients and compared across adherence categories using Chi-square tests and odds ratios. Socioeconomic and clinical correlates of homemaker status were also analyzed.

Results: Being a homemaker was significantly associated with poor adherence (OR=1.995, IC95% [1.237–3.218], p=0.004). Among homemakers, 57.5% showed poor adherence — the highest rate of any professional category. Homemakers were predominantly women, associated with lower income, higher illiteracy, and greater family caregiving responsibilities.

Conclusion: The homemaker phenotype represents a high-risk profile for HF non-adherence that is distinct from general female vulnerability. Dedicated outreach programs offering home visits, caregiver

training, and financial support for homemakers with HF could significantly reduce the adherence burden in this underserved group.
Keywords: Homemaker, Gender, Therapeutic adherence, Heart failure, Social vulnerability, Outreach programs

EPIDEMIOLOGICAL PROFILE OF HEART FAILURE IN SFAX: AGE, GENDER, AND COMORBIDITY BURDEN

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

Introduction: The epidemiological profile of HF in Tunisia reflects a demographic and nutritional transition characterized by an increasing prevalence of cardiovascular risk factors including hypertension, diabetes, and obesity. Data from the Sfax region suggest that HF in this population presents earlier than in European registries and carries a heavier comorbidity burden, with distinct gender patterns in risk factor distribution.

Objectives: To describe the comprehensive epidemiological profile of HF patients followed at Hedi Chaker University Hospital, including age, gender distribution, cardiovascular risk factors, and comorbidities.

Methods: Descriptive analysis was conducted on 1,288 adult HF patients. Variables included age, gender, BMI, social coverage, physical activity, education, and all documented comorbidities. Continuous variables were presented as medians with IQR; categorical variables as frequencies and percentages.

Results: The median age was 66 years (IQR 59–74), with male predominance (63.7%). Arterial hypertension affected 48.5%, diabetes was present in a substantial proportion, and ischemic etiology was most common (55.2%).

Women showed a more adverse socioeconomic profile including higher illiteracy (43.8% vs. 19.5%) and poverty rates (46.6% vs. 26.5%).
Conclusion: HF in Sfax presents with a young-to-middle-aged median age, male predominance, and a complex comorbidity landscape. Women represent a particularly vulnerable subgroup with compounded socioeconomic and clinical disadvantages. These findings should inform regional HF prevention and care strategies.
Keywords: Epidemiology, Heart failure, Sfax, Comorbidities, Gender, Tunisia

LIVING ARRANGEMENTS AND PARENTAL SUPERVISION AS PREDICTORS OF IGD IN TUNISIAN YOUTH

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: Parental supervision is a known protective factor against adolescent behavioral disorders. The specific living arrangements of Tunisian youth and their implications for IGD risk have not been systematically studied.

Objective: To assess how living arrangements and indicators of parental supervision are associated with IGD in a Tunisian adolescent sample.

Methods: Cross-sectional data from 670 students in Sfax were analyzed. Living arrangement was categorized into five types: with both parents, with father only, with mother only, with grandparents, or in boarding school. Associations with IGD (IGDT-10) were examined using appropriate statistical tests.

Results: Students living with both parents constituted 88.1% of the sample and had lower IGD prevalence (OR=0.598; p=0.065). Living with the father only was the most significant living arrangement predictor of IGD (OR=4.841; p=0.019). Only 1.6% lived in boarding schools and 0.7% with grandparents. No students living with grandparents had IGD. 40.3% of students used the internet unsupervised during class time, reflecting reduced external monitoring.
Conclusion: Living arrangements and parental supervision quality are important predictors of IGD in Tunisian adolescents. Reduced dual-parental supervision, as seen in single-father households, may leave adolescents more vulnerable. Parenting programs that support consistent monitoring of digital activities should be included in IGD prevention frameworks.

FROM ENTERTAINMENT TO ADDICTION: GAMING DISORDER AMONG TUNISIAN ADOLESCENTS

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: Internet Gaming Disorder (IGD) has emerged as a significant public health concern, particularly among adolescents. Despite its growing recognition worldwide, limited data exist on its prevalence within North African populations, including Tunisia.

Objective: This study aimed to determine the prevalence of IGD among middle and high school students in the Sfax region of Tunisia and to describe the sociodemographic profile of affected individuals.

Methods: A descriptive cross-sectional study was conducted among 670 students aged 11–19 years enrolled in public schools in Sfax during the 2024–2025 academic year.

A three-stage sampling procedure was applied. IGD was assessed using the Ten-Item IGD Test (IGDT-10), with a cutoff score of ≥5 indicating clinically relevant IGD, in accordance with DSM-5 criteria.
Results: The overall prevalence of IGD was 17.4% (n=116). The majority of participants were male (sex ratio 0.68). The median age was 16 years. Male gender was the strongest sociodemographic predictor (OR=5.102; 95% CI [3.289–7.936]; p<0.001). Playing online video games was the most powerful behavioral predictor (OR=88.029; 95% CI [12.209–634.721]; p<0.001). Younger students, particularly those in 7th grade, showed significantly higher risk (OR=2.183; p=0.012).
Conclusion: IGD affects approximately 1 in 16 adolescents in the Sfax region, with male gender and online gaming being the strongest risk factors. These findings underscore the need for targeted school-based prevention strategies and greater awareness among educators, families, and health professionals in Tunisia.

INTERNET GAMING DISORDER AND ITS ASSOCIATION WITH DEPRESSION, ANXIETY, AND STRESS AMONG TUNISIAN ADOLESCENTS

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: Comorbid mental health conditions frequently accompany IGD, yet their co-occurrence in adolescent populations in North Africa has not been adequately studied. Understanding these associations is essential for designing integrated mental health interventions.

Objective: To examine the associations between IGD and depression, anxiety, and stress among middle and high school students in Sfax, Tunisia.

Methods: A cross-sectional study was conducted among 670 adolescents. IGD was assessed using the IGDT-10. Depression, anxiety, and stress were measured using the Depression Anxiety Stress Scale-21 (DASS-21).

Spearman correlation analyses were performed to assess the relationships between IGD scores and DASS-21 subscales.

Results: IGD was positively correlated with depression (rho=0.183; p<0.001), anxiety (rho=0.130; p=0.001), and stress (rho=0.144; p<0.001). Among participants, 51.3% reported some degree of depression and 7.9% showed extremely severe anxiety. Approximately 26.1% reported stress above normal levels. Students with IGD demonstrated significantly higher scores across all three DASS-21 subscales.

Conclusion: IGD co-occurs significantly with depression, anxiety, and stress among Tunisian adolescents. These findings support the need for holistic approaches to adolescent mental health in Tunisia that simultaneously address problematic gaming and psychological distress, ideally through school-embedded programs that can identify at-risk students early.

INTERNET GAMING DISORDER AND ACADEMIC PERFORMANCE AMONG MIDDLE AND HIGH SCHOOL STUDENTS IN TUNISIA

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

Background: Academic impairment is one of the core consequences of IGD identified in the DSM-5. Understanding how gaming disorder relates to school performance in Tunisian adolescents is important for educational policy and school counseling.

Objective: To explore the relationship between IGD and academic performance indicators among school students in Sfax, Tunisia.
Methods: 670 students completed a survey including IGDT-10, academic performance data (previous year grades and history of grade repetition), and school-level information. Chi-square tests and odds ratios were used to assess associations.

Results: 75.4% of students had never repeated a grade, but among IGD-positive students, academic disruption was more common. Being in 7th grade was significantly associated with IGD (OR=2.183; p=0.012), possibly reflecting reduced supervision at this transition level. School jeopardization was endorsed as a frequent IGD criterion by 9.9% of students. Attending High School Pilote Sfax was protective (OR=0.459; p=0.018), potentially reflecting stronger academic culture.
Conclusion: IGD is associated with academic risk indicators in Tunisian adolescents, particularly in early secondary school grades. Integration of IGD screening into school counseling and academic monitoring systems could allow early identification and support for affected students before academic consequences become irreversible.

IMPACT OF PHARMACIST'S INTERVENTION ON TYPE 2 DIABETES PATIENTS' OUTCOMES

Tolulope AREMU
Federal University Oye-Ekiti

Educating patients with type 2 diabetes about diabetes knowledge, medication adherence, and self-care management is essential. This study aimed to assess the impact of pharmacist-led educational interventions on medication adherence, diabetes knowledge, and self-care management among outpatients with type 2 diabetes at two selected tertiary healthcare facilities in Ekiti State, Nigeria.

ABSTRACT

The study was a prospective, pharmacist-led educational intervention. One hundred and fifty-two consenting type 2 diabetes outpatients who met the eligibility criteria were recruited. Seventy-six patients were randomized into the intervention group and seventy-six patients in the control group. Intervention group interacted with the pharmacist either face-to-face or by phone. Data were collected with validated tools on medication adherence, diabetes knowledge, diabetes self-care activities. SPSS version 20 was used for descriptive and inferential analysis of data. P-values < 0.05 were considered significant.

Mean age of respondents was 62.3 years. Majority (90.1%) were aged 50 and above, females (74.3%), married (73.0%), and had tertiary level of education (58.6%). There was a statistically significant improvement in medication adherence ($P = 0.008$), diabetes knowledge ($P < 0.001$) and self-care management behavior ($P < 0.001$) among participants in intervention groups compared to the control group post-intervention. There was a significant change in medication adherence across the three time points—pre-intervention, post-intervention, and follow-up ($\chi^2 = 33.158$, $P < 0.001$). Both face-to-face and phone-based interventions led to improvements in participants medication adherence, self-management, and diabetes -related knowledge.

Pharmacist-led interventions had a significant impact on respondents' adherence to refills and medications, self-care management activities and knowledge of diabetes. The study outcomes highlighted the need for interventions by pharmacists that improve diabetes patient outcomes.

Keywords: Type 2 diabetes, pharmacist, medication adherence, diabetes knowledge, self-care.

INSECTICIDAL EFFECT OF COMBRETUM INDICUM ETHANOLIC PLANT EXTRACT AND THEIR ZNONPS AGAINST RED FLOUR BEETLE (TRIBOLIUM CASTANEUM)

Sibgha ZİA
Federal University Oye-Ekiti

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Stored grain pests, particularly Tribolium castaneum, reduce grain quality and cause economic losses. This study evaluated the insecticidal activity of Combretum indicum ethanolic leaf extract and green-synthesized ZnO nanoparticles (ZnONPs) against T. castaneum.

Materials and Methods: Fumigation toxicity assays were performed at different concentrations and exposure times (24, 48 and 72 h). GC-MS identified bioactive compounds, while FTIR and Zetasizer characterized ZnONPs.

Results: The ethanolic extract achieved up to 95% mortality after 72 h, whereas ZnONPs produced up to 98% mortality and showed superior insecticidal activity.

Discussion and Conclusion: Green-synthesized ZnONPs were more effective than the crude extract and offer a sustainable alternative for stored-grain pest management.
Keywords: Combretum indicum; Tribolium castaneum; ZnONPs; GC-MS; FTIR

INFRAZYGOMATIC MINISCREWS IN ORTHODONTIC PRACTICE: CONCEPTS, TECHNIQUES, AND CLINICAL APPLICATIONS

Mahmoud ELSAAFİN
George Emil Palade University of Medicine

ABSTRACT

infrazygomatic crest (izc) miniscrews represent a modern and efficient form of temporary skeletal anchorage, enabling predictable orthodontic tooth movement with minimal patient compliance. their position in the buccal posterior maxilla allows for biomechanics that are difficult or impossible with conventional anchorage methods, particularly in cases requiring en-masse distalization, molar intrusion, correction of class ii malocclusion, and vertical control in hyperdivergent patients. this presentation provides a practical and evidence-based overview of izc miniscrews, including anatomical considerations, ideal insertion sites, angulation, screw dimensions, and safe clinical protocols to minimize complications. key biomechanical concepts will be discussed, focusing on force vectors, hook positioning, and the integration of izc anchorage with fixed appliances and aligner-assisted treatments. through selected clinical cases, the lecture highlights indications, step-by-step technique, and treatment outcomes, emphasizing the role of izc miniscrews as a versatile tool for enhancing efficiency, reducing treatment time, and expanding the limits of non-extraction and non-surgical orthodontic approaches.**Keywords:** infrazygomatic crest; miniscrews; temporary anchorage devices; distalization; molar intrusion; skeletal anchorage

FROM METABOLIC CONTROL TO ADAPTIVE CAPACITY IN PEDIATRIC TYPE 1 DIABETES:

AN INTEGRATIVE ONE HEALTH FRAMEWORK FOR RESILIENCE AND ANTIFRAGILITY

Alexandra PİNTEA
Victor Babes University of Medicin and Farmacy of Timisoara

ABSTRACT

Background: Pediatric type 1 diabetes (T1D) requires continuous metabolic control, yet its biological and contextual variability continuously demonstrates the limits of total control. Long-term adaptation therefore depends not only on glycemic outcomes, but also on the child's and family's capacity to self-regulate, make decisions under uncertainty, learn from experience, and progressively develop autonomy.

Goal: To integrate findings from two complementary research directions—therapeutic education and longitudinal integrative support—and to propose a One Health framework shifting the focus from disease-centered control towards adaptive capacity, resilience, and antifragility.

Methods: Data from a therapeutic education study were conceptually integrated with observations from a longitudinal pediatric T1D case. The model included biological, psychological, behavioral, family, educational, social, and environmental dimensions. Antifragility was operationalized as the progressive development of adaptive competence through variability, feedback, reflection, and learning, while adaptive intelligence informed the interpretation of practical decision-making under uncertainty.

Results: Resilience showed a very strong association with antifragility ($r = 0.93$, $p < 0.001$), while autonomy was also strongly associated with antifragility ($r = 0.83$). Participants reported learning from difficult episodes, increased confidence after managing complex situations, greater tolerance of uncertainty, behavioral flexibility, and an improved ability to transform challenges into practical solutions. The longitudinal case illustrated the non-linear character of adaptation and the progressive transition from external supervision toward self-regulation and autonomy.

Conclusion: Metabolic control remains essential, but it should not be the sole developmental endpoint of pediatric diabetes care. Therapeutic education can progressively transform external control into internal capacity. Within an integrative One Health framework, resilience supports functioning, while antifragility may represent a higher formative horizon: learning, reorganizing, and becoming more competent through appropriately processed variability and challenge.
Beyond controlling diabetes, the goal is to build the capacity to live beyond it.

GENDER DISPARITIES IN HEART FAILURE MANAGEMENT: EVIDENCE FROM A LARGE TUNISIAN COHORT

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Gender-based inequalities in cardiovascular medicine have been documented worldwide, but data from North African countries remain sparse. In Tunisia, the MEA-WCVD registry has highlighted that women with cardiovascular disease face multiple socioeconomic vulnerabilities including lower education, lower income, and less comprehensive insurance coverage. These inequalities are compounded by clinical differences in HF presentation and management between men and women.

Objectives: To characterize gender-based disparities in clinical profiles, therapeutic prescriptions, hospitalization rates, and adherence patterns among HF patients followed at a Tunisian university hospital.

Methods: This retrospective comparative study included 1,288 HF patients (820 men, 468 women) followed at the cardiology department of Hedi Chaker University Hospital, Sfax. Demographic, clinical, echocardiographic, and therapeutic variables were compared between genders using Chi-square tests, Fisher's exact test, Student's t-test, and Mann-Whitney tests as appropriate.

Results: Women with HF were more likely to present heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) (37.8% vs. 21.8%, $p < 0.001$), with more frequent valvular (15.6% vs. 8.8%), hypertensive (14.1% vs. 5.6%), and arrhythmic (11.3% vs. 4.6%) etiologies. Men more frequently had ischemic etiology (62.1% vs. 41%). Women were less frequently prescribed ACE inhibitors/ARBs and SGLT2 inhibitors, but more often received furosemide, digoxin, and anticoagulants.
Conclusion: Important gender disparities exist in the clinical profile and therapeutic management of HF patients in Sfax. Women appear more likely to be undertreated with evidence-based therapies, reinforcing the need for gender-sensitive cardiac care protocols in Tunisian healthcare settings.
Keywords: Heart failure, Gender disparities, HFpEF, Cardiovascular management, Tunisia

THERAPEUTIC ADHERENCE IN HEART FAILURE: A GENDER-SENSITIVE ANALYSIS AT HEDI CHAKER UNIVERSITY HOSPITAL, SFAX, TUNISIA

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Heart failure (HF) is a growing public health burden in North Africa, with Tunisia witnessing an increasing prevalence of cardiovascular disease. At the Hedi Chaker University Hospital in Sfax, HF patients present with complex comorbidity profiles and variable adherence to prescribed therapies. Gender is recognized as a determinant of cardiovascular outcomes, yet gender-stratified analyses of therapeutic adherence remain limited in the Tunisian context.

Objectives: This study aimed to evaluate the level of therapeutic adherence among HF patients followed at Hedi Chaker University Hospital in Sfax, to analyze gender-based disparities, and to identify clinical and sociodemographic factors associated with poor therapeutic adherence.

Methods: A retrospective, descriptive, comparative, and analytical study was conducted on 1,288 adult HF patients. Data were collected through structured interviews using a standardized questionnaire. Statistical analyses included descriptive statistics, Chi-square tests, Fisher's exact test, Mann-Whitney U test, and bivariate analysis using odds ratios with 95% confidence intervals. Significance was set at $p < 0.05$.

Results: The median patient age was 66 years, with male predominance (63.7%). Ischemic etiology dominated (55.2%). Overall, 41.7% of patients had poor therapeutic adherence. Poor adherence was significantly more frequent among men (47% vs. 32.5%, $p < 0.001$). Low socioeconomic status, absence of national health insurance, disability, low physical activity, chronic kidney disease on dialysis, psychiatric disorders, and preserved ejection fraction were independently associated with poor adherence.

Conclusion: Therapeutic adherence in HF is shaped by complex socioeconomic, clinical, and behavioral factors. A significant gender dimension was observed. Differentiated strategies including gender-sensitive education, social protection reinforcement, and treatment simplification are essential to improve outcomes in HF patients in Sfax.
Keywords: Heart failure, Therapeutic adherence, Gender, Socioeconomic factors, Tunisia, Sfax

GENDER, HEART, AND TREATMENTS: WHEN THERAPEUTIC ADHERENCE BEATS TO THE RHYTHM OF INEQUALITIES IN HEART FAILURE PATIENTS

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Background: Heart failure (HF) represents a major public health challenge in Tunisia, characterized by early onset, a high burden of comorbidities, and documented gender-based inequalities. In Sfax, approximately 42% of HF patients exhibit poor therapeutic adherence, significantly increasing the risk of rehospitalization.

Objective: This study aimed to assess the level of therapeutic adherence among HF patients followed at Hedi Chaker University Hospital in Sfax, while analyzing gender-based disparities and factors associated with poor adherence.

Methods: This was a retrospective, descriptive, comparative, and analytical study involving 1,288 adult patients diagnosed with HF and followed in the cardiology department of Hedi Chaker University Hospital in Sfax. Data were collected using a structured questionnaire and analyzed using SPSS software version 25. Descriptive analyses, gender-based comparisons (Chi-square test, Fisher's exact test, and Mann–Whitney test), and a bivariate analysis of factors associated with poor adherence were performed, with a significance threshold set at $p < 0.05$.

Results: The median patient age was 66 years, with a male predominance (63.7%). Arterial hypertension was the leading cardiovascular risk factor (48.5%), and ischemic etiology was the most prevalent (55.2%). Overall, therapeutic adherence was poor in 41.7% of patients. Women presented a more disadvantaged socioeconomic profile (low socioeconomic status: 46.6% vs. 26.5%; illiteracy: 43.8% vs. 19.5%), a higher prevalence of heart failure with preserved ejection fraction (37.8% vs. 21.8%), and a higher rate of prior rehospitalization. Paradoxically, poor adherence was significantly more frequent among men (47% vs. 32.5%, $p < 0.001$). Factors independently associated with poor adherence included low socioeconomic status, lack of national health insurance coverage, disability, low physical activity, chronic kidney disease on dialysis, psychiatric disorders, and preserved or mildly reduced ejection fraction.

Conclusion: Therapeutic adherence in HF is shaped by socioeconomic, clinical, and behavioral determinants, with a significant gender dimension. Differentiated strategies — including gender-sensitive therapeutic education, strengthened social protection, and treatment simplification — are essential to improve the management of HF patients in Sfax.
Keywords: Heart failure – Gender – Associated factors – Therapeutic adherence

HEART FAILURE WITH PRESERVED EJECTION FRACTION AND ITS ASSOCIATION WITH POOR THERAPEUTIC ADHERENCE

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF) represents a growing subtype of HF, particularly in women and older patients. Unlike HF with reduced ejection fraction (HFrEF), HFpEF is often underdiagnosed and lacks strong evidence-based therapeutic guidelines, which may complicate patient motivation for adherence. Understanding the relationship between ejection fraction and therapeutic adherence is critical to improving outcomes.

Objectives: To assess the association between left ventricular ejection fraction (LVEF) category and therapeutic adherence in a large HF cohort, and to explore whether HFpEF is specifically associated with poorer adherence outcomes.

Methods: This retrospective analytical study included 1,288 HF patients classified by LVEF into three groups: ≤40% (HFrEF), 41–49% (HFmrEF), and ≥50% (HFpEF). Bivariate analysis was performed to test the association between ejection fraction and adherence level, with Chi-square tests and logistic regression.

Results: HFpEF was significantly associated with poor therapeutic adherence (OR=3.653, p<0.001), as was HFmrEF (OR=1.826, p<0.001). Conversely, HFrEF (LVEF ≤40%) was associated with better adherence (OR=0.222, p<0.001). Women were more likely to have HFpEF (37.8% vs. 21.8%), which may partly explain their higher rates of moderate but lower rates of poor adherence.

Conclusion: Preserved ejection fraction is a significant predictor of poor therapeutic adherence in HF. Patients with HFpEF, who are predominantly women, may require tailored motivational strategies and clearer therapeutic targets to improve adherence in clinical practice.
Keywords: HFpEF, Ejection fraction, Therapeutic adherence, Heart failure, Gender, Motivational strategies

ENGINEERING MOF-BASED COMPOSITES FOR ENHANCED ELIMINATION OF CIPROFLOXACIN CONTAMINANTS IN WATER TREATMENT PROCESSES

Mohamed DAROUICHE
Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Manal CHANA-YOURAF
Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Mohamed RHAYA
Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Brahim ENNASRAOUI
Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Said ALAHIANE
Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco; Faculty of Applied Science, Ibn Zohr University, Ait Melloul, Morocco.

Amane JADA
Institute of Materials Science of Mulhouse (IS2M), Haute Alsace University, Mulhouse, France; Strasbourg University, Strasbourg, France.

Abdelaziz AIT ADDI
Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Hassan OUACHTAK
Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Science, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco; Faculty of Applied Science, Ibn Zohr University, Ait Melloul, Morocco.

Abstract
The increasing presence of emerging contaminants in water systems, including pharmaceutical compounds, synthetic dyes, and agrochemicals, represents a critical environmental concern. Antibiotics such as ciprofloxacin are particularly problematic owing to their environmental persistence, ecotoxicity, and role in promoting antimicrobial resistance [1]. In this context, Metal-Organic Frameworks (MOFs) have emerged as highly promising platforms for advanced water remediation, offering exceptional surface areas, tunable pore architectures, and rich chemical functionality that enable both superior adsorption and catalytic activity toward a broad spectrum of pollutants [2]. This work presents a comprehensive overview of recent progress in MOF design, synthesis strategies, and performance optimization for water purification applications, with particular focus on MOF-based composite systems coupled with photocatalytic mechanisms to achieve efficient degradation of recalcitrant pharmaceutical residues. Furthermore, eco-friendly synthesis routes leveraging bio-derived organic linkers, notably gallic acid, are examined as viable, sustainable pathways consistent with circular economy principles. Collectively, these advances position MOFs as key materials in the development of next-generation, environmentally responsible water treatment technologies.
Keywords: Metal–Organic Frameworks, Water Treatment, Photocatalysis, Environmental Remediation, Green Chemistry

References

[1] T. A. D. Beek et al., "Pharmaceuticals in the environment—Global occurrences and perspectives," Environmental Toxicology and Chemistry, vol. 35, no. 4, pp. 823–835, Dec. 2015, doi: 10.1002/etc.3339.

[2] E. Haque, N. A. Khan, and S. H. Jhung, "Adsorptive removal of emerging pollutants using metal–organic frameworks: Recent trends and perspectives," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 51, no. 7, pp. 2931–2959, 2022.

GROUP DYNAMICS AND CONFLICT MANAGEMENT IN ADULT EDUCATION: PROMOTING PSYCHOLOGICAL WELL-BEING AND A SUPPORTIVE LEARNING ENVIRONMENT.

PhD Candidate Fani KARATZIA
Social and Legal Sciences, Adult Education, University of Córdoba, Córdoba, Spain.

Sonia GARCIA SEGURA
Department of Education, Faculty of Education Sciences and Psychology, University of Córdoba, Córdoba, Spain.

Abstract

Effective functioning of educational groups is an important factor in supporting learning, communication, psychological well-being, and active participation among adult learners. This paper examines group dynamics in adult education, focusing on the stages of group development, patterns of group behaviour, roles adopted by group members, and dysfunctional behaviours that may emerge during the educational process. Particular attention is given to a case of an adult learning group experiencing a confrontation stage (storming), characterized by interpersonal conflicts, negative interactions, inadequate communication, questioning of the trainer's role, and difficulties in cooperation among participants.

The analysis draws on theoretical approaches to group dynamics, particularly Bion's theory of group behaviour, as well as fundamental principles of adult education associated with Knowles, Freire, and Mezirow. The study highlights the role of the adult educator as a facilitator of learning and as a mediator in managing interpersonal relationships and conflicts within the group. A supportive and psychologically safe learning environment is considered essential for effective communication, participation, cooperation, and the overall well-being of adult learners.

The paper proposes practical interventions aimed at restoring group cohesion and improving the learning environment. These include clarification of learning objectives and group rules, clarification of roles and responsibilities, promotion of open communication, active listening, constructive conflict management, and the development of trust and cooperation among participants. The findings suggest that effective management of group dynamics requires a combination of educational, communication, and interpersonal skills. Creating a supportive group environment can contribute not only to more effective learning but also to improved interpersonal relationships, psychological well-being, and active engagement of adult learners.

Keywords: Adult Education, Group Dynamics, Group Behaviour, Adult Learners, Conflict Management, Group Cohesion, Communication, Psychological Well-being, Learning Environment, Adult Educator.

SYNTHESIS AND MOLECULAR INVESTIGATION OF A NEW HETEROCYCLIC COMPOUND FOR BREAST CANCER RESEARCH

Hamza BAH
Applied Bioorganic Chemistry Team, Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Aboubaker JIAR
Applied Bioorganic Chemistry Team, Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Ezaddine IRROU
Applied Bioorganic Chemistry Team, Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Younesse AIT ELMACHKOURI
Applied Bioorganic Chemistry Team, Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Ali OUBELLA
Applied Bioorganic Chemistry Team, Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.

Rachid AZZALLOU
Organic Chemistry and Valorization of Natural Substances Team (OCVNS), Faculty of Applied Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco; Laboratory of Biotechnology, Agrifood, Materials and Environment, Faculty of Sciences and Technology Mohammedia, Hassan II University of Casablanca, Mohammedia, Morocco**.**

Yahya TOUBI
Applied Bioorganic Chemistry Team, Laboratory of Organic and Physical Chemistry, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco**.**

Abstract
A new heterocyclic compound was synthesized through a multistep approach and characterized by ^{1}H and ^{13}C NMR and FT-IR spectroscopy. Density functional theory (DFT) calculations were performed at the B3LYP/6-311++G(d,p) level to investigate its structural and electronic properties. The theoretical results showed good agreement with the experimental data. Frontier molecular orbital, natural bond orbital, and molecular electrostatic potential analyses provided further information on the electronic structure and reactive regions of the molecule. Molecular docking studies against Estrogen Receptor Alpha (ESR1) revealed a favorable interaction, with a docking score of −6.48 *kcal/mol*. Molecular dynamics simulations supported the stability of the predicted complex, while ADME-T analysis provided preliminary information on its pharmacokinetic and toxicity-related properties. These findings highlight the potential of this heterocyclic scaffold for further investigation in breast cancer research.
Keywords: Heterocyclic compound, DFT, Molecular docking, ESR1, Breast cancer.

ASSESSMENT OF PHYSICAL ACTIVITY AND MORPHOLOGICAL–FUNCTIONAL CHARACTERISTICS FOLLOWING ENHANCED PHYSICAL ACTIVITY AMONG EMPLOYEES OF DANANG FAMILY HOSPITAL

Nguyen Thi PHUONG
Vinh Medical University, Vietnam.

Dr. Tran Le Nhat QUANG
Faculty of Physical Education, University of Danang, Vietnam.
ORCID ID: 0009-0006-2608-0194

ABSTRACT

Introduction:
Physical activity plays an important role in maintaining health, preventing non-communicable diseases, and improving physical fitness. Healthcare workers are often exposed to heavy workloads, prolonged sedentary time, and occupational stress, which may contribute to insufficient physical activity and adverse health outcomes. This study aimed to assess physical activity levels and examine their associations with morphological and functional characteristics among employees of DaNang Family Hospital, Da Nang, Vietnam.

Methods
The study employed a hospital-based cross-sectional design combined with a 12-week physical activity intervention. A total of 217 employees participated in the initial assessment. Physical activity was assessed using the World Health Organization questionnaire. Anthropometric characteristics, body composition, blood pressure, biochemical indicators, and cardiorespiratory fitness were evaluated using standardized assessment methods, including DEXA and the IPN cycle ergometer test. Participants in the intervention phase were allocated into intervention and control groups. The intervention group participated in a structured physical activity program consisting of 150 minutes of moderate-intensity exercise per week for 12 weeks, while the control group received no structured exercise program. Data were analyzed using R version 4.5.0.

Results
Among the 217 employees, 66 (30.4%) were classified as having insufficient physical activity. Employees with sufficient physical activity demonstrated significantly higher Pabs and Prel values than those with insufficient physical activity ($p < 0.01$). After the 12-week intervention, the intervention group showed significant improvements in Pabs, Prel, and biological age. Compared with the control group, the intervention group demonstrated a significant increase in Pabs (+9.17 W; adjusted $p = 0.0165$), a reduction in biological age (-0.31 years; adjusted $p = 0.0165$), and a decrease in body fat percentage (-0.96%; adjusted $p = 0.0205$). These findings indicate that structured physical activity can improve selected functional and morphological characteristics among hospital employees.

Conclusion
Insufficient physical activity remains relatively common among employees of DaNang Family Hospital and is associated with lower cardiorespiratory fitness. A structured, supervised, and appropriately prescribed physical activity program can effectively improve functional capacity, reduce biological age, and contribute to favorable changes in body composition. Workplace physical activity programs should therefore be considered as an appropriate strategy for promoting health and physical fitness among healthcare workers.

Keywords: physical activity, healthcare workers, hospital employees, physical fitness, body composition, biological age, DaNang Family Hospital.

TRADITIONAL USES, BIOACTIVITY, AND TOXICOLOGICAL RISK OF THE GENUS ADENOCARPUS DC. (FABACEAE): A SYSTEMATIC REVIEW OF THE EVIDENCE SUPPORTING AND LIMITING ITS ETHNOMEDICINAL USE

Kaouthar ELBIRGUI
Laboratory of Chemistry and Biochemistry, Nutrition, Environment and Health, Faculty of Medicine and Pharmacy of Casablanca, Casablanca, Morocco; Laboratory of Ecology and Environment, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Hassan II University, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-0891-6924

Saad HARRIZI
Laboratory of Health, Environment and Biotechnology, Faculty of Sciences Ain Chock, Hassan II University, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0009-0007-1426-0371

Nour Elhouda DAOUDI
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Oujda, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-3516-318X

Nadia IOUNES
Laboratory of Ecology and Environment, Faculty of Sciences Ben M'Sick, Hassan II University, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-4207-8610

Samir IBENMOUSSA
Laboratory of Chemistry and Biochemistry, Nutrition, Environment and Health, Faculty of Medicine and Pharmacy of Casablanca, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0009-0008-2346-9289

Abstract
The genus *Adenocarpus* DC. (Fabaceae, tribe Genisteae) comprises approximately nineteen to twenty-five accepted species of glandular brooms distributed across the western Mediterranean, the Macaronesian archipelagos, and the montane regions of tropical and southern Africa. Across this range its species have long formed part of folk pharmacopoeias, employed against microbial infections, leprosy, scabies, acne, malaria, fever, wounds, and rheumatism, while the aerial parts of *A. anagyrifolius* are used in Morocco against scorpion envenomation and Moroccan species such as *A. artemisiifolius* are exploited in skin care. This systematic review, conducted and reported in accordance with the PRISMA 2020 guidelines, examines how far this ethnomedicinal record is supported by experimental evidence and whether the safety of the genus has been established. Five predefined search combinations across PubMed, Science Direct, J-STOR, Embase, and Web of Science retrieved 338 records, of which 236 remained after removal of duplicates and were screened for eligibility, yielding a small core of studies dealing specifically with the genus. Several traditional indications find partial experimental support, notably the antibacterial and antifungal activity of *A. mannii*, the anticandidal activity of the alkaloid isocarpine from *A. complicatus*, and the in vivo protection conferred by the methanolic extract of *A. anagyrifolius* against the venom of the scorpion *Hottentotta gentili* in mice. Safety, by contrast, has not been established: no acute, sub-acute, chronic, genotoxicity, or reproductive-toxicity evaluation has been published for any *Adenocarpus* species, while the genus accumulates quinolizidine, pyrrolizidine, and ammodendrine-type alkaloids shared with toxic relatives such as *Lupinus* and *Cytisus*, and ammodendrine itself is an established teratogen in grazing livestock. The ethnobotanical record is moreover fragmentary, and dedicated toxicological evaluation is required before any translational development of the genus can be contemplated.
Keywords: *Adenocarpus*; Fabaceae; Ethnobotany; Traditional medicine; Quinolizidine alkaloids; Teratogenicity; Toxicological risk; Safety assessment; Systematic review.

INTESTINAL PARASITES, NUTRITIONAL STATUS, AND RELATED FACTORS AMONG ASYMPTOMATIC PUPILS IN KALGO, NORTHERN WEST NIGERIA

Shamsuddeen Ahmad KELE
Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0007-4216-0423

Bashar Haruna GULUMBE
Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0003-0642-6902

Gadafi NASIR
Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0002-9291-635X

Abdulkareem T. ZAKARI
Department of Microbiology, Faculty of Life Sciences, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0006-5950-7668

Abdullahi DAUDA
Department of Biological Sciences, Ahmad Patigi University, Patigi, Kwara State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0005-5949-2702

Haliru ABDULLAHI
Department of Biological Sciences, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0001-7311-8390

Maryam Tiaminu BOLAJI
Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0002-2997-6229

Abstract

Background: Intestinal parasitic infections remain a public-health concern among schoolchildren, particularly in communities with inadequate access to safe water, sanitation, and hygiene. These infections may impair nutrient intake and absorption, contribute to anaemia, and affect growth; however, the relationship between infection and nutritional status varies with parasite type and infection intensity.

Objective: This study assessed the prevalence of intestinal parasites, nutritional status, and associated socio-demographic factors among asymptomatic primary-school pupils in Kalgo North-West, Nigeria.

Methods: A cross-sectional study was conducted among 100 pupils, comprising equal numbers of males and females. Stool samples were examined microscopically for intestinal parasites. Anthropometric measurements, haemoglobin level, dietary information, and socio-demographic characteristics were recorded. Data were analysed using SPSS version 26 with descriptive statistics, chi-square tests, and Pearson correlation analysis at a significance level of $p < 0.05$.

Results: Intestinal parasites were detected in 86% of pupils, while 14% were parasite-free. *Strongyloides stercoralis* had the highest prevalence (16%), followed by *Ascaris lumbricoides* (14%) and *Giardia lamblia* (8%). The mean height, weight, and body mass index were 118.9 cm, 38.2 kg, and 27.0 kg/m², respectively. The mean haemoglobin level was 82.8 g/L, indicating anaemia. Most pupils reported regular access to food (98%), but only 56% had access to clean water. No statistically significant association was found between intestinal parasitic infection and nutritional status ($p > 0.05$).

Conclusion: Intestinal parasites were common among asymptomatic pupils in Kalgo North-West. Improved access to safe water, sanitation, hygiene education, routine deworming, and nutritional monitoring are recommended.

LONG-TERM OUTCOMES OF UNILATERAL ANTI-VEGF THERAPY IN NEOVASCULAR AGE-RELATED MACULAR DEGENERATION

Dr. Katerina KASA
Department of Ophthalmology, University Trauma Hospital, Tirana, Albania.
ORCID ID: 0009-0003-2388-9463

Assoc. Prof. Dr. Marsida KRASNIQI
Department of Medical Technical Sciences, Faculty of Professional Studies, Aleksandër Moisiu University of Durrës, Durrës, Albania.
ORCID ID: 0000-0001-7823-6361

Prof. Dr. Pajtim LUTAJ
Department of Ophthalmology, University of Medicine, Mother Teresa University Hospital Center, Tirana, Albania.

Abstract
Background: Neovascular age-related macular degeneration (nAMD) is a major cause of irreversible central visual loss in older adults. Intravitreal anti-vascular endothelial growth factor (anti-VEGF) therapy has become the standard treatment for choroidal neovascularization (CNV) and has significantly improved long-term visual outcomes. Nevertheless, the development of geographic atrophy (GA) during prolonged anti-VEGF treatment remains an important clinical concern.

Objective: To evaluate the long-term functional and morphological outcomes of sustained anti-VEGF therapy in an eye with nAMD, with particular emphasis on visual preservation, exudative disease control, and the development of geographic atrophy.

Case Presentation: An 82-year-old male with type 2 subfoveal CNV secondary to nAMD in the right eye (OD) was treated continuously for six years using an individualized treat-and-extend (T&E) anti-VEGF regimen. The patient underwent regular clinical and multimodal imaging assessments, including best-corrected visual acuity (BCVA), spectral-domain optical coherence tomography (SD-OCT), and fundus autofluorescence (FAF), to evaluate treatment response, macular morphology, and the development of atrophic changes.

Results: Over the six-year treatment period, sustained anti-VEGF therapy effectively controlled exudative activity and stabilized macular morphology. Treatment intervals were progressively individualized according to disease activity. Despite prolonged treatment, geographic atrophy developed and was confirmed by FAF, with characteristic areas of hypoautofluorescence involving the foveal and parafoveal regions. Importantly, the treated eye maintained a clinically meaningful visual outcome, demonstrating a +6-letter improvement on the ETDRS scale over the six-year follow-up.

Conclusion: Long-term anti-VEGF therapy provided sustained anatomical control and meaningful visual preservation despite the development of geographic atrophy. The occurrence of GA during chronic treatment should not necessarily be interpreted as therapeutic failure. These findings highlight the importance of continued individualized treatment and multimodal monitoring to balance exudative disease suppression with the long-term risk of atrophic progression.
Keywords: age-related macular degeneration; anti-VEGF; geographic atrophy; treat-and-extend; choroidal neovascularization.

Introduction
Age-related macular degeneration (AMD) is a multifactorial, progressive neurodegenerative disease of the central retina. It represents a leading cause of legal blindness among individuals over 65 years of age in developed countries [1,2].

The neovascular, or "wet," form of AMD (nAMD) is characterized by the development of choroidal neovascular membranes that penetrate beneath or through Bruch's membrane and the RPE. Although nAMD accounts for only approximately 10–15% of all AMD cases, it is responsible for approximately 80–90% of severe visual loss associated with the disease [3].

The introduction of intravitreal inhibitors of vascular endothelial growth factor (VEGF), including ranibizumab, bevacizumab, and subsequently aflibercept, fundamentally transformed the treatment of nAMD following the publication of the landmark **ANCHOR** and **MARINA** studies in 2006 [4,5].

Before the anti-VEGF era, the natural history of nAMD almost inevitably resulted in subretinal fibrosis and severe, irreversible loss of central vision.

Despite the major therapeutic success of anti-VEGF therapy, real-world clinical practice has identified several persistent challenges:

1. **Suboptimal injection frequency:** A discrepancy remains between the rigorous treatment schedules used in clinical trials and real-world practice, where undertreatment remains common.
2. **Development of subretinal fibrosis:** This may occur as a consequence of chronic neovascular disease.
3. **Geographic atrophy (GA):** GA represents an advanced stage of disease characterized by irreversible loss of the RPE, choriocapillaris, and overlying photoreceptors. It may develop even in eyes receiving continuous and effective treatment [6,7].

The causal relationship between chronic VEGF inhibition and the incidence of GA remains an active and controversial area of research. [8–10] Consequently, it remains uncertain whether GA is primarily a consequence of treatment, an inevitable manifestation of the natural history of the underlying disease, or a combination of both.

1.1 The Scientific Value of an Intra-Individual Comparison Model

One of the main limitations in this field is that there is no truly untreated control group to compare against. Deliberately withholding treatment from an eye with active nAMD would not be ethical, since effective therapies already exist.

We describe such a case here: an 82-year-old man with bilateral nAMD, followed for six years, who agreed to anti-VEGF therapy in only one eye. This created an unplanned "natural experiment," giving us a rare chance to directly compare the long-term effects of treatment with the largely untreated course of the same disease.

Research and Findings

2.1 Case Presentation

Patient History

An 82-year-old male patient was referred to a retinal clinic with a 6-year history of bilateral macular edema secondary to subfoveal type 2, classic choroidal neovascularization in the setting of nAMD.

Ocular history: The patient had previously undergone cataract surgery with intraocular lens (IOL) implantation in the right eye (OD) before initiation of anti-VEGF therapy, resulting in pseudophakia. The left eye (OS) remained phakic throughout the follow-up period.

Systemic history: The patient had pharmacologically treated arterial hypertension. No diabetes mellitus, other systemic vascular disease, or additional recognized metabolic risk factors influencing AMD progression were documented.

Therapeutic decision: Following detailed counseling regarding bilateral treatment options and their respective risks and benefits, the patient clearly and consistently refused intravitreal treatment in the left eye because of personal preference, rather than for medical, financial, or logistical reasons. Consequently, anti-VEGF therapy was initiated exclusively in OD and continued for six years according to a *treat-and-extend (T&E)* regimen.

*Ethical and methodological consideration***:** This case does not represent a deliberately designed experiment but rather an opportunistic observation resulting from an autonomous patient decision. It therefore has clinical value but requires cautious interpretation.

2.2 Chronological Clinical Course

Follow-up period	Treated eye (OD)	Untreated eye (OS)
Year 0	Subfoveal CNV confirmed by SD-OCT and fluorescein angiography; loading phase initiated with three-monthly anti-VEGF injections; pseudophakic status confirmed	Subfoveal CNV confirmed; observation only, without treatment.
Years 1–3	Continuous T&E treatment; sustained reduction in central subfield thickness (CST); progressive extension of injection intervals	Persistent subretinal fluid; no significant change in BCVA
Years 4–5	Initial peripheral atrophic areas developed around the lesion on FAF imaging; exudative activity remained pharmacologically controlled	Relatively stable clinical condition without new hemorrhage or acute deterioration
Year 6	Geographic atrophy confirmed on FAF, with typical foveal and parafoveal hypoautofluorescence	Persistent chronic exudative maculopathy without development of GA

Figure A. OD: Neovascular AMD before treatment (year 0) **Figure B.** OD: Neovascular AMD after treatment year 6

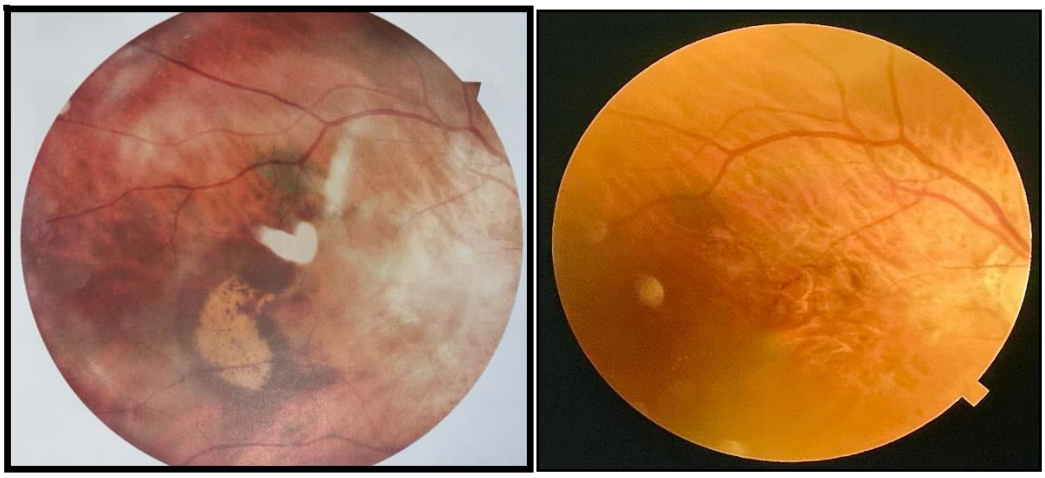


Figure C: OS Foto fundus (no changes though the years)

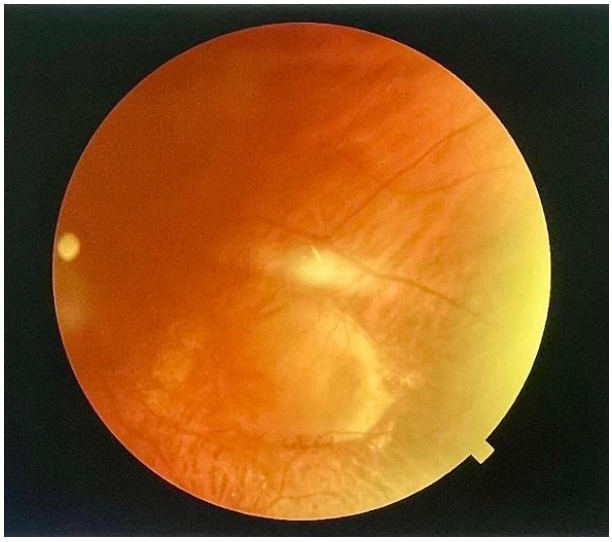


Figure *1*. *OD: SD OCT in the last year*

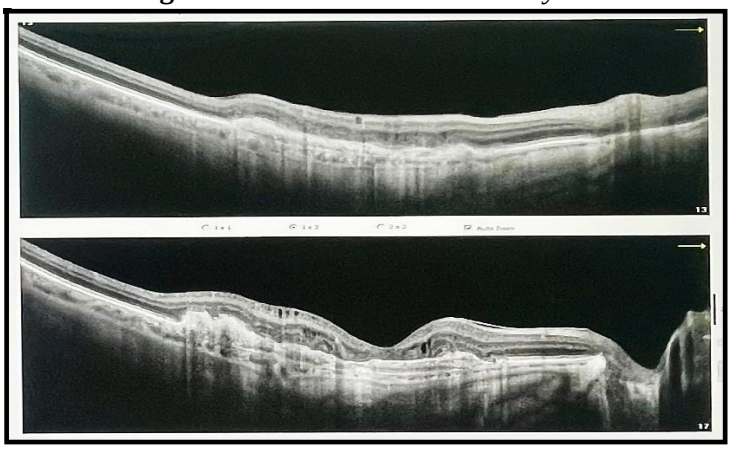


Figure2: OS SD OCT last year

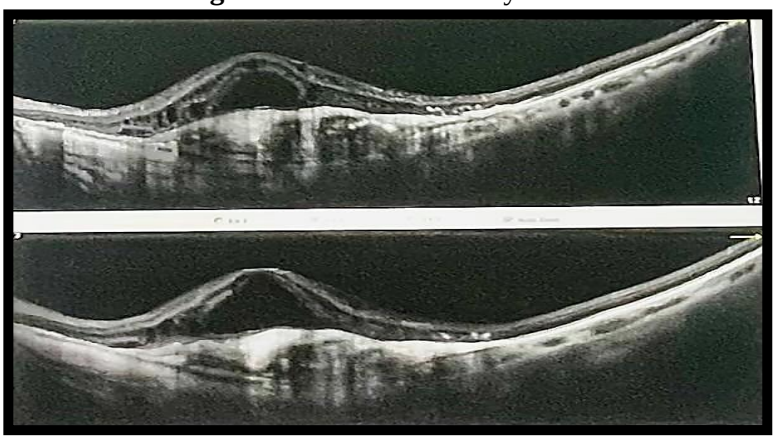
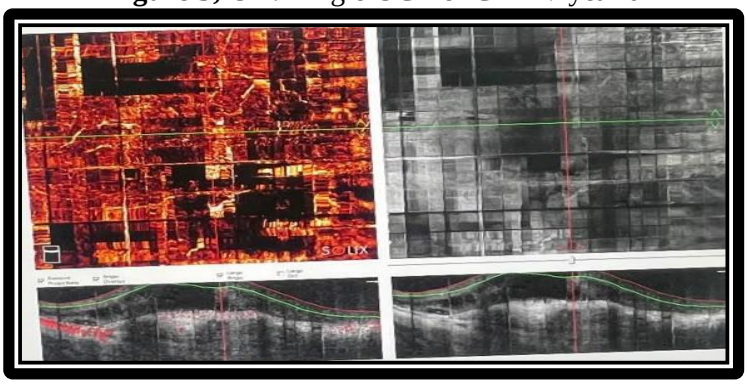


Figure 3; OD: Angio OCT of CNMV year 0



2.3 Final Comparative Findings

Parameter	Treated eye (OD)	Untreated eye (OS)
Treatment	Anti-VEGF according to T&E + pseudophakia	No treatment
Lens status	Pseudophakic (IOL)	Phakic
CNV type	Type 2, classic, subfoveal	Type 2, classic, subfoveal
BCVA change over 6 years	**+6 ETDRS letters**	Reference/baseline comparator
Macular morphology	Geographic atrophy	Chronic exudative maculopathy
FAF findings	Hypoautofluorescence consistent with GA	No GA

Parameter	Treated eye (OD)	Untreated eye (OS)
Central macular thickness	Reduced and stabilized	Chronically increased
Exudative activity	Controlled	Persistent
Disease stage	Post-exudative atrophic stage	Active chronic exudative stage

2.5 Intra-Individual Comparative Analysis

The principal methodological strength of this case lies in the *within-patient comparison*. Because both eyes belong to the same individual, several potential confounding variables are substantially minimized:

- Genetic background is identical.
- Age and systemic factors are shared.
- Environmental exposure and lifestyle are shared.
- Systemic comorbidities, including hypertension, affect both eyes within the same patient.

The major differentiating factor is therefore the *presence or absence of therapeutic intervention*. From a methodological perspective, this resembles a self-controlled design, although it was neither randomized nor prospectively designed as an experimental study.

Central Inferential Structure

The logical framework of the case can be summarized as follows:

1. Both eyes of the same patient had similar initial pathology, namely bilateral subfoveal type 2 CNV, but followed different therapeutic trajectories over six years.
2. The treated eye achieved superior BCVA, with a **+6-letter ETDRS advantage**, despite developing GA.
3. The untreated eye did not develop GA but remained chronically exudative and active, without functional benefit.
4. Therefore, the presence of GA in the treated eye cannot be considered functionally equivalent to the absence of treatment in the fellow eye.

The key implication is *that development of GA during long-term treatment does not eliminate the functional benefit achieved through disease control*. The treated and untreated eyes reached different end-stage phenotypes with distinctly different functional consequences.

2.6 Correlation versus Causation

The fact that geographic atrophy developed in the treated eye does not necessarily mean the treatment caused it.

There are several other possible explanations:

- GA may simply be part of how CNV naturally progresses over time, regardless of treatment.
- Long-term VEGF suppression could still play a biological role, since VEGF also helps sustain the choriocapillaris.
- The CNV in this patient was subfoveal and aggressive from the start, which may have made the eye prone to atrophy on its own, independent of treatment.

Since the untreated eye stayed chronically active and exudative throughout the six years, we simply don't know whether it would eventually have developed GA too, had its disease followed a different path.

In other words, the fact that GA appeared after treatment doesn't prove treatment caused it. One case isn't enough to tell whether GA here was a direct effect of therapy or just the disease progressing on its own, later than expected.

Retinal morphology and visual function should not be interpreted independently.

An eye without GA may have worse visual function than an eye with GA if the former remains exposed to persistent active exudative damage, but the treated eye has benefited from years of effective disease control before the development of atrophy.

2.8 Limitations

As a single case report, this study has several important methodological limitations:

- **N=1:** The findings cannot be statistically generalized to the broader nAMD population.
- **Absence of randomization:** Treatment versus non-treatment resulted from patient preference rather than a controlled protocol.
- **Potential inter-eye phenotypic differences:** Even within the same patient, the two eyes may have differed in baseline CNV severity in ways not fully captured by the initial assessment.
- **Lens-status confounding:** OD was pseudophakic whereas OS remained phakic. Progressive cataract formation in OS during the six-year follow-up may have contributed to the poorer BCVA and represents an additional confounding factor.

These limitations do not eliminate the clinical value of the case but require the conclusions to be interpreted as **supportive clinical observations rather than definitive causal evidence**.

2.9 Clinical Interpretation and Discussion

This case represents a rare intra-individual comparison between active treatment and the relatively untreated natural history of nAMD.(*Figure A and B)*

Despite the development of geographic atrophy in the treated eye after six years of continuous anti-VEGF therapy, OD maintained a clinically meaningful visual advantage over the untreated fellow eye**.(Figure 1 and 2)**

The development of GA in OD is consistent with existing long-term evidence suggesting that an atrophic conversion may occur relatively frequently during the chronic course of treated nAMD [6–10]. (*Figure C)* However, GA should not be interpreted as therapeutic failure.

One possible interpretation is that effective treatment prolonged functional retinal survival enough to allow the disease to evolve toward an atrophic stage rather than progressing rapidly to subretinal fibrosis and severe visual loss.

The **+6 ETDRS-letter advantage**, although modest in absolute terms, may remain clinically meaningful in an elderly patient, in whom even relatively small differences in visual function can affect reading ability, contrast sensitivity, and overall quality of life.

Furthermore, the untreated eye demonstrated persistent exudative activity throughout the six-year follow-up, even if it missed the functional improvement and there was not evidence of true biological disease stability.

The central clinical message is therefore:

Lack of treatment does not represent a neutral or stable state of disease; rather, it permits persistent and uncontrolled disease activity.

Conclusion

Despite the obvious limitations of a single case report, this six-year comparison between two eyes of the same patient offers clear clinical evidence that anti-VEGF therapy can provide lasting functional benefit in nAMD — even when geographic atrophy eventually develops during treatment.

Key Clinical Implications

- Compared with the largely untreated course of nAMD, anti-VEGF therapy still provides a real and measurable visual benefit over time.
- Developing geographic atrophy should not, by itself, be a reason to stop anti-VEGF treatment — uncontrolled disease activity may ultimately cause more functional harm than GA that appears after years of good disease control.
- When both eyes are affected by nAMD, treating both should be strongly encouraged, along with ongoing counseling and repeated discussions if a patient initially refuses treatment.
- Structural changes and visual function need to be considered together. Whether or not GA is present shouldn't be judged on its own — it has to be interpreted alongside BCVA and other functional measures.

Overall, this case highlights an important point: disease control, structural damage, and functional outcome are not the same thing. When GA develops during long-term anti-VEGF therapy, it should be viewed as part of the bigger clinical picture — not as a sign, on its own, that treatment has failed.

References

Wong WL, Su X, Li X, et al. Global prevalence of age-related macular degeneration and disease burden projection for 2020 and 2040. *Lancet Glob Health.* 2014;2(2):e106–e116.

Lim LS, Mitchell P, Seddon JM, Holz FG, Wong TY. Age-related macular degeneration. *Lancet.* 2012;379(9827):1728–1738.

Ferris FL, Wilkinson CP, Bird A, et al. Clinical classification of age-related macular degeneration. *Ophthalmology.* 2013;120(4):844–851.

Rosenfeld PJ, Brown DM, Heier JS, et al. Ranibizumab for neovascular age-related macular degeneration (MARINA). *N Engl J Med.* 2006;355(14):1419–1431.

Brown DM, Kaiser PK, Michels M, et al. Ranibizumab versus verteporfin for neovascular age-related macular degeneration (ANCHOR). *N Engl J Med.* 2006;355(14):1432–1444.

Holz FG, Tadayoni R, Beatty S, et al. Multi-country real-life experience of anti-vascular endothelial growth factor therapy for wet age-related macular degeneration. *Br J Ophthalmol.* 2015;99(2):220–226.

Rofagha S, Bhisitkul RB, Boyer DS, Sadda SR, Zhang K. Seven-year outcomes in ranibizumab-treated patients in ANCHOR, MARINA, and HORIZON. *Ophthalmology.* 2013;120(11):2292–2299.

CATT Research Group; Martin DF, Maguire MG, et al. Ranibizumab and bevacizumab for treatment of neovascular age-related macular degeneration. *N Engl J Med.* 2011;364(20):1897–1908.

Grunwald JE, Pistilli M, Ying GS, et al. Growth of geographic atrophy in the comparison of age-related macular degeneration treatment trials. *Ophthalmology.* 2015;122(4):809–816.

Chakravarthy U, Harding SP, Rogers CA, et al. Ranibizumab versus bevacizumab to treat neovascular age-related macular degeneration (IVAN). *Ophthalmology.* 2012;119(7):1399–1411.

Holz FG, Amoaku W, Donate J, et al. Safety and efficacy of a flexible dosing regimen of ranibizumab in neovascular age-related macular degeneration (SUSTAIN). *Ophthalmology.* 2011;118(4):663–671.

Gillies MC, Campain A, Barthelmes D, et al. Long-term outcomes of treatment of neovascular age-related macular degeneration: data from an observational study. *Ophthalmology.* 2015;122(9):1837–1845.

Holz FG, Tadayoni R, Beatty S, et al. Key drivers of visual acuity gains in neovascular age-related macular degeneration in real life. *Br J Ophthalmol.* 2016;100(12):1623–1628.

Ohji M, Takahashi K, Okada AA, Kobayashi M, Matsuda Y; ALTAIR Investigators. Efficacy and safety of intravitreal aflibercept treat-and-extend regimens in exudative age-related macular degeneration. *Ophthalmology.* 2020;127(1):75–88.

Berg K, Pedersen TR, Sandvik L, Bragadóttir R. Comparison of ranibizumab and bevacizumab for neovascular age-related macular degeneration according to LUCAS treat-and-extend protocol. *Ophthalmology.* 2015;122(1):146–152.

Saint-Geniez M, Maharaj AS, Walshe TE, et al. Endogenous VEGF is required for visual function: evidence for a survival role on Müller cells and photoreceptors. *PLoS ONE.* 2008;3(11):e3554.

Bhisitkul RB, Desai SJ, Boyer DS, Sadda SR, Zhang K. Fellow eye comparisons for 7-year outcomes in ranibizumab-treated AMD subjects from ANCHOR, MARINA, and HORIZON. *Ophthalmology.* 2016;123(6):1269–1277.

Rofagha S, Bhisitkul RB, Boyer DS, Sadda SR, Zhang K; SEVEN-UP Study Group. Seven-year outcomes in ranibizumab-treated patients in ANCHOR, MARINA, and HORIZON: SEVEN-UP study. *Ophthalmology.* 2013;120(11):2292–2299.

Bressler NM. Photodynamic therapy of subfoveal choroidal neovascularization in age-related macular degeneration with verteporfin (TAP study). *Arch Ophthalmol.* 1999;117(10):1329–1345.

Age-Related Eye Disease Study Research Group. A randomized, placebo-controlled, clinical trial of high-dose supplementation with vitamins C and E, beta carotene, and zinc for age-related macular degeneration and vision loss (AREDS). *Arch Ophthalmol.* 2001;119(10):1417–1436.

Ferris FL 3rd, Fine SL, Hyman L. Age-related macular degeneration and blindness due to neovascular maculopathy. *Arch Ophthalmol.* 1984;102(11):1640–1642.

Schmidt-Erfurth U, Kaiser PK, Korobelnik JF, et al. Intravitreal aflibercept injection for neovascular age-related macular degeneration: ninety-six-week results of the VIEW studies. *Ophthalmology.* 2014;121(1):193–201.

Bockelbrink A, Stöhr H, Tschöpe D, et al. Cataract surgery and the development or progression of age-related macular degeneration: a systematic review. *Surv Ophthalmol.* 2008;53(4):359–367.

Bressler NM, Chang TS, Suñer IJ, et al. Vision-related function after ranibizumab treatment by better- or worse-seeing eye. *Ophthalmology.* 2010;117(4):747–756.e4.

Czoski-Murray C, Carlton J, Brazier J, Young T, Papo NL, Kang EY. Valuing condition-specific health states using simulated contact lenses. *Value Health.* 2009;12(5):793–799.

Age-Related Eye Disease Study 2 Research Group. Lutein + zeaxanthin and omega-3 fatty acids for age-related macular degeneration: the Age-Related Eye Disease Study 2 (AREDS2). *JAMA.* 2013;309(19):2005–2015

BIOCHEMICAL AND ANTHROPOMETRIC CORRELATES OF CARDIOMETABOLIC RISK AMONG YOUNG ADULTS IN ABIA STATE, NIGERIA: A COMMUNITY-BASED CROSS-SECTIONAL STUDY

Ikenna Nnaemeka NWAWUBA
Department of Biochemistry, College of Natural Sciences, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Nigeria.

I. I. IJEH
Department of Biochemistry, College of Natural Sciences, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Nigeria.

C. E. C. C. EJIKE
Department of Biochemistry, Alex Ekwueme Federal University, Ndufu-Alike, Ikwo, Nigeria.

C. O. OKONKWO
Department of Biochemistry, University of Calabar, Calabar, Nigeria.

U. ONYEONORO
Department of Community Medicine, Federal Medical Centre, Umuahia, Nigeria.

A. C. NNAMUDI
Department of Biochemistry, University of Delta, Agbor, Delta State, Nigeria.

U. I. EZEANI
Department of Biochemistry, University of Calabar, Calabar, Nigeria.

C. E. OSODEKE
Department of Computer Science, College of Physical and Applied Sciences, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Nigeria.

C. N. IKECHI
Department of Biochemistry, College of Natural Sciences, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Nigeria.

B. O. NWOFIA
Department of Human Nutrition and Dietetics, College of Applied Food Sciences and Tourism, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Nigeria.

ABSTRACT

Type 2 diabetes mellitus (T2DM) risk assessment in Nigerian populations has predominantly relied on anthropometric measures, with limited integration of biochemical parameters, particularly among young adults. This study investigated the prevalence of cardiometabolic risk factors and explored factors associated with T2DM in young adults (18-45 years) from urban and rural communities in Abia State, Nigeria. A cross-sectional study was conducted among 530 young adults from urban (n=328) and rural (n=202) populations, with a separate exploratory comparator group of 37 participants with confirmed T2DM. Anthropometric measurements, blood pressure, and biochemical parameters were assessed. Lipid data were available for 213 participants (180 with complete location data; 33 with partial information). Due to the small number of T2DM cases in the general population (n=7), an exploratory logistic regression analysis including the comparator group was performed to identify potential correlates of T2DM. The population comprised 201 males (35.4%) and 366 females (64.6%), with a mean age of 33.1±8.5 years. Dyslipidaemia was present in 74.2% (158/213) of participants with available lipid data, with rural participants showing significantly higher prevalence (87.9% vs 67.5%, p=0.009). Abdominal obesity affected 28.8% of participants, significantly higher in females (39.3% vs 10.0%, p<0.001).

T2DM prevalence in the general population was 1.46% (7/478 participants), with no significant urban-rural difference. In the exploratory analysis including the comparator group, family history of diabetes was associated with T2DM (OR=1.37, 95% CI: 1.07-1.76; p=0.014). HDL cholesterol showed a non-significant trend (p=0.059), while age approached statistical significance (p=0.050). The high prevalence of dyslipidaemia and abdominal obesity indicates a substantial cardiometabolic risk burden among young adults in Abia State. The unexpectedly high dyslipidaemia burden in rural communities challenges the assumption that metabolic risk is confined to urban populations. These findings suggest the need for integrated cardiometabolic screening programmes incorporating biochemical markers, with particular emphasis on rural communities.
Keywords: Dyslipidaemia, abdominal obesity, cardiometabolic risk, biochemical markers, young adults, Nigeria

BEYOND INCINERATION: EVALUATING SUSTAINABLE BIOMEDICAL WASTE MANAGEMENT PATHWAYS IN INDIA

Research Scholar Neha BERMA
School of Law and Governance, Central University of South Bihar, Gaya, Bihar, India.

Advocate Abhinav MISHRA
Allahabad High Court, Uttar Pradesh, India.

Asst. Prof. Dr. Poonam KUMARI
School of Law and Governance, Central University of South Bihar, Gaya, Bihar, India.

ABSTRACT
Biomedical waste (BMW) management in India is a complex issue that involves public health, environmental protection, and regulatory considerations. In this study, sustainable solution for BMW management in government hospitals is discussed and the gap between the strong Biomedical Waste Management Rules, 2016 and its practical application will be discussed. This research utilizes a mixed method that includes a thorough literature review of data from 2016 to 2026 as well as quantitative and qualitative evaluation of pollution indicators and barriers in the systems. The study shows that conventional waste incineration is a common practice, emitting high levels of dioxins, furans, PM, and has a high global warming potential (GWP), which is a major issue for air pollution. The environmental impacts of alternative technologies (autoclaving, microwave disinfection and chemical treatment) are significantly less, at 200–500 kg CO2e per tonne, versus more than 1400 kg CO2e for pyrolysis. In addition, the paper looks at the opportunities for embedding circular economy in the BMW management. The recycling of single-use plastics like polypropylene syringes, polyethylene IV sets, and other items, in government hospitals can not only help reduce the landfill burden but also create economic value. The results highlight the need to change the paradigm from thermal destruction to decentralized treatments using low-carbon technologies. The recommendations include the compulsory phase-out of traditional incinerators and the introduction of indigenous microwave and steam sterilisation systems, as well as a clear capacity development strategy to train health workers and policy development to standardise medical product labelling on recyclability.
Keywords: Biomedical Waste Management, Government Hospitals, Sustainable Technologies, Circular Economy, Environmental Impact,

SCREENING AND ISOLATION OF CHITOSAN-PRODUCING BACTERIA

Ayobami Josiah ADEREMI
Department of Microbiology, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria.

Abdulrazaq IZUAFA
Department of Microbiology, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria; Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.

Oluwafemi Adebayo OYEWOLE
Department of Microbiology, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria.

Abstract
Chitosan is a biodegradable biopolymer with diverse applications in medicine, agriculture, food preservation, and wastewater treatment due to its antimicrobial, biocompatible, and biodegradable properties. Microbial production offers a sustainable and environmentally friendly alternative to chemical extraction, making the isolation of novel chitosan-producing bacteria a critical area of biotechnological research. Despite the increasing demand for chitosan, data regarding efficient microbial producers from local environmental reservoirs remains limited, hindering commercial and industrial scalability. In this study, samples from earthen pond water, pond sediment, and the gastrointestinal tracts of fish, toads, frogs, and snails were cultured using standard microbiological techniques. Bacterial isolates were screened for chitosan production and identified via morphological characteristics and Gram staining. The primary chitosan-producing isolates were identified as *Bacillus subtilis* and *Alcaligenes faecalis*. Under the experimental culture conditions, *A.faecalis* yielded 0.03 g/L of chitosan, whereas *B.subtilis* yielded 0.09 g/L, demonstrating that *B.subtilis* was the more efficient producer. Because *A.faecalis* is opportunistic pathogen, downstream processing for medical or food-grade applications will require rigorous purification and endotoxin removal. Further molecular characterization, culture condition optimization, and scale-up studies are recommended to maximize yield and facilitate safe, commercial-scale production.
Keywords: *Alcaligenes faecalis;* Bacterial isolation; Biopolymer; Chitosan; Microbial production.

CONSTRUCTING CLIMATE CRISIS: A MULTIMODAL POSITIVE DISCOURSE ANALYSIS OF A SPEECH DELIVERED BY JOHAN ROCKSTÖRM

Nafiou Sayabou ZANEIDOU
Department of English, Faculty of Arts and Humanities, Laboratory of Literature, Education and Communication (LaboLEC), André Salifou University, Zinder, Niger.
ORCID ID: 0009-0002-3030-6353

Ayodele Adebayo ALLAGBE
Department of English, Faculty of Arts and Humanities, Laboratory of Literature, Education and Communication (LaboLEC), André Salifou University, Zinder, Niger.
ORCID ID: 0009-0009-5398-9178

Franck AMOUSSOU
Department of English, Faculty of Arts and Humanities, Laboratory of Literature, Education and Communication (LaboLEC), André Salifou University, Zinder, Niger.
ORCID ID: 0000-0003-2298-9529

ABSTRACT
Language and the environment have remained central to scholarly debates in the twenty-first century because language plays a significant role in construing environmental realities. While previous studies have largely focused on discourses that promote the exploitation of nonhuman species, limited scholarly attention has been paid to narratives that encourage harmonious coexistence between humans and the environment. This paper explores how ethical leaders employ language to construe climate crisis and promote ecological sustainability. Drawing on Deep Ecology, Positive Discourse Analysis (PDA), Systemic Functional Multimodal Discourse Analysis (SF-MDA)—particularly transitivity and representational meaning, and a descriptive qualitative research design, the study seeks to identify "new stories to live by" that can regulate economic pursuits and enhance social well-being in a TED Talk delivered by Johan Rockström. The findings reveal that the speaker predominantly deploys material and relational process types to construct climate crisis. In material clauses, he recurrently assigns the Actor role to natural phenomena (e.g., "fires blaze in Australia … floods in China …"), while relational clauses are used to define and characterize ecological realities. This pattern suggests a shift in focus from humans to nature, foregrounding nature as an active force. The findings further indicate that the speaker strategically employs Given–New information structures, while the visual representations often omit explicit Actors or Agents. This suggests a deliberate obfuscation of agency aimed at foregrounding the urgency of climate crisis and encouraging environmentally responsible behavior. Overall, the study contributes to the search for "new stories to live by" that foster environmental sustainability.
Keywords: Climate crisis; Deep Ecology; ecological discourse; Positive Discourse Analysis; Systemic Functional Multimodal Discourse Analysis.

ANTIFUNGAL PROFILE OF FLAVONOID EXTRACTS OBTAINED FROM THE LEAVES *THYMUS ALGERIENSIS BOISS. ET REUT.*

Thoraya DAHMANE
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physicochemistry of Biological Materials and Biodiversity, M'hamed Bougara University, Boumerdes, Algeria.

Zakia KACI
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physicochemistry of Biological Materials and Biodiversity, M'hamed Bougara University, Boumerdes, Algeria.

Ali AROUS
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria; Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria.

Taher KARAHACENE
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis Miliana, Algeria.

Latifa HALLI
Research and Development Center, Saidal Group, Algeria.

ABSTRACT
Current research trends are steering policies toward measures that limit the use of synthetic drugs in favor of plant-based medicines.
To contribute to the valorization of Algerian flora, we conducted a study to identify the chemical composition of *Thymus algeriensis* (Lamiaceae family) leaves via phytochemical screening and to evaluate the antifungal activity of flavonoid-rich extracts (butanol, methanol, and ethanol) against two phytopathogenic strains: *Fusarium sp*. and *Rhizoctonia solani*.
Our work revealed the presence of several secondary metabolites, notably flavonoids, which were detected in significant quantities (78.96%).
Phytochemical screening results indicated that the aerial parts of this species are particularly rich in flavonoids.
All tested flavonoid-rich extracts proved effective against the mycelial growth of *Fusarium sp*., showing inhibition rates ranging from 88.58% to 96% and demonstrated fungicidal activity.
These extracts also exhibited remarkable fungicidal activity against *R. solani* hyphal growth, with inhibition rates between 85.42% and 89.29%.
Minimum Inhibitory Concentrations (MICs) were low, ranging from 0.062% to 0.125%, while Minimum Fungicidal Concentrations (MFCs) ranged from 0.062% to 1%.
In light of these results, the *in vitro* antifungal potential of the flavonoid-rich extract derived from *Thymus a*. leaves demonstrates significant inhibitory activity against both tested strains.
Furthermore, these extracts represent a promising source of natural antifungal agents.
Keywords: *Thymus algeriensis*, phytochemical screening, antifungal potential, flavonoid-rich extract

References

[1] Akowuah G., Ismail Z., Norhayati I. and Sadikun A., *Food Chemistry*, **2005**, 93,2,11-317, DOI : 10.1016/j.foodchem.2004.09.028.
[2] Tabti L., Dib M.E.A., Gaouar N., Samira B. and Tabti B., *Jundishapur Journal of Natura Pharmaceutical Products*, **2014**, 9,1, 49, DOI : 10.17795/jjnpp-13972.
[3] BRUNETON J., "Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales", (2009), 4^{e} Ed. Lavoisier.
[4] Giweli A., Dzamic A., Sokovic M., Ristic M. and Marin P., *Open Life Sciences*, **2013**, 8:504-11, DOI: 10.2478/s11535-013-0150-0.

FROM ENERGY ESTIMATES TO STABILITY IN NONLINEAR FRACTIONAL EVOLUTION PROBLEMS

Manel DJEBAILI
Faculty of Science and Applied Sciences, Larbi Ben M'hidi University, Oum El Bouaghi, Algeria.

Abstract: This paper is devoted to the study of a nonlinear boundary value problem for fractional partial differential equations with integral boundary conditions. The main objective is to establish the existence, uniqueness, and stability of solutions by applying the energy inequality method, which provides an effective framework for the analysis of fractional evolution problems.The proof is developed in two stages. First, the associated linear problem is analyzed by deriving suitable a priori estimates and proving the density of the corresponding operator. These results provide the theoretical foundation for the nonlinear analysis. Next, the nonlinear problem is treated by means of an iterative scheme, whose convergence is established using the obtained energy estimates and appropriate functional analysis arguments.
Under suitable assumptions on the nonlinear operator and the given data, we prove the existence and uniqueness of weak solutions. Furthermore, we establish the continuous dependence of the solution on the fractional order, ensuring the stability of the proposed model with respect to variations of the fractional parameter. The obtained results demonstrate the effectiveness of the energy inequality method for nonlinear fractional partial differential equations with integral boundary conditions and provide a rigorous analytical framework that can be extended to more general classes of fractional evolution problems.
Keywords: Fractional partial differential equations; Integral boundary conditions; Energy inequality method; A priori estimates; Existence and uniqueness.

BRAIN DYNAMICS IN THE SCHOOL CONTEXT: USING QEEG ANALYSIS FOR LEARNING INTERVENTIONS

Viviane DASILVA
Department of Medicine and Surgery, University of Parma, Parma, Italy.
ORCID ID: 0009-0002-4611-0101

Brena DIAS
Neuromedtech UK Ltd, United Kingdom.

Abstract
Academic performance results from multiple cognitive and neurophysiological processes that cannot always be understood through classroom behavior alone. Similar difficulties—such as inattention, slow processing, impulsivity, or low performance—may be associated with distinct patterns of functional brain organization. This work discusses the use of quantitative electroencephalography (qEEG) analysis, informed by nonlinear dynamics, as a complementary tool for broadening the understanding of brain states involved in learning. The proposal adopts an integrated perspective, considering that neurophysiological data do not replace pedagogical assessment but may offer additional information about brain rhythms, functional organization, connectivity, and the variability and stability of neural states associated with attention, memory, and cognitive processing. Markers such as individual alpha peak frequency (iAPF), inter-regional coherence, source-localized activity (e.g., LORETA), and nonlinear stability measures inspired by Lyapunov exponents are discussed as candidate indices that may characterize regulatory capacity and cortical organization beyond conventional spectral power alone. The aim is to formulate, as a set of testable hypotheses rather than established findings, how a nonlinear, dynamic reading of brain activity could contribute to a more individualized understanding of learning difficulties, particularly when interpreted alongside context, academic history, and each student's specific needs, and how such information might inform the design of learning interventions. It is proposed, as a working hypothesis requiring empirical validation, that bringing together qEEG analysis, nonlinear dynamics, and pedagogy may extend the range of questions available for investigating learning processes, without reducing learning difficulties to isolated neurophysiological markers.
Keywords: qEEG; nonlinear dynamics; learning; brain dynamics; pedagogical assessment; neuroeducation.

1. Introduction

Classrooms are, first and foremost, behavioral environments. Teachers observe what a student does—whether they follow instructions, complete tasks, sustain attention, or struggle to do so—and build their pedagogical judgments largely on that visible layer. Yet a substantial body of neuroscience research indicates that behavior is the final, most distal expression of a much longer causal chain that begins in physiological states: how alert, regulated, and available a brain is at the moment a demand is placed upon it. Two students who look identically inattentive may be arriving at that shared behavior from entirely different internal routes—one through low arousal and understimulation, another through high sympathetic activation and threat-related vigilance, a third through a genuine difficulty in sustaining top-down control over distraction. Treating these as the same problem, because they look the same from the outside, is a category error with real pedagogical costs.

This paper advances the hypothesis that quantitative electroencephalography (qEEG), particularly when read through the lens of nonlinear brain dynamics rather than conventional band-power spectra alone, may help characterize part of this internal variability. The intention is explicitly not to propose a diagnostic or classificatory use of qEEG in schools, nor to suggest that brain data should replace pedagogical judgment, teacher expertise, or the lived history of the student. Rather, the aim is to examine qEEG as one candidate source of complementary information—alongside behavioral observation, academic history, and contextual factors—that could, if validated, help refine how educators and specialists interpret learning difficulties and calibrate interventions accordingly.

The convergence of neuroscience and education is not new. Since the "Decade of the Brain" in the 1990s and the OECD's early Brain and Learning initiatives, educators have been promised that neuroscience would illuminate classroom practice.

In many respects that promise has been kept unevenly: genuine advances in understanding memory consolidation, attention networks, and developmental plasticity have coexisted with a steady stream of oversimplified, commercially packaged claims that outpaced the evidence behind them. Any contribution that brings qEEG into contact with pedagogy therefore inherits both the field's real potential and its credibility problem, and needs to be explicit from the outset about which of the two it is attempting to serve.

The argument proceeds in four movements. First, it reviews evidence on how physiological state—particularly stress-related neuroendocrine activity—constrains the cognitive resources available for learning, establishing why "readiness to learn" is a legitimate object of neurophysiological inquiry. Second, it introduces qEEG markers, both classical (spectral, band-based) and dynamic (nonlinear, complexity-based), that have been used elsewhere in neuroscience to index this kind of readiness and regulatory capacity. Third, it discusses how the same nonlinear framework that describes brain states can be extended to the process of learning itself, through the concept of prediction error and feedback-driven updating. Finally, it turns to the practical and ethical question of translation: how might this information inform learning interventions without collapsing into the neuro-reductionism and neuromyths that have historically undermined the credibility of neuroscience-informed education.

2. Neurophysiological Readiness for Learning

2.1 Stress, the Neuroendocrine Cascade, and Cognitive Availability

Learning is frequently modeled as if it were a purely informational event: content is presented, and a well-functioning brain encodes it. This model ignores the fact that the brain's capacity to encode, hold, and manipulate information is itself state-dependent. When a student encounters a stressor—an unpredictable classroom environment, a high-stakes evaluation, a history of repeated failure—two physiological systems activate in sequence. The autonomic nervous system responds within seconds, releasing catecholamines from the adrenal medulla and brainstem nuclei; more slowly, over the following twenty to thirty minutes, the hypothalamic-pituitary-adrenal axis raises circulating cortisol, which readily crosses into the brain and binds extensively in the hippocampus, amygdala, and prefrontal cortex (Vogel & Schwabe, 2016). These are precisely the structures responsible for encoding new information, regulating emotional reactivity, and maintaining the executive control needed to stay on task.

The functional consequence is well documented: acute and chronic stress reliably impair working memory and reduce the flexibility of prefrontal-dependent cognition, even as they can, under some conditions, enhance the consolidation of emotionally salient memories (Vogel & Schwabe, 2016; Arnsten, 2009). In other words, stress does not simply "reduce" learning in a uniform way; it reshapes which kind of learning is favored, often at the expense of the flexible, effortful, and often academically relevant kind. A student under chronic low-grade stress—whether from an unstable home environment, social difficulties, or an accumulated sense of failure at school—may therefore present as inattentive or unmotivated not because of a primary attentional or motivational deficit, but because the neuroendocrine conditions for sustained top-down engagement are simply not present at that moment.

This has a direct pedagogical implication that the introductory abstract of this line of work already signaled: before asking what content a student needs, it may be relevant to ask whether the student's physiological state permits them to receive it. This is not a call to diagnose or medicalize the classroom; it is a proposal to treat state as a variable that has historically been underweighted in pedagogical models, in part because it is not observable without instrumentation.

It is worth underscoring that this state-dependence is not a marginal or occasional phenomenon confined to a few visibly anxious students. Any classroom will, at a given moment, contain a wide distribution of physiological states: some students recently regulated by a calm transition between activities, others still carrying residual activation from an earlier conflict in the corridor, a disrupted night's sleep, or an unresolved difficulty at home. Because none of this is visible on the surface in a reliable way, it is routinely folded into judgments about attitude, effort, or ability that may have little to do with the actual bottleneck. A pedagogy that has no way of representing this variability will tend, by default, to treat all inattentive-looking students as a single category, applying uniform disciplinary or motivational responses to what may be physiologically distinct problems.

2.2 Individual Alpha Peak Frequency as a Marker of Cognitive Readiness

If stress physiology helps explain why readiness varies, qEEG is proposed here as one candidate approach for rendering part of that variability observable, subject to the caveats developed below. Among the most studied qEEG markers is the individual alpha peak frequency (iAPF)—the specific frequency, typically between 7.5 and 12.5 Hz, at which alpha-band power reaches its maximum in a given individual, most often measured at posterior electrode sites under eyes-closed resting conditions. Unlike generic "alpha power," which reflects intensity, iAPF reflects a more idiosyncratic property of an individual's neural timing, one that is relatively stable across sessions yet still sensitive to developmental stage, moment-to-moment arousal, and clinical status (Pérez-Elvira et al., 2021).

Alpha oscillations are thought to function as a timing mechanism for cortical inhibition, gating which regions are actively suppressed so that task-relevant processing is not overridden by irrelevant input (Klimesch, 1999). A slower or immature iAPF has been associated with delayed alpha-band network development and has been proposed as a candidate biomarker in adolescents with learning disabilities, where it appears to moderate how individuals respond to neurofeedback-based interventions (Pérez-Elvira et al., 2021).

This is offered here as an illustration of the argument being developed, not as a settled conclusion: iAPF does not diagnose a learning disability, and low iAPF is not synonymous with a learning difficulty. The hypothesis under consideration is only that it may index something about an individual's readiness for a specific type of cognitive engagement or intervention response—information that, if corroborated, would need to be interpreted alongside behavioral and academic observation rather than in place of it.

Beyond iAPF, similar logic extends to inter-regional coherence—the degree of temporal synchrony between EEG signals recorded at different scalp locations—which has been used as an index of functional connectivity between brain regions implicated in attention and working memory networks. Neither of these markers, on their own, constitutes a clinical or educational verdict. Their value lies in the pattern they form when considered together and against the backdrop of a student's specific context.

It is also worth being precise about what these markers are not measuring.

iAPF is not an index of intelligence, effort, or motivation, and a lower iAPF value in a given recording should not be read as a ceiling on what a student can achieve; developmental trajectories, sleep, recent activity, and even time of day can shift resting-state measures within the same individual. The usefulness of these markers in an educational reflection lies less in a single absolute value and more in tracking how such indices co-vary with academic history, behavioral observation, and the demands of a specific task—an approach much closer to a longitudinal, idiographic use of the data than to a normative, one-time classification.

3. Beyond Spectral Power: Nonlinear Brain Dynamics in Learning

3.1 Why Look Beyond the Spectrum

Classical qEEG analysis is largely spectral: it decomposes the EEG signal into frequency bands (delta, theta, alpha, beta, gamma) and describes their relative power and topographic distribution. This approach has produced normative databases used in clinical and educational neurofeedback practice for several decades. However, spectral analysis treats the EEG signal as if it were composed of stationary, linearly superimposed oscillations—an assumption that is a mathematical convenience rather than an established biological property of the underlying system. The brain is widely modeled as a nonlinear system, in which neuronal populations interact through feedback loops, thresholds, and time delays that generate dynamics not fully captured by a sum of independent oscillations (Stam, 2005).

Nonlinear time-series methods attempt to describe this additional structure directly. Rather than asking how much power is present in each frequency band, they ask how predictable a signal is from its own recent past, and whether the trajectory of neural activity over time settles into a stable, repeating pattern or diverges unpredictably. Two families of measures are commonly used to address such questions. The first concerns complexity and predictability—including entropy-based measures and Lyapunov exponents, which quantify how rapidly two initially similar neural states diverge over time (Stam, 2005). A positive Lyapunov exponent indicates sensitive dependence on initial conditions, a signature of chaotic, less predictable dynamics; comparatively lower or more stable exponents have been associated with more ordered, less variable brain states.

It is hypothesized, though not established for educational populations, that this class of measure could index whether a student's brain activity is organized in a way that is stable enough to sustain a demanding cognitive task, as distinct from behaving in a manner consistent with dysregulation. The second family concerns spatial organization—the degree to which different brain regions contribute coherently to an observed pattern of activity—which is addressed by source localization.

3.2 Source-Localized Activity and Functional Organization

Scalp-recorded EEG has high temporal resolution but comparatively low spatial resolution, since electrical activity generated by cortical sources is attenuated and distributed as it passes through the skull and scalp before reaching the electrodes. Source localization methods attempt to solve this inverse problem, estimating from the recorded scalp signal which underlying cortical generators most plausibly produced it. Low-resolution electromagnetic tomography (LORETA) and its refinements (sLORETA, eLORETA) are among the most widely used solutions to this problem, offering a three-dimensional estimate of current density distributed across the cortical volume rather than a single dipole location (Pascual-Marqui, 1999). LORETA-family methods have primarily been validated in clinical contexts such as epilepsy and schizophrenia, where localization accuracy has been assessed against surgical and imaging outcomes; their application to educational questions—for instance, whether attention-related fronto-parietal networks are engaged in a manner consistent with task demands—remains a hypothesis to be tested rather than a validated use case.

Taken together, complexity and stability measures and source-localized functional organization are proposed here as a way of moving qEEG interpretation from a static description of frequency-band power toward an account of how stable, organized, and appropriately distributed a student's brain activity is while learning is being attempted. In this paper, the phrase "brain dynamics" refers to this family of nonlinear, dynamical-systems-informed approaches, understood as complementary to, rather than a replacement for, classical spectral qEEG.

3.3 Variability as Information, Not Noise

A further conceptual implication of nonlinear approaches concerns how variability itself is treated. In conventional spectral analysis, moment-to-moment fluctuation in a signal is generally treated as noise to be averaged out in estimating a stable value. Dynamical-systems approaches instead treat the pattern of variability as informative in its own right: a system with very little variability across time or context is hypothesized to be potentially as functionally limited as one that is highly erratic.

This is consistent with a broader principle proposed in developmental and health sciences, in which an intermediate range of physiological variability—neither minimal nor excessive—is associated with adaptive functioning. Applied to a learning context, this suggests, as a hypothesis rather than an established finding, that the relevant question may not be whether a student's brain activity is stable in an absolute sense, but whether its variability remains organized enough to permit flexible engagement with changing task demands.

4. Learning from Difference: Prediction Error and Feedback

The discussion so far has concerned the state a brain is in when learning is attempted. A parallel and complementary line of neuroscience concerns the mechanism by which learning itself proceeds once that state permits engagement.

Contemporary neurocognitive models converge on the idea that learning is fundamentally an error-correction process: the brain continuously generates predictions about forthcoming stimuli, actions, or outcomes, and learning occurs when reality diverges from those predictions, producing a prediction error signal that drives synaptic and behavioral updating (Schultz, Dayan, & Montague, 1997). This mechanism has been most extensively characterized in reward-based learning, where midbrain dopaminergic signals appear to encode the difference between expected and received reward, but the broader principle—that mismatch, not mere repetition, is what drives updating—extends well beyond reward learning into perceptual and academic domains.

For pedagogy, this suggests a reframing of the role of error, offered here as a hypothesis rather than a demonstrated causal pathway in classroom settings: an error may function not simply as evidence of a knowledge gap to be corrected, but as a signal that makes updating possible.

It has been proposed that feedback which is specific, delivered close in time to the response, and framed as information rather than judgment supports this error-driven updating more effectively than delayed, vague, or punitive feedback, which risks converting a computational event into an aversive one that a stressed nervous system may tend to avoid rather than process (Schultz et al., 1997). This connects to Section 2: a student whose neuroendocrine state is already oriented toward threat-detection may be less likely to process an error as informative and more likely to process it as further evidence of failure, potentially interrupting the mechanism that would otherwise support learning. Under this framework, regulation and error-processing are treated as two aspects of the same underlying system rather than as independent topics.

5. From Data to Practice: Toward Individualized Learning Interventions

Bringing these threads together, three hypotheses can be formulated regarding how qEEG-informed, nonlinear brain-dynamics data might relate to learning interventions. These are presented as propositions for future testing, not as validated recommendations, and none of them is intended to substitute for pedagogical judgment.

First, it is hypothesized that state-level information—whether inferred from behavioral proxies or, where available, from resting-state qEEG markers such as iAPF or complexity indices—could help distinguish between learning difficulties that are primarily regulatory (a student who may need stabilization, predictability, and pacing before content) and those that are primarily related to specific cognitive processes (a student who is regulated but struggles with a particular type of processing, such as phonological decoding or working-memory-heavy arithmetic). These two profiles can present with superficially similar classroom behavior yet, if the hypothesis holds, would call for different interventions: one oriented toward restructuring the environment and supporting physiological regulation, the other toward targeted, skill-specific instructional strategies.

Second, it is hypothesized that nonlinear stability measures could help indicate the intervention intensity that is appropriate for a given student. A parallel proposal has been made in the clinical neuromodulation literature, where reserve-based safety models suggest gating intervention intensity by a patient's underlying physiological reserve rather than applying uniform protocols to everyone who meets a surface-level inclusion criterion (DaSilva, 2026). By analogy, it is proposed that a highly demanding, fast-paced, high-stimulation learning environment may be appropriate for a student whose dynamics indicate flexible, stable engagement, and less appropriate for a student whose dynamics suggest an already taxed regulatory system, even where both students share the same diagnostic label or standardized test score. This analogy has not been tested in an educational sample and is offered here only as a conceptual parallel.

Third, the prediction-error framework outlined in Section 4 suggests, as a hypothesis, that feedback design may function as an intervention lever independent of content delivery. Interventions that build in frequent, low-stakes opportunities for prediction and correction—retrieval practice, formative quizzing, immediate and specific feedback—are proposed to create conditions under which prediction-error-driven updating is more likely to occur, according to the mechanism reviewed above, though this remains to be confirmed in classroom-based studies.

None of these three hypotheses implies universal qEEG screening in schools, nor do they position brain data as more authoritative than teacher observation or student history. They are intended as testable propositions to be evaluated against—not substituted for—the pedagogical and contextual information that a teacher, family, and the student's own developmental history can supply.

A brief, hypothetical, and deliberately non-clinical illustration is offered to clarify the distinction drawn above; it does not describe actual students, patients, or research findings. Consider two hypothetical students who both struggle to complete independent reading tasks and are both described by teachers as easily distracted. In the first case, contextual history suggests a chaotic and unpredictable home routine; under the hypothesis proposed here, one might expect a nonlinear profile suggesting reduced stability of resting-state dynamics, consistent with a system oriented toward threat-monitoring rather than sustained engagement. In the second case, the student is developmentally on track, with an untroubled home history, but resting-state markers might instead point toward a specific difficulty in a task-relevant network rather than a broad dysregulation.

If such a distinction were confirmed through appropriate assessment, it would suggest, for the first case, prioritizing predictability, pacing, and physiological stabilization before increasing cognitive load, and for the second, that stabilization is not the primary bottleneck and that targeted, skill-specific instructional strategies may be more relevant. This illustration is intended only to make the conceptual distinction concrete; it is not evidence that such a distinction has been empirically demonstrated.

6. Guarding Against Reductionism: Neuromyths and the Limits of Neuroeducation

Any proposal that brings neuroscience into the classroom must reckon with the field's own history of overreach. Surveys of practicing teachers have repeatedly found strikingly high rates of belief in neuromyths—misconceptions loosely derived from real findings but stretched well past what the evidence supports. Dekker, Lee, Howard-Jones, and Jolles (2012), in a widely cited survey of UK and Dutch teachers, found that respondents endorsed an average of 49% of presented neuromyths, with commercially marketed brain-based programs among the most persistently believed, and found no protective effect of greater general brain knowledge on this tendency. Subsequent studies across many countries have replicated this pattern, most consistently around ideas such as fixed "learning styles" and rigid hemispheric dominance—both of which lack meaningful empirical support despite widespread classroom use.

This history is a direct caution against two temptations that a paper like this one could otherwise invite. The first is treating any single qEEG marker as a fixed, deterministic label for a student—the neuromyth pattern in miniature, simply rebranded with more technical vocabulary. The second is assuming that neuroscientific specificity automatically translates into pedagogical utility; a finding can be entirely valid at the level of group statistics in a peer-reviewed journal and still provide no safe basis for an individual-level classroom decision without proper calibration, replication, and integration with educational expertise. The nonlinear and source-localized markers discussed in Sections 2 and 3 are proposed here strictly as adjunct, hypothesis-generating information, precisely because doing otherwise would repeat the same overreach that has already damaged the credibility of neuroscience-informed education once.

7. Limitations and Future Directions

Several limitations bound the scope of this discussion. First, the qEEG and nonlinear-dynamics literature cited here is drawn substantially from clinical and laboratory populations rather than general school-age samples in ecologically valid classroom settings; direct extrapolation to everyday pedagogical decision-making requires dedicated validation in educational contexts. Second, measures such as Lyapunov exponents and other nonlinear indices remain sensitive to recording conditions, artifact, and analytic choices, and cross-study comparability is still an active methodological concern within the nonlinear EEG literature itself (Stam, 2005). Third, this paper has intentionally avoided proposing fixed diagnostic thresholds; any operational use of these markers in an applied educational or clinical protocol would require prospective calibration against outcomes in the specific population and setting where it is deployed, together with appropriate safeguards against premature standardization.

Future work in this line of research might usefully pursue three directions: longitudinal studies tracking how state-level qEEG and nonlinear markers relate to trajectories of academic performance over time, rather than single time-point associations; comparative studies examining whether interventions matched to a student's regulatory profile outperform standardized interventions delivered irrespective of that profile; and closer collaboration between neuroscientists and educators in designing studies whose outcome measures are genuinely meaningful in classroom terms, rather than measures borrowed unmodified from clinical or laboratory paradigms.

A further, more logistical limitation deserves mention. Even where the scientific case for a given marker is solid, its translation into everyday school practice raises questions this paper does not attempt to resolve: who would be qualified to record and interpret qEEG in an educational setting, how consent and data protection would be handled for minors, and how findings would be communicated to teachers and families in a way that informs rather than labels. These are not incidental implementation details; they are preconditions for any responsible use of this kind of data with children, and they would need to be addressed by interdisciplinary teams that include education professionals, clinicians, and ethicists before any of the interventions sketched in Section 5 moved from hypothesis to practice.

8. Conclusion

The classroom has traditionally been interpreted through behavior, because behavior is what is directly observable. This paper has proposed the hypothesis that part of what generates that behavior—an individual's neurophysiological state, its stability, and its capacity to process error and feedback—is not observable without instrumentation, and that qEEG, particularly when interpreted through nonlinear, dynamic measures rather than spectral power alone, may offer one candidate way of examining part of that layer. Markers such as individual alpha peak frequency, inter-regional coherence, source-localized activity, and nonlinear stability measures do not diagnose learning difficulties, nor do they replace pedagogical assessment, academic history, or contextual understanding of the student; the arguments presented here remain hypotheses requiring empirical validation in educational settings, and none of the interventions sketched in Section 5 should be treated as established practice. If corroborated by future research conducted in dialogue with educators, this line of inquiry may support a more individualized formulation of an existing pedagogical question—not simply what a student needs to learn, but under what internal conditions that student is currently able to learn it.

References

Arnsten, A. F. T. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience, 10*(6), 410–422.

DaSilva, V. (2026). The Sardinia Filter: A patient safety model for technology-assisted clinical interventions [Conference abstract]. Department of Medicine and Surgery, University of Parma.

Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology, 3*, 429. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00429

Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews, 29*(2–3), 169–195.

Pascual-Marqui, R. D. (1999). Review of methods for solving the EEG inverse problem. *International Journal of Bioelectromagnetism, 1*(1), 75–86.

Pérez-Elvira, R., Oltra-Cucarella, J., Carrobles, J. A., Teodoru, M., Bacila, C., & Neamtu, B. (2021). Individual alpha peak frequency, an important biomarker for live Z-score training neurofeedback in adolescents with learning disabilities. *Brain Sciences, 11*(2), 167. https://doi.org/10.3390/brainsci11020167

Schultz, W., Dayan, P., & Montague, P. R. (1997). A neural substrate of prediction and reward. *Science, 275*(5306), 1593–1599.

Stam, C. J. (2005). Nonlinear dynamical analysis of EEG and MEG: Review of an emerging field. *Clinical Neurophysiology, 116*(10), 2266–2301.

Vogel, S., & Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress: Implications for the classroom. *npj Science of Learning, 1*, 16011. https://doi.org/10.1038/npjscilearn.2016.11

ACUTE POISONING CASES IN SOUTH-EASTERN MOROCCO (2020–2025): EPIDEMIOLOGY, CLINICAL PRESENTATION, AND THERAPEUTIC MANAGEMENT

El Houssain MAROUANI
Laboratory of Anthropogenic, Biotechnology and Health, Nutritional Physiopathologies, Neuroscience and Toxicology Team, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco; Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Salma AIT EL HAJ
Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Chaima EL HAYDOUGUI
Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Imane IMILOUANE
Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Abdessamad MOUHSSINE
Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Adnane HAKEM
Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Brahim EL HOUATE
Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Prof. Dr. Omar EL HIBA
Laboratory of Anthropogenic, Biotechnology and Health, Nutritional Physiopathologies, Neuroscience and Toxicology Team, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco.

Prof. Dr. Abdelaati EL KHIAT
Laboratory of Anthropogenic, Biotechnology and Health, Nutritional Physiopathologies, Neuroscience and Toxicology Team, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco; Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

ABSTRACT

Background: Acute poisoning represents a major global public health challenge, causing around 300,000 deaths per year. Despite the seriousness of this issue, epidemiological data remain limited in the Drâa-Tafilalet region of Morocco.

Objective: This study aimed to analyse the epidemiological, clinical, therapeutic and clinical course profiles of food, drug and gas poisoning cases treated at the Ouarzazate Provincial Hospital.

Methods: We conducted a retrospective, descriptive, cross-sectional study over a five-year period (October 2020 – December 2025).The sample comprised 97 patients admitted for poisoning. Data were analysed using SPSS, applying Fisher's and Student's t-tests for correlations ($p < 0.05$).

Results: The majority of patients were women (55.7 %) and young adults (mean age: 28.64 ± 20.78 years), mainly from urban areas (76.3 %). Food poisoning was the most common cause (74.2 %), followed by gas poisoning (13.4 %) and drug poisoning (12.4 %). Most cases were accidental (87.6 %) and occurred at home (66 %), with a peak in incidence in August (22.7 %). Clinically, gastrointestinal symptoms predominated (82.5%). Significant associations were observed between neurological signs and gas poisoning ($p < 0.001$), as well as between cardiovascular symptoms and food poisoning ($p = 0.004$). The outcome was favourable for 95.9 % of patients, and no deaths were recorded.

Conclusion: The study highlights the high prevalence of summer food poisoning and the specific clinical profiles associated with different toxins. These results demonstrate the need to strengthen prevention measures in the home and to establish a regional food poisoning register to optimise management protocols
Keywords: Acute poisoning, Ouarzazate, epidemiology, clinical toxicology, carbon monoxide, food safety.

PROXIMATE NUTRIENT COMPOSITION OF SELECTED LOCALLY PRODUCED COMPLEMENTARY FOODS IN KATSINA STATE, NIGERIA

Hadiza Kabir MATAZU
Department of Basic and Applied Sciences, Hassan Usman Katsina Polytechnic, Katsina, Nigeria; Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abdullahi Balarabe SALLAU
Department of Biochemistry, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.

Ibrahim Hamza KANKIA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Aisha Ibrahim LABARAN
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Usman BELLO
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abstract
Locally produced complementary foods are widely consumed by infants and young children, yet information on their nutritional composition remains limited. This study assessed the proximate nutrient composition of selected locally produced complementary foods in Katsina State, Nigeria. Ten complementary food samples were collected from the three senatorial zones of the state and analyzed for moisture, ash, crude fibre, protein, lipid, dry matter, and carbohydrate using standard analytical procedures. The results showed considerable variation in the proximate composition of the food samples. Moisture content ranged from 27.31 to 87.16 g/100 g, while protein and lipid contents ranged from 3.38 to 15.08 g/100 g and 4.88 to 11.22 g/100 g, respectively. Carbohydrate content varied from 7.04 to 55.94 g/100 g, with crude fibre ranging from 0.00 to 5.80 g/100 g. Ash and dry matter contents ranged from 1.15 to 5.93 g/100 g and 12.85 to 72.70 g/100 g, respectively. Among the samples, millet pap recorded the highest carbohydrate and crude fibre contents, while pearl millet balls had the highest protein content. The observed differences indicate that the selected complementary foods have varying nutritional characteristics, with some foods providing higher levels of protein, carbohydrate, and other proximate nutrients than others. These findings provide useful information on the nutritional quality of locally produced complementary foods and may support dietary planning, nutrition education, and improved complementary feeding practices in Katsina State, Nigeria.
Keywords: Complementary foods, proximate composition, protein, carbohydrate, lipid, crude fibre, Katsina State, Nigeria.

TEMPORAL VARIABILITY IN THE WATER QUALITY AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF KHYARGAS LAKE, MONGOLIA

Tsiiregzen ANDARAI
Sustainability Solutions Research Lab, University of Pannonia, Veszprém, Hungary.

Bayaraa BATNASAN
Hydrometeorological Environmental Analysis Center of Uvs Province, Ulaangom, Mongolia.

Purevsuren BUYANTSOG
Hydrometeorological Environmental Analysis Center of Uvs Province, Ulaangom, Mongolia.

Endre DOMOKOS
Sustainability Solutions Research Lab, University of Pannonia, Veszprém, Hungary.

ABSTRACT

Khyargas Lake is one of the largest saline lakes in western Mongolia and represents an important natural aquatic ecosystem in the arid region. This study evaluated the long-term variability of the lake's physicochemical characteristics based on water-quality observations collected over a 12-year period from 2014 to 2025. A total of 60 water samples were analyzed, with five sampling campaigns conducted annually. The investigated parameters included water temperature, pH, electrical conductivity (EC), total suspended solids (TSS), mineralization, hardness, major ions (Na+K, Ca, Mg, HCO_3, Cl, and SO_4), Fe, F, Si, total phosphorus (TP), dissolved oxygen, chemical oxygen demand (COD), ammonium, nitrite, and nitrate. The results showed that Khyargas Lake consistently exhibited alkaline conditions, with pH ranging from 8.93 to 9.79. EC varied between 4,950 and 10,970 µS/cm, while mineralization ranged from 3,481.7 to 10,531.9 mg/L, confirming the lake's highly mineralized character. The dominant dissolved constituents were Na+K, Mg, HCO_3, Cl, and SO_4, with considerable interannual variability. Nutrient concentrations also fluctuated substantially, particularly ammonium (0.08–3.50 mg/L), nitrate (0.041–0.92 mg/L), and total phosphorus (0.005–0.068 mg/L). The highest average EC and mineralization values generally occurred during the later years of the monitoring period, indicating changes in the lake's hydrochemical conditions over time. Overall, the 12-year dataset demonstrates pronounced temporal variability while confirming the persistent alkaline and saline nature of Khyargas Lake. These findings provide a valuable baseline for assessing long-term hydrochemical changes and supporting future monitoring and conservation of the lake ecosystem.

DETERMINATION OF THE NUTRIENT COMPOSITION AND HEAVY METAL AND AFLATOXIN LEVELS IN CEREAL GRAINS USED IN ANIMAL HUSBANDRY IN TEKIRDAĞ PROVINCE

Assoc. Prof. Dr. Sevilay GÜL
Department of Plant and Animal Production, Vocational School of Technical Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5695-1089

Prof. Dr. Levent COŞKUNTUNA
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7137-4198

Özet
Dane yemlerin besin madde kompozisyonu; yetiştirildikleri bölgenin çevresel ve toprak koşulları, çeşit, gübreleme, hasat ve depolama gibi faktörlere bağlı olarak değişebilmekte ve bu durum yemlerin besleme değerini etkileyebilmektedir. Bu çalışmayla, Tekirdağ ilinin Süleymanpaşa, Çorlu, Çerkezköy ve Malkara ilçelerinden temin edilen buğday, arpa, tritikale ve yulaf örneklerinin besin madde kompozisyonu, organik madde sindirilebilirliği (OMS), metabolik enerji (ME), mikotoksin ve ağır metal içeriklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla bu bölgelerdeki üreticilerden temin edilen dane yem örneklerinde besin madde analizleri, metabolik enerji değerleri, mineral madde ile ağır metal ve aflatoksin içeriklerini belirlemek üzere analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, dane yemlerin besin madde içerikleri ve enerji değerlerinin yem türüne ve bölgeye göre değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur. Buğday, arpa, tritikale ve yulafın özellikle ham protein içeriklerinde bölgeler arasında önemli farklılıklar belirlenmiştir. Arpada kuru madde ve ham protein değerlerinin bölgelere göre önemli ölçüde değiştiği ($P<0,001$) saptanmıştır. Sonuç olarak, bölge üreticileri tarafından hayvan beslemede kullanılmak üzere üretilen dane yemlerin uygun besin madde içeriğine sahip olduğu ve ağır metal düzeylerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Dane yem, hayvan besleme, besin madde, ağır metal

Abstract
The nutritional composition of cereal grains can vary depending on several factors, including local environmental and soil conditions, cultivar, fertilization practices, harvesting, and storage, which may consequently influence their feeding value. This study aimed to characterize the nutrient composition, organic matter digestibility (OMD), metabolizable energy (ME), mycotoxin levels, and heavy metal contents of wheat, barley, triticale, and oat samples collected from Süleymanpaşa, Çorlu, Çerkezköy, and Malkara districts of Tekirdağ Province, Türkiye. Grain samples obtained from local producers were analyzed for nutrient and mineral composition, heavy metals, and aflatoxins, and their metabolizable energy values were determined. The findings demonstrated that both the nutrient composition and energy values of the grains varied according to grain type and sampling region. Significant regional differences were observed particularly in the crude protein contents of wheat, barley, triticale, and oats. In barley, dry matter and crude protein contents differed significantly among the sampling regions ($P<0.001$). Overall, the cereal grains produced locally for animal feeding were found to have suitable nutrient profiles, while their heavy metal levels remained within acceptable limits.
Keywords: Cereal grains, animal nutrition, nutrients, heavy metals

ALTERNATIVE PROTEIN SOURCES TO SOYBEAN MEAL IN ANIMAL NUTRITION: CURRENT APPROACHES AND FUTURE PERSPECTIVES

Assoc. Prof. Dr. Sevilay GÜL
Department of Plant and Animal Production, Vocational School of Technical Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-5695-1089

Prof. Dr. Levent COŞKUNTUNA
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7137-4198

Özet
Soya küspesi, yüksek ham protein içeriği, elverişli amino asit profili ve yaygın ticari bulunabilirliği nedeniyle hayvan beslemede başlıca bitkisel protein kaynaklarından biridir. Bununla birlikte, fiyat dalgalanmaları, ithalata bağımlılık, arazi kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlikle ilişkili kaygılar, soya proteinine alternatif yem hammaddelerine yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Bu derlemede; tane baklagiller, kolza/kanola ve ayçiçeği gibi yağlı tohum yan ürünleri, böcek unları, mikroalgler, tek hücre proteinleri, fermantasyonla geliştirilmiş protein kaynakları ve agro-endüstriyel yan ürünlerin soya küspesini kısmen veya tamamen ikame etme potansiyeli güncel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Alternatif protein kaynaklarının kullanım potansiyeli yalnızca ham protein düzeyine değil; sindirilebilir amino asit profiline, antinutrisyonel faktörlere, uygulanan işleme yöntemlerine, hayvan türü ve fizyolojik döneme, gıda ve yem güvenliğine, ekonomik uygulanabilirliğe ve yaşam döngüsü boyunca oluşan çevresel etkilere bağlıdır. Güncel bulgular, özellikle tane baklagiller ile yerel yağlı tohum yan ürünlerinin uygun rasyon formülasyonu ve işleme koşullarında soya küspesinin kısmi ikamesinde uygulanabilir seçenekler olduğunu; böcek, mikroalg ve mikrobiyal proteinlerin ise döngüsel biyoekonomi açısından önemli potansiyel taşımakla birlikte maliyet, ölçeklendirme ve mevzuat yönlerinden daha fazla geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecekte, soya küspesine bağımlılığın azaltılmasında tek bir alternatif hammaddenin kullanımından ziyade, bölgesel olarak erişilebilir farklı protein kaynaklarının besin değerleri ve sindirilebilirlik özellikleri dikkate alınarak birlikte değerlendirilmesine dayanan rasyon stratejilerinin ön planda ele alınması gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Soya küspesi, alternatif protein kaynakları, hayvan besleme, sürdürülebilirlik

Abstract
Soybean meal is one of the major plant-based protein sources used in animal nutrition due to its high crude protein content, favorable amino acid profile, and widespread commercial availability. However, concerns related to price fluctuations, dependence on imports, land use, and environmental sustainability have accelerated research into alternative feed ingredients as substitutes for soybean protein. This review evaluates, in light of the current literature, the potential of grain legumes, oilseed co-products such as rapeseed/canola and sunflower meals, insect meals, microalgae, single-cell proteins, fermentation-enhanced protein sources, and agro-industrial by-products to partially or completely replace soybean meal. The utilization potential of alternative protein sources depends not only on their crude protein content but also on their digestible amino acid profile, antinutritional factors, processing methods, animal species and physiological stage, food and feed safety, economic feasibility, and environmental impacts throughout the life cycle. Current evidence indicates that grain legumes and locally available oilseed co-products, in particular, represent feasible options for the partial replacement of soybean meal when appropriate diet formulation and processing conditions are applied. Insect-, microalgae-, and microbial-derived proteins also hold considerable potential within the framework of a circular bioeconomy; however, further development is required with regard to cost, scalability, and regulatory aspects. In the future, strategies aimed at reducing dependence on soybean meal should prioritize the combined utilization of different regionally available protein sources, taking into account their nutritional value and digestibility characteristics, rather than relying on a single alternative feed ingredient.
Keywords: Soya küspesi, alternatif protein, böcek unu, mikroalg, tek hücre proteini, baklagiller, sürdürülebilir hayvan besleme

OKRA-YOLO: AN ENHANCED YOLOV8S FRAMEWORK FOR ACCURATE AND EFFICIENT OKRA IN AGRICULTURAL ENVIRONMENTS

Dr. Erhan KAHYA
Computer Programming Program, Department of Computer Technologies, Vocational School of Technical Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7768-9190

Yiğit ORUÇ
Computer Programming Program, Department of Computer Technologies, Vocational School of Technical Sciences, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0009-3920-4733

Özet
Tarımsal koşullarda bamyanın doğru ve etkin bir şekilde tespit edilmesi; otomatik izleme, verim değerlendirmesi ve akıllı hasat sistemlerinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bamya tespiti amacıyla YOLOv8s tabanlı geliştirilmiş bir nesne tespit modeli olan Okra-YOLO değerlendirilmiştir. Oluşturulan mimaride, özellik temsilini ve tespit performansını geliştirmek amacıyla YOLOv8s temel modeline EBAM, SFSConv ve MFCV modülleri entegre edilmiştir. Veri seti 534 orijinal görüntüden oluşturulmuş, veri artırma işlemleri sonucunda eğitim seti 1.515 görüntüye çıkarılmıştır. Ayrıca 19 görüntü doğrulama için kullanılırken, eğitim sürecinden tamamen bağımsız 24 görüntü test amacıyla ayrılmıştır. Okra-YOLO modeli ; YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN ve SSD300 modelleriyle tespit doğruluğu ve hesaplama performansı açısından karşılaştırılmıştır. Okra-YOLO, 0,734 mAP@0.5 ve 0,587 mAP@0.5:0.95 değerlerine ulaşarak karşılaştırılan modeller arasında mAP@0.5:0.95 açısından en yüksek performansı göstermiştir. Model ayrıca 28,6 GFLOPs, 11,1 milyon parametre ve NVIDIA L4 GPU üzerinde 12,0 FPS çıkarım hızına ulaşmıştır. YOLOv8s, 0,738 ile biraz daha yüksek mAP@0.5 değeri elde etmesine rağmen, Okra-YOLO daha sıkı IoU eşiklerini kapsayan mAP@0.5:0.95 metriğinde daha başarılı olmuştur. Elde edilen bulgular, Okra-YOLO'nun otomatik bamya tespiti için tespit doğruluğu ile hesaplama gereksinimleri arasında umut verici bir denge sunduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda modelin genelleme yeteneğinin daha geniş veri setleri ve farklı tarımsal çevre koşulları altında doğrulanması önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Bamya tespiti; Okra-YOLO; derin öğrenme; nesne tespiti; hassas tarım

Abstract
Accurate and efficient detection of okra under agricultural conditions is important for automated monitoring, yield assessment, and the development of intelligent harvesting systems. In this study, Okra-YOLO, an enhanced object detection model based on YOLOv8s, was evaluated for okra detection. In the proposed architecture, EBAM, SFSConv, and MFCV modules were integrated into the YOLOv8s baseline model to improve feature representation and detection performance. The dataset consisted of 534 original images, and the training set was expanded to 1,515 images through data augmentation. In addition, 19 images were used for validation, while 24 images, completely independent of the training process, were reserved for testing. The Okra-YOLO model was compared with YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN, and SSD300 in terms of detection accuracy and computational performance. Okra-YOLO achieved an mAP@0.5 of 0.734 and an mAP@0.5:0.95 of 0.587, demonstrating the highest mAP@0.5:0.95 among the compared models. The model also achieved an inference speed of 12.0 FPS on an NVIDIA L4 GPU, with 28.6 GFLOPs and 11.1 million parameters. Although YOLOv8s achieved a slightly higher mAP@0.5 of 0.738, Okra-YOLO performed better in terms of mAP@0.5:0.95, which covers stricter IoU thresholds. The findings indicate that Okra-YOLO provides a promising balance between detection accuracy and computational requirements for automated okra detection. Future studies are recommended to validate the generalisation capability of the model using larger datasets and more diverse agricultural environmental conditions.
Keywords: okra detection; Okra-YOLO; deep learning; object detection; precision agriculture

1. Giriş

Bamya (*Abelmoschus esculentus* L. Moench), taze tüketim ve gıda endüstrisindeki kullanım alanları nedeniyle ekonomik öneme sahip sebze türlerinden biridir. Bamya yetiştiriciliğinde ürünlerin doğru zamanda belirlenmesi, hasat edilebilir meyvelerin izlenmesi ve üretim miktarının tahmin edilmesi önemli tarımsal işlemler arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, bitkinin yapraklı yapısı, meyvelerin farklı yönelimlerde gelişmesi, birbirleriyle veya yapraklarla örtüşmesi ve doğal ortamda meydana gelen aydınlatma değişimleri, görüntü tabanlı otomatik tespit sistemlerinin geliştirilmesini güçleştirmektedir. Benzer sorunların meyve ve sebzelerin görüntü tabanlı analizinde de önemli kısıtlar oluşturduğu ve özellikle küçük nesneler, örtüşme, karmaşık arka plan ve değişken aydınlatmanın tespit performansını doğrudan etkilediği bildirilmektedir (Koirala ve ark., 2019; Xiao ve ark., 2023; Ma ve ark., 2026).

Geleneksel tarımsal görüntü işleme yaklaşımları çoğunlukla renk, şekil ve doku gibi elle tasarlanmış özelliklere dayanmaktadır. Bu yöntemler kontrollü görüntüleme koşullarında başarılı sonuçlar verebilmekle birlikte, doğal tarla ve sera ortamlarında meydana gelen ışık değişimleri, gölgelenme, örtüşme ve karmaşık arka plan koşullarına karşı sınırlı genelleme yeteneğine sahiptir. Derin öğrenmenin gelişmesiyle birlikte özelliklerin doğrudan görüntülerden öğrenilebilmesi, tarımsal nesne tespitinde daha dayanıklı ve genellenebilir sistemlerin geliştirilmesini mümkün hâle getirmiştir (Badgujar ve ark., 2024). Günümüzde derin öğrenme tabanlı nesne tespit yöntemleri ürün izleme, verim tahmini, olgunluk değerlendirmesi, hastalık tespiti ve robotik hasat gibi birçok hassas tarım uygulamasında kullanılmaktadır.

Derin öğrenme tabanlı nesne tespit yöntemleri genel olarak tek aşamalı ve iki aşamalı yaklaşımlar altında değerlendirilmektedir. Faster R-CNN gibi iki aşamalı yöntemler önce aday bölgeleri belirlemekte, ardından bu bölgeler üzerinde sınıflandırma ve konumlandırma gerçekleştirmektedir (Ren ve ark., 2015). SSD ve YOLO gibi tek aşamalı yaklaşımlar ise nesne sınıfı ve konum bilgisini doğrudan görüntü üzerinden tahmin ederek daha hızlı bir tespit süreci sağlamaktadır (Liu ve ark., 2016; Redmon ve ark., 2016). Özellikle YOLO ailesinin doğruluk, işlem hızı ve model boyutu arasında sağladığı denge, bu modellerin tarımsal bilgisayarlı görü uygulamalarında yaygın biçimde kullanılmasına yol açmıştır. Son yıllardaki kapsamlı incelemeler de YOLO tabanlı yöntemlerin tarımsal nesne tespiti ve otomatik hasat sistemlerindeki kullanımının hızla arttığını göstermektedir .

YOLO mimarisinin gelişimiyle birlikte yüksek tespit doğruluğunun yanı sıra gerçek zamanlı uygulamalara uygun daha kompakt modeller geliştirilmiştir. YOLOv8, anchor-free tespit yaklaşımı ve farklı model ölçekleriyle doğruluk ile hesaplama maliyeti arasında farklı uygulamalara göre denge kurulmasına olanak sağlamaktadır (Jocher ve ark., 2023). YOLOv8 tabanlı modellerin tarımsal görüntülerde kullanımı son yıllarda önemli ölçüde artmış; meyve olgunluk tespiti, ürün fenotipleme, hasat planlama ve karmaşık doğal ortamlardaki nesne tespiti gibi farklı görevlerde başarılı sonuçlar raporlanmıştır (Xiao ve ark., 2024; Solimani ve ark., 2024; Yan ve ark., 2024).

Bununla birlikte, temel YOLO mimarilerinin doğrudan kullanılması her tarımsal problem için optimum sonucu vermeyebilir. Tarımsal nesnelerin boyut, renk ve şekillerindeki değişkenlik; hedeflerin yaprak ve dallarla kısmen örtülmesi; benzer renk özelliklerine sahip arka planların bulunması ve görüntü içerisindeki hedef ölçeğinin değişmesi, özellik çıkarma ve konumlandırma performansını sınırlandırabilmektedir. Örneğin, karmaşık bahçe ortamlarında gerçekleştirilen çalışmalarda örtüşme ve küçük nesne boyutlarının tespit performansı açısından önemli sorunlar oluşturduğu bildirilmiştir (Wu ve ark., 2024). Bu nedenle tarımsal nesne tespit modellerinde yalnızca genel doğruluğun değil, küçük ve örtüşmüş nesnelerin temsil edilmesini sağlayacak özellik çıkarma mekanizmalarının da geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla dikkat mekanizmaları, çok ölçekli özellik füzyonu ve geliştirilmiş konvolüsyon yapıları modern nesne tespit ağlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Kanal ve uzamsal dikkat mekanizmalarının birlikte kullanılması, ağın hedefle ilişkili özellikleri güçlendirirken gereksiz arka plan aktivasyonlarını azaltmasına olanak sağlamaktadır. Woo ve ark. (2018) tarafından geliştirilen CBAM, kanal ve uzamsal dikkat bilgisini ardışık olarak kullanarak özellik haritalarının adaptif biçimde yeniden ağırlıklandırılabileceğini göstermiştir. Tarımsal görüntüler üzerinde gerçekleştirilen daha güncel çalışmalar da attention tabanlı özellik geliştirme stratejilerinin küçük nesnelerin ve karmaşık bitki özelliklerinin konumlandırılmasına katkıda bulunabileceğini göstermektedir (Solimani ve ark., 2024).

Çok ölçekli özelliklerin etkili biçimde işlenmesi de tarımsal nesne tespitinde önemli bir gereksinimdir.

Aynı görüntü içerisinde kameraya farklı uzaklıklarda bulunan ürünler önemli ölçüde farklı piksel alanları kaplayabilmektedir. Bu durum özellikle yoğun bitki örtüsü içerisindeki küçük veya kısmen görünür hedeflerin yüksek seviyeli özellik haritalarında kaybolmasına neden olabilmektedir. Son yıllarda YOLOv8 tabanlı tarımsal modellerde özellik füzyonu, hafif konvolüsyon yapıları ve geliştirilmiş tespit başlıklarının kullanılmasıyla bu sorunun azaltılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Qiu ve ark. (2024a), pitaya olgunluk tespiti için YOLOv8n tabanlı hafif bir model geliştirirken; Qiu ve ark. (2024b), karmaşık koşullarda dut meyvelerinin tespitine yönelik hafifletilmiş bir YOLOv8n modeli önermiştir.

YOLO tabanlı yöntemlerin bir diğer önemli kullanım alanı tarımsal ürünlerin otomatik sayımı ve verim tahminidir. Görüntü üzerinden doğru nesne tespiti yapılması, hasat öncesi ürün miktarının belirlenmesi ve üretim planlamasının gerçekleştirilmesi için temel bir adımdır. Bu çalışmalar, nesne tespit başarısının yanı sıra görüntü bazlı sayım doğruluğunun da tarımsal modellerin pratik uygulanabilirliğinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Literatürde elma, domates, turunçgil, çilek, yaban mersini, pitaya ve diğer birçok tarımsal ürün için geliştirilmiş derin öğrenme tabanlı tespit sistemleri bulunmasına karşın, bamya üzerinde gerçekleştirilen nesne tespit çalışmaları daha sınırlıdır. Bununla birlikte, hasat edilebilir bamya meyvelerinin doğrudan tespit edilmesine yönelik olarak attention, uzamsal–frekans özellik çıkarımı ve çok ölçekli özellik füzyonunun birlikte değerlendirildiği YOLO tabanlı çalışmaların sınırlı olması, bu alanda araştırma gereksinimini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada söz konusu gereksinim doğrultusunda, bamya tespiti için YOLOv8s temel mimarisine dayanan Okra-YOLO modeli değerlendirilmiştir. Önerilen yapı, hedefle ilişkili özelliklerin vurgulanması amacıyla Enhanced Bottleneck Attention Module (EBAM), uzamsal ve frekans alanındaki tamamlayıcı özelliklerin işlenmesi amacıyla Spatial–Frequency Selective Convolution (SFSConv) ve farklı ölçeklerdeki özelliklerin bir araya getirilmesini desteklemek amacıyla Multi-branch Feature Convolution and Fusion (MFCV) modüllerini birleştirmektedir. Çalışmada Okra-YOLO'nun tespit ve hesaplama performansı YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN ve SSD300 modelleriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca eğitim sürecinden tamamen bağımsız 24 görüntü kullanılarak modellerin görüntü bazlı sayım davranışı değerlendirilmiştir. Böylece çalışmada yalnızca standart nesne tespit başarısının değil, hesaplama maliyetinin ve bağımsız görüntüler üzerindeki sayım performansının da birlikte incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. Veri Seti ve Veri Artırma

Bu çalışmada bamya tespiti için oluşturulan PROJE_v2 veri seti kullanılmıştır. Nihai veri seti 534 orijinal görüntüden oluşmaktadır (https://universe.roboflow.com/szs-workspace-bc7by/okra_detection). Veri artırma işlemleri sonrasında eğitim seti 1.515 görüntüye çıkarılmıştır. Ayrıca 19 görüntü doğrulama amacıyla ayrılmış, 24 görüntü ise eğitim ve doğrulama süreçlerinden tamamen bağımsız bir test seti olarak kullanılmıştır. Bu ayrım, modelin daha önce görmediği görüntüler üzerindeki genelleme ve sayım davranışının ayrıca değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Eğitim verisinin çeşitliliğini artırmak amacıyla yatay çevirme, ±15° döndürme, yatay ve düşey yönde ±10° shear, ±15° hue, ±15% brightness ve ±10% exposure dönüşümleri uygulanmıştır. Bu dönüşümler; nesne konumu ve açısındaki değişimlerin, perspektif farklılıklarının, renk değişimlerinin ve farklı aydınlatma koşullarının eğitim sürecinde temsil edilmesini amaçlamıştır.Şekil 1 ‘de çalışma sırasında kullanılan resimlere örnekler verilmiştir.

Şekil 1. Deneme resimleri

Tablo 1. Veri setinin dağılımı.

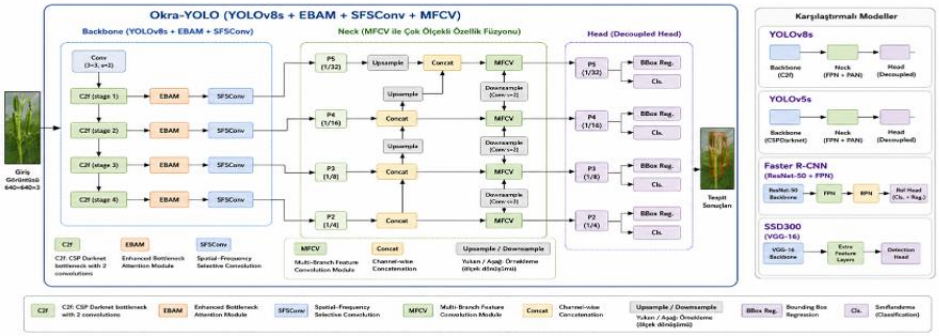
Orijinal görüntü	Train (augmentasyonlu)	Validation	Bağımsız test
534	1515	19	24

Tablo 2. Veri artırma parametreleri.

İşlem	Parametre	Amaç
Flip (Yatay)	Horizontal	Konum çeşitliliği
Rotation	±15°	Açı bağımsızlığı
Shear	±10° H ve V	Perspektif çeşitliliği
Hue	±15°	Renk koşulu çeşitliliği
Brightness	±15%	Işık koşulu çeşitliliği
Exposure	±10%	Domain gap azaltma

2.2. Okra-YOLO Modeli

Okra-YOLO modeli, YOLOv8s temel mimarisi üzerine EBAM, SFSConv ve MFCV modüllerinin entegre edilmesiyle oluşturulmuştur. EBAM dikkat mekanizması, hedefle ilişkili özelliklerin vurgulanmasını ve arka plan tepkilerinin azaltılmasını amaçlarken; SFSConv uzamsal ve frekans alanındaki tamamlayıcı özelliklerin işlenmesi için kullanılmıştır. MFCV ise farklı ölçeklerdeki özelliklerin bir araya getirilmesini destekleyen özellik füzyon bileşeni olarak modele dahil edilmiştir. Karşılaştırmalı deneylerde YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN (ResNet-50 + FPN) ve SSD300 (VGG-16) modelleri kullanılmıştır. Okra-YOLO modelinin genel mimarisi Şekil 1'de gösterilmektedir. Model, YOLOv8s temel mimarisi üzerine EBAM, SFSConv ve MFCV modüllerinin entegre edilmesiyle oluşturulmuştur. EBAM ve SFSConv modülleri backbone aşamasında özellik çıkarımını güçlendirirken, MFCV modülü neck bölümünde farklı ölçeklerden elde edilen özelliklerin füzyonunu desteklemektedir. Ayrıca, çalışmada karşılaştırma amacıyla kullanılan YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN (ResNet-50 + FPN) ve SSD300 (VGG-16) mimarileri de Şekil 2'de sunulmuştur.



Şekil 2. Okra-YOLO modelinin genel mimarisi ve karşılaştırmalı nesne tespit modelleri.

Okra-YOLO, YOLOv8s omurgasına entegre edilen EBAM ve SFSConv modülleri ile neck bölümündeki MFCV tabanlı çok ölçekli özellik füzyonundan oluşmaktadır. Sağ panelde karşılaştırma amacıyla kullanılan YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN (ResNet-50 + FPN) ve SSD300 (VGG-16) mimarileri gösterilmektedir. Çalışmada değerlendirilen modellerin temel mimarileri ve önerilen Okra-YOLO modeline entegre edilen ek modüller Tablo 3'te özetlenmiştir. Okra-YOLO, YOLOv8s temel mimarisi üzerine EBAM, SFSConv ve MFCV modüllerinin eklenmesiyle oluşturulurken, YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN (ResNet-50 + FPN) ve SSD300 (VGG-16) modelleri karşılaştırmalı temel modeller olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 3. Karşılaştırılan model mimarileri.

Model	Temel mimari	Ek modüller
Okra-YOLO	YOLOv8s	EBAM + SFSConv + MFCV
YOLOv8s	YOLOv8s	—
YOLOv5s	YOLOv5s	—
Faster R-CNN	ResNet-50 + FPN	—
SSD300	VGG-16	—

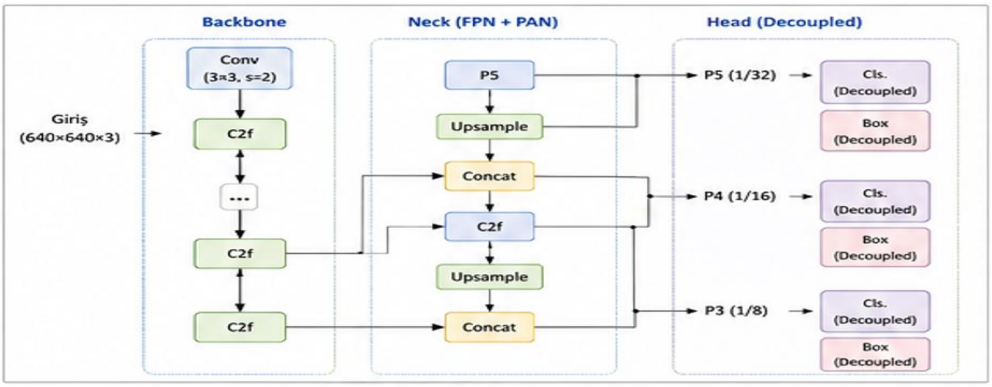
2.2. Model İyileştirme ve Eğitimi

2.2.1. YOLOv8

YOLO (You Only Look Once) ailesi, nesne sınıflandırma ve konumlandırma işlemlerini tek bir ileri yayılım sürecinde gerçekleştiren tek aşamalı nesne tespit yaklaşımlarından biridir. Bu çalışmada temel mimari olarak YOLOv8s kullanılmıştır. YOLOv8; backbone, neck ve detection head olmak üzere üç temel bölümden oluşmaktadır. Backbone bölümü giriş görüntüsünden hiyerarşik özelliklerin çıkarılmasını, neck bölümü farklı çözünürlük seviyelerindeki özelliklerin birleştirilmesini ve detection head ise nesne sınıfı ile sınır kutusu bilgilerinin tahmin edilmesini sağlamaktadır.

YOLOv8 mimarisinde özellik çıkarımı için Conv ve C2f blokları kullanılmaktadır. C2f yapısı, farklı özellik yollarından gelen bilgilerin birleştirilmesini sağlayarak gradyan akışını ve özellik yeniden kullanımını desteklemektedir. Neck kısmındaki FPN/PAN tabanlı yapı, yüksek seviyeli anlamsal bilgiler ile düşük seviyeli ayrıntılı özellikleri bir araya getirerek çok ölçekli nesne tespitini güçlendirmektedir. Anchor-free ve decoupled detection head yapısı ise sınıflandırma ve sınır kutusu regresyonunu ayrı dallarda gerçekleştirerek P3, P4 ve P5 özellik seviyelerinde farklı büyüklükteki nesnelerin tespit edilmesine olanak sağlamaktadır.

YOLOv8s, görece kompakt model boyutu ile doğruluk ve hesaplama maliyeti arasında dengeli bir yapı sunduğu için Okra-YOLO modelinin temel mimarisi olarak seçilmiştir. Karşılaştırma amacıyla kullanılan temel YOLOv8s mimarisinin backbone, FPN+PAN tabanlı neck ve ayrıştırılmış (decoupled) detection head yapısı Şekil 3'de gösterilmiştir. Model, P3, P4 ve P5 olmak üzere üç farklı ölçekte özellik haritaları üzerinden nesne tespiti gerçekleştirmektedir.



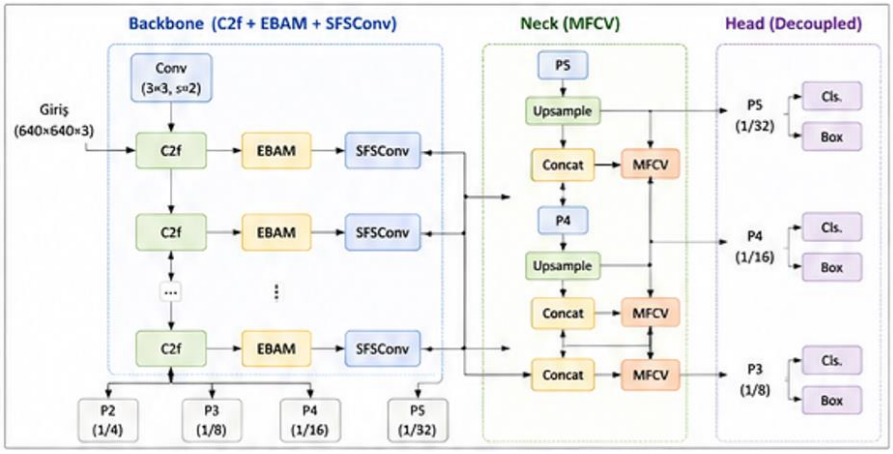
Şekil 3. YOLOv8 temel mimarisinin genel yapısı.

2.2.2. Geliştirilmiş Okra-YOLO Arama Algoritması

Bu çalışmada Okra-YOLO, YOLOv8s temel mimarisi üzerine EBAM, SFSConv ve MFCV modüllerinin görev odaklı biçimde entegre edilmesiyle oluşturulmuştur. Tasarımın amacı, bamya meyvelerinin farklı ölçeklerde, kısmi örtüşme altında ve karmaşık tarımsal arka planlarda daha ayırt edici özelliklerle temsil edilmesini sağlamaktır.

EBAM modülü, kanal ve uzamsal dikkat mekanizmalarını kullanarak hedefle ilişkili özellikleri güçlendirmek ve arka plan kaynaklı gereksiz aktivasyonları azaltmak amacıyla özellik çıkarım aşamasına dahil edilmiştir. SFSConv, uzamsal ve frekans alanlarındaki tamamlayıcı bilgilerin birlikte öğrenilmesini sağlayarak özellikle sınır, doku ve yerel yapı bilgisinin daha güçlü temsil edilmesini hedeflemektedir. Neck bölümüne yerleştirilen MFCV ise farklı alıcı alanlara sahip paralel konvolüsyon dallarından gelen özellikleri birleştirerek çok ölçekli özellik füzyonunu desteklemektedir.

YOLOv8s'in çok ölçekli detection head yapısı korunmuş ve nesne tespiti P3, P4 ve P5 özellik seviyelerinde gerçekleştirilmiştir. Böylece önerilen Okra-YOLO mimarisinde dikkat tabanlı özellik iyileştirme, uzamsal-frekans özellik öğrenimi ve çok ölçekli özellik füzyonu tek bir çerçevede birleştirilmiştir. Okra-YOLO modelinin ayrıntılı mimarisi Şekil 4'de gösterilmiştir; EBAM ve SFSConv modülleri backbone aşamasında özellik çıkarımını güçlendirirken, MFCV modülü neck bölümünde P2–P5 seviyelerinden elde edilen çok ölçekli özelliklerin füzyonunu desteklemekte ve ayrıştırılmış (decoupled) detection head P3, P4 ve P5 ölçeklerinde sınıflandırma ve konumlandırma işlemlerini gerçekleştirmektedir.



Şekil 4. Okra-YOLO (YOLOv8s + EBAM + SFSConv + MFCV) mimarisinin genel yapısı.

2.2.3. Spatial-Frequency Selective Convolution (SFSConv)

Geleneksel konvolüsyon işlemleri ağırlıklı olarak uzamsal alandaki yerel örüntüleri öğrenmektedir. Ancak tarımsal görüntülerde hedef ile arka plan arasındaki ayrım yalnızca şekil ve konum bilgisine değil, kenar, doku ve frekans bileşenlerine de bağlı olabilmektedir.

Bu nedenle SFSConv modülü, uzamsal ve frekans alanındaki tamamlayıcı bilgileri birlikte kullanarak daha ayırt edici özellik temsilleri oluşturmak amacıyla Okra-YOLO mimarisine dahil edilmiştir.
Bir giriş özellik haritası için uzamsal dal, standart konvolüsyon, batch normalization (BN) ve SiLU aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla yerel uzamsal özellikleri çıkarır:

$$F_s=\mathrm{SiLU}(\mathrm{BN}(\mathrm{Conv}_{k\times k}(X))) \quad (1)$$

Burada F_s, uzamsal dal tarafından elde edilen özellik haritasını, k x k ise konvolüsyon çekirdeğinin boyutunu ifade etmektedir.
Frekans dalında giriş özellik haritası önce hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak frekans alanına aktarılır. Frekans bileşenleri konvolüsyon işlemiyle işlendikten sonra ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) aracılığıyla tekrar uzamsal alana dönüştürülür. Frekans dalının çıktısı aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$F_f=\mathrm{SiLU}(\mathrm{BN}(\mathrm{IFFT}[\mathrm{Conv}_{k\times k}(\mathrm{FFT}(X))])) \quad (2)$$

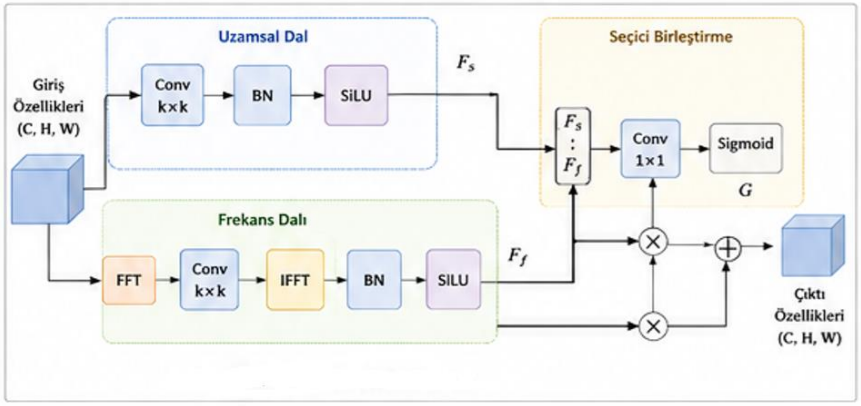
Burada F_f , frekans alanında işlenen ve daha sonra uzamsal alana geri dönüştürülen özellik haritasını temsil etmektedir.
İki daldan elde edilen özelliklerin doğrudan birleştirilmesi yerine, uzamsal ve frekans bilgilerinin katkısını adaptif olarak belirlemek amacıyla seçici bir kapı mekanizması kullanılmaktadır. Öncelikle F_s ve F_f kanal boyutunda birleştirilerek 1 x 1 konvolüsyona aktarılır ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla kapı ağırlığı G hesaplanır:

$$G=\sigma(\mathrm{Conv}_{1\times 1}([F_s;F_f])) \quad (3)$$

Nihai çıktı özellik haritası Y, uzamsal ve frekans özelliklerinin kapı ağırlığına bağlı tamamlayıcı kombinasyonu olarak elde edilir:

$$Y=G\odot F_s+(1-G)\odot F_f \quad (4)$$

Burada $\sigma(.)$sigmoid aktivasyon fonksiyonunu,[;] kanal boyutundaki birleştirme (concatenation) işlemini ve $\odot$ eleman bazlı çarpımı ifade etmektedir. G değeri uzamsal özelliklerin katkısını belirlerken, tamamlayıcı ağırlık 1 - G frekans özelliklerinin katkısını kontrol etmektedir. Böylece modül, yerel uzamsal ayrıntılar ile frekans alanından elde edilen doku ve spektral bilgileri giriş görüntüsünün özelliklerine bağlı olarak adaptif biçimde bütünleştirmektedir. SFSConv modülünün ayrıntılı yapısı Şekil 5'de gösterilmiştir; modül, giriş özelliklerini uzamsal ve frekans dallarında paralel olarak işleyerek sırasıyla yerel yapısal ve frekans tabanlı özellikleri çıkarmakta, ardından bu özellikleri sigmoid tabanlı seçici kapı mekanizması ile adaptif olarak ağırlıklandırarak tek bir çıktı özellik haritasında birleştirmektedir.



Şekil 5. SFSConv modülünün uzamsal dal, frekans dalı ve seçici birleştirme yapısı.

2.2.4. Enhanced Bottleneck Attention Module (EBAM)

Karmaşık tarımsal arka planlar, yaprak örtüşmeleri ve hedef nesnelerin görüntü içerisindeki sınırlı görünürlüğü, ayırt edici özelliklerin zayıflamasına neden olabilmektedir. Bu sorunu azaltmak amacıyla Okra-YOLO mimarisinde Enhanced Bottleneck Attention Module (EBAM) kullanılmıştır. EBAM, kanal ve uzamsal dikkat mekanizmalarını birlikte kullanarak önemli özellik tepkilerini güçlendirirken hedef dışı arka plan aktivasyonlarını bastırmayı amaçlamaktadır.
Kanal dikkat dalında, giriş özellik haritası X üzerinde Global Average Pooling (GAP) ve Global Max Pooling (GMP) işlemleri uygulanarak kanal düzeyindeki özet bilgiler elde edilir.

Bu tanımlayıcılar, paylaşımlı bir çok katmanlı algılayıcı (MLP) tarafından işlenir ve sigmoid aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla kanal dikkat haritası M_c oluşturulur:

$M_c(X)=\sigma(MLP(GAP(X))+MLP(GMP(X)))$ (5)

Kanal dikkat ağırlıkları giriş özellik haritasına uygulanarak ara özellik gösterimi X_c elde edilir:

$X_c=M_c(X)\odot X$ (6)

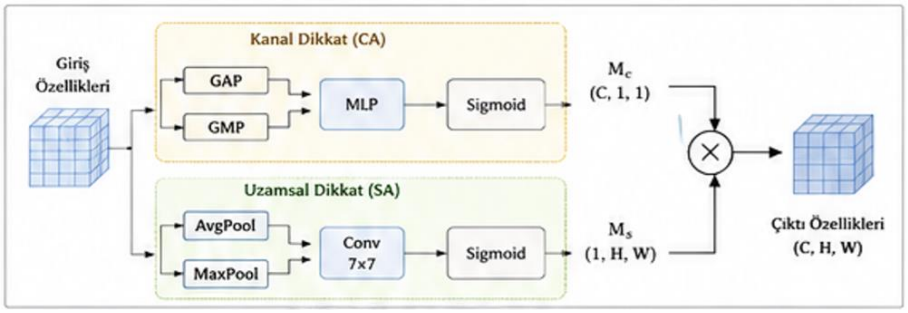
Uzamsal dikkat dalında, kanal boyunca gerçekleştirilen ortalama ve maksimum havuzlama işlemlerinden elde edilen özellik haritaları birleştirilir. Ardından 7 x 7 konvolüsyon ve sigmoid aktivasyonu kullanılarak uzamsal dikkat haritası hesaplanır:

$M_s(X_c)=\sigma(Conv_{7\times7}[AvgPool_c(X_c);MaxPool_c(X_c)])$ (7)

Nihai dikkat ile yeniden ağırlıklandırılmış çıktı Y, uzamsal dikkat haritasının kanal dikkati uygulanmış özellikler üzerinde kullanılmasıyla elde edilir:

$Y=M_s(X_c)\odot X_c$ (8)

Burada σ (.) sigmoid aktivasyon fonksiyonunu, [;]kanal boyutundaki birleştirme işlemini ve ⊙ eleman bazlı çarpımı ifade etmektedir. M_c kanal düzeyindeki önemli özelliklerin vurgulanmasını sağlarken, M_s bamya nesneleriyle ilişkili ayırt edici uzamsal bölgelerin ön plana çıkarılmasını sağlamaktadır. Bu ardışık dikkat mekanizması, bamya nesnesiyle ilişkili özelliklere verilen tepkiyi güçlendirirken karmaşık arka plan, yaprak örtüşmesi ve diğer ilgisiz bölgelerden kaynaklanan tepkilerin azaltılmasını amaçlamaktadır. EBAM modülünün kanal ve uzamsal dikkat mekanizmalarından oluşan yapısı Şekil 6'da gösterilmiştir; kanal dikkat dalı GAP ve GMP işlemleriyle kanal düzeyindeki ayırt edici özellikleri vurgularken, uzamsal dikkat dalı ortalama ve maksimum havuzlama işlemleriyle önemli uzamsal bölgeleri belirlemekte ve elde edilen dikkat haritaları giriş özelliklerinin yeniden ağırlıklandırılmasında kullanılmaktadır.



Şekil 6. EBAM modülünün kanal ve uzamsal dikkat mekanizmalarının genel yapısı.

2.2.5. Multi-Branch Feature Convolution Module (MFCV)

Tarımsal görüntülerde bamya nesneleri kameraya olan uzaklık, gelişim durumu ve görüntüleme açısına bağlı olarak farklı ölçeklerde görülebilmektedir. Bu nedenle tek bir alıcı alan üzerinden çıkarılan özellikler tüm hedef boyutlarını yeterince temsil etmeyebilir. MFCV modülü, farklı alıcı alanlara sahip paralel konvolüsyon dalları kullanarak yerel ayrıntı ve daha geniş bağlam bilgisini aynı özellik çıkarım aşamasında öğrenmek amacıyla neck bölümüne entegre edilmiştir.

Bir giriş özellik haritası için farklı çekirdek boyutları ve dilatasyon oranlarına sahip paralel konvolüsyon dalları kullanılarak farklı alıcı alanlardan çok ölçekli özellikler çıkarılır:

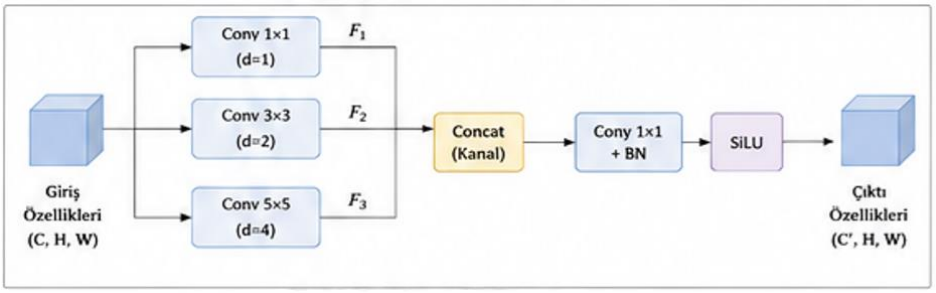
$F_1=Conv_{1\times1}(X), F_2=Conv_{3\ x\ 3}^{d=2}(X), F_3=Conv_{5\ x\ 5}^{d=4}(X)$ (9)

Burada F_1,F_2 ve F_3 ve sırasıyla farklı ölçeklerde elde edilen özellik haritalarını, d ise dilatasyon oranını ifade etmektedir. 1 x 1 konvolüsyon daha yerel özelliklerin korunmasına katkı sağlarken, dilatasyonlu 3 x 3 ve 5 x 5 konvolüsyonlar daha geniş alıcı alanlardan bağlamsal bilginin çıkarılmasını sağlamaktadır. Paralel dallardan elde edilen özellik haritaları kanal boyutunda birleştirilir ve ardından 1 x 1 konvolüsyon, batch normalization (BN) ve SiLU aktivasyon fonksiyonu kullanılarak füzyon işlemi gerçekleştirilir:

$Y=SiLU(BN(Conv_{1\times1}([F_1;F_2;F_3])))$ (10)

Burada [;] kanal boyutundaki birleştirme (concatenation) işlemini, Y ise çok ölçekli özelliklerin füzyonu sonucunda elde edilen çıktı özellik haritasını temsil etmektedir. Bu paralel yapı, farklı alıcı alanlardan elde edilen yerel ve bağlamsal bilgilerin ortak bir özellik gösteriminde bütünleştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Böylece MFCV, neck aşamasındaki çok ölçekli özellik füzyonunu güçlendirerek farklı boyutlardaki ve kısmen örtüşmüş bamya nesnelerinin daha etkili biçimde temsil edilmesini desteklemektedir. MFCV modülünün çok ölçekli özellik çıkarımı ve füzyon yapısı Şekil 7'de gösterilmiştir. Giriş özellikleri farklı çekirdek boyutları ve dilatasyon oranlarına sahip paralel konvolüsyon dallarında işlenerek , ve özellik haritaları elde edilmekte, ardından bu özellikler kanal boyutunda birleştirilerek 1×1 konvolüsyon, batch normalization (BN) ve SiLU aktivasyonu aracılığıyla bütünleştirilmektedir.



Şekil 7. MFCV modülünün paralel çok ölçekli konvolüsyon ve özellik birleştirme yapısı.

2.3. Deneysel Tasarım

Bu çalışmada deneysel süreç iki temel aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, bamya tespiti için uygun temel modelin belirlenmesi amacıyla YOLOv8s, YOLOv5s, Faster R-CNN (ResNet-50 + FPN) ve SSD300 (VGG-16) modelleri aynı veri seti üzerinde eğitilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Modeller; mAP@0.5, mAP@0.5:0.95, hesaplama maliyeti ve çıkarım hızı gibi ölçütler açısından değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalı deneylerin sonucunda YOLOv8s, tespit performansı ve model geliştirmeye uygun mimari yapısı dikkate alınarak temel model olarak seçilmiştir.

İkinci aşamada, seçilen YOLOv8s mimarisinin bamya görüntülerindeki farklı ölçek, örtüşme ve karmaşık arka plan koşullarına karşı özellik temsil kapasitesini geliştirmek amacıyla EBAM, SFSConv ve MFCV modülleri modele entegre edilmiştir. EBAM hedefle ilişkili özelliklerin vurgulanması ve arka plan tepkilerinin azaltılması, SFSConv uzamsal ve frekans alanındaki tamamlayıcı bilgilerin birlikte işlenmesi, MFCV ise farklı ölçeklerdeki özelliklerin füzyonunun güçlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Bu geliştirmeler sonucunda oluşturulan yapı Okra-YOLO olarak adlandırılmıştır. Son aşamada Okra-YOLO'nun performansı temel ve karşılaştırmalı modellerle değerlendirilerek yapılan mimari geliştirmelerin bamya tespiti üzerindeki etkisi incelenmiştir.

2.3.1.Eğitim Parametreleri ve Deney Ortamı

Okra-YOLO 100 epoch boyunca Adam optimizasyon algoritması ile eğitilmiştir. Batch size 4, başlangıç öğrenme oranı 0.0005, momentum 0.900 ve weight decay 1×10^{-4} olarak belirlenmiştir. Girdi görüntü boyutu 640×640 piksel, öğrenme oranı zamanlayıcısı Cosine, dropout oranı 0.1 ve Mosaic oranı 0.5 olarak kullanılmıştır. Karma hassasiyetli eğitim (AMP) ve önceden eğitilmiş omurga ağırlıkları etkinleştirilmiştir. YOLO tabanlı deneylerde A100/L4 GPU ortamı kullanılmış; bağımsız test görüntülerindeki FPS değerleri NVIDIA L4 GPU üzerinde preprocessing, inference ve postprocessing süreleri dahil edilerek hesaplanmıştır. Okra-YOLO ve karşılaştırmalı modellerin eğitim sürecinde kullanılan temel hiperparametreler Tablo 4'te sunulmuştur. Modeller, kendi mimari özelliklerine uygun epoch, batch size, optimizer, öğrenme oranı ve düzenlileştirme ayarlarıyla eğitilmiş; Okra-YOLO için Adam optimizer, 5 x 10^{-4}öğrenme oranı, 1 x 10^{-4} weight decay, 0.1 dropout ve 0.5 mosaic oranı kullanılmıştır.

Tablo 4. Modellerin eğitim parametreleri.

Parametre	Okra-YOLO	YOLOv8s	YOLOv5s	Faster R-CNN	SSD300
Epoch	100	100	100	30	60
Batch size	4	16	32	8	32
Optimizer	Adam	Adam	SGD	SGD	SGD
Learning rate	0.0005	0.0005	0.01	0.001	0.01
Momentum	0.900	0.937	0.937	0.900	0.900
Weight decay	1e-4	5e-4	5e-4	5e-4	5e-4
Image size	640×640	640×640	640×640	640×640	300×300

LR scheduler	Cosine	Cosine	Cosine	StepLR (γ=0.5)	StepLR (γ=0.5)
AMP	✓	✓	✓	✗	✗
Dropout	0.1	—	—	—	—
Mosaic	0.5	1.0	1.0	—	—

2.4. Değerlendirme Ölçütleri

Tespit performansı mAP@0.5 ve mAP@0.5:0.95 ile değerlendirilmiştir. mAP@0.5, IoU=0.50 eşiğindeki ortalama hassasiyeti; mAP@0.5:0.95 ise 0.50–0.95 arasındaki IoU eşiklerinde hesaplanan AP değerlerinin ortalamasını temsil etmektedir. Hesaplama verimliliği FPS, GFLOPs ve parametre sayısı üzerinden karşılaştırılmıştır. Bağımsız test setindeki sayım davranışını değerlendirmek için gerçek nesne sayıları ile model tespit sayıları karşılaştırılmış; bu karşılaştırmadan MAE, RMSE ve R^2 değerleri hesaplanmıştır.

3. Araştırma Sonuçları

3.1. Ablasyon Deneyleri

EBAM, SFSConv ve MFCV modüllerinin model performansı üzerindeki bireysel ve birleşik etkilerini incelemek amacıyla bir ablasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Temel YOLOv8s modeli 0.7626 mAP@0.5 ve 0.5513 mAP@0.5:0.95 değerlerine ulaşmıştır. Tekli modül yapılandırmaları içerisinde MFCV, 0.7660 mAP@0.5 ile en yüksek sonucu elde etmiş; ancak mAP@0.5:0.95 açısından temel modelin üzerinde bir performans sağlanamamıştır. Benzer şekilde EBAM ve SFSConv'un tek başına kullanıldığı yapılandırmalarda da her iki mAP ölçütünde eş zamanlı bir iyileşme gözlenmemiştir.
İkili modül kombinasyonları incelendiğinde EBAM+SFSConv, EBAM+MFCV ve SFSConv+MFCV yapılandırmalarında mAP@0.5:0.95 değerleri sırasıyla 0.4966, 0.5114 ve 0.5005 olarak elde edilmiştir. Üç modülün birlikte kullanıldığı Okra-YOLO ablasyon yapılandırması ise 0.7473 mAP@0.5 ve 0.4959 mAP@0.5:0.95 değerlerine ulaşmıştır. Bu sonuçlar, modüllerin kademeli olarak eklenmesinin ablasyon değerlendirmesinde monoton bir performans artışı oluşturmadığını göstermektedir. Bu nedenle ablasyon çalışması, her bir modülün bağımsız olarak performans artışı sağladığını göstermekten ziyade, farklı mimari bileşenlerin ve bunların kombinasyonlarının model davranışı üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla değerlendirilmiştir.
Nihai karşılaştırmalı deneylerde Okra-YOLO için 0.734 mAP@0.5 ve 0.587 mAP@0.5:0.95 elde edilmiştir. Bu değerler ablasyon tablosundaki Okra-YOLO sonuçlarından farklıdır. Mevcut deney kayıtlarında bu farklılığın belirli bir seed, veri bölünmesi, eğitim parametresi veya checkpoint seçiminden kaynaklandığını doğrulayacak yeterli bilgi bulunmadığından, iki sonuç seti arasında doğrudan bir performans karşılaştırması yapılmamıştır. Nihai modelin diğer nesne tespit modellerine göre performansının değerlendirilmesinde karşılaştırmalı deney sonuçları esas alınmıştır. EBAM, SFSConv ve MFCV modüllerinin tekil ve birleşik etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen ablation analizi sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur. Sonuçlar, modüllerin tek başına veya birlikte eklenmesinin performansta monoton bir iyileşme sağlamadığını; en yüksek mAP@0.5 değerinin YOLOv8s + MFCV (0.7660), en yüksek mAP@0.5:0.95 değerinin ise baseline YOLOv8s (0.5513) tarafından elde edildiğini göstermektedir.

Tablo 5. Ablasyon deneyleri.

Model	EBAM	SFSConv	MFCV	mAP@0.5	mAP@0.5:0.95
YOLOv8s (Baseline)	—	—	—	0.7626	0.5513
YOLOv8s + EBAM	✓	—	—	0.7564	0.5415
YOLOv8s + SFSConv	—	✓	—	0.7459	0.5275
YOLOv8s + MFCV	—	—	✓	0.7660	0.5444
YOLOv8s + EBAM + SFSConv	✓	✓	—	0.7272	0.4966

YOLOv8s + EBAM + MFCV	✓	—	✓	0.7489	0.5114
YOLOv8s + SFSConv + MFCV	—	✓	✓	0.7222	0.5005
Okra-YOLO	✓	✓	✓	0.7473	0.4959

3.2. Karşılaştırmalı Model Performansı

Nihai karşılaştırma sonuçlarında Okra-YOLO, mAP@0.5:0.95 bakımından 0.587 ile karşılaştırılan modeller arasındaki en yüksek değeri elde etmiştir. Bu değer YOLOv5s, YOLOv8s, Faster R-CNN ve SSD300 için sırasıyla 0.543, 0.513, 0.267 ve 0.004 olarak gerçekleşmiştir. Okra-YOLO böylece mAP@0.5:0.95 açısından YOLOv8s'e göre 7.4 yüzde puan, YOLOv5s'e göre ise 4.4 yüzde puan daha yüksek performans göstermiştir. Buna karşılık mAP@0.5 bakımından YOLOv8s 0.738 ile en yüksek değeri elde ederken, Okra-YOLO 0.734 ile oldukça yakın bir sonuç vermiştir. Bu bulgular, Okra-YOLO'nun temel avantajının IoU=0.50 düzeyindeki tespit başarısından ziyade, 0.50–0.95 arasındaki daha sıkı IoU eşiklerinde elde edilen yerelleştirme performansı olduğunu göstermektedir.

Hesaplama özellikleri açısından Okra-YOLO, 11.1 milyon parametre ve 28.6 GFLOPs hesaplama maliyetiyle 12.0 FPS çıkarım hızına ulaşmıştır. YOLOv8s için referans amaçlı kullanılan yaklaşık 11.2 milyon parametre, 28.6 GFLOPs ve 15.0 FPS değerleri dikkate alındığında, Okra-YOLO'nun temel mimariyle benzer bir hesaplama ölçeğinde kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, YOLOv8s'e ait bu değerlerin yaklaşık olması nedeniyle hesaplama verimliliği açısından doğrudan ve kesin bir üstünlük değerlendirmesi yapılmamıştır. YOLOv5s, 7.0 milyon parametre ve 15.8 GFLOPs ile daha düşük hesaplama maliyetine sahipken, SSD300 72.9 FPS ile en yüksek çıkarım hızına ulaşmış; ancak oldukça düşük mAP değerleri nedeniyle tespit doğruluğu açısından sınırlı kalmıştır. Bu nedenle modeller yalnızca çıkarım hızı veya hesaplama maliyeti açısından değil, tespit doğruluğu ve yerelleştirme başarısı ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Okra-YOLO, özellikle 0.587 mAP@0.5:0.95 değeriyle daha sıkı IoU eşiklerinde yüksek yerelleştirme başarısı sergileyerek doğruluk ve hesaplama gereksinimleri arasında rekabetçi bir denge ortaya koymuştur. Okra-YOLO modelinin farklı nesne tespit modelleriyle doğruluk ve hesaplama maliyeti açısından karşılaştırılması Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Model performansı ve hesaplama maliyeti

Model	mAP@0.5	mAP@0.5:0.95	FPS	GFLOPs	Parametre
Okra-YOLO	0.734	**0.587**	12.0	28.6	11.1M
YOLOv8s	**0.738**	0.513	**≈15.0**	**≈28.6**	**≈11.2M**
YOLOv5s	0.729	0.543	10.7	15.8	7.0M
Faster R-CNN	0.606	0.267	19.5	134.5	41.8M
SSD300	0.017	0.004	72.9	30.4	26.3M

Not: YOLOv8s modeline ait hesaplama karmaşıklığı ve çıkarım hızı değerleri yaklaşık olarak verilmiştir.

3.3. Bağımsız Test Setinde Genellenebilirlik ve Sayım Performansı

Modelin eğitim ve doğrulama verilerinin dışında kalan görüntüler üzerindeki genellenebilirliğini değerlendirmek amacıyla, eğitim sürecinde kullanılmayan 24 bağımsız test görüntüsü ayrıca analiz edilmiştir. Bu görüntülerde toplam 67 gerçek bamya nesnesi bulunmaktadır. Conf≥0.25 eşiğinde Okra-YOLO 27, YOLOv8s 45, YOLOv5s 34, Faster R-CNN 69 tespit üretirken SSD300 herhangi bir tespit gerçekleştirememiştir.

Bununla birlikte, toplam tespit sayısının gerçek toplam nesne sayısına yakın olması tek başına daha yüksek sayım doğruluğu anlamına gelmediğinden, modeller görüntü bazında MAE ve RMSE ölçütleri kullanılarak da değerlendirilmiştir.

Görüntü bazlı sonuçlarda YOLOv5s, 1.79 MAE ve 2.56 RMSE ile en düşük sayım hatalarını elde etmiştir. Okra-YOLO için MAE ve RMSE değerleri sırasıyla 1.92 ve 2.65, YOLOv8s için ise 1.92 ve 2.71 olarak hesaplanmıştır. Faster R-CNN'in toplam 69 tespitle gerçek toplam nesne sayısına (67) oldukça yakın bir değer üretmesine rağmen MAE=2.42 ve RMSE=3.70 sonuçları, görüntüler arasında aşırı ve eksik sayımların bulunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla toplam tespit sayısı ile görüntü bazlı sayım doğruluğunun birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu sonuçlar, Okra-YOLO'nun bağımsız test setinde en yüksek sayım doğruluğunu sağlayan model olmadığını, ancak YOLOv5s ve YOLOv8s ile karşılaştırılabilir görüntü bazlı hata değerleri sergilediğini göstermektedir. Ayrıca Okra-YOLO'nun bağımsız görüntülerde gerçek toplam nesne sayısının altında tespit üretmesi, eğitim/doğrulama verileri ile bağımsız test görüntüleri arasında bir genelleme boşluğu (generalization gap) bulunabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle bağımsız test sonuçları, Okra-YOLO'nun üstünlüğünü kanıtlayan bir sayım deneyi olarak değil, modelin görülmemiş görüntüler üzerindeki genellenebilirliğini değerlendiren tamamlayıcı bir analiz olarak ele alınmıştır. Modellerin bağımsız test görüntülerindeki sayım performansına ilişkin MAE, RMSE ve R^2 sonuçları Tablo 7'de sunulmuştur. Sonuçlara göre YOLOv5s, 1.79 MAE ve 2.56 RMSE ile en düşük sayım hatalarını elde ederken, tüm modellerde negatif R^2 değerlerinin gözlenmesi tahminlerin görüntüler arasındaki gerçek sayım değişkenliğini yeterli düzeyde açıklayamadığını göstermektedir.

Tablo 7. Modellerin bağımsız test setindeki genellenebilirlik ve görüntü bazlı sayım performansı.

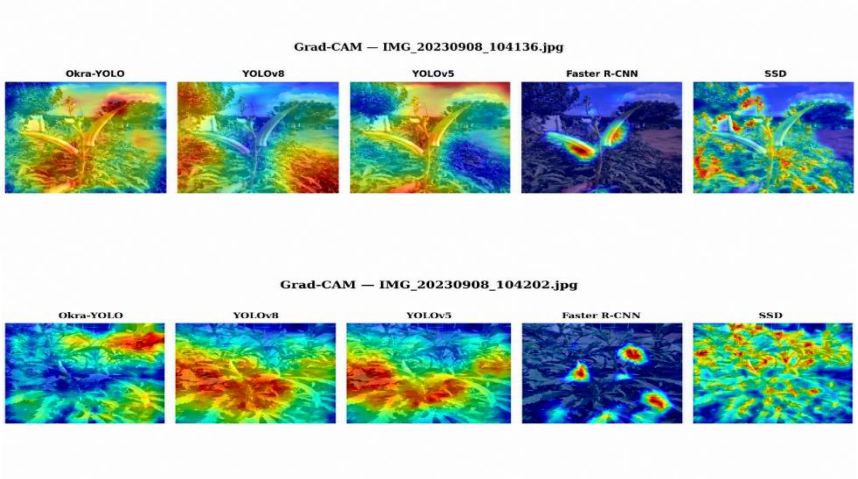
Model	Gerçek toplam	Tahmin toplamı	MAE	RMSE	R^2
Okra-YOLO	67	27	1.92	2.65	-1.63
YOLOv8s	67	45	1.92	2.71	-1.75
YOLOv5s	67	34	1.79	2.56	-1.45
Faster R-CNN	67	69	2.42	3.70	-4.13
SSD300	67	0	2.79	3.23	-2.92

3.4. Genel Değerlendirme

Elde edilen sonuçlar iki farklı değerlendirme boyutuna işaret etmektedir. Nihai nesne tespit karşılaştırmasında Okra-YOLO, mAP@0.5:0.95=0.587 ile en yüksek yerelleştirme performansını sağlamıştır. Buna karşılık bağımsız 24 görüntü üzerindeki sayım analizinde en düşük MAE ve RMSE YOLOv5s tarafından elde edilmiştir. Dolayısıyla Okra-YOLO'nun avantajı doğrudan 'en iyi sayım modeli' biçiminde değil, daha sıkı IoU eşiklerinde daha yüksek nesne tespit ve yerelleştirme başarısı olarak yorumlanmıştır.

Ablasyon sonuçlarında ise Okra-YOLO yapılandırmasının temel YOLOv8s'e göre daha düşük mAP değerleri vermesi önemli bir sınırlılıktır. Mevcut rapor, ablasyon tablosundaki Okra-YOLO sonuçları ile nihai karşılaştırma tablosundaki sonuçların aynı deney protokolüne ait olduğunu doğrulamamaktadır. Bu nedenle EBAM, SFSConv ve MFCV modüllerinin ortak katkısına ilişkin güçlü nedensel çıkarımlar yapılmadan önce aynı veri bölünmesi, eğitim ayarları, seed ve model seçim kriterleri altında ablasyon deneylerinin yeniden doğrulanması gerekmektedir.

Modellerin bamya tespiti sırasında odaklandıkları görüntü bölgelerini görsel olarak değerlendirmek amacıyla elde edilen Grad-CAM aktivasyon haritaları Şekil 8'de sunulmuştur. Şekil 8 incelendiğinde, Okra-YOLO'nun hedef bamya bölgelerinde güçlü ve anlamlı aktivasyonlar oluşturduğu, diğer modellerde ise dikkat dağılımının farklı düzeylerde hedef dışı bölgelere yayıldığı görülmektedir.



Şekil 8. Okra-YOLO, YOLOv8, YOLOv5, Faster R-CNN ve SSD modellerinin aynı test görüntüsü üzerindeki Grad-CAM aktivasyon haritalarının karşılaştırılması.
Sıcak renkler (sarı–kırmızı) modelin daha yüksek aktivasyon gösterdiği bölgeleri, soğuk renkler (mavi) ise daha düşük aktivasyon gösterdiği bölgeleri temsil etmektedir.

Modellerin bamya tespiti sırasında odaklandıkları görüntü bölgelerini değerlendirmek amacıyla Grad-CAM/EigenCAM tabanlı görsel açıklanabilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen aktivasyon haritaları, modeller arasında belirgin dikkat farklılıklarının bulunduğunu göstermiştir. Okra-YOLO, hedef bamya meyvesinin karakteristik morfolojik bölgelerinde güçlü aktivasyonlar oluşturmuş ve hedef nesneye ilişkin daha kapsamlı özelliklerden yararlanmıştır. Bu durum, önerilen modelin karmaşık bitki örtüsü içerisinde bamya ile ilişkili ayırt edici özellikleri etkili biçimde temsil edebildiğini göstermektedir. Faster R-CNN ise özellikle bamya meyveleri üzerinde daha dar ve keskin aktivasyon bölgeleri oluşturarak güçlü bir lokalizasyon davranışı sergilemiş, ancak dikkat dağılımı nesnenin daha sınırlı bölgelerinde yoğunlaşmıştır. YOLOv5 ve YOLOv8 modellerinde hedef nesne üzerinde aktivasyon gözlenmekle birlikte, dikkat bölgelerinin yapraklar, gövde ve arka plan gibi hedef dışı alanlara daha fazla yayıldığı görülmüştür. SSD modelinde ise aktivasyonların daha parçalı ve dağınık olması, modelin hedef ile çevresel bitki bileşenlerini ayırt etmede daha düşük seçicilik gösterdiğine işaret etmektedir. Genel olarak görsel açıklanabilirlik sonuçları, Okra-YOLO'nun hedef bamya bölgelerine güçlü biçimde odaklanırken nesnenin daha kapsamlı görsel özelliklerinden yararlandığını ve karmaşık tarımsal arka plan koşullarında daha anlamlı bir dikkat örüntüsü oluşturduğunu göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, karmaşık tarımsal koşullarda bamya tespitine yönelik YOLOv8s tabanlı Okra-YOLO modeli geliştirilmiştir. Önerilen mimaride EBAM, SFSConv ve MFCV modülleri bir araya getirilerek sırasıyla dikkat tabanlı özellik iyileştirme, uzamsal-frekans özellik çıkarımı ve çok ölçekli özellik füzyonunun güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Karşılaştırmalı deneylerde Okra-YOLO, 0.734 mAP@0.5 ve 0.587 mAP@0.5:0.95 değerlerine ulaşmıştır.YOLOv8s 0.738 ile sınırlı ölçüde daha yüksek mAP@0.5 elde etmesine rağmen mAP@0.5:0.95 değeri 0.513'te kalmıştır. Bu bulgu, Okra-YOLO'nun özellikle daha sıkı IoU eşiklerini içeren değerlendirmelerde nesne yerelleştirme açısından avantaj sağlayabildiğini göstermektedir.

Elde edilen bulgular, bamya üzerinde gerçekleştirilen önceki görüntü analizi çalışmalarının devamı niteliğinde olmakla birlikte görev ve değerlendirme ölçütleri açısından önemli farklılıklar içermektedir. Raikar ve ark. (2020), 3.200 bamya görüntüsünü boyutlarına göre sınıflandırmış ve AlexNet, GoogLeNet ve ResNet50 ile sırasıyla %63.45, %68.99 ve %99 doğruluk elde etmiştir. Dheeraj ve ark. (2023) ise sağlıklı, siyah lekeli, fungal enfeksiyonlu ve çürük bamya örneklerini içeren 1.913 görüntü üzerinde VGG-16, ResNet50 ve ResNet101 modellerini değerlendirmiş ve en yüksek sınıflandırma doğruluğunu VGG-16 ile %98.63 olarak bildirmiştir.

Bu çalışmalar yüksek sınıflandırma doğrulukları bildirmiş olmakla birlikte, görüntü içerisindeki bireysel bamya nesnelerinin konumlandırılmasına yönelik nesne tespiti görevinden farklıdır. Bu nedenle söz konusu doğruluk değerlerinin Okra-YOLO'nun mAP sonuçlarıyla doğrudan sayısal olarak karşılaştırılması uygun değildir.

Benzer şekilde, Iorliam ve ark. (2021) bamyanın raf ömrünü tahmin etmek amacıyla fizikokimyasal özelliklere dayalı makine öğrenmesi yöntemlerini kullanmış ve SVM, Naïve Bayes ve Decision Tree modelleriyle %100 doğruluk elde etmiştir. Logistic Regression ve KNN için ise sırasıyla %88.89 ve %88.33 doğruluk bildirilmiştir. Yasin ve ark. (2024), termal görüntülerden bamya olgunluğunun sınıflandırılmasında kNN, SVM ve Logistic Regression yöntemlerini incelemiş; SqueezeNet özellikleriyle Logistic Regression modelinde %97.00 doğruluğa ulaşmıştır. Ayrıca aynı çalışma, önceki bir YOLOv8 tabanlı bamya olgunluk araştırmasında 926 artırılmış görüntü üzerinde YOLOv8x modelinin %82.9 mAP elde ettiğini bildirmektedir. Bu bulgu, YOLO tabanlı yöntemlerin bamya görüntülerinde yalnızca sınıflandırma değil, nesne tespiti ve olgunluk analizi açısından da uygulanabilirliğini desteklemektedir.

Daha güncel çalışmalar bamya görüntülerinin gerçek tarımsal koşullarda değerlendirilmesinin önemini de ortaya koymaktadır. Sowmiya ve Thenmozhi (2025), farklı doğal aydınlatma ve yaprak konumlarını içeren gerçek tarım alanlarından 2.500 bamya yaprağı görüntüsü ve altı sınıftan oluşan bir hastalık veri seti oluşturmuştur. Araştırmacılar gelecekte farklı büyüme aşamaları ve çevresel koşullardan daha fazla görüntünün eklenmesinin model genellenebilirliği ve gerçek dünya uygulanabilirliğini geliştireceğini özellikle belirtmiştir. Bu değerlendirme, mevcut çalışmanın bağımsız saha testlerinden elde edilen bulgularla da uyumludur.

Nitekim eğitim sürecinden tamamen bağımsız 24 görüntü ve 67 gerçek bamya nesnesi üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmede Okra-YOLO, MAE=1.92 ve RMSE=2.65 değerlerini elde etmiş, en düşük sayım hatası ise YOLOv5s tarafından sağlanmıştır.Ayrıca tüm modellerde negatif R^2 değerlerinin elde edilmesi, bağımsız görüntülerdeki gerçek nesne sayısı değişkenliğinin yeterli düzeyde açıklanamadığını göstermektedir. Dolayısıyla Okra-YOLO'nun mAP@0.5:0.95 açısından sağladığı avantaj, bağımsız görüntülerdeki sayım başarısına aynı ölçüde yansımamıştır.

Önceki bamya araştırmaları ağırlıklı olarak sınıflandırma, kalite derecelendirme, olgunluk, hastalık veya raf ömrü tahmini üzerine yoğunlaşırken, bu çalışma karmaşık tarımsal görüntülerde bamya nesnelerinin doğrudan tespit ve yerelleştirilmesine odaklanmaktadır. Okra-YOLO'nun 0.587 mAP@0.5:0.95 değeri, karşılaştırılan nesne tespit modelleri arasında en yüksek sonucu oluştururken, ablation ve bağımsız test bulguları modelin tüm değerlendirme ölçütlerinde üstün olmadığını göstermektedir. Bu nedenle gelecekte farklı yetiştirme bölgeleri, büyüme aşamaları, aydınlatma koşulları ve örtüşme seviyelerini kapsayan daha geniş bağımsız veri setleriyle dış doğrulama yapılması; ayrıca modelin hesaplama maliyetinin azaltılarak robotik hasat ve gerçek zamanlı hassas tarım uygulamalarındaki performansının değerlendirilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

Badgujar, C. M., Poulose, A., & Gan, H. (2024). Agricultural object detection with You Only Look Once (YOLO) algorithm: A bibliometric and systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture, 223*, 109090. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109090

Dheeraj, H. P., Prabhu, A., Rani, N. S., & Jeevan, B. (2023). Deep learning models for classification of okra fruit diseases. In *2023 3rd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)*. IEEE. https://doi.org/10.1109/ASIANCON58793.2023.10270241

Iorliam, I. B., Ikyo, B. A., Iorliam, A., Okube, E. O., Kwaghtyo, K. D., & Shehu, Y. I. (2021). Application of machine learning techniques for okra shelf life prediction. *Journal of Data Analysis and Information Processing, 9*, 136–150. https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.93009

Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023). *Ultralytics YOLOv8*. Ultralytics.

Koirala, A., Walsh, K. B., Wang, Z., & McCarthy, C. (2019). Deep learning – Method overview and review of use for fruit detection and yield estimation. Computers and Electronics in Agriculture, 162, 219–234. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.017

Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2016, September). Ssd: Single shot multibox detector. In European conference on computer vision (pp. 21-37). Cham: Springer International Publishing.

Ma, J., Wan, Y., Min, W., Ma, Z., Tan, L., & Jiang, S. (2026). Frontiers and advances of deep learning-based fruit and vegetable image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture, 241*, https://doi.org/111256. 10.1016/j.compag.2025.111256

Qiu, H., Zhang, Q., Li, J., Rong, J., & Yang, Z. (2024). Lightweight Mulberry Fruit Detection Method Based on Improved YOLOv8n for Automated Harvesting. Agronomy, 14(12), 2861. https://doi.org/10.3390/agronomy14122861

Qiu, Z., Huang, Z., Mo, D., Tian, X., & Tian, X. (2024). GSE-YOLO: A Lightweight and High-Precision Model for Identifying the Ripeness of Pitaya (Dragon Fruit) Based on the YOLOv8n Improvement. Horticulturae, 10(8), 852. https://doi.org/10.3390/horticulturae10080852

Raikar, M. M., Meena, S. M., Kuchanur, C., Girraddi, S., & Benagi, P. (2020). Classification and grading of okra-ladies finger using deep learning. *Procedia Computer Science, 171*, 2380–2389. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.258

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779-788).

Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. Advances in neural information processing systems, 28.

Solimani, F., Cardellicchio, A., Dimauro, G., Petrozza, A., Summerer, S., Cellini, F., & Renò, V. (2024). Optimizing tomato plant phenotyping detection: Boosting YOLOv8 architecture to tackle data complexity. *Computers and Electronics in Agriculture, 218(6)*, 108728.
https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.108728

Sowmiya, K., & Thenmozhi, M. (2025). Okra disease dataset for classification and segmentation: Dataset collection, analysis and applications. *Data in Brief, 61*, 111662. https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111662

Wu, T., Miao, Z., Huang, W., Han, W., Guo, Z., & Li, T. (2024). SGW-YOLOv8n: An Improved YOLOv8n-Based Model for Apple Detection and Segmentation in Complex Orchard Environments. Agriculture, 14(11), 1958. https://doi.org/10.3390/agriculture14111958

Xiao, B., Nguyen, M., & Yan, W. Q. (2023). Fruit ripeness identification using YOLOv8 model. Multimedia Tools and Applications, 83(9), 28039–28056. https://doi.org/10.1007/s11042-023-16570-9

Xiao, F., Wang, H., Xu, Y., & Zhang, R. (2023). Fruit Detection and Recognition Based on Deep Learning for Automatic Harvesting: An Overview and Review. Agronomy, 13(6), 1625. https://doi.org/10.3390/agronomy13061625

Yan, B., Liu, Y., & Yan, W. (2024). A Novel Fusion Perception Algorithm of Tree Branch/Trunk and Apple for Harvesting Robot Based on Improved YOLOv8s. Agronomy, 14(9), 1895. https://doi.org/10.3390/agronomy14091895

Yasin, E. T., Tutuncu, K., & Koklu, M. (2024). Classification of okra (*Abelmoschus esculentus*) maturity using thermal images and machine learning. *Proceedings of International Conference 2024*, Abu Dhabi, UAE ,48–58.

SALATALIĞIN BİTKİ SU TÜKETİMİNİN DOĞRUDAN BELİRLENMESİ

DIRECT DETERMINATION OF CROP WATER CONSUMPTION OF CUCUMBER

Emrah ALKAN
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.

Ali Beyhan UÇAK
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.

1.ÖZET

Hıyar veya salatalık yetiştiriciliği Ülkemizin hemen her bölgesinde yoğun bir şekilde yapılmaktadır. Bölge illeri içerisinde Gaziantep, Şanlıurfa, Batman, Siirt, Adıyaman, Mardin'de yetiştirilmektedir. Batman yöresinde ise, bölgeye uyum sağlamış yerli çeşitler yetiştirilmektedir. Batman yöresinde, yaz mevsiminin aşırı sıcak ve hemen hiç yağış düşmemesi hıyar yetiştiriciliğinde sulamayı da zorunlu kılmaktadır. Hıyar, Fıstık, Batman yöresinde yetiştirilen en önemli ekonomik ürünlerdir. Ancak yapılan literatür taramasında hıyar bitkisinin Batman yöresinde bitki su tüketiminin belirlenmesine yönelik yeterli bir araştırma yapılmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı Batman koşullarında sera içerisinde yetiştirilen hıyarın bitki su tüketimini belirlemek ve bu konuda çalışanlara veya sulama programları oluşturmak isteyen bilim insanlarına altyapı oluşturmaktır. Bir başka deyişle bu çalışma hıyarın su dengesi eşitliği yardımı ile bitki su tüketiminin hesaplanması amacıyla yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hıyar, Sulama, Bitki su tüketimi

*Bu çalışma Emrah Alkan'ın yüksek lisans tezinden küçük bir alıntı içermektedir

1.ABSTRACT

Cucumber cultivation is widely practiced across almost every region of our country. Within the region, it is grown in the provinces of Gaziantep, Şanlıurfa, Batman, Siirt, Adıyaman, and Mardin. In the Batman area, local varieties adapted to the region are cultivated. The extremely hot summer season and the near-total absence of rainfall in the Batman area make irrigation essential for cucumber cultivation. Cucumbers and pistachios are the most important economic crops grown in the Batman region. However, a literature review revealed that insufficient research has been conducted regarding the crop water consumption of cucumbers in the Batman area. Therefore, the aim of this study is to determine the crop water consumption of greenhouse-grown cucumbers under Batman's conditions and to establish a foundation for researchers in the field or scientists wishing to develop irrigation schedules. In other words, this study was conducted to calculate crop water consumption using the water balance equation.

Keywords: Cucumber, Irrigation, Crop water consumption

*This study contains a brief excerpt from Emrah Alkan's master's thesis.

2.GİRİŞ

Hıyar **(***Cucumis sativus*), kabakgiller (Cucurbitaceae) familyasından, yaklaşık %95 oranında su içeren ve tarımı Anadolu da binlerce yıldır yapılan tek yıllık bir bitki türüdür. Şekil 1'de bu denemede fotoğrafı çekilen Batman hıyarı görülmektedir

Şekil 1. Batman hıyarı

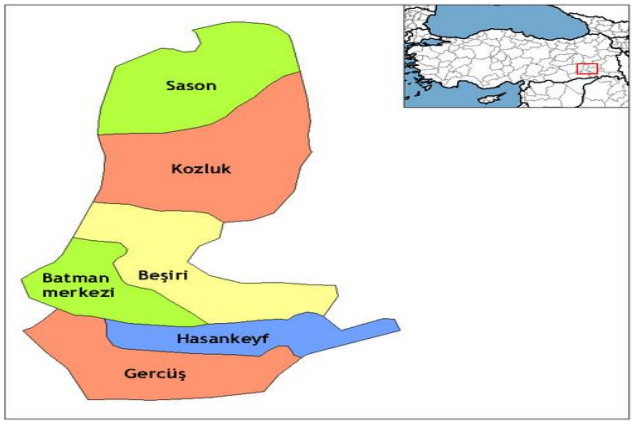
Besin Değeri ve Özellikleri

Kalori ve Su: 100 gramında yalnızca 12-15 kcal bulunur ve içeriğinin neredeyse tamamı sudur.
Vitamin ve Mineraller: C ve K vitaminleri, potasyum, magnezyum ile lif açısından zengindir.

Sağlığa faydaları
Kalori Kontrolü: Yağ, kolesterol ve sodyum bakımından oldukça düşüktür.
Vücut Hidrasyonu: Yüksek su oranı sayesinde günlük sıvı ihtiyacına ve vücudun nem dengesine katkı sağlar. Sindirim Desteği: Lif içeriğiyle sindirim sisteminin düzenli çalışmasına yardımcı olur. Cilt Sağlığı: Yüksek su ve antioksidan içeriği cildi nemlendirir; dilimler halinde göz altı şişliklerine ve cilt tahrişlerine iyi gelebilir. Ödem Azaltma: İdrar söktürücü hafif etkisiyle vücuttaki ödemin atılmasını destekler.

3.MATERYAL ve METOD

Batman ili, yarı kurak iklime sahip bir yöremizdir, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Kimi yıllarda ise şiddetli yaz kuraklıkları ve yüksek sıcaklık değerleri hâkimdir. Yaz günlerinde sıcaklık değerlerinin çoğu kere 40°C üstüne çıktığı görülür. Yıllık yağış tutarları ise 600-700 mm arasındadır. Yağışlar genelde kış ile kışa yakın aylarda yağmur şeklinde oluşur (Anonim, 2009). Hıyar bitkisi ya kışın seralarda yada yazın yağmur yağmadığından salatalık bitkisi ancak sulanabilen alanlarda yetiştirilmektedir. Sulama: Düzenli ve bol su ister, özellikle meyve bağlama döneminde sulama büyük önem taşır. Şekil 2'de Batman ili haritası görülmektedir.



Şekil 2. Batman ili arazi kullanım kabiliyet haritası.

3.1 Bitki Su Tüketimi

Ulusal ve uluslararası birçok kaynakta 'Evapotranspirasyon' olarak adlandırılan ve ET olarak kısaltılan kavram Türkçe' de terminolojik olarak 'Bitki Su Tüketimi' tanımlaması şeklinde kabul görmektedir. Temelde *ETa* topraktan ve bitkiden buharlaşmayı ifade etmektedir. Genel olarak evaporasyon sıvı haldeki suyun buharlaşarak bulunduğu ortamdan atmosfere hareket etmesini ifade etmektedir. Toprak ve açık su yüzeyleri başta olmak üzere birçok yüzeyden suyun buharlaşması 'evaporasyon' olarak adlandırılmaktadır. Evaporasyonun meydana gelmesi için suya enerjinin nüfuz etmesi gerekmektedir. Doğada bu enerjinin kaynağı çoğunlukla güneş radyasyonu ve hava sıcaklığıdır. Buharlaşan suyun hareketi ise söz konusu yüzey ve bu yüzeyi çevreleyen atmosfer arasındaki buhar basıncı farkı doğrultusunda gerçekleşmektedir. Buna göre buharlaşmanın ardından, buharlaşmanın oluştuğu yüzeyi çevreleyen atmosfer suyla doygun duruma gelebilir ve bu hava hareket etmezse buharlaşma durabilir. Bu aşamada hava hareketi rüzgar sayesinde meydana gelmektedir. Bu anlatılanlara göre buharlaşma bütünüyle güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, havanın nem durumu ve rüzgar hızına dayanmaktadır (Bayramoğlu 2013). Buharlaşmanın meydana geldiği yüzey toprak olduğunda, bu faktörlere ek olarak, toprak yüzeyinin bitkilerin toprak üstü aksamları tarafından gölgelenme miktarı ve buharlaşamaya maruz kalan toprak derinliğindeki su kapsamı da buharlaşma miktarı üzerinde oldukça önemlidir.

3.3 Bitki Su Tüketiminin Saptanması

Bitki su tüketimi uygulama olarak hem doğrudan ölçülmekte hem de iklim verilerinden yararlanarak tahmin edilebilmektedir. Doğrudan ölçme yöntemleri daha sağlıklı sonuç vermesine karşın hem oldukça pahalı, hem de zaman alıcıdır. Bu nedenle, bitki su tüketiminin doğrudan ölçülmesi ancak iklim verilerinden tahmin eşitliklerinin kalibrasyonu ve yöresel bitki katsayılarının bulunması amacıyla yapılmaktadır. Çalışmada bitki su tüketiminin belirlenmesinde bu projedeki yürütülen (yüksek lisans tezi) verilerden faydalanılmıştır.

Çalışma tesadüf parselleri deneme deseninde üç tekerrürlü olacak şekilde kurulmuş ve yürütülmüştür. Her hıyar çeşidi fidesi 4 sıra olacak şekilde toprağa dikilmiştir.

Hemen peşine can suyu verilmiştir.

Hasatta ise kenarlardaki 2 sıra kenar tesiri olarak atılmış ve ortadaki 2 sıra hasat edilmiştir.

Su dengesi eşitliği

Denemede bitki su tüketiminin
belirlenmesinde James ve Ark., (1982) ve
Gençoğlan ve Ark. (2006) tarafından verilen
su dengesi eşitliği kullanılmıştır.

$ET = I + P - DP - RO + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW$

Sonuç olarak; Çalışma daha önce Batman ilinde, anılan koşullarda hıyarın (salatalığın) bitki su tüketiminin belirlenmesine yönelik bir çalışma olmadığı için özgündür. Bir başka deyişle yapılan literatür taramasında hıyar'ın sera koşullarında bitki su tüketiminin belirlenmesine yönelik yeterince çalışma yapılmadığı yapılan çalışmaların daha çok sebze yetiştiriciliğin yönelik çalışmalar olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmanın çıktılarını birçok bilim adamı kullanabilecek ve bu yönüyle literatürde önemli bir boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

4.BULGULAR

Araştırmada uygulanan sulama suyu miktarı 428 mm, yetişme sezonu boyunca su dengesi eşitliğine göre hesaplanan bitki su tüketimi 403 mm olarak hesaplanmıştır. Günlük olarak belirlenen ise 3.38 mm olarak tespit edilmişti.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Su dengesi eşitliğine göre Özellikle çiçeklenme ve meyve bağlama döneminde bitkinin suya en çok ihtiyaç duyduğu dönem olduğu için haftada en az 2 veya 3 kere sulama yapılması önerilir.

6.KAYNAKÇA

Akın, M., & Akın, G. (2007). Suyun Önemi Türkiye'de Su Potansiyeli. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47*(2), 105-118.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *FAO Irrigation and Drainage*, 56.

Anonim. (2016). *Siirt İli Coğrafi Bilgileri* (5.baskı b.). İstanbul: İnkılap.

Anonim. (2019). *T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü*. 05 20, 2020 tarihinde http://www.Ttsm.gov.tr/ adresinden alındı

Arıoğlu, H. (2007). *Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı.* Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat.

Atalay, İ., & Mortan, K. (2003). *Türkiye Bölgesel Coğrafyası.* İstanbul: İnkılap.

Bayramoğlu, E. (2013). *Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi:.* Kastamonu: Kastamonu Üniversitesi.

Clevers, J. P., Buker, C., Van Leeuwen, H. J., & Bouman, B. A. (1994). A framework for monitornig crop growth by combining directional and spectral remote sensing imformation, Remote Sensing. *Eviron*(50), 160-170.

Cornic, G. (2000). *Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-.* Trends Plant Sci. 5.

Çamoğlu, G., Genç, L., & Aşık, Ş. (2011). The Effects of Water Stress on Physiological and Morphological Parameters of Sweet Corn (Zeamays saccharata Sturt.). *Ege University Faculty of Agriculture Journal, 48*(2), 141-149.

Danielson, R. E., & Sutherland, P. L. (1986). *Porosity. In: Klute A ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agronomy Monographs 9. American Society of Agronomy (ASA) and Soil Science Society of America (SSSA).* Madison: Wisconsin.

Dengiz, O., Sağlam, M., Özaytekin, H. H., & Başkan, O. (2013). Weathering rates and some physico-chemical characteristics of soils developed on a calcic toposequences. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 8*(2), 13-24.

Der, G., & Everitt, B. S. (2002). *A Handbook Of Statistical Analyses Using SAS. Second Edition.* Florida: CRC Press LLC.
Ertürk, H. (2011). *Çevre Politikası.* Bursa: Ekin Basın Yayım Dağıtım.
Flexas, J., & Medrano, H. (2002). *Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants:*. Ann. Bot. 83.
Gençoğlan, C., & Yazar, A. (1999). Çukurova Koşullarında Yetiştirilen I. Ürün Mısır Bitkisinde İnfrared Termometre Değerlerinden Yararlanılarak Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Sulama Zamanının Belirlenmesi. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*(23), 87-95.
George John Bouyoucos. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils1.
Güngör, Y., Erözel, A. Z., & Yıldırım, O. (2004). *Sulama.* Ankara: Ankara Üviversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.
İlhan, A. İ., & Utku, M. (1998). GAP Sulama Alanında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Su Gereksinimi,. *Tarım Orman Meteorolojisi Sempozyumu* . İstanbul: İTÜ.
Ilısu, K. (1973). *Yağ Bitkileri ve Islahı.* İstanbul: Çağlayan Kitapevi.
Jackson, R. (1982). Canopy Temperature and Crop Water Stress. Advances in Irrigation. Edited by Daniel Hillel. *Academic Press*(1), 43-85.
Kaleem, S., & Hassan, F. U. (2009). Influence of environmental variations on physiological attributes of sunflower. *African J.Biotechnol, 8,* 3531–3539.
Kaya, S. (2011). Yarı-Kurak İklim Koşullarında Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Refereans Evapotranspirasyon Değerlerinin Karşılaştırılması. *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1*(1), 58-60.
Kaypak, Ş. (2011). Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Bir Kalkınma İçin Sürdürülebilir Bir Çevre. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 22.
Kırnak, H., & Gençoğlan, C. (2001). Use of crop water stress index for scheduling irrigation in second crop corn. *Ziraat Fakültesi Dergisi, 5*(3 4), 67-75.
Koç, T., & Güner, Ü. (2005). Mevcut Sulama Projelerinin Fao Kriterleriyle Yeniden Değerlendirilmesi: Tavas Ovasi Örneği,. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 93-106.
Kozlowski, T. T., & Pallardy, S. G. (1997). *Physiology of Woody Plants.* San Diego: Academic Press.
Kuşat, N. (2013). Yeşil Sürdürülebilirlik İçin Yeşil Ekonomi: Avantaj ve Dezavantajları - Türkiye İncelemesi. *Journal of Yasar University*, 4896 - 4916.
Moroni, I. F., Fraysse, M., Presotto, A., & Cantamutto, M. (2012). Evaluation of Argentine wild sunflower biotypes for drought stress during reproductive stage. *Proc. 18 th International Sunflower Conference* (s. 420-425). Argentina: Mar del Plata.
Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter, In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. Agronomy . *Wisconsin*, 539–579.
Rees, W. G. (2001). *Physical Principles of Remote Sensing, 2nd Edition.* Cambridge: Cambridge University Press.
Reginato. (1983). Field Qualification of Crop Water Stress. *Trans. Amer. Soc.of Agr.Eng., 26*(3), 772 – 781.
Reginato, R. J., & Howe, J. (1985). Irrigation Scheduling Using Crop Indicators. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Asce, 111*(2), 125-133.
Saltürk, M. (2006). Problem of Water in the Middle East and Analysis of the Problem within the Perspective of Turkey. *Journal of Security Strategies*(3), 21-38.
Scott, R. L. (2000). *Agricultural and Forest Meteorology.* Usa.
Škorić, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia, 32*(50), 1-16.
Tan, A. (2011). Susam Agroskop Tarım. *Gıda- Hayvancılık Dergisi*, 25-29.
Tüzüner, A. (1990). *Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı.* Ankara: T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.
Uçak, A. B., Öktem, A., Sezer, C., Cengiz, R., & İnal, B. (2016). Determination of Arid and Temperature Resistant Sweet Corn (Zea mays saccharata Sturt) Lines. *Intennational Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR), 2*(7), 79-88.
Yıkmaz, R. (2011). Sürdürülebilir Kalkınmanın Ölçülmesi ve Türkiye İçin Yöntem Geliştirilmesi (Uzmanlık Tezi). *TC Başbakanlık DPT Müsteşarlığı, Sosyal Sektörler ve Ek Koordinasyon Genel*.
Yürekli, K. (2010). Kayseri İlinde Mevsimsel Bitki Su Tüketimindeki (ETo) Değişimin Saptanması. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* , 21-25.
Zeleke, K., & Wade, L. (2012). Evapotranspiration Estimation Using Soil Water Balance, Weather and Crop Data. *Environmental Science*, 30 - 33.

SİİRT FISTIĞININ BİTKİ SU TÜKETİMİNİN DOĞRUDAN BELİRLENMESİ

DIRECT DETERMINATION OF CROP WATER CONSUMPTION OF SİİRT PISTACHIO

Ali Beyhan UÇAK
Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.

1.ÖZET

Antepfıstığı yetiştiriciliği Ülkemizin daha çok Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yapılmaktadır. Bölge illeri içerisinde Gaziantep, Şanlıurfa, Siirt, Adıyaman, Mardin'de yetiştirilmektedir. Siirt yöresinde ise, bölgeye uyum sağlamış Antep fıstığının Siirt fıstığı çeşidi yetiştirilmektedir. Siirt yöresinde, yaz mevsiminin aşırı sıcak ve hemen hiç yağış düşmemesi fıstık yetiştiriciliğinde sulamayı da zorunlu kılmaktadır. Fıstık, tayfi üzümü ve Zivzik narı Siirt yöresinde yetiştirilen en önemli ekonomik ürünlerdir. Son yıllarda hızlı nüfus artışı ve gelişen sanayileşme ile doğal su kaynakların azalması, sulama uygulamalarının optimum bir randımanla yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir şekilde geliştirilmesi bulunulan yörenin bitki su tüketimine uygun sulama programları oluşturularak sağlanabilmektedir. Dolayısıyla bu çalışma Siirt Fıstığının su dengesi eşitliği yardımı ile bitki su tüketiminin hesaplanması amacıyla yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Siirt fıstığı, Sulama, Bitki su tüketimi

1. ABSTRACT

Pistachio cultivation in our country is primarily carried out in the Southeastern Anatolia Region. Within this region, it is grown in the provinces of Gaziantep, Şanlıurfa, Siirt, Adıyaman, and Mardin. In the Siirt region, the "Siirt" variety—which has adapted to the local conditions—is cultivated. The extremely hot summers and the near-total absence of rainfall in the Siirt region make irrigation essential for pistachio cultivation. Pistachios, Tayfi grapes, and Zivzik pomegranates are the most important economic crops grown in the Siirt region. Rapid population growth and increasing industrialization in recent years, coupled with the depletion of natural water resources, necessitate that irrigation practices be carried out with optimum efficiency. The sustainable development of existing water resources can be achieved by establishing irrigation schedules tailored to the crop water consumption of the specific region. Therefore, this study was conducted to calculate the crop water consumption of the Siirt pistachio using the water balance equation.
Keywords: Siirt pistachio, Irrigation, Crop water consumption

1. GİRİŞ

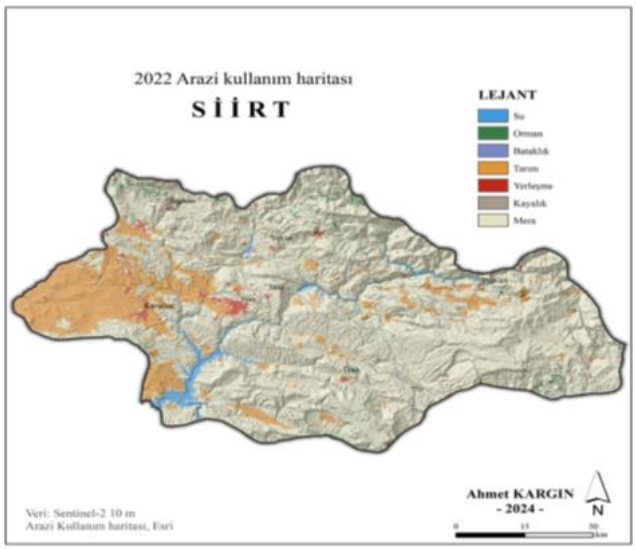
Dünyada Yakındoğu, Akdeniz Bölgesi ve Asya'nın batı bölgelerinde yetişen Antep fıstığı (*Pistacia vera L.*), ülkemizde ağırlıklı olarak Gaziantep yöresinde yetişmektedir. Yine Antepfıstığı yetiştirilen toplam il sayımız 44 olup, bu iller Güneydoğu, Akdeniz, Ege ve İç Anadolu Bölgelerimizde bulunmakla birlikte, üretimde en çok söz sahibi olan iller Gaziantep, Kahramanmaraş, Adıyaman, Şanlıurfa, Mardin, Kilis, Diyarbakır ve Siirt'tir. Ülkemizde üretim bölgelerinde bağlı olarak, birçok fıstık çeşidi mevcut olup, Siirt fıstığı (Şekil 1) bu çeşitlerin arasında önemli bir pay almaktadır. Gaziantep ve Şanlıurfa gibi bölgelerde daha çok yerli çeşitlerin yetiştiriciliği yapılırken, Siirt yöresinde, bölgeye uyum sağlamış Siirt çeşidi yetiştirilmektedir. Siirt ve Şanlıurfa'da yetiştirilen Siirt fıstığı, iri taneleri ve yüksek çıtlak oranı nedeniyle tercih edilmektedir. Antepfıstığı kuraklığa karşı oldukça toleranslı olması nedeniyle yağışın çok az olduğu (yıllık yağışın 150 mm) marjinal alanlarda da yetiştirilebilir olması, bu bitkinin tamamen kuru koşullarda ve susuz şartlarda yetiştirilmesi gerektiği anlamına gelmemektedir. Tarımsal faaliyetin her aşamasında sulama suyuna ihtiyaç olduğu gibi antepfıstığı çeşitleri de (Uzun, Siirt, Kırmızı, Halebi, vd.) sulamaya gereksinim duymaktadırlar.

Şekil 1. Siirt Fıstığı

Fıstık yetiştiriciliğinin en önemli sorunlarından olan verim düşüklüğü ve periyodisiteyi, son zamanlarda bazı araştırmacılar su stresine atıf yaparak (Kanber ve ark., 1993), sulamanın su stresini azaltarak verimi olumlu yönde etkilediği, ürün kalitesinde iyileştirmelere neden olduğu ve dolayısıyla periyodisiteyi azaltıcı etkiye sahip oluğunu ve bu nedenle optimum düzeyde verim alınması için sulamanın bir önkoşul olduğunu belirtmektedirler. Benzer olarak, Arpacı ve ark. (1995), sulu koşullarda Siirt fıstığının kuru koşullara göre daha iyi verim verdiğini ve dolayısıyla, Siirt fıstığı yetiştiriciliğinin sulu koşullarda yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir. Buna karşın, Siirt yöresinin fıstık üretimi yapılan alanlarında yeterli sulama suyunun olmaması, coğrafik koşullar gibi olumsuzlukların yanı sıra, üreticilerin bu konudaki yaklaşımları da oldukça büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmayla, sulama suyunun daha verimli kullanılması için Siirt ili iklim verileri, Blaney Criddle eşitliğine modifiye edilerek Siirt fıstığına ait bitki su tüketiminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

3.MATERYAL ve METOD

Siirt yöresinde, kışların soğuk ve yağışlı/karlı, yazların sıcak ve kurak olduğu karasal iklim kuşağı hüküm sürmekte ve dört mevsim en belirgin özellikleri ile yaşanmaktadır. Ortalama sıcaklık yazın 26 ºC, kışın ise 2,7 ºC'dir. Yıllık bağıl nem oranı Ocak ayında en fazla %70,2, Ağustos ayında ise %26,9'dur. Yıllık ortalama bağıl nem oranı %50,41'dir. Yıllık yağış miktarı 669,2 mm iken, aylık yağış miktarı 103.6 mm ile 1.3 mm arasında değişmektedir (Anonim 2020).Çalışma toprağı kahverengi orman toprak sınıfı olarak sınıflandırılmaktadır (Dengiz ve ark., 2013). Deneme alanının kil toprağının özellikleri arasında düşük elektriksel iletkenlik, tuzsuzluk, kireç seviyesi bitki büyümesi açısından sorun teşkil etmemekte olup düşük fosfor içeriği, yüksek potasyum içeriği ve orta düzeyde organik madde bulunmaktadır.



Şekil 2. Siirt ili arazi kullanım kabiliyet haritası.

3.1 Bitki Su Tüketimi

Ulusal ve uluslararası birçok kaynakta 'Evapotranspirasyon' olarak adlandırılan ve ET olarak kısaltılan kavram Türkçe' de terminolojik olarak 'Bitki Su Tüketimi' tanımlaması şeklinde kabul görmektedir. Temelde ET topraktan ve bitkiden buharlaşmayı ifade etmektedir. Genel olarak evaporasyon sıvı haldeki suyun buharlaşarak bulunduğu ortamdan atmosfere hareket etmesini ifade etmektedir. Toprak ve açık su yüzeyleri başta olmak üzere birçok yüzeyden suyun buharlaşması 'evaporasyon' olarak adlandırılmaktadır. Evaporasyonun meydana gelmesi için suya enerjinin nüfuz etmesi gerekmektedir. Doğada bu enerjinin kaynağı çoğunlukla güneş radyasyonu ve hava sıcaklığıdır. Buharlaşan suyun hareketi ise söz konusu yüzey ve bu yüzeyi çevreleyen atmosfer arasındaki buhar basıncı farkı doğrultusunda gerçekleşmektedir. Buna göre buharlaşmanın ardından, buharlaşmanın oluştuğu yüzeyi çevreleyen atmosfer suyla doygun duruma gelebilir ve bu hava hareket etmezse buharlaşma durabilir. Bu aşamada hava hareketi rüzgar sayesinde meydana gelmektedir. Bu anlatılanlara göre buharlaşma bütünüyle güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, havanın nem durumu ve rüzgar hızına dayanmaktadır (Bayramoğlu 2013). Buharlaşmanın meydana geldiği yüzey toprak olduğunda, bu faktörlere ek olarak, toprak yüzeyinin bitkilerin toprak üstü aksamları tarafından gölgelenme miktarı ve buharlaşamaya maruz kalan toprak derinliğindeki su kapsamı da buharlaşma miktarı üzerinde oldukça önemlidir.

3.4 Bitki Su Tüketiminin Saptanması

Bitki su tüketimi uygulama olarak hem doğrudan ölçülmekte hem de iklim verilerinden yararlanarak tahmin edilebilmektedir. Doğrudan ölçme yöntemleri daha sağlıklı sonuç vermesine karşın hem oldukça pahalı, hem de zaman alıcıdır. Bu nedenle, bitki su tüketiminin doğrudan ölçülmesi ancak iklim verilerinden tahmin eşitliklerinin kalibrasyonu ve yöresel bitki katsayılarının bulunması amacıyla yapılmaktadır.

Su dengesi eşitliği

Denemede bitki su tüketiminin belirlenmesinde James ve Ark., (1982) ve Gençoğlan ve Ark. (2006) tarafından verilen su dengesi eşitliği kullanılmıştır.

$$ET = I + P - DP - RO + CR \pm \Delta SF \pm \Delta SW$$

4.BULGULAR

Yetişme sezonu boyunca su dengesi eşitliğine göre Temmuz ve Ağustos ayında günlük ETa değeri 10-12 mm gün^{-1} arasında değişirken, çiçeklenme öncesinde ve çiçeklenme döneminde havaların aşırı sıcak olmamasından dolayı kısmen de olsa biraz daha düşük belirlenmiştir. Su dengesi eşitliğine göre Aylık olarak hesaplanan ise anılan aylarda 250-300 mm ay^{-1}, yetişme sezonu boyunca ise 700-800 mm (sezonluk^{-1}) olarak hesaplanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son zamanlarda küresel ısınmaya bağlı olarak ciddi bir tehdit olarak karşımıza çıkan ani iklimsel değişim, ülkemizdeki kısıtlı olan su kaynaklarının tükenmesine yol açmakta önemli bir oynamaktadır. Bunun yanında fıstık bitkisi yetiştiriciliği alanında daha fazla teşvik edilmesi için yapılan çalışmada gerçek su tüketimi ile hesaplanan su tüketimi arasında farkın önemsiz olduğu ve çiftçilerimizin gönül rahatlığı ile fıstık yetiştiriciliği yapabilmesine imkan vermektedir. Öte yandan Su tüketiminin en yoğun olarak kullanıldığı alanların sulama amaçlı olduğu düşünüldüğünde sulama projelerinin gerçekçi olarak iklim verilerine bağlı, uzun ya da kısa dönemlere ilişkin bitkilerin kullanacakları su miktarının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla daha fazla meteorolojik veri kullanarak bitki su tüketim tahminlerinde daha gerçekçi sonuçlara ulaşan bir yöntem olan Penman-Monteith eşitliği kullanılarak fıstık bitkisinin sulama programı hakkında hesaplamalar yapılabilir. Su kaynaklarının korunması adına her yörenin iklim şartlarına göre uygun bir sulama programı oluşturulmalıdır. Bu amaçla, yörenin iklim verileri dikkate alınarak yetiştirilen bitkilerin sulama aralıkları arasındaki bitki su tüketimleri hesaplanmalı ve sulama programı hazırlanmalıdır.

Sonuç olarak su dengesi eşitliğine göre Temmuz ve Ağustos aylarında 250-300 mm ay^{-1}, yetişme sezonu boyunca ise düşen yağış miktarı ve yapılan sulama sayısına da bağlı olarak 700-800 mm (sezonluk-1) olarak hesaplanmıştır.

Özellikle çiçeklenme ve meyve bağlama döneminde yüksek evapotranspirasyon olduğu için ağaç başına haftada 150-250 litre veya on beş günde bir 300-500 litre olacak şekilde sulama yapılması önerilir.

6.KAYNAKÇA

Akın, M., & Akın, G. (2007). Suyun Önemi Türkiye'de Su Potansiyeli. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47*(2), 105-118.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *FAO Irrigation and Drainage*, 56.

Anonim. (2016). *Siirt İli Coğrafi Bilgileri* (5.baskı b.). İstanbul: İnkılap.

Anonim. (2019). *T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü*. 05 20, 2020 tarihinde http://www.Ttsm.gov.tr/ adresinden alındı

Arıoğlu, H. (2007). *Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı.* Adana: Çukurova Üniversitesi Ziraat.

Atalay, İ., & Mortan, K. (2003). *Türkiye Bölgesel Coğrafyası.* İstanbul: İnkılap.

Bayramoğlu, E. (2013). *Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi:.* Kastamonu: Kastamonu Üniversitesi.

Clevers, J. P., Buker, C., Van Leeuwen, H. J., & Bouman, B. A. (1994). A framework for monitornig crop growth by combining directional and spectral remote sensing imformation, Remote Sensing. *Eviron*(50), 160-170.

Cornic, G. (2000). *Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-.* Trends Plant Sci. 5.

Çamoğlu, G., Genç, L., & Aşık, Ş. (2011). The Effects of Water Stress on Physiological and Morphological Parameters of Sweet Corn (Zeamays saccharata Sturt.). *Ege University Faculty of Agriculture Journal, 48*(2), 141-149.

Danielson, R. E., & Sutherland, P. L. (1986). *Porosity. In: Klute A ed. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2nd ed. Agronomy Monographs 9. American Society of Agronomy (ASA) and Soil Science Society of America (SSSA).* Madison: Wisconsin.

Dengiz, O., Sağlam, M., Özaytekin, H. H., & Başkan, O. (2013). Weathering rates and some physico-chemical characteristics of soils developed on a calcic toposequences. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, 8*(2), 13-24.

Der, G., & Everitt, B. S. (2002). *A Handbook Of Statistical Analyses Using SAS. Second Edition.* Florida: CRC Press LLC.

Ertürk, H. (2011). *Çevre Politikası.* Bursa: Ekin Basın Yayım Dağıtım.

Flexas, J., & Medrano, H. (2002). *Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants:.* Ann. Bot. 83.

Gençoğlan, C., & Yazar, A. (1999). Çukurova Koşullarında Yetiştirilen I. Ürün Mısır Bitkisinde İnfrared Termometre Değerlerinden Yararlanılarak Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Sulama Zamanının Belirlenmesi. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*(23), 87-95.

George John Bouyoucos. (1962). Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils1.

Güngör, Y., Erözel, A. Z., & Yıldırım, O. (2004). *Sulama.* Ankara: Ankara Üviversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

İlhan, A. İ., & Utku, M. (1998). GAP Sulama Alanında Bitki Su Tüketimi ve Bitki Su Gereksinimi,. *Tarım Orman Meteorolojisi Sempozyumu* . İstanbul: İTÜ.

Ilısu, K. (1973). *Yağ Bitkileri ve Islahı.* İstanbul: Çağlayan Kitapevi.

Jackson, R. (1982). Canopy Temperature and Crop Water Stress. Advances in Irrigation. Edited by Daniel Hillel. *Academic Press*(1), 43-85.

Kaleem, S., & Hassan, F. U. (2009). Influence of environmental variations on physiological attributes of sunflower. *African J.Biotechnol, 8,* 3531–3539.

Kaya, S. (2011). Yarı-Kurak İklim Koşullarında Farklı Yöntemlerle Hesaplanan Refereans Evapotranspirasyon Değerlerinin Karşılaştırılması. *Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1*(1), 58-60.

Kaypak, Ş. (2011). Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Bir Kalkınma İçin Sürdürülebilir Bir Çevre. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 22.

Kırnak, H., & Gençoğlan, C. (2001). Use of crop water stress index for scheduling irrigation in second crop corn. *Ziraat Fakültesi Dergisi, 5*(3 4), 67-75.

Koç, T., & Güner, Ü. (2005). Mevcut Sulama Projelerinin Fao Kriterleriyle Yeniden Değerlendirilmesi: Tavas Ovasi Örneği,. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 93-106.

Kozlowski, T. T., & Pallardy, S. G. (1997). *Physiology of Woody Plants.* San Diego: Academic Press.

Kuşat, N. (2013). Yeşil Sürdürülebilirlik İçin Yeşil Ekonomi: Avantaj ve Dezavantajları - Türkiye İncelemesi. *Journal of Yasar University*, 4896 - 4916.

Moroni, I. F., Fraysse, M., Presotto, A., & Cantamutto, M. (2012). Evaluation of Argentine wild sunflower biotypes for drought stress during reproductive stage. *Proc. 18 th International Sunflower Conference* (s. 420-425). Argentina: Mar del Plata.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter, In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties, 2nd ed. Agronomy . *Wisconsin*, 539–579.

Rees, W. G. (2001). *Physical Principles of Remote Sensing, 2nd Edition.* Cambridge: Cambridge University Press.

Reginato. (1983). Field Qualification of Crop Water Stress. *Trans. Amer. Soc.of Agr.Eng., 26*(3), 772 – 781.

Reginato, R. J., & Howe, J. (1985). Irrigation Scheduling Using Crop Indicators. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Asce, 111*(2), 125-133.

Saltürk, M. (2006). Problem of Water in the Middle East and Analysis of the Problem within the Perspective of Turkey. *Journal of Security Strategies*(3), 21-38.

Scott, R. L. (2000). *Agricultural and Forest Meteorology.* Usa.

Škorić, D. (2009). Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. *Helia, 32*(50), 1-16.

Tan, A. (2011). Susam Agroskop Tarım. *Gıda- Hayvancılık Dergisi*, 25-29.

Tüzüner, A. (1990). *Toprak ve Su Analiz Laboratuvarları El Kitabı.* Ankara: T.C. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.

Uçak, A. B., Öktem, A., Sezer, C., Cengiz, R., & İnal, B. (2016). Determination of Arid and Temperature Resistant Sweet Corn (Zea mays saccharata Sturt) Lines. *Intennational Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR), 2*(7), 79-88.

Yıkmaz, R. (2011). Sürdürülebilir Kalkınmanın Ölçülmesi ve Türkiye İçin Yöntem Geliştirilmesi (Uzmanlık Tezi). *TC Başbakanlık DPT Müsteşarlığı, Sosyal Sektörler ve Ek Koordinasyon Genel*.

Yürekli, K. (2010). Kayseri İlinde Mevsimsel Bitki Su Tüketimindeki (ETo) Değişimin Saptanması. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* , 21-25.

Zeleke, K., & Wade, L. (2012). Evapotranspiration Estimation Using Soil Water Balance, Weather and Crop Data. *Environmental Science*, 30 - 33.

YABANCI OT POPÜLASYON GENETİĞİ

WEED POPULATION GENETICS

Prof. Dr. Fırat PALA
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-4394-8841

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1410-8114

ÖZET

Yabancı ot popülasyonlarının tarımsal ekosistemlerdeki başarısı yalnızca bireysel bitkilerin büyüme, rekabet veya herbisitlere tolerans özellikleriyle açıklanamaz. Popülasyonların uzun dönemli kalıcılığı ve çevresel değişimlere uyumu; genetik çeşitlilik, çiftleşme sistemi, mutasyon, rekombinasyon, gen akışı, genetik sürüklenme ve doğal ya da tarımsal seçilim süreçlerinin ortak etkisi altında şekillenmektedir. Bu bildirinin amacı, yabancı ot popülasyon genetiğinin temel kavramlarını matematiksel formüllerden bağımsız olarak WEED SCIENCE FIRST → WEED ECOLOGY SECOND → IWM THIRD yaklaşımıyla değerlendirmek ve bu alanın yabancı ot bilimi için taşıdığı biyolojik, ekolojik ve stratejik önemi ortaya koymaktır. Popülasyon genetiği; bir yabancı ot türündeki genetik çeşitliliğin nasıl dağıldığını, farklı tarlalardaki popülasyonların birbirleriyle ne ölçüde bağlantılı olduğunu, herbisit direncinin yerel olarak mı evrimleştiğini yoksa başka popülasyonlardan mı taşındığını ve yoğun tarımsal uygulamaların yabancı otların evrimsel yönünü nasıl değiştirdiğini anlamaya olanak sağlar. Özellikle herbisit direnci, popülasyon genetiğinin yabancı ot bilimindeki önemini gösteren güçlü bir modeldir. Herbisitler belirli direnç mutasyonlarını doğrudan oluşturmak yerine, mevcut veya yeni ortaya çıkan kalıtsal varyasyon üzerinde güçlü bir seçilim baskısı meydana getirir. *Amaranthus tuberculatus*, *Amaranthus palmeri*, *Bassia scoparia* ve *Alopecurus myosuroides* üzerinde yürütülen genomik araştırmalar, benzer direnç fenotiplerinin farklı evrimsel kökenlerden ortaya çıkabileceğini ve direnç allellerinin gen akışıyla geniş coğrafyalara yayılabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak yabancı ot popülasyon genetiği; yabancı ot biyolojisi, evrimsel ekoloji, moleküler teşhis, herbisit direnci yönetimi ve Entegre Yabancı Ot Yönetimi arasında temel bir bilimsel köprü oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Genetik çeşitlilik, gen akışı, herbisit direnci, popülasyon genetiği, popülasyon genomikleri

ABSTRACT

The success of weed populations in agricultural ecosystems cannot be explained solely by the growth, competitive ability, or herbicide response of individual plants. Long-term persistence and adaptation of weed populations are shaped by interactions among genetic diversity, mating systems, mutation, recombination, gene flow, genetic drift, and natural or anthropogenic selection. The objective of this paper is to evaluate the fundamental concepts of weed population genetics without emphasizing mathematical formulations, following the principle WEED SCIENCE FIRST → WEED ECOLOGY SECOND → IWM THIRD, and to highlight their biological, ecological, and strategic importance for weed science. Population genetics provides the framework required to determine how genetic variation is distributed within and among weed populations, how strongly populations from different fields are genetically connected, whether herbicide resistance has evolved locally or has been introduced through gene flow, and how intensive agricultural practices alter the evolutionary trajectory of weeds. Herbicide resistance provides one of the clearest examples of the importance of population genetics in weed science. Herbicides generally do not directly create specific resistance mutations; rather, they impose strong selection on heritable variation already present or newly arising within populations. Genomic studies in *Amaranthus tuberculatus*, *Amaranthus palmeri*, *Bassia scoparia*, and *Alopecurus myosuroides* demonstrate that similar resistance phenotypes may have different evolutionary origins and that resistance alleles can spread across broad geographic areas through gene flow.

Weed population genetics therefore provides an essential scientific bridge connecting weed biology, evolutionary ecology, molecular diagnostics, herbicide-resistance management, and Integrated Weed Management.
Keywords: Genetic diversity, gene flow, herbicide resistance, population genetics, population genomics

1. GİRİŞ

Yabancı ot biliminin temel araştırma birimi yalnızca tek bir bitki değildir. Her yabancı ot bireyi, belirli genetik özellikleri taşıyan ve bunları eşeyli veya vejetatif üreme aracılığıyla gelecek generasyonlara aktarabilen daha geniş bir popülasyonun parçasıdır. Bu nedenle yabancı otların çevresel streslere, kültür bitkisi rekabetine, toprak işleme uygulamalarına ve özellikle herbisitlere verdikleri yanıtların tam olarak anlaşılması, bireysel bitki fizyolojisinin ötesine geçilerek popülasyon düzeyinde genetik ve evrimsel süreçlerin incelenmesini gerektirir (Pala, 2025a).

Yabancı ot popülasyonlarında bireyler genetik olarak tamamen aynı değildir. Aynı tür içerisinde büyüme hızı, çıkış zamanı, dormansi, çiçeklenme fenolojisi, kuraklık toleransı, rekabet yeteneği ve herbisitlere duyarlılık bakımından önemli farklılıklar bulunabilir. Tarımsal çevre, bu farklılıklar üzerinde sürekli bir seçilim baskısı oluşturmaktadır.

Bu nedenle çiftçinin yaptığı her uygulama yalnızca yabancı ot yoğunluğunu değiştiren bir agronomik işlem değildir. Aynı zamanda belirli özelliklere sahip bireylerin hayatta kalmasını veya elenmesini etkileyebilen bir evrimsel filtre olabilir.

Herbisit uygulamaları bunun en açık örneğidir. Herbisit, genel olarak yabancı ot populasyonunda ihtiyaç duyulan direnç mutasyonunu yönlendirilmiş biçimde oluşturmaz. Bunun yerine populasyonda daha önce bulunan veya doğal mutasyon süreçleriyle ortaya çıkan kalıtsal varyasyon üzerinde güçlü bir seçilim uygular. Hassas bireyler ortadan kaldırılırken direnç sağlayan özellikleri taşıyan bireyler hayatta kalır, ürer ve bu özellikleri gelecek generasyonlara aktarabilir. Aynı etki mekanizmasına sahip herbisitlerin uzun yıllar tekrarlanması bu seçilimi daha da güçlendirebilir (Délye et al., 2013; Gaines et al., 2020; Kreiner et al., 2018).

Burada yabancı ot bilimi açısından önemli bir paradigma değişimi ortaya çıkmaktadır:

Herbisit direnci yalnızca bir bitki fizyolojisi problemi değildir; aynı zamanda bir popülasyon evrimi problemidir.

Bir tarlada dirençli populasyonun ortaya çıkması en az üç farklı biyolojik süreçle açıklanabilir.

İlk olarak direnç özelliği, herbisit kullanılmaya başlamadan önce populasyonda çok düşük düzeyde bulunan mevcut genetik varyasyonun bir parçası olabilir.

İkinci olarak direnç sağlayan yeni bir mutasyon aynı populasyonda bağımsız olarak ortaya çıkabilir.

Üçüncü olarak direnç alleli başka bir populasyondan polen veya tohum aracılığıyla taşınmış olabilir.

Gerçek tarımsal sistemlerde bu süreçlerin birkaçı aynı anda gerçekleşebilir. *Amaranthus tuberculatus* üzerinde yürütülen genomik çalışmalar, aynı direnç probleminin farklı populasyonlarda tekrar tekrar bağımsız biçimde ortaya çıkabileceğini ve daha sonra gen akışı yoluyla geniş alanlara yayılabileceğini göstermiştir (Kreiner et al., 2019, 2022).

Bu nedenle yabancı ot popülasyon genetiğinin temel sorusu yalnızca:

“Bu populasyon dirençli mi?”

değildir.

Daha önemli sorular şunlardır:

- Popülasyon içerisinde ne kadar genetik çeşitlilik bulunmaktadır?
- Direnç sağlayan genetik özellik populasyonda ne kadar yaygındır?
- Direnç bu tarlada bağımsız olarak mı evrimleşmiştir?
- Yoksa dirençli genetik materyal başka bir populasyondan mı gelmiştir?
- Farklı tarlalardaki yabancı ot populasyonları genetik olarak ne ölçüde bağlantılıdır?
- Çiftleşme sistemi genlerin yayılmasını nasıl etkilemektedir?
- Tarımsal seçilim hangi genotipleri avantajlı hâle getirmektedir?
- Bu bilgiler uygulanacak yabancı ot yönetimini nasıl değiştirmelidir?

Bu sorular, yabancı ot biyolojisi → yabancı ot ekolojisi → evrimsel süreçler → IWM bütünlüğünün gerekliliğini ortaya koymaktadır.

2. WEED POPULATION GENETICS — YABANCI OT POPÜLASYON GENETİĞİ

2.1. Popülasyon genetiğinin yabancı ot bilimindeki temel amacı

Popülasyon genetiğinin yabancı ot bilimindeki temel amacı, genetik varyasyonun populasyon içerisinde ve farklı populasyonlar arasında nasıl dağıldığını ve bu yapının zaman içerisinde nasıl değiştiğini açıklamaktır.

Bu bilgi yabancı ot bilimcisine yalnızca "hangi genler bulunmaktadır?" sorusunun yanıtını vermez. Daha önemli olarak;

- yabancı otun adaptasyon kapasitesini,
- populasyonların ortak veya farklı kökenlerini,
- tarlalar arasındaki bağlantılılığı,
- gen akışının büyüklüğünü,
- yeni istilaların kaynaklarını,
- herbisit direncinin kökenini,
- direnç allellerinin hareketini

anlamayı sağlar.

Mutasyon, rekombinasyon, gen akışı, genetik sürüklenme ve çiftleşme sistemi populasyonların doğal genetik yapısını şekillendirirken, tarımsal ekosistemlerde bunlara güçlü insan kaynaklı seçilim baskıları eklenmektedir.

Herbisit kullanımı, toprak işleme sistemi, ekim nöbeti, ekim zamanı, hasat şekli, sulama, gübreleme ve mekanik mücadele uzun yıllar boyunca tekrarlandığında, yalnızca mevcut yabancı ot yoğunluğunu değil, hangi biyolojik özelliklere sahip bireylerin daha başarılı olacağını da etkileyebilir.

Bu nedenle popülasyon genetiği, modern yabancı ot biliminde moleküler veriyi tarla ekolojisiyle birleştiren bir araçtır (Martin et al., 2019).

2.2. Allel frekansının biyolojik ve yönetimsel anlamı

Popülasyon genetiğinde temel ilgi alanlarından biri belirli genetik varyantların populasyon içerisinde ne kadar yaygın olduğudur.

Yabancı ot bilimi açısından bunun en açık uygulaması herbisit direncidir. Bir tarlada gözlenen dirençli bitki yüzdesi ile direnç allelinin populasyondaki gerçek dağılımı her zaman aynı değildir.

Bazı direnç özellikleri fenotipik olarak kolaylıkla gözlenebilirken, bazı alleller heterozigot bireylerde veya resesif kalıtım nedeniyle populasyon içerisinde bir süre görünmeden taşınabilir. Böyle durumlarda yalnızca herbisit uygulamasından sonra hayatta kalan bitkilerin sayılması, populasyonun gelecekteki resistance riskini eksik değerlendirebilir.

Bu nedenle popülasyon genetiğinin amacı yalnızca mevcut dirençli bireyleri belirlemek değil, gelecekte seçilme potansiyeli taşıyan genetik varyasyonun populasyondaki durumunu anlamaktır.

Bu yaklaşım erken uyarı açısından önemlidir. Direnç sorunu sahada ekonomik zarar oluşturacak düzeye ulaşmadan önce genetik düzeyde değişimin saptanabilmesi, reaktif mücadeleden proaktif resistance management yaklaşımına geçiş sağlayabilir.

2.3. Genetik denge kavramının yabancı ot bilimindeki önemi

Popülasyon genetiğinde teorik denge kavramları gerçek populasyonların davranışını değerlendirmek için referans noktası sağlar.

Yabancı ot biliminde asıl önemli olan matematiksel denge hesabının kendisi değil, populasyonun beklenen genetik yapıdan **neden saptığını** açıklamaktır.

Bu sapmalar;

- kendine döllenme,
- yabancı döllenme,
- populasyon alt yapısı,
- küçük ve izole populasyonlar,
- genetik sürüklenme,
- yoğun polen veya tohum hareketi,
- yeni bir populasyonun kurulması,
- güçlü herbisit seçilimi

gibi biyolojik veya tarımsal süreçlerin işareti olabilir.

Dolayısıyla genetik denge analizlerinin yabancı ot bilimindeki amacı, yalnızca teorik bir populasyon-genetiği varsayımını test etmek değil, sahada hangi evrimsel süreçlerin çalıştığını belirlemektir.

2.4. Genetik çeşitlilik ve adaptasyon kapasitesi

Genetik çeşitlilik, bir populasyon içerisindeki bireylerin genetik olarak birbirlerinden ne ölçüde farklı olduklarını ifade eder.
Bu çeşitlilik, yabancı otların çevresel değişikliklere uyum kapasitesinin temel kaynaklarından biridir. Çok sayıda farklı genetik varyant taşıyan büyük populasyonlarda, yeni bir çevresel stres altında avantaj sağlayabilecek bir özelliğin önceden bulunma olasılığı artabilir.
Bu nedenle yüksek genetik çeşitlilik yabancı otlar açısından bir çeşit **evrimsel seçenek havuzu** oluşturabilir.
Ancak burada önemli bir ayrım yapılmalıdır:
Genel veya nötr genetik çeşitlilik ile adaptif genetik çeşitlilik aynı şey değildir.
Bir yabancı ot populasyonu genomun büyük bölümünde yüksek çeşitliliğe sahip olabilir, ancak belirli bir herbisite direnç sağlayan lokuslar açısından sınırlı varyasyon gösterebilir. Buna karşılık genel genetik çeşitliliği düşük görünen bir populasyon, belirli bir resistance mekanizması bakımından kritik bir adaptif allele sahip olabilir.
Bu nedenle yabancı ot biliminde genetik çeşitlilik analizlerinin amacı yalnızca populasyonların "çeşitli" veya "az çeşitli" olduğunu söylemek değildir. Temel amaç, bu çeşitliliğin hangi bölümünün tarımsal adaptasyonla ilişkili olduğunu belirlemektir.

2.5. Çiftleşme sistemi ve genetik yapı

Yabancı ot türlerinin çiftleşme sistemi populasyon genetiğinin en önemli belirleyicilerinden biridir.
Yüksek oranda kendine döllenen türlerle zorunlu veya yüksek oranda yabancı döllenen türler aynı genetik yapıya sahip değildir ve adaptif alleller aynı hızla hareket etmez.
Özellikle iki evcikli *Amaranthus palmeri* ve *Amaranthus tuberculatus* gibi türlerde erkek ve dişi bireylerin ayrı olması yabancı döllenmeyi zorunlu hâle getirir. Böyle bir sistem, genetik materyalin bireyler arasında sürekli yeniden karışmasına ve farklı resistance allellerinin aynı genetik arka planda bir araya gelmesine olanak sağlayabilir.
Bu durum popülasyon genetiğinin yabancı ot bilimi açısından neden önemli olduğunu açıkça göstermektedir.
Çiftleşme sisteminin bilinmesi;

- direnç allellerinin populasyon içinde yayılma hızının,
- populasyonlar arası gen akışının,
- genetik çeşitliliğin,
- çoklu resistance kombinasyonlarının ortaya çıkma riskinin

değerlendirilmesine katkı sağlar.
Dolayısıyla aynı herbisit direnci mekanizması, farklı çiftleşme sistemlerine sahip iki yabancı ot türünde aynı şekilde yönetilemez.

2.6. Popülasyonlar arasındaki genetik farklılaşma

Tarla sınırları insanlar için belirgin olmakla birlikte yabancı ot genleri için aynı ölçüde güçlü sınırlar olmayabilir.
İki yabancı ot populasyonu kilometrelerce uzakta bulunmasına rağmen yoğun polen veya tohum hareketi nedeniyle genetik olarak birbirine yakın olabilir. Buna karşılık coğrafi olarak birbirine yakın iki populasyon farklı yönetim geçmişleri, sınırlı gen akışı veya farklı kolonizasyon geçmişleri nedeniyle belirgin biçimde ayrışabilir.
Bu nedenle popülasyon farklılaşması araştırmalarının temel amacı;
"Bu tarlalar birbirinden bağımsız yabancı ot problemleri mi, yoksa genetik olarak bağlantılı daha büyük bir populasyon sisteminin parçaları mı?"
sorusuna yanıt vermektir.
Bu ayrım IWM açısından çok önemlidir.
Eğer populasyonlar genetik olarak güçlü biçimde bağlantılıysa, yalnızca tek bir çiftçinin veya tek bir tarlanın resistance management programı yeterli olmayabilir. Direnç allelleri komşu alanlardan tekrar girebilir.
Böyle bir durumda yönetim ölçeği;
bitki → tarla → işletme → bölge
doğrultusunda genişletilmelidir.

2.7. Genetik varyasyonun populasyon içinde ve populasyonlar arasında dağılımı

Modern popülasyon genetiği, genetik çeşitliliğin ne kadarının aynı tarla içerisindeki bireyler arasında, ne kadarının farklı tarlalar veya bölgeler arasında bulunduğunu incelemeye olanak sağlar.
Bu bilgi yabancı ot bilimi açısından özellikle önemlidir.
Genetik varyasyonun büyük bölümü populasyon içerisinde bulunuyorsa, aynı tarlada dahi çok farklı genotiplerin bir arada bulunabileceği anlaşılır. Bu durum tek tip bir yönetim baskısının hızlı seçilim oluşturma riskini artırabilir.
Buna karşılık populasyonlar arasındaki farklılık yüksekse, belirli tarlalar veya bölgeler farklı evrimsel geçmişlere sahip olabilir. Böyle durumda direnç mekanizmalarının ve yönetim stratejilerinin bölgesel olarak değerlendirilmesi gerekebilir.
Dolayısıyla genetik varyasyonun hiyerarşik yapısının anlaşılması, yabancı ot yönetiminin hangi mekânsal ölçekte planlanması gerektiğine katkı sağlar.

2.8. Etkin popülasyon büyüklüğü ve yabancı otların evrimsel potansiyeli

Tarlada görülen bütün yabancı ot bireyleri gelecek generasyonun genetik yapısına eşit katkı sağlamaz.
Bazı bireyler çiçeklenmeden önce ölür, bazıları steril kalır, bazıları çok az tohum oluştururken bazıları binlerce veya yüz binlerce tohum üretebilir. Bu nedenle populasyonun genetik geleceğini belirleyen asıl grup, başarılı biçimde üreyerek genlerini sonraki generasyonlara aktaran bireylerdir.
Bu kavram yabancı ot bilimi açısından önemlidir çünkü yüksek yoğunluk ve yüksek üreme kapasitesi, populasyon içerisinde çok sayıda genetik varyantın korunmasına katkıda bulunabilir.
Büyük ve genetik açıdan çeşitli yabancı ot populasyonları;

- yeni mutasyonların ortaya çıkması,
- nadir allellerin korunması,
- farklı allellerin rekombinasyonla birleşmesi,
- yeni çevresel streslere hızlı adaptasyon

açısından önemli bir potansiyele sahip olabilir.
Bu nedenle yabancı ot yoğunluğunun azaltılması yalnızca kültür bitkisiyle rekabeti azaltan agronomik bir hedef değildir.
Aynı zamanda popülasyonun gelecekteki evrimsel kapasitesini sınırlamaya yönelik bir resistance-management yaklaşımıdır.

2.9. Genetik sürüklenme ve yeni populasyonların kurulması

Genetik yapı yalnızca seçilim tarafından değiştirilmez. Özellikle küçük populasyonlarda rastlantısal olaylar belirli allellerin kaybolmasına veya populasyonda daha yaygın hâle gelmesine neden olabilir.
Bu süreç yeni yabancı ot istilalarının başlangıcında önemlidir.
Yeni bir tarlaya yalnızca birkaç tohum veya vejetatif propagül ulaştığında, burada oluşan populasyon kaynak populasyonun bütün genetik çeşitliliğini temsil etmeyebilir. Yeni populasyon birkaç kurucu bireyin taşıdığı genetik özelliklerle başlayabilir.
Bu durum istilacı yabancı otların;

- hangi kaynaktan geldiğinin,
- kaç farklı giriş olayı gerçekleştiğinin,
- yeni bölgelerdeki populasyonların birbirleriyle bağlantılı olup olmadığının

araştırılmasını önemli hâle getirir.
Bu nedenle popülasyon genetiği, yabancı otların yalnızca mevcut genetik yapısını değil, istila ve kolonizasyon geçmişini de ortaya çıkarmaya yardımcı olur.

2.10. Moleküler belirteçlerden popülasyon genomiklerine

Yabancı ot popülasyon genetiğinde kullanılan teknolojiler önemli ölçüde gelişmiştir.
Geçmişte allozim, RAPD, AFLP ve mikrosatellit gibi sınırlı sayıdaki genetik bölgeyi inceleyen yöntemler yaygınken, günümüzde genotyping-by-sequencing, RAD-seq ve bütün genom yeniden dizileme yaklaşımları binlerce veya milyonlarca genomik varyantın aynı anda değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Martin et al., 2019).
Ancak yabancı ot bilimi açısından teknolojinin kendisi amaç değildir.
Esas soru şudur:

Bu genomik veri hangi biyolojik veya yönetimsel soruyu yanıtlayacaktır?
Genomik analizlerle;

- populasyonların genetik kökenleri,
- gen akış yolları,

- resistance allellerinin dağılımı,
- bağımsız resistance evrimleri,
- adaptif genom bölgeleri,
- populasyonlar arasındaki akrabalık

araştırılabilir.
Dolayısıyla yüksek çözünürlüklü genomik teknoloji, doğru biyolojik soru ve doğru tarla örneklemesiyle birleştiğinde gerçek değer kazanır.

2.11. Örnekleme tasarımının yabancı ot bilimi açısından önemi

En gelişmiş genomik yöntem bile hatalı örnekleme tasarımını düzeltemez.
Bu nedenle yabancı ot popülasyon genetiği çalışmalarında örnekleme;
bölge, tarla, populasyon ve birey
düzeylerini temsil edecek şekilde tasarlanmalıdır.
Aynı genetik bireyin veya yakın akrabaların tekrar tekrar örneklenmesi populasyon çeşitliliğinin yanlış tahmin edilmesine neden olabilir. Özellikle klonal veya güçlü vejetatif çoğalma gösteren yabancı otlarda bireyler arasındaki örnekleme mesafesi türün biyolojisine göre belirlenmelidir.
Evrensel bir "her bitkiden belirli metre uzakta örnek al" yaklaşımı yerine türün;

- çiftleşme sistemi,
- vejetatif çoğalma kapasitesi,
- polen yayılımı,
- tohum yayılımı,
- populasyon yoğunluğu

dikkate alınmalıdır.
Her örneğin GPS koordinatı, tarla yönetim geçmişi, kültür bitkisi, kullanılan herbisitler ve direnç fenotipi gibi metadata ile ilişkilendirilmesi analizlerin biyolojik değerini önemli ölçüde artırmaktadır.

2.12. Fenotip ve genotip birlikte değerlendirilmelidir

Yabancı ot popülasyon genetiğinin en önemli metodolojik kurallarından biri şudur:
Fenotipi bilinmeyen genotip, yabancı ot bilimi açısından eksik bilgidir.
Bir genomik varyantın dirençli populasyonda bulunması, o varyantın mutlaka dirence neden olduğunu göstermez.
Bu nedenle genetik çalışmalar;

- doz–yanıt denemeleri,
- ayırıcı doz testleri,
- bitki canlılığı,
- biyokütle yanıtı,
- hedef bölge mutasyon analizleri,
- metabolik mekanizma çalışmaları

ile desteklenmelidir.
Amaç genomda yalnızca farklılık bulmak değil, bu farklılığın yabancı otun biyolojisi ve yönetimi açısından işlevsel önemini ortaya koymaktır.
Bu yaklaşım özellikle çok genli ve karmaşık non-target-site resistance mekanizmalarında kritik öneme sahiptir (Délye, 2013).

3. GEN AKIŞI, SEÇİLİM VE ADAPTİF EVRİM

3.1. Gen akışının yabancı ot bilimindeki önemi

Gen akışı, genetik materyalin populasyonlar arasında hareketidir.
Yabancı otlarda başlıca iki temel yol önem taşır:

- polen aracılı gen akışı,
- tohum veya diğer propagüller aracılığıyla gen akışı.

Polen aracılığıyla taşınan genetik materyal yeni gen kombinasyonlarının oluşmasına katkı sağlayabilir. Tohum hareketinde ise genetik olarak tamamlanmış yeni bireylerin farklı tarlalara taşınması söz konusudur.
Gen akışının yabancı ot bilimi için en önemli sonuçlarından biri, yerel bir resistance problemini bölgesel bir probleme dönüştürebilmesidir.
Bir tarlada ortaya çıkan direnç alleli polen veya tohum aracılığıyla çevredeki populasyonlara ulaşabilir. Bu nedenle resistance management yalnızca seçilimin gerçekleştiği tarlada yapılacak herbisit rotasyonuyla sınırlandırılamaz.
Makine temizliği, sertifikalı tohumluk, sınırdaki dirençli yabancı otların kontrolü, hasat sonrası propagül hareketinin sınırlandırılması ve dirençli küçük yamaların erken eradikasyonu da gen akışını yönetmenin parçalarıdır.

3.2. Herbisit seçiliminin evrimsel anlamı

Herbisit uygulaması yabancı ot populasyonu üzerinde güçlü bir seçilim baskısıdır.
Aynı herbisit veya aynı etki mekanizmasının tekrar tekrar kullanılması, hassas genotipleri sürekli olarak populasyondan uzaklaştırırken direnç sağlayan genotiplerin hayatta kalma ve üreme avantajını artırabilir.
Bunun yabancı ot bilimi açısından en önemli sonucu şudur:
Herbisit uygulaması yalnızca mevcut yabancı ot yoğunluğunu değiştirmez; gelecek generasyonun genetik kompozisyonunu da etkileyebilir.
Bu nedenle herbisit etkinliği yalnızca uygulamadan birkaç hafta sonra gözlenen kontrol yüzdesi üzerinden değerlendirilmemelidir.
Uzun dönemli değerlendirme;

- hangi bireylerin hayatta kaldığını,
- bu bireylerin üreyip üremediğini,
- resistance özelliklerinin kalıtsal olup olmadığını,
- aynı seçilimin kaç generasyon boyunca tekrarlandığını

da dikkate almalıdır.
Bu yaklaşım kimyasal kontrol ile evrimsel biyoloji arasındaki doğrudan bağlantıyı ortaya koymaktadır.

3.3. Direncin üç temel evrimsel kökeni

Bir tarlada dirençli yabancı otların bulunması, direncin mutlaka o tarlada başladığı anlamına gelmez.

Mevcut genetik varyasyondan seçilim
Direnç sağlayan allel herbisit kullanılmadan önce populasyonda çok düşük düzeyde bulunabilir. Herbisit uygulaması bu nadir genotipe güçlü bir avantaj sağlayarak zamanla populasyonda yaygınlaşmasına neden olabilir.

Bağımsız yeni mutasyon
Direnç sağlayan mutasyon farklı bir populasyonda bağımsız olarak ortaya çıkabilir. Yabancı otların yüksek populasyon büyüklükleri ve yüksek tohum üretim kapasiteleri nadir mutasyonların ortaya çıkması açısından önemli olabilir.

Başka populasyondan gen akışı
Direnç alleli polen veya tohum aracılığıyla başka bir tarladan taşınabilir.
Bu üç sürecin yönetim açısından sonuçları farklıdır.
Direnç başka bir populasyondan geliyorsa propagül ve gen akışının sınırlandırılması öncelik kazanır.

Direnç aynı bölgede bağımsız biçimde tekrar tekrar ortaya çıkıyorsa yalnızca yayılmayı önlemek yeterli değildir; **seçilim baskısının azaltılması da zorunludur**.
Bu nedenle resistance'ın kökenini anlamak popülasyon genetiğinin en doğrudan IWM katkılarından biridir.

3.4. Target-Site Resistance'ın popülasyon genetiği açısından önemi

Target-Site Resistance, herbisitin bağlandığı hedef proteinde meydana gelen değişiklikler veya hedef genin kopya sayısındaki artış gibi mekanizmalarla ortaya çıkabilir (Gaines et al., 2020).
Popülasyon genetiğinin burada sorduğu temel sorular şunlardır:

- Aynı target-site mutasyon bütün dirençli populasyonlarda aynı kökenden mi gelmiştir?
- Aynı mutasyon farklı populasyonlarda bağımsız olarak mı ortaya çıkmıştır?
- Direnç alleli populasyonlar arasında hareket etmiş midir?
- Direnç allelini taşıyan bireyler hangi genetik arka planlara sahiptir?

Bu soruların yanıtlanması resistance'ın "epidemiyolojisini" ortaya koymaktadır.
Aynı mutation'ın birçok tarlada bulunması otomatik olarak tek bir kaynaktan yayıldığı anlamına gelmez.
Aynı adaptif çözüm farklı populasyonlarda tekrar tekrar bağımsız biçimde evrimleşebilir (Kreiner et al., 2019, 2022).
Bu nedenle:
Aynı direnç mekanizması, mutlaka aynı evrimsel köken anlamına gelmez.

3.5. Non-Target-Site Resistance'ın özel önemi

Non-Target-Site Resistance, yabancı ot biliminin en karmaşık resistance problemlerinden biridir.
Bu direnç tipi;

- herbisitin bitkiye girişinin azalması,
- taşınmasının değişmesi,
- metabolik olarak daha hızlı parçalanması,
- hücre içerisinde farklı bölgelere taşınması,
- stres yanıt mekanizmalarının güçlenmesi

gibi birden fazla biyolojik süreçten kaynaklanabilir (Délye, 2013; Gaines et al., 2020).
NTSR'nin önemli özelliği çoğu durumda tek bir gene indirgenememesidir. Birden fazla gen ve metabolik yolak birlikte çalışabilir.
Bu nedenle klasik "tek gen–tek mutasyon–tek direnç" yaklaşımı NTSR için yetersiz kalabilir.
Yabancı ot bilimi açısından NTSR'nin önemi, bazı durumlarda farklı etki mekanizmalarındaki herbisitlere karşı çapraz resistance riskini artırabilmesidir. Bu nedenle yalnızca herbisit etki mekanizmalarını rotasyona sokmak, bazı populasyonlarda uzun dönemli resistance yönetimi için yeterli olmayabilir.
Bu durum IWM'nin neden yalnızca kimyasal rotasyon anlamına gelmediğini açıkça göstermektedir.

3.6. Fitness maliyeti ve yönetim açısından önemi

Bir resistance özelliği herbisit uygulandığında önemli bir avantaj sağlayabilir. Ancak bu özelliğin herbisitin bulunmadığı koşullarda bitkiye herhangi bir biyolojik maliyet getirip getirmediği ayrıca araştırılmalıdır.
Fitness maliyeti;

- büyüme,
- çıkış,
- rekabet,
- çiçeklenme,
- tohum üretimi

gibi özelliklerde görülebilir.
Ancak resistance'ın mutlaka fitness maliyeti oluşturacağı varsayılmamalıdır. Etki, resistance mekanizmasına, genetik arka plana ve çevre koşullarına bağlı olabilir.
Popülasyon genetiğinin buradaki amacı, direnç allelinin herbisit kullanılmadığı dönemlerde populasyonda kalıcılığının ne olacağını anlamaktır.

Bu bilgi;
- herbisit dışı kontrol yöntemlerinin,
- ürün rotasyonunun,
- kültürel uygulamaların,
- rekabetçi kültür bitkisi sistemlerinin

dirençli populasyonların baskılanmasındaki potansiyel değerini değerlendirmeye yardımcı olabilir.

4. ÖNEMLİ MODEL TÜRLERDEN ÇIKARILAN YABANCI OT BİLİMİ DERSLERİ

4.1. Amaranthus tuberculatus

Amaranthus tuberculatus, modern yabancı ot popülasyon genomiklerinin en önemli model türlerinden biridir.

Kuzey Amerika populasyonlarında gerçekleştirilen genomik çalışmalar, glyphosate ve diğer herbisitlere resistance'ın tek bir evrimsel kaynaktan açıklanamayacağını göstermiştir. Mevcut genetik varyasyon, bağımsız yeni mutasyonlar ve gen akışı birlikte rol oynayabilmektedir (Kreiner et al., 2019, 2022).

Bu türden çıkarılacak temel yabancı ot bilimi dersi şudur:

Resistance yalnızca yayılmaz; farklı alanlarda yeniden evrimleşebilir.

Dolayısıyla yalnızca dirençli tohumların veya polenin hareketini engellemek yeterli olmayabilir. Aynı zamanda farklı tarlalarda aynı güçlü seçilim baskısının tekrarlanması da önlenmelidir.

4.2. Bassia scoparia

Bassia scoparia, yüksek yayılma kapasitesi ve güçlü populasyon bağlantılılığı nedeniyle gene-flow araştırmaları için önemli bir modeldir.

Genomik çalışmalar farklı coğrafi populasyonlar arasında yüksek düzeyde genetik bağlantılılık bulunduğunu ve glyphosate resistance ile ilişkili EPSPS gen kopya sayısı artışının farklı evrimsel kökenlerle ortaya çıkabildiğini göstermiştir (Martin et al., 2020; Ravet et al., 2021).

Buradaki temel ders şudur:

Resistance management'ın doğru mekânsal ölçeği her zaman tek tarla değildir.

Yoğun gen akışı bulunan türlerde komşu işletmeler ve bölgeler arasında koordinasyon gerekebilir.

4.3. Amaranthus palmeri

Amaranthus palmeri iki evcikli üreme sistemi, yüksek üreme kapasitesi ve güçlü gen akışı nedeniyle hızlı evrim potansiyeli yüksek bir yabancı ottur.

Genotyping-by-sequencing çalışmaları, direnç fenotipi ile populasyonun genel nötr genetik yapısının her zaman aynı örüntüyü göstermediğini ortaya koymuştur (Küpper et al., 2018).

Bu bulgu önemli bir metodolojik mesaj taşır:

Dirençli ve hassas bitkileri fenotipik olarak iki gruba ayırmak, onların mutlaka iki ayrı genetik populasyon oluşturduğu anlamına gelmez.

Resistance alleli gen akışı yoluyla farklı genetik arka planlara taşınabilir.

4.4. Alopecurus myosuroides

Alopecurus myosuroides, özellikle Avrupa tarımında metabolik resistance ve NTSR açısından önemli bir modeldir.

Birleşik Krallık populasyonlarında yürütülen genomik çalışmalar, genel populasyon yapısının yanı sıra resistance ile ilişkili poligenik özelliklerin araştırılmasında genomik yaklaşımların değerini göstermiştir (Dixon et al., 2021).

Bu türden çıkarılan temel ders, bazı resistance problemlerinin tek bir target-site mutation ile açıklanamayacağıdır.

Dolayısıyla geleceğin yabancı ot bilimi;

fenotipleme + fizyoloji + biyokimya + popülasyon genomikleri

yaklaşımlarını birlikte kullanmalıdır.

5. YABANCI OT POPÜLASYON GENETİĞİNİN IWM İÇİN STRATEJİK ÖNEMİ

Popülasyon genetiği kendi başına bir yabancı ot mücadele yöntemi değildir. Ancak hangi mücadele stratejisinin neden gerekli olduğunu anlamamızı sağlayan bilimsel altyapıdır.

Popülasyon genetiğinin IWM'ye başlıca katkıları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

Direncin kaynağının belirlenmesi
Resistance'ın lokal evrimden mi yoksa dışarıdan gen akışından mı kaynaklandığını ayırt etmeye yardımcı olur.

Yönetim ölçeğinin belirlenmesi
Popülasyonlar arasında yüksek genetik bağlantılılık varsa resistance management yalnızca tarla düzeyinde değil, bölgesel düzeyde düşünülmelidir.

Seçilim baskısının değerlendirilmesi
Aynı herbisit veya aynı yönetim uygulamasının sürekli tekrarlanmasının hangi genotipleri avantajlı hâle getirdiğinin anlaşılmasını sağlar.

Erken resistance riski
Direnç allellerinin fenotipik başarısızlık yaygınlaşmadan önce izlenebilmesi, proaktif yönetim için potansiyel oluşturur.

Koruyucu mücadele
Tohum, polen, tarım makineleri ve diğer yayılma yollarıyla adaptif allellerin yeni alanlara taşınmasının önemini ortaya koyar.

Çeşitlendirilmiş IWM
Genetik adaptasyon riskinin anlaşılması;

- ürün rotasyonu,
- farklı ekim zamanları,
- mekanik mücadele,
- kültürel kontrol,
- tohum üretiminin önlenmesi,
- hasat döneminde yabancı ot tohumu yönetimi,
- farklı ve etkili herbisit etki mekanizmalarının uygun kombinasyonu

gibi müdahalelerin neden birlikte kullanılması gerektiğini açıklar.
Bu nedenle popülasyon genetiğinin nihai amacı “daha fazla DNA analizi yapmak” değildir.
Asıl amaç:
yabancı ot populasyonunun nasıl evrimleştiğini anlayarak daha dayanıklı bir yönetim sistemi tasarlamaktır.

6. WEED SCIENCE FIRST → WEED ECOLOGY SECOND → IWM THIRD

Popülasyon genetiğinin yabancı ot bilimindeki doğru konumu, onu doğrudan bir yönetim reçetesi olarak görmek değildir.
Bilimsel sıra önce hedef yabancı ot türünün doğru teşhisi ve temel biyolojisinin anlaşılmasıyla başlamalıdır. Yaşam döngüsü, üreme sistemi, tohum biyolojisi, dormansi, vejetatif çoğalma ve herbisit yanıtı bilinmelidir.
Daha sonra populasyon düzeyine geçilerek genetik çeşitlilik, çiftleşme sistemi, populasyon yapısı, gen akışı ve adaptif değişim araştırılmalıdır.
Bu bilgiler ekolojik bağlama yerleştirilmelidir. Yabancı otun kültür bitkisiyle rekabeti, mekânsal dağılımı, tohum bankası, propagül hareketi ve yönetim geçmişi birlikte değerlendirilmelidir.
Ancak bundan sonra IWM stratejisi oluşturulmalıdır.
Dolayısıyla yaklaşımın özü şudur:
Önce yabancı otun ne olduğunu ve nasıl yaşadığını anlayalım.
Sonra populasyonun nasıl değiştiğini ve genlerinin nasıl hareket ettiğini anlayalım.
En son bu biyolojik ve evrimsel bilgiye dayanarak yönetim stratejisini tasarlayalım.
Bu yaklaşım popülasyon genetiğini moleküler laboratuvarın sınırlarından çıkarıp doğrudan tarla yabancı ot biliminin merkezine yerleştirmektedir.

7. SONUÇ

Yabancı ot popülasyon genetiği, yabancı ot biliminin tali veya yalnızca moleküler yöntemlere dayalı bir alt alanı değildir. Yabancı ot biyolojisini, ekolojisini, adaptasyonunu ve yönetimini birbirine bağlayan temel bir evrimsel bilim çerçevesidir.

Yabancı ot populasyonları durağan değildir. Her generasyonda mutasyon, rekombinasyon, çiftleşme, gen akışı, genetik sürüklenme ve seçilim süreçlerinin etkisi altında değişmektedir. Tarımsal üretim sistemleri ise bu doğal süreçlerin üzerine güçlü insan kaynaklı seçilim baskıları eklemektedir.
Herbisit direnci bu ilişkinin en görünür örneğidir.
Modern popülasyon genomik çalışmalarından üç temel yabancı ot bilimi sonucu çıkarılabilir.
Birincisi: Aynı direnç fenotipinin farklı tarlalarda görülmesi, direncin mutlaka tek bir ortak kaynaktan geldiğini göstermez. Aynı adaptif özellik farklı populasyonlarda bağımsız olarak ortaya çıkabilir.
İkincisi: Yerel evrim ile gen akışı birbirinin alternatifi değildir. Direnç farklı tarlalarda bağımsız olarak ortaya çıkabilir ve daha sonra tohum veya polen aracılığıyla başka populasyonlara taşınabilir.
Üçüncüsü: Resistance management yalnızca mevcut dirençli bitkileri öldürme problemi değildir. Asıl uzun dönemli hedef, güçlü ve tek yönlü seçilim baskısını azaltmak, dirençli bireylerin üremesini sınırlamak ve resistance allellerinin populasyonlar arasındaki hareketini azaltmaktır.
Bu nedenle geleceğin yabancı ot araştırmalarında yalnızca:
“Bu bitki hangi herbisite dirençlidir?”
sorusuyla yetinilmemelidir.
Bunun yerine:
“Bu populasyon neden dirençlidir?”
“Direnç hangi evrimsel kökenden gelmiştir?”
“Bu genetik özellik populasyon içerisinde nasıl yayılmaktadır?”
“Komşu populasyonlarla ne ölçüde genetik bağlantı bulunmaktadır?”
“Uyguladığımız yönetim populasyonun gelecekteki genetik yapısını hangi yönde değiştirmektedir?”
soruları sorulmalıdır.
Popülasyon genetiğinin yabancı ot bilimi açısından nihai değeri burada ortaya çıkmaktadır.
Amaç yalnızca bugün tarlada bulunan genotipleri tanımlamak değil, yarının yabancı ot populasyonunun hangi yönde evrimleşeceğini anlamak ve mümkün olduğunca bu evrimsel yönü yönetilebilir hâle getirmektir.
Dolayısıyla sürdürülebilir yabancı ot yönetiminin bilimsel temeli;
WEED SCIENCE FIRST → WEED ECOLOGY SECOND → EVOLUTIONARY UNDERSTANDING → IWM THIRD
prensibine dayanmalıdır.
Yabancı ot yönetiminin geleceği yalnızca mevcut bitkilerin ölüm oranını artırmakta değil; gelecek generasyonların oluşumunu, genetik kompozisyonunu ve adaptif allellerin yayılmasını yönetmekte yatmaktadır.

8. KAYNAKÇA

Délye, C. (2013). Unravelling the genetic bases of non-target-site-based resistance (NTSR) to herbicides: A major challenge for weed science in the forthcoming decade. *Pest Management Science, 69*(2), 176–187. https://doi.org/10.1002/ps.3318

Délye, C., Jasieniuk, M., & Le Corre, V. (2013). Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends in Genetics, 29*(11), 649–658. https://doi.org/10.1016/j.tig.2013.06.001

Dixon, A., Comont, D., Slavov, G. T., & Neve, P. (2021). Population genomics of selectively neutral genetic structure and herbicide resistance in UK populations of *Alopecurus myosuroides*. *Pest Management Science, 77*(3), 1520–1529. https://doi.org/10.1002/ps.6174

Gaines, T. A., Duke, S. O., Morran, S., Rigon, C. A. G., Tranel, P. J., Küpper, A., & Dayan, F. E. (2020). Mechanisms of evolved herbicide resistance. *Journal of Biological Chemistry, 295*(30), 10307–10330. https://doi.org/10.1074/jbc.REV120.013572

Jasieniuk, M., Brûlé-Babel, A. L., & Morrison, I. N. (1996). The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science, 44*(1), 176–193. https://doi.org/10.1017/S0043174500093747

Kreiner, J. M., Giacomini, D. A., Bemm, F., Waithaka, B., Regalado, J., Lanz, C., Hildebrandt, J., Sikkema, P. H., Tranel, P. J., Weigel, D., Stinchcombe, J. R., & Wright, S. I. (2019). Multiple modes of convergent adaptation in the spread of glyphosate-resistant *Amaranthus tuberculatus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 116*(42), 21076–21084. https://doi.org/10.1073/pnas.1900870116

Kreiner, J. M., Sandler, G., Stern, A. J., Tranel, P. J., Weigel, D., Stinchcombe, J. R., & Wright, S. I. (2022). Repeated origins, widespread gene flow, and allelic interactions of target-site herbicide resistance mutations. *eLife, 11*, e70242. https://doi.org/10.7554/eLife.70242

Kreiner, J. M., Stinchcombe, J. R., & Wright, S. I. (2018). Population genomics of herbicide resistance: Adaptation via evolutionary rescue. *Annual Review of Plant Biology, 69*, 611–635. https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040038

Küpper, A., Manmathan, H. K., Giacomini, D., Patterson, E. L., McCloskey, W. B., & Gaines, T. A. (2018). Population genetic structure in glyphosate-resistant and -susceptible Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) populations using genotyping-by-sequencing (GBS). *Frontiers in Plant Science, 9*, 29. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00029

Martin, S. L., Benedict, L., Wei, W., Sauder, C. A., Beckie, H. J., & Hall, L. M. (2020). High gene flow maintains genetic diversity following selection for high EPSPS copy number in the weed kochia (Amaranthaceae). *Scientific Reports, 10*, 18864. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75345-6

Martin, S. L., Parent, J.-S., Laforest, M., Page, E., Kreiner, J. M., & James, T. (2019). Population genomic approaches for weed science. *Plants, 8*(9), 354. https://doi.org/10.3390/plants8090354

Pala, F. (2025a). *Herboloji (Yabancı Ot Bilimi): Yabancı otlar—Tanım ve sınıflandırma*. Akademisyen Kitabevi.

Pala, F. (2025b). *Herboloji (Yabancı Ot Bilimi): Yabancı ot mücadelesi*. Akademisyen Kitabevi.

Ravet, K., Sparks, C. D., Dixon, A. L., Küpper, A., Westra, E. P., Pettinga, D. J., Tranel, P. J., Felix, J., Morishita, D. W., Jha, P., Kniss, A., Stahlman, P. W., Neve, P., Patterson, E. L., Westra, P., & Gaines, T. A. (2021). Genomic-based epidemiology reveals independent origins and gene flow of glyphosate resistance in *Bassia scoparia* populations across North America. *Molecular Ecology, 30*(21), 5343–5359. https://doi.org/10.1111/mec.16215

YABANCI OTLARIN ÜREMESİ VE YAYILMASI

WEED REPRODUCTION AND DISPERSAL

Prof. Dr. Fırat PALA
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-4394-8841

Prof. Dr. Hüsrev MENNAN
Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1410-8114

ÖZET

Yabancı otların tarımsal ekosistemlerde kalıcılığı, yalnızca kültür bitkileriyle rekabet etme güçleri veya uygulanan herbisitlere verdikleri kısa dönemli fizyolojik yanıtlarla açıklanamaz. Bir yabancı ot popülasyonunun gerçek başarısı; yaşam döngüsünü tamamlayabilmesi, yeni bireyler oluşturabilmesi, canlı tohum veya vejetatif propagüller üretebilmesi ve bunları zaman ve mekân içerisinde yayabilmesiyle belirlenmektedir. Bu bildirinin amacı, yabancı otların üreme ve yayılma biyolojisini "önce yabancı ot bilimi, sonra yabancı ot ekolojisi, en son entegre yabancı ot yönetimi" yaklaşımıyla değerlendirmek ve bu süreçlerin yabancı ot bilimi açısından taşıdığı temel önemi ortaya koymaktır. Eşeyli ve vejetatif üreme, çiftleşme sistemi, üreme kapasitesi, tohum canlılığı, dormansi, çimlenme fenolojisi, tohum yağmuru ve toprak tohum bankası; yabancı ot popülasyonlarının sürekliliğini belirleyen temel biyolojik bileşenlerdir. Yayılma ise yalnızca tohumların ana bitkiden uzaklaşması olarak değil; tohum, vejetatif propagül ve polen aracılığıyla bireylerin, genotiplerin ve özellikle herbisit direnci allellerinin tarla ve peyzaj ölçeğinde hareketi olarak ele alınmalıdır. Rüzgâr, su ve hayvanlar gibi doğal vektörlere ek olarak biçerdöverler, toprak işleme ekipmanları, kirli tohumluk ve diğer insan faaliyetleri yabancı ot yayılmasını önemli ölçüde hızlandırabilmektedir. Bu nedenle yabancı ot yönetiminde başarı yalnızca mevcut bitkilerin öldürülmesiyle değerlendirilmemeli; üremenin önlenmesi, tohum bankasına yeni girdinin azaltılması ve propagül yayılmasının sınırlandırılması temel başarı ölçütleri arasında yer almalıdır. Sonuç olarak üreme ve yayılma biyolojisinin anlaşılması; popülasyon dinamiği, herbisit direnci yönetimi, hassas yabancı ot yönetimi ve uzun dönemli entegre yabancı ot yönetiminin bilimsel temelini oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Yabancı ot biyolojisi, üreme, yayılma, tohum bankası, entegre yabancı ot yönetimi

ABSTRACT

The persistence of weeds in agricultural ecosystems cannot be explained solely by their competitive ability against crops or their short-term physiological responses to herbicides. The true success of a weed population depends on its ability to complete its life cycle, produce new individuals, generate viable seeds or vegetative propagules, and disperse these reproductive units across space and time. The objective of this paper is to evaluate weed reproduction and dispersal biology according to the principle "weed science first, weed ecology second, and integrated weed management third" and to emphasize the fundamental importance of these processes for weed science. Sexual and vegetative reproduction, mating systems, reproductive capacity, seed viability, dormancy, emergence phenology, seed rain, and the soil seedbank represent key biological processes determining weed population persistence. Dispersal should not be considered merely as the movement of seeds away from a mother plant, but as the movement of individuals, genotypes, and particularly herbicide-resistance alleles through seeds, vegetative propagules, and pollen at field and landscape scales. In addition to natural vectors such as wind, water, and animals, combine harvesters, tillage equipment, contaminated crop seed, and other human activities can substantially accelerate weed dispersal. Consequently, weed management success should not be evaluated only by mortality of emerged plants. Preventing reproduction, reducing replenishment of the soil seedbank, and limiting propagule dispersal should also be regarded as fundamental measures of long-term management success. Understanding weed reproduction and dispersal biology therefore provides an essential scientific foundation for population dynamics, herbicide-resistance management, precision weed management, and sustainable Integrated Weed Management.

Keywords: Weed biology, reproduction, dispersal, soil seedbank, integrated weed management

1. GİRİŞ

Yabancı ot biliminin temel araştırma nesnesi yalnızca "öldürülmesi gereken bir bitki" değildir. Yabancı ot bilimi; belirli çevresel koşullar ve tarımsal seçilim baskıları altında yaşam döngüsünü tamamlayan, üreyen, yayılan, tohum veya vejetatif propagül bankaları oluşturan ve zaman içinde genetik olarak değişebilen bitki popülasyonlarını inceler. Bu bakış açısı, yabancı ot bilimi ile basit yabancı ot kontrolü arasındaki temel farklardan biridir.

Geleneksel yabancı ot kontrol araştırmalarında uygulamaların başarısı çoğunlukla bitki ölüm oranı, görsel kontrol yüzdesi, yabancı ot yoğunluğu veya biyokütle azalması üzerinden değerlendirilmiştir. Bu ölçütler önemlidir ancak yabancı ot popülasyonlarının uzun dönemli geleceğini tek başına açıklayamaz. Hasattan önce hayatta kalan az sayıdaki yabancı ot bireyi dahi önemli miktarda canlı tohum üreterek toprağa geri bırakabilir ve izleyen yıllardaki populasyonun temelini oluşturabilir. Nitekim geç sezonda hayatta kalan yabancı otların tohum üretim potansiyelinin, toprak tohum bankasının yeniden beslenmesinde önemli bir kaynak olduğu gösterilmiştir (Kutugata et al., 2021).

Bu nedenle yüksek görsel kontrol oranı ile yüksek popülasyon kontrolü aynı kavram değildir. Bir uygulama mevcut sezonda yabancı otların büyük bölümünü ortadan kaldırsa bile geride kalan bireyler yaşam döngülerini tamamlayabiliyor ve canlı propagüller üretebiliyorsa, popülasyon gelecek yıllara aktarılmaya devam eder.

Yabancı otların tarımsal alanlardaki sürekliliği biyolojik olarak birbirine bağlı birkaç süreç tarafından belirlenmektedir: bitkinin büyümesi, üremesi, canlı propagül oluşturması, propagüllerin yayılması, toprakta veya vejetatif organlarda rezerv oluşturması, dormansi, yeniden çimlenme veya sürme ve yeni bireylerin populasyona katılması. Yabancı ot yönetiminin bu biyolojik süreçleri dikkate almadan yalnızca mevcut yeşil aksamı hedeflemesi uzun dönemli başarıyı sınırlamaktadır (Cousens & Mortimer, 1995; Zimdahl & Basinger, 2024).

Bu bildirinin temel amacı, yabancı otların üreme ve yayılma biyolojisinin yabancı ot bilimi açısından neden merkezi bir konu olduğunu ortaya koymaktır. Bu amaç doğrultusunda üç temel soru öne çıkmaktadır:

- Yabancı otlar popülasyonlarının sürekliliğini hangi üreme stratejileriyle sağlamaktadır?
- Üretilen tohumlar, vejetatif propagüller ve genetik materyal tarla ve peyzaj içerisinde nasıl yayılmaktadır?
- Bu biyolojik bilgi uzun dönemli yabancı ot yönetimi ve herbisit direnci yönetimini nasıl değiştirmelidir?

Bu soruların yanıtı, yabancı ot yönetiminde izlenmesi gereken bilimsel sıralamayı da ortaya koymaktadır: önce yabancı otun biyolojisi ve fizyolojisi anlaşılmalı, daha sonra ekolojik süreçler açıklanmalı ve ancak bundan sonra Entegre Yabancı Ot Yönetimi stratejisi oluşturulmalıdır.

2. WEED REPRODUCTION — YABANCI OTLARDA ÜREME

2.1. Üremenin yabancı ot bilimi açısından anlamı ve amacı

Üreme, bir yabancı ot bireyinin yalnızca tohum oluşturması değil, sahip olduğu genetik bilginin gelecek generasyonlara aktarılmasını sağlayan temel biyolojik süreçtir. Dolayısıyla yabancı ot biliminde üreme çalışmaları, "bir bitki kaç tohum oluşturur?" sorusundan çok daha geniş bir anlam taşır.

Üreme biyolojisinin incelenmesinin temel amacı, yabancı ot populasyonlarının hangi mekanizmalarla kalıcı hâle geldiğini ve hangi yaşam döngüsü aşamalarında etkili biçimde baskılanabileceğini belirlemektir.

Bir yabancı otun ilk çiçeklenme zamanı, çiçeklenme süresi, çiftleşme sistemi, tohum olgunlaşma zamanı, tohum döküm başlangıcı, tohum canlılığı ve dormansi özellikleri bilinmeden o yabancı ota yönelik uzun dönemli bir yönetim programının biyolojik olarak optimize edilmesi mümkün değildir.

Üreme biyolojisi aynı zamanda herbisit direnci evrimi açısından da önemlidir. Herbisit uygulamasından sağ kalan dirençli bireyin asıl uzun dönemli etkisi, hayatta kalmasından ziyade direnç özelliğini taşıyan genetik materyali gelecek generasyonlara aktarabilmesidir. Bu nedenle yabancı ot bilimi açısından kritik hedef yalnızca bitkinin mevcut sezondaki yaşamını sonlandırmak değil, başarılı üremesini önlemektir (Norsworthy et al., 2012).

2.2. Eşeyli üreme ve çiftleşme sistemi

Yabancı otlarda kendine döllenme, yabancı döllenme veya her iki sistemin birlikte görüldüğü karma çiftleşme sistemleri bulunmaktadır. Bir yabancı ot türünün çiftleşme sistemi, populasyonun genetik çeşitliliğini, adaptasyon yeteneğini ve faydalı veya direnç sağlayan allellerin populasyon içerisinde yayılma hızını doğrudan etkileyebilir.

Özellikle *Amaranthus palmeri* ve *Amaranthus tuberculatus* gibi iki evcikli türlerde erkek ve dişi çiçeklerin farklı bireylerde bulunması zorunlu yabancı döllenmeyi teşvik etmektedir. Böyle sistemlerde polen hareketi, genetik rekombinasyon ve gen akışı yabancı otların çevresel değişimlere ve yoğun tarımsal seçilim baskısına uyum kapasitesini artırabilir. Bu özellik, *Amaranthus* türlerinin farklı üretim sistemlerinde neden son derece önemli yabancı otlar hâline geldiğini açıklayan biyolojik faktörlerden biridir (Jhala et al., 2021).

Kendine döllenen türlerde polen aracılı gen akışı genellikle daha sınırlıdır. Bununla birlikte düşük düzeydeki yabancı döllenme olaylarının bile uzun zaman ölçeklerinde adaptif allellerin hareketi bakımından önemli sonuçları olabilir.

Bu nedenle yabancı ot biliminde çiftleşme sisteminin bilinmesi;

- genetik çeşitliliğin değerlendirilmesi,
- direnç allellerinin yayılma riskinin anlaşılması,
- populasyonlar arası gen akışının tahmin edilmesi,
- izolasyon ve eradikasyon programlarının tasarlanması

açısından önem taşımaktadır.

2.3. Vejetatif üreme ve çok yıllık yabancı otların kalıcılığı

Yıllık yabancı otlarda populasyon sürekliliğinin temel kaynağı çoğunlukla tohumlardır. Çok yıllık yabancı otlarda ise tohum üretimine rizom, stolon, yumru, soğan, kök sürgünü ve diğer vejetatif yapılar eklenmektedir.

Bu özellik, çok yıllık yabancı ot yönetimini biyolojik olarak farklı bir probleme dönüştürür.

Sorghum halepense bunun önemli örneklerinden biridir. Tür, hem tohumla yeni alanlara yayılabilmekte hem de güçlü rizom sistemi sayesinde bulunduğu noktada yeniden sürerek yoğun koloniler oluşturabilmektedir. Toprak üstü sürgünlerin ortadan kaldırılması, toprak altındaki canlı rizom ve tomurcuklar korunuyorsa populasyonun ortadan kaldırıldığı anlamına gelmez.

Ayrıca bazı mekanik toprak işleme uygulamaları vejetatif organları tamamen öldürmek yerine parçalayarak farklı noktalara taşıyabilir. Canlı tomurcuk taşıyan parçalar uygun çevre koşullarına ulaştığında yeniden sürerek başlangıçtaki yabancı ot yamasının genişlemesine neden olabilir.

Bu nedenle çok yıllık yabancı otlarda araştırmanın amacı yalnızca mevcut sürgün yoğunluğunun azaltılmasını değerlendirmek değildir. Asıl bilimsel soru, popülasyonun yeniden sürmesini sağlayan yeraltı rezervinin ne ölçüde etkisiz hâle getirildiğidir.

Bu yaklaşım, mekanik mücadele, herbisit zamanlaması, toprak işleme derinliği ve rotasyon stratejilerinin seçiminde doğrudan önem taşımaktadır.

2.4. Fekondite, fenotipik plastisite ve üreme başarısı

Yabancı otların önemli özelliklerinden biri, çevresel koşullara bağlı olarak üreme kapasitelerini büyük ölçüde değiştirebilmeleridir. Bitki başına tohum üretimi sabit bir tür özelliği değildir. Çıkış zamanı, kültür bitkisi rekabeti, yabancı ot yoğunluğu, su ve besin maddesi durumu, sıcaklık, fotoperiyot ve uygulanan mücadele yöntemleri üreme kapasitesini önemli ölçüde değiştirebilir.

Bu esneklik fenotipik plastisite açısından yabancı otların tarımsal sistemlerdeki başarısının temel unsurlarından biridir.

Su stresi üzerine gerçekleştirilen kapsamlı bir meta-analiz, kuraklığın yabancı otların çimlenmesini, büyümesini ve tohum üretimini önemli ölçüde azaltabildiğini; buna karşın birçok yabancı otun stres altında dahi yaşam döngüsünü tamamlayıp belirli miktarda tohum oluşturabildiğini göstermiştir (Singh et al., 2022).

Bu sonuç yabancı ot biliminde önemli bir prensibi ortaya koymaktadır:

Küçük veya herbisitten zarar görmüş bir yabancı ot, biyolojik olarak önemsiz olmak zorunda değildir.

Bir bitkinin boyunun kısa, biyokütlesinin düşük veya görsel olarak ciddi derecede zarar görmüş olması, populasyon açısından etkisiz olduğu anlamına gelmez. Eğer bu birey canlı ve üreme yeteneğine sahip tohumlar oluşturuyorsa gelecek generasyona katkıda bulunmaktadır.

Bu nedenle yabancı ot kontrol denemelerinde yalnızca görsel kontrol ve biyokütle ölçümlerine dayanmak yerine, özellikle sezon sonunda hayatta kalan bireylerin üreme başarısının değerlendirilmesi uzun dönemli populasyon yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır.

2.5. Tohum canlılığı ve çimlenme biyolojisi

Bir yabancı otun çok sayıda tohum oluşturması önemli olmakla birlikte, populasyon açısından esas değer taşıyan özellik bu tohumların ne kadarının canlı olduğu ve uygun koşullarda yeni bireyler oluşturabildiğidir.

Bu nedenle yabancı ot biliminde **tohum sayısı ile canlı propagül üretimi birbirinden ayrılmalıdır**.

Çimlenme testlerinde çimlenmeyen tohumların otomatik olarak ölü kabul edilmesi önemli bir metodolojik hatadır. Bazı tohumlar canlı oldukları hâlde dormansi nedeniyle deney süresince çimlenmeyebilir. Bu nedenle gerektiğinde tetrazolium gibi canlılık testleri kullanılarak çimlenmeyen tohumların canlılığı ayrıca değerlendirilmelidir.

Çimlenmenin zamanlaması da yönetim açısından kritik öneme sahiptir. Bir yabancı ot populasyonunun ne zaman ve ne kadar süreyle çıktığının bilinmesi;

- ekim öncesi kontrol,
- yalancı tohum yatağı,
- mekanik çapalama,
- çıkış sonrası herbisit uygulaması,
- kültür bitkisi rekabetinin artırılması

gibi uygulamaların zamanlamasını doğrudan belirlemektedir.

Marschner ve arkadaşlarının (2024) sistematik derlemesi, yabancı ot çıkış zamanının sıcaklık, toprak nemi, dormansi ve tür özelliklerinin birlikte etkisi altında olduğunu; çıkış tahminlerinin zamana özgü yabancı ot yönetimini önemli ölçüde geliştirebileceğini göstermektedir.

Buradaki temel amaç matematiksel tahmin üretmekten daha geniştir: yabancı otun tarla içerisinde ne zaman savunmasız olduğunu biyolojik olarak belirlemek.

2.6. Dormansi: Popülasyonun zamansal kaçış mekanizması

Dormansi, yabancı otların tarımsal ekosistemlerdeki başarısını açıklayan en önemli özelliklerden biridir. Kültür bitkilerinde homojen ve hızlı çimlenme istenirken, yabancı otlar açısından bütün tohumların aynı zamanda çimlenmesi önemli bir risk oluşturur. Tek bir etkili mücadele uygulaması populasyonun büyük bölümünü ortadan kaldırabilir.

Dormansi, yabancı ot tohumlarının çimlenmesini farklı dönem ve yıllara dağıtarak bu riski azaltmaktadır. Bu özellik, populasyonun tarımsal müdahalelerden zamansal olarak kaçmasına olanak tanır (Baskin & Baskin, 2014; Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006).

Primer dormansi, tohum ana bitkiden ayrıldığında mevcut olabilir. Buna karşılık topraktaki çevresel koşullar nedeniyle daha sonra oluşan sekonder dormansi, daha önce çimlenebilir durumdaki tohumların yeniden dormant hâle gelmesine neden olabilir.

Yabancı ot bilimi açısından dormansinin bilinmesinin amacı;

- tohum bankasının kalıcılığını anlamak,
- yabancı ot çıkış periyotlarını tahmin etmek,
- kontrol uygulamalarından kaçış mekanizmalarını açıklamak,
- tohum bankasının azaltılmasının neden birden fazla yıl gerektirdiğini ortaya koymaktır.

Dolayısıyla dormansi yalnızca tohum fizyolojisinin bir konusu değil, doğrudan uzun dönemli yabancı ot yönetiminin zaman boyutudur.

2.7. Tohum yağmuru ve toprak tohum bankasının yeniden beslenmesi

Toprak tohum bankası, tarla içerisindeki yabancı ot populasyonunun geçmişi ile geleceğini birbirine bağlayan biyolojik rezervdir. Mevcut sezonda toprak üzerinde görülen yabancı otlar populasyonun yalnızca görünen bölümünü temsil eder. Toprak içerisindeki canlı ancak çimlenmemiş tohumlar, gelecek yılların potansiyel populasyonunu oluşturur.

Bu nedenle yabancı ot yönetiminde en önemli kavramlardan biri tohum yağmuru (seed rain), diğer bir ifadeyle sezon sonunda yeni üretilen tohumların toprağa geri dönüşüdür.

Özellikle yüksek tohum üretim kapasitesine sahip *Amaranthus* türlerinde çok düşük yoğunlukta kalan sezon sonu yabancı otları dahi önemli miktarda yeni tohumun toprak bankasına katılmasına neden olabilir. Kutugata ve arkadaşları (2021), *A. tuberculatus*, *A. palmeri* ve *S. halepense* gibi türlerde geç sezon yabancı ot kaçaklarının tohum yağmuru potansiyelinin önemini göstermiş ve bu potansiyelin uzaktan algılama verileriyle tahmin edilebileceğini ortaya koymuştur.
Yabancı ot bilimi açısından burada kritik paradigma değişimi şudur:
Kontrol başarısı yalnızca mevcut yabancı ot yoğunluğunu azaltmak değil, gelecek populasyonu besleyen yeni tohum girdisini de azaltmaktır.
Tohum bankası zaman içerisinde çimlenme, fizyolojik ölüm, mikrobiyal bozulma ve tohum predasyonu gibi süreçlerle kayba uğrar. Eğer yeni tohum girişi sürekli olarak düşük tutulabilirse bu doğal kayıplar uzun dönemde populasyon baskılanmasına dönüşebilir. Güncel değerlendirmeler de yabancı ot tohumu kayıplarının ve tohum bankasının yeniden beslenmesini sınırlandıran uygulamaların sürdürülebilir yönetimde giderek daha önemli hâle geldiğini göstermektedir (Kanomanyanga et al., 2026).
Dolayısıyla yabancı ot yönetiminin uzun dönemli amacı yalnızca bitkiyi öldürmek değil, yaşam döngüsünü tamamlamasını ve tohum bankasını yeniden beslemesini engellemektir.

2.8. Üreme biyolojisinin yabancı ot bilimine kazandırdığı temel bilgiler

Üreme biyolojisinin araştırılması, yabancı ot biliminde doğrudan şu soruların yanıtlanmasını sağlar:
Bir: Yabancı ot hangi yaşam döneminde üreme yeteneği kazanmaktadır?
İki: Mücadeleden kaçan bireyler gerçekten populasyona katkı sağlamakta mıdır?
Üç: Tohum veya vejetatif propagüller ne kadar süre canlı kalabilmektedir?
Dört: Popülasyonun yenilenmesinde tohum mu, yoksa vejetatif üreme mi daha önemlidir?
Beş: Tohum dökümü kültür bitkisi hasadından önce mi, sonra mı gerçekleşmektedir?
Altı: Üreme sistemi genetik çeşitlilik ve herbisit direnci yayılmasını nasıl etkilemektedir?
Yedi: Hangi biyolojik aşama populasyonun uzun dönemli kontrolü için en zayıf noktadır?
Bu nedenle üreme biyolojisi, IWM'den önce cevaplandırılması gereken temel yabancı ot bilimi sorularının merkezinde yer almaktadır.

3. WEED DISPERSAL — YABANCI OTLARDA YAYILMA

3.1. Yayılmanın yabancı ot bilimi açısından anlamı

Bir yabancı ot çok yüksek sayıda canlı propagül üretebilir. Ancak bu propagüllerin uygun alanlara ulaşamaması durumunda populasyonun yeni habitatları kolonize etme kapasitesi sınırlı kalır. Bu nedenle üreme populasyonun yenilenme kapasitesini, yayılma ise bu kapasitenin mekânsal olarak genişlemesini belirlemektedir.
Yabancı otlarda yayılma üç temel biyolojik biçimde değerlendirilmelidir:

- tohum aracılı yayılma,
- vejetatif propagül aracılı yayılma,
- polen aracılı gen akışı.

Bu ayrım yabancı ot bilimi açısından önemlidir. Tohum veya vejetatif propagülün hareketi yeni bireylerin başka bir alanda kurulmasını sağlayabilir. Polen hareketinde ise yeni bir bitkinin fiziksel olarak taşınmasından çok, genetik materyalin başka bireylere aktarılması söz konusudur.
Dolayısıyla yayılma yalnızca "yabancı otun başka tarlaya gitmesi" değildir. Aynı zamanda adaptif özelliklerin ve herbisit direnci allellerinin peyzaj içerisinde hareketidir (Beckie et al., 2019).

3.2. Doğal tohum yayılma mekanizmaları

Yabancı otlar propagüllerini farklı vektörlerden yararlanarak dağıtırlar. Bu mekanizmaların bilinmesi, yeni yabancı ot istilalarının kaynağını anlamak ve koruyucu mücadele stratejileri geliştirmek açısından temel öneme sahiptir.

Rüzgârla yayılma — Anemochory

Hafif tohum veya meyveler ile papus, kanat veya benzeri yapılar rüzgârla taşınmayı kolaylaştırmaktadır. *Conyza* türleri bu stratejinin tarımsal sistemlerdeki önemli örneklerindendir. Rüzgârla taşınma, tarla sınırlarının yabancı otlar için gerçek bir biyolojik bariyer olmadığını göstermektedir.

Suyla yayılma — Hydrochory
Sulama kanalları, drenaj sistemleri, yüzey akışı ve taşkın suları tohumların tarla içerisinde ve tarlalar arasında taşınmasına neden olabilir. Özellikle yoğun sulama ağlarına sahip üretim sistemlerinde bu durum koruyucu yabancı ot yönetiminin önemli bir bileşenidir.

Hayvanlarla yayılma — Zoochory
Tohumlar hayvanların tüylerine veya vücut yüzeyine tutunabilir ya da sindirim kanalından geçtikten sonra farklı noktalara bırakılabilir. Mera, hayvancılık ve tarımsal üretimin birlikte yürütüldüğü sistemlerde bu mekanizma daha fazla önem kazanmaktadır.

Kendiliğinden yayılma — Autochory
Bazı bitkiler olgun tohumlarını kendi mekanik yapılarıyla ana bitkinin çevresine dağıtır. Yayılma mesafesi genellikle sınırlı olmasına rağmen bu süreç zaman içerisinde yüksek yoğunluklu lokal yabancı ot yamalarının oluşmasını sağlayabilir.
Bu mekanizmaların anlaşılmasının temel amacı, yabancı otun mevcut dağılım desenini yalnızca bir sonuç olarak görmek yerine, bu desenin hangi biyolojik süreçler tarafından oluşturulduğunu açıklamaktır (Benvenuti, 2007).

3.3. İnsan ve tarım makineleri aracılı yayılma
Modern tarımsal sistemlerde yabancı otların yayılmasını yalnızca doğal vektörler üzerinden açıklamak yeterli değildir. İnsan faaliyetleri doğal yayılma mesafelerini aşabilmekte ve propagülleri kısa sürede tarlalar, bölgeler ve hatta ülkeler arasında taşıyabilmektedir.
Biçerdöverler, toprak işleme makineleri, balya ekipmanları ve diğer tarımsal araçlar yabancı ot tohumlarının tarla içerisindeki dağılımını değiştirebilir. Heijting ve arkadaşları (2009), hasat ve özellikle hasat sonrasındaki toprak işleme faaliyetlerinin tohumların makinenin ilerleme yönünde yeniden dağıtılmasına katkı sağlayabileceğini göstermiştir.
Bu bulgu yabancı ot bilimi açısından önemlidir; çünkü bir tarladaki yabancı ot yamasının şekli yalnızca toprak özellikleri, su durumu veya mikroklima tarafından belirlenmeyebilir. Geçmiş yıllardaki makine hareketleri de yabancı otların mekânsal desenini oluşturabilir.
İnsan aracılı yayılmanın diğer önemli kaynakları arasında;
- yabancı ot tohumu içeren sertifikasız veya yeterince temizlenmemiş tohumluk,
- fide ve fidanlarla taşınan toprak,
- hayvan yemi ve saman hareketi,
- kirli biçerdöver ve tarım makineleri,
- yol ve kanal ağları,
- tarımsal ürün ve materyal ticareti

yer almaktadır.
Bu nedenle sanitasyon ve koruyucu mücadele, yabancı ot yönetiminin tali bir unsuru değil, populasyonun yeni alanlara taşınmasını önlemeye yönelik temel stratejilerden biridir.

3.4. Tohum tutulumu ve hasat zamanının önemi
Bir yabancı ot türünün olgunlaşmış tohumlarını ne kadar süre ana bitki üzerinde tuttuğu, özellikle hasat dönemindeki yönetim açısından kritik bir biyolojik özelliktir.
Bazı yabancı otlar tohumlarını kültür bitkisi hasadından çok önce döker. Bu türlerde hasat döneminde uygulanacak tohum yakalama veya parçalama teknolojileri sınırlı yarar sağlar. Buna karşılık tohumlarının önemli bölümünü hasada kadar bitki üzerinde tutan türlerde, biçerdöverden geçen yabancı ot tohumlarının hedef alınması mümkün olabilir.
Bu biyolojik özellik Harvest Weed Seed Control (HWSC) yaklaşımının temelini oluşturur.
HWSC;
- dar namlu yakma,
- kavuz toplama,
- kavuzun belirli bantlarda yoğunlaştırılması,
- balyalama,
- biçerdövere entegre darbe değirmenleri

gibi farklı teknolojileri içermektedir.

Ancak teknolojiden önce biyoloji gelmektedir. Hedef tür tohumunu hasattan önce döküyorsa en gelişmiş HWSC sistemi dahi yeterli biyolojik hedefe ulaşamaz. Akhter ve arkadaşları (2023), Avrupa üretim sistemlerinde HWSC'nin uygulanabilirliğinin türlerin tohum tutma özellikleri, kültür bitkisi hasat zamanı ve üretim sistemiyle yakından ilişkili olduğunu vurgulamıştır.
Bu durum "önce yabancı ot bilimi" ilkesinin çok açık bir örneğidir:
Önce türün tohum olgunlaşma ve dökülme fenolojisi belirlenmeli, daha sonra uygun teknoloji seçilmelidir.

3.5. Polen yayılımı ve herbisit direnci allellerinin hareketi

Yabancı ot yayılmasının en önemli fakat zaman zaman ihmal edilen yönlerinden biri polen aracılı gen akışıdır.
Herbisit direnci bulunan bir populasyondan çıkan polen, genetik olarak uyumlu hassas bireylerle döllenme gerçekleştirirse direnç allelleri yeni genetik arka planlara aktarılabilir. Bu durum, direnç probleminin yalnızca her tarlada bağımsız olarak gelişen bir seçilim süreci olmadığını, bazı durumlarda direnç allellerinin populasyonlar arasında hareket ettiğini göstermektedir (Beckie et al., 2019; Jhala et al., 2021).
Sorghum halepense üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada ALS inhibitörü herbisitlere dirençli ve hassas biyotipler arasında polen aracılı direnç aktarımı araştırılmış ve direnç allellerinin tarla koşullarında polen yoluyla hareket edebildiği gösterilmiştir. Gen akışı kaynağa yakın bölgelerde daha yüksek olmakla birlikte 50 m uzaklıkta da tespit edilmiştir (Maity et al., 2022).
Bu bulgunun yabancı ot bilimi açısından anlamı büyüktür.
Direnç yönetimi yalnızca "dirençli bitkiyi hangi herbisitle öldürebiliriz?" sorusundan ibaret olmamalıdır. Aynı zamanda;

- dirençli bireylerin çiçeklenmesinin önlenmesi,
- tohum oluşturmalarının engellenmesi,
- dirençli yamaların hızlı biçimde eradike edilmesi,
- tohum ve polen aracılı gen akışının azaltılması

gerekmektedir.
Başka bir ifadeyle, herbisit direnci yönetiminde genetik materyalin hareketi de bir yayılma problemi olarak değerlendirilmelidir.

3.6. Üreme ile yayılmanın birlikte değerlendirilmesi

Üreme ve yayılma birbirinden bağımsız süreçler değildir. Üreme yeni propagülleri oluşturur; yayılma ise bu propagüllerin ve taşıdıkları genetik bilginin yeni noktalara ulaşmasını sağlar.
Yüksek tohum üretimi gösteren fakat çoğunlukla ana bitkinin yakınında yayılan bir yabancı ot, lokal olarak çok yoğun populasyonlar oluşturabilir. Buna karşılık daha az propagül üreten fakat bunları uzun mesafelere taşıyabilen bir tür yeni alanları hızla kolonize edebilir.
En problemli yabancı otlarda bu özelliklerin birkaçı birlikte görülmektedir:

- yüksek üreme kapasitesi,
- uzun süreli tohum bankası,
- dormansi,
- geniş çıkış periyodu,
- fenotipik plastisite,
- etkili tohum veya vejetatif propagül yayılması,
- insan ve makine aracılı taşınma,
- bazı türlerde yoğun polen aracılı gen akışı.

Bu nedenle bir yabancı otun "neden problem olduğu" sorusunun cevabı yalnızca yüksek rekabet yeteneğinde veya herbisit direncinde aranmamalıdır. Türün bütün yaşam döngüsü stratejisi değerlendirilmelidir.

3.7. Yayılma biyolojisinin yabancı ot bilimine kazandırdığı temel bilgiler

Yayılma araştırmalarının yabancı ot bilimindeki temel amacı, bir yabancı otun yalnızca bugün nerede bulunduğunu belirlemek değil, yarın nerede bulunabileceğini ve oraya nasıl ulaşabileceğini açıklamaktır.
Bu bilgi;
Koruyucu mücadele açısından: Yeni yabancı ot türlerinin veya dirençli biyotiplerin temiz tarlalara giriş yollarının kapatılmasını sağlar.

Sürvey açısından: Yabancı ot yamasının yalnızca yoğunluğu değil, kaynağı ve yayılma yönü araştırılabilir.
Hassas yabancı ot yönetimi açısından: GPS, GIS, drone ve uzaktan algılama yardımıyla populasyon yamalarının yıllar içerisindeki genişlemesi izlenebilir.
Herbisit direnci açısından: Dirençli populasyonların bağımsız olarak mı oluştuğu, yoksa propagül veya polen hareketiyle mi yayıldığı konusunda hipotez oluşturulabilir.
IWM açısından: Tohum üretiminin engellenmesi, makine temizliği, sertifikalı tohumluk, sınır yönetimi, patch eradication ve HWSC gibi uygulamaların neden gerekli olduğu biyolojik olarak açıklanabilir.
Dolayısıyla dispersal ekolojisi yabancı otların yalnızca mekânsal dağılımını değil, istila biyolojisini, gen akışını, direnç epidemiyolojisini ve gelecekteki yönetim riskini açıklamaktadır.

4. SONUÇ

Yabancı otların üreme ve yayılma biyolojisi, yabancı ot biliminin temel konularından biridir. Çünkü tarımsal bir alanda bugün gözlenen yabancı ot yoğunluğu yalnızca mevcut durumun fotoğrafıdır. Popülasyonun geleceğini belirleyen asıl süreç, hayatta kalan bireylerin yaşam döngülerini tamamlayarak canlı propagüller oluşturması ve bu propagüllerin hem zaman hem de mekân içerisinde yeni populasyonlara dönüşebilmesidir.
Bu nedenle yabancı ot araştırmaları ve yönetiminde üç temel yaklaşım değişikliği gereklidir.
Birincisi, bitki ölümünden populasyon yenilenmesine geçilmelidir. Görsel kontrol, yoğunluk ve biyokütle azalması önemli ölçütlerdir; ancak tek başlarına uzun dönemli başarıyı tanımlamazlar. Hayatta kalan bireylerin tohum üretmesi önlenemiyorsa populasyon toprak tohum bankası üzerinden kendisini yenileyebilir. Bu nedenle sezon sonu kaçakların yönetimi ve tohum bankasına yeni girdinin azaltılması temel hedefler arasında bulunmalıdır (Kutugata et al., 2021; Kanomanyanga et al., 2026).
İkincisi, yayılma yalnızca tohumun doğal hareketi olarak değerlendirilmemelidir. Rüzgâr, su ve hayvanlara tarım makineleri, tohumluk, toprak hareketi ve diğer insan faaliyetleri eklenmektedir. Daha da önemlisi, polen hareketi herbisit direnci gibi adaptif özelliklerin populasyonlar arasında aktarılmasına katkı sağlayabilir (Beckie et al., 2019; Jhala et al., 2021; Maity et al., 2022).
Üçüncüsü, IWM yabancı ot biyolojisinin yerine geçmemeli; yabancı ot biyolojisinin üzerine kurulmalıdır. Çimlenme ve çıkış fenolojisi bilinmeden doğru müdahale zamanı, tohum tutulumu bilinmeden HWSC potansiyeli, çiftleşme sistemi bilinmeden polen aracılı gen akışı riski ve propagül kalıcılığı bilinmeden uzun dönemli populasyon baskılama stratejisi yeterince değerlendirilemez.
Dolayısıyla bilimsel sıra açıktır:
Önce yabancı ot bilimi: tür teşhisi, yaşam döngüsü, fizyoloji, üreme ve tohum biyolojisi.
Sonra yabancı ot ekolojisi: dormansi, tohum bankası, çıkış dinamikleri, rekabet, yayılma ve populasyon dinamiği.
En son Entegre Yabancı Ot Yönetimi: koruyucu, kültürel, mekanik, fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemlerin türün biyolojisine göre bütünleştirilmesi.
Bu çerçevede yabancı ot yönetiminde sorulması gereken temel soru artık yalnızca “Bu sezon yabancı otların ne kadarını öldürdük?” değildir.
Daha önemli soru şudur:
“Hayatta kalan yabancı otların bir sonraki generasyonu oluşturmasını ne ölçüde engelledik?”
Buna ikinci bir soru eklenmelidir:
“Ürettikleri propagüllerin ve adaptif genlerin yeni alanlara yayılmasını ne ölçüde önledik?”
Uzun dönemli sürdürülebilir yabancı ot yönetimi bu iki soruya birlikte yanıt verebildiği ölçüde başarılı olacaktır.
Sonuç olarak yabancı ot biliminin stratejik hedefi yalnızca mevcut yabancı otları kontrol etmek değil, populasyonların yenilenme ve yayılma kapasitesini yönetmektir. Üremenin azaltılması, tohum bankasının yeniden beslenmesinin önlenmesi, vejetatif rezervlerin tüketilmesi ve propagül hareketinin sınırlandırılması; herbisitlere olan bağımlılığı azaltan, direnç evrimini yavaşlatan ve IWM'nin uzun dönemli sürdürülebilirliğini artıran biyolojik temelli bir yaklaşım sunmaktadır.

5. KAYNAKÇA

Akhter, M. J., Sønderskov, M., Loddo, D., Ulber, L., Hull, R., & Kudsk, P. (2023). Opportunities and challenges for harvest weed seed control in European cropping systems. *European Journal of Agronomy, 142*, 126639. https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126639

Baskin, C. C., & Baskin, J. M. (2014). *Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination* (2nd ed.). Academic Press.

Beckie, H. J., Busi, R., Bagavathiannan, M. V., & Martin, S. L. (2019). Herbicide resistance gene flow in weeds: Under-estimated and under-appreciated. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 283*, 106566. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.06.005

Benvenuti, S. (2007). Weed seed movement and dispersal strategies in the agricultural environment. *Weed Biology and Management, 7*(3), 141–157. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2007.00249.x

Cousens, R., & Mortimer, M. (1995). *Dynamics of weed populations*. Cambridge University Press.

Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist, 171*(3), 501–523. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x

Heijting, S., van der Werf, W., & Kropff, M. J. (2009). Seed dispersal by forage harvester and rigid-tine cultivator in maize. *Weed Research, 49*(2), 153–163. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00681.x

Jhala, A. J., Norsworthy, J. K., Ganie, Z. A., Sosnoskie, L. M., Beckie, H. J., Mallory-Smith, C. A., Liu, J., Wei, W., Wang, J., & Stoltenberg, D. E. (2021). Pollen-mediated gene flow and transfer of resistance alleles from herbicide-resistant broadleaf weeds. *Weed Technology, 35*(2), 173–187. https://doi.org/10.1017/wet.2020.101

Kanomanyanga, J., Liu, C., Moss, S., Ober, E., Cussans, J., Mudare, S., Ejaz, I., Sønderskov, M., & Coutts, S. (2026). Integrating weed seed loss mechanisms in regenerative agriculture for more sustainable weed management. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 396*, 110027. https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.110027

Kutugata, M., Hu, C., Sapkota, B., & Bagavathiannan, M. (2021). Seed rain potential in late-season weed escapes can be estimated using remote sensing. *Weed Science, 69*(6), 653–659. https://doi.org/10.1017/wsc.2021.39

Maity, A., Young, B., Subramanian, N., & Bagavathiannan, M. (2022). Pollen-mediated transfer of herbicide resistance between johnsongrass (*Sorghum halepense*) biotypes. *Scientific Reports, 12*, 7663. https://doi.org/10.1038/s41598-022-11713-8

Marschner, C. A., Colucci, I., Stup, R. S., Westbrook, A. S., Brunharo, C. A. C. G., DiTommaso, A., & Mesgaran, M. B. (2024). Modeling weed seedling emergence for time-specific weed management: A systematic review. *Weed Science, 72*(4), 313–329. https://doi.org/10.1017/wsc.2024.25

Norsworthy, J. K., Ward, S. M., Shaw, D. R., Llewellyn, R. S., Nichols, R. L., Webster, T. M., Bradley, K. W., Frisvold, G., Powles, S. B., Burgos, N. R., Witt, W. W., & Barrett, M. (2012). Reducing the risks of herbicide resistance: Best management practices and recommendations. *Weed Science, 60*(SP1), 31–62. https://doi.org/10.1614/WS-D-11-00155.1

Singh, M., Thapa, R., Kukal, M. S., Irmak, S., Mirsky, S., & Jhala, A. J. (2022). Effect of water stress on weed germination, growth characteristics, and seed production: A global meta-analysis. *Weed Science, 70*(6), 621–640. https://doi.org/10.1017/wsc.2022.59

Zimdahl, R. L., & Basinger, N. T. (2024). *Fundamentals of weed science* (6th ed.). Academic Press.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED MIGRATION–LANDSCAPE ADAPTATION INDEX (MLAI): A MODEL PROPOSAL FOR TURKISH CITIES

Assoc. Prof. Dr. Arzu ALTUNTAŞ
Department of Landscape Architecture, Faculty of Fine Arts and Design, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1258-3875

Abstract
Migration movements not only transform the demographic structure of cities but also generate additional pressures on urban open and green spaces, ecological systems, built-up areas, and public spaces. However, an integrated data-driven instrument jointly evaluating migration-induced demographic pressure and landscape capacity is currently lacking for Turkish cities. This study proposes an original Artificial Intelligence-Assisted Migration–Landscape Adaptation Index (MLAI) to assess the capacity of cities to accommodate migration pressure from a landscape-planning perspective. The model is designed for Türkiye's 81 provinces and consists of three major dimensions: migration pressure, landscape capacity, and urban pressure. Migration indicators include in-migration, in-migration intensity, and positive net migration rate; landscape indicators comprise satellite-derived NDVI, vegetated area per capita, and the proportion of natural and semi-natural land surrounding urban areas; urban pressure is represented by population density and built-up surface ratio. Indicators are standardized through min–max normalization. Principal component analysis is proposed for examining redundancy and latent variable structure, while K-means clustering is employed to identify cities sharing similar migration–landscape profiles. A continuous MLAI score ranging from 0 to 100 is subsequently calculated and translated into five adaptation-capacity classes. Rather than treating migration solely as a demographic phenomenon, the proposed framework interprets migration as a planning pressure interacting with the ecological and spatial capacity of receiving landscapes. The MLAI therefore offers a reproducible decision-support framework that may help landscape architects and urban planners prioritize green infrastructure investment, landscape restoration, and open-space provision in rapidly changing cities.
Keywords: Migration, Artificial Intelligence, Landscape Architecture, Urban Green Space, Machine Learning, Landscape Planning

Yapay Zekâ Destekli Göç–Peyzaj Uyum İndeksi (G-Pui): Türkiye Kentleri İçin Bir Model Önerisi

Özet
Göç hareketleri kentlerin nüfus yapısını değiştirmenin yanı sıra açık ve yeşil alanlar, kentsel ekolojik sistemler, yapılaşma yoğunluğu ve kamusal mekânlar üzerinde yeni kullanım baskıları oluşturmaktadır. Bununla birlikte Türkiye'deki kentlerin göç kaynaklı nüfus değişimleri ile peyzaj kapasitesini birlikte değerlendiren bütünleşik ve veri temelli bir araç bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki kentlerin göç baskısı karşısındaki peyzaj uyum kapasitesini değerlendirmek üzere Yapay Zekâ Destekli Göç–Peyzaj Uyum İndeksi (G-PUİ) adı verilen özgün bir model geliştirmektir. Model, Türkiye'deki 81 ili kapsayacak biçimde tasarlanmış ve üç temel boyut üzerine kurulmuştur. Bu boyutlar göç baskısı, peyzaj kapasitesi ve kentsel baskıdır. Göç boyutunda TÜİK'in illere göre aldığı göç, göç alma oranı ve pozitif net göç hızı; peyzaj boyutunda uydu görüntülerinden üretilebilecek NDVI, kişi başına düşen bitki örtülü alan ve kentsel çevredeki doğal/yarı doğal alan oranı; kentsel baskı boyutunda ise nüfus yoğunluğu ve yapılaşmış yüzey oranının kullanılması önerilmiştir. Göstergelerin min–maks normalizasyonuyla standartlaştırılması, ana bileşen analiziyle değişken yapısının denetlenmesi ve K-means kümeleme algoritmasıyla kentlerin benzer göç–peyzaj profillerine ayrılması öngörülmüştür. Nihai G-PUİ değeri 0–100 ölçeğinde hesaplanarak kentlerin çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek uyum kapasitesi sınıflarında değerlendirilmesi önerilmektedir. Model, göç politikaları ile peyzaj planlama kararları arasında nicel bir bağlantı kurarak göç baskısının yüksek olduğu kentlerde açık-yeşil alan yatırımlarının ve peyzaj planlama önceliklerinin belirlenmesinde kullanılabilecek tekrarlanabilir bir karar destek çerçevesi sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Göç, Yapay Zekâ, Peyzaj Mimarlığı, Kentsel Yeşil Alan, Makine Öğrenmesi, Peyzaj Planlama

INTRODUCTION

Migration is a multidimensional process with demographic, economic, social, cultural, and spatial consequences. Although it is commonly examined through housing, employment, transportation, and social integration, population mobility also changes the demand imposed on parks, public open spaces, ecological infrastructure, and developable land. From a landscape-architecture perspective, migration is therefore relevant not only as a demographic variable but also as a dynamic planning pressure whose effects depend on the capacity of urban and peri-urban landscapes.

The scale and spatial unevenness of mobility make this relationship particularly important in Türkiye. The World Migration Report 2024 identifies migration and mobility as central components of contemporary social and economic change (McAuliffe & Oucho, 2024). At the national level, TUIK recorded 2,475,019 interprovincial movers in 2025, corresponding to 2.87% of the population; İstanbul, Ankara, and İzmir received the largest absolute inflows (TUIK, 2026). These figures show that migration pressure is distributed unevenly and is strongly connected to major urban systems.

Absolute migration volume, however, is insufficient for landscape interpretation. The same inflow can create very different planning pressures in cities with different population densities, built-up shares, vegetation structures, ecological connectivity, and land reserves. A city with extensive and connected green infrastructure may absorb additional demand with less ecological stress than a dense settlement where vegetated surfaces are already scarce. The relevant planning question is therefore not simply which cities receive more migrants, but where migration-related demand intersects with constrained landscape conditions.

Urban green space provides ecosystem services, microclimate regulation, recreation, social interaction, and health benefits (Wolch et al., 2014). Its distribution also has an environmental-justice dimension, because access to high-quality green and blue spaces varies substantially between and within cities (European Environment Agency [EEA], 2022). This concern becomes more salient in migration-receiving settings. Research indicates that green environments may support immigrant well-being, place attachment, social encounters, and integration, but these benefits depend on accessibility, safety, connectivity, environmental condition, and cultural inclusiveness (Chen & Knöll, 2024; Dawson et al., 2024; Edge et al., 2023; Elbakidze et al., 2025).

Despite this literature, migration analysis and landscape assessment rarely converge in a single national-scale framework. Composite indicators can organize multidimensional evidence, provided that choices concerning normalization, weighting, aggregation, and sensitivity remain transparent (OECD, European Union, & European Commission Joint Research Centre [OECD/EU/EC-JRC], 2008). Machine-learning methods can then add a second layer by identifying recurring multivariate profiles that a single ranked score may conceal. This is particularly useful when cities reach similar composite scores through different combinations of migration pressure, landscape capacity, and urban pressure.

Accordingly, this study develops the Artificial Intelligence-Assisted Migration–Landscape Adaptation Index (MLAI). Here, “adaptation” refers to the relative planning capacity of an urban landscape to accommodate migration-related demographic demand without intensifying existing green-space and urban-density constraints. It does not describe migrants’ individual integration and does not imply that migration is inherently negative. The study asks how nationally comparable open indicators can represent migration pressure, landscape capacity, and urban pressure; how these dimensions can be combined transparently; how unsupervised machine learning can reveal distinct city profiles; and how the resulting information can support differentiated landscape-planning priorities. The contribution lies in linking official migration statistics, harmonized remote-sensing data, composite-index methodology, and interpretable AI within one reproducible planning framework.

2. MATERIALS AND METHODS

The research is a methodological model-development study based exclusively on secondary, openly accessible, and reproducible data. No survey, interview, expert elicitation, or field observation is required. The baseline implementation year is 2025, the most recent year for which complete province-level internal migration statistics were available during preparation of the study (TUIK, 2026). The analytical frame comprises all 81 provinces of Türkiye.

Migration is measured at province level because TUIK publishes annual in-migration, out-migration, net migration, and net migration rate for provinces.

Landscape variables, by contrast, are intended to characterize the urban settlement systems within those provinces rather than the entire administrative territory. This distinction avoids allowing extensive rural forests or agricultural land to dominate an indicator intended to describe urban landscape capacity. Harmonized settlement extents can be derived from GHSL Degree of Urbanisation products, while vegetation and land-cover indicators can be extracted from Dynamic World and Sentinel-2 (Brown et al., 2022; Schiavina et al., 2023). Where a province includes multiple settlement entities, metrics may be aggregated using resident-population weights.

MLAI is structured as a capacity–pressure model. Migration Pressure (MP) represents the scale and intensity of incoming demographic demand; Landscape Capacity (LC) represents the amount and condition of vegetation available within urban settlement systems; and Urban Pressure (UP) represents population concentration and built-up intensity (Table 1). Landscape capacity contributes positively to the final index, whereas migration and urban pressures enter inversely. Negative net migration is not treated as an adaptation benefit; only the positive component of net migration rate contributes to MP.

Table 1. MLAI dimensions, indicators, and data sources

Dimension	Indicator	Symbol	Unit	Direction	Main source
Migration Pressure	Log-transformed in-migration volume	M*	log(persons+1)	Pressure	TUIK
Migration Pressure	In-migration intensity	IMI	per 1,000	Pressure	TUIK + ADNKS
Migration Pressure	Positive net migration rate	PNMR	per 1,000	Pressure	TUIK
Landscape Capacity	Urban green-cover ratio	UGCR	%	Capacity	Dynamic World / Sentinel-2
Landscape Capacity	Vegetated area per urban resident	VAR	m²/person	Capacity	Dynamic World + GHSL
Landscape Capacity	Mean urban NDVI	NDVI	-1 to +1	Capacity	Sentinel-2
Urban Pressure	Urban population density	UPD	persons/km²	Pressure	GHSL
Urban Pressure	Built-up surface ratio	BSR	%	Pressure	Dynamic World / GHSL

TUIK Internal Migration Statistics are generated from the Address-Based Population Registration System and provide complete province-level coverage. Dynamic World supplies a harmonized deep-learning land-use/land-cover product from Sentinel-2 at 10 m resolution (Brown et al., 2022). The core vegetation definition includes tree, grass, and shrub/scrub classes within standardized settlement extents; cropland is excluded because agricultural land cannot automatically be interpreted as accessible urban green infrastructure. Mean or median NDVI is calculated from cloud-masked Sentinel-2 composites for a common growing-season window. GHSL provides a consistent spatial frame for population, settlement extent, and built-up conditions (Schiavina et al., 2023).

The following equations operationalize the indicator system. The in-migration variables combine absolute scale, proportional intensity, and positive net balance so that large metropolitan inflows and proportionally large inflows to smaller provinces are both represented.

Equation (1). Log-transformed in-migration volume

$$M_i^* = \ln(1 + M_i)$$

Equation (2). In-migration intensity

$$IMI_i = \frac{M_i}{P_i} \times 1000$$

Equation (3). Positive net migration rate transformation

$$PNMR_i = \max(NMR_i, 0)$$

Equation (4). Urban green-cover ratio

$$UGCR_i = \frac{A_{veg,i}}{A_{urban,i}} \times 100$$

Equation (5). Vegetated area per urban resident

$$VAR_i = \frac{A_{veg,i}}{P_{urban,i}}$$

Equation (6). Normalized Difference Vegetation Index

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Equation (7). Urban population density

$$UPD_i = \frac{P_{urban,i}}{A_{urban,i}}$$

Equation (8). Built-up surface ratio

$$BSR_i = \frac{A_{built,i}}{A_{urban,i}} \times 100$$

In Equations (1)–(8), Mi is the number of in-migrants to province i; Pi is its resident population; NMRi is the official net migration rate; Aveg,i and Aurban,i denote vegetated and analyzed urban area; Purban,i is the population of the standardized urban settlement system; NIR and RED are Sentinel-2 near-infrared and red reflectance; and Abuilt,i is the built-up surface. VAR is interpreted as a biophysical landscape-capacity proxy rather than a legal public-park standard, because satellite-derived vegetation does not establish ownership or public accessibility.

Indicators expressed in different units are converted to a common 0–1 scale. Extreme values are examined before normalization but are not automatically removed, because high migration or density may be substantively meaningful. Capacity indicators retain a positive direction; pressure indicators are standardized in their natural direction and reversed only in final aggregation. This approach preserves interpretability and follows the principle that composite results should remain auditable under alternative specifications (OECD/EU/EC-JRC, 2008).

Equation (9). Positive-direction min–max normalization

$$Z_{ij}^{+} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

Equation (10). Pressure-direction normalization

$$Z_{ij}^{P} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

Equation (11). Migration Pressure subindex

$$MP_i = \frac{Z(M_i^*) + Z(IMI_i) + Z(PNMR_i)}{3}$$

Equation (12). Landscape Capacity (LC) subindex

$$LC_i = \frac{Z(UGCR_i) + Z(VAR_i) + Z(NDVI_i)}{3}$$

Equation (13). Urban Pressure (UP) subindex

$$UP_i = \frac{Z(UPD_i) + Z(BSR_i)}{2}$$

Equation (14). Baseline MLAI

$$MLAI_i = 100 \times \frac{LC_i + (1 - MP_i) + (1 - UP_i)}{3}$$

Equation (15). Geometric aggregation used for sensitivity analysis

$$MLAI_{G,i} = 100 \times [LC_i(1 - MP_i)(1 - UP_i)]^{1/3}$$

The baseline subindices use equal indicator weights to avoid introducing unsupported expert preferences. MP, LC, and UP all range from 0 to 1; the arithmetic MLAI ranges from 0 to 100. For communication, scores may be described provisionally as very low (0–20), low (>20–40), moderate (>40–60), high (>60–80), and very high (>80–100), but the continuous value should always be retained. The geometric specification is a sensitivity test because it penalizes a very weak dimension more strongly and therefore reduces compensation across dimensions. Arithmetic and geometric rankings should be compared with Spearman rank correlation and changes in percentile position.

PCA is used as a diagnostic rather than as a substitute for the conceptual framework. It identifies redundant indicators, summarizes dominant directions of variation, and allows visual inspection of the multivariate structure (Jolliffe & Cadima, 2016). K-means clustering is then applied to standardized source indicators, or to a justified retained set of PCA components, to identify cities with similar migration–landscape profiles. Clustering the final MLAI alone would discard the profile information that the procedure is intended to recover.

Equation (16). Principal component score

$$PC_{ik} = \mathbf{Z}_i \mathbf{w}_k$$

Equation (17). K-means objective function

$$J = \sum_{k=1}^{K} \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2$$

Equation (18). Silhouette measure of cluster separation

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$$

Candidate cluster solutions should be compared with the Silhouette coefficient (Rousseeuw, 1987), and K-means should be repeated with multiple initializations and a fixed random seed. Cluster labels are assigned only after centroid profiles are inspected. Robustness assessment also includes correlation/PCA redundancy checks, alternative normalization, arithmetic versus geometric aggregation, plausible weight perturbations, cluster stability across seeds and K values, and an external plausibility check against harmonized municipal green-space statistics where available.

3. FINDINGS AND DISCUSSION

The findings concern the structure that emerged during model development. First, migration cannot be represented adequately by a single flow measure. Absolute in-migration captures the scale of demand but is dominated by large metropolitan provinces; in-migration intensity adds a proportional perspective, while positive net migration shows whether inflows exceed outflows without rewarding population loss. The three measures therefore describe distinct but complementary aspects of migration pressure.

Second, national comparison requires spatial standardization of landscape variables. Municipal green-space statistics may use different definitions and denominators, whereas remote sensing allows the same extraction procedure to be applied across all provinces. Dynamic World is particularly useful because its 10 m land-cover predictions are produced within a consistent deep-learning framework (Brown et al., 2022). Nevertheless, mapped vegetation is not synonymous with publicly accessible parkland. The MLAI therefore uses the terms vegetated area and landscape capacity and treats access, quality, maintenance, and cultural appropriateness as issues for subsequent local analysis.

Third, a single composite rank cannot fully represent the planning problem. Similar MLAI scores can result from different configurations: one city may combine high migration with strong landscape capacity, while another may have lower migration but weak pre-existing green capacity and high built-up intensity. K-means clustering adds interpretive value by retaining this multivariate profile. The AI component is deliberately limited to this transparent unsupervised task; it informs professional judgment rather than automating planning decisions.

This restrained use is consistent with the wider need for accountability in migration-related AI applications (Palinkas et al., 2026; Ronco et al., 2023).

Fourth, MLAI must be interpreted within a narrow conceptual boundary. A high score does not demonstrate economic prosperity, social inclusion, migrant satisfaction, or municipal performance, and a low score does not imply that migration itself is a problem. The index measures only the relative balance among the specified migration, landscape, and urban-pressure indicators. This limitation is important because composite indicators necessarily embed normative choices concerning scaling, weighting, and aggregation (OECD/EU/EC-JRC, 2008). Sensitivity testing is therefore part of the result rather than a secondary technical exercise.

These methodological findings have direct implications for landscape planning. A profile characterized by high MP, low LC, and high UP would justify detailed investigation of green-infrastructure expansion, ecological corridors, protection of remaining vegetated land, pocket parks, and growth-management measures. Where both migration pressure and landscape capacity are high, protection of existing assets, prevention of fragmentation, and equitable access may be more appropriate than extensive new land acquisition. Low-migration cities with weak landscape capacity remain relevant because preventive restoration may reduce future vulnerability to demographic or climate pressures.

The environmental-justice literature reinforces the need for this differentiated interpretation. Green-space quantity alone does not guarantee benefit: accessibility, safety, cultural inclusiveness, and the distribution of environmental burdens influence migrants' actual experience of urban nature (Chen & Knöll, 2024; Dawson et al., 2024; Edge et al., 2023; Elbakidze et al., 2025). Moreover, greening can generate distributive risks when environmental improvement contributes to displacement or green gentrification (Wolch et al., 2014). Consequently, MLAI should operate as a city-scale screening device that identifies where finer-scale accessibility and equity analyses are most needed, not as a stand-alone instruction to maximize green-space provision.

The framework also has limitations. Province-level migration data do not identify the exact neighborhoods in which newcomers settle, while the landscape indicators characterize standardized urban settlement systems. Satellite vegetation does not measure public access, design quality, maintenance, or perceived belonging. NDVI is affected by bioclimatic differences across Türkiye, and the baseline model is cross-sectional even though migration and land-cover change can involve time lags. These constraints can be reduced in future work through district-level data, accessibility measures, climate-adjusted vegetation indicators, and annual MLAI calculations. Within these limits, the framework remains reproducible because it relies on official statistics, harmonized spatial datasets, explicit equations, and transparent validation rules (Table 2).

Table 2. Conceptual migration–landscape profiles and planning responses

Profile	MP	LC	UP	Primary planning response
Critical absorption deficit	High	Low	High	Expand green infrastructure; protect land; restore corridors; manage growth.
Pressured but resource-rich	High	High	High	Protect existing green assets; prevent fragmentation; improve equitable access.
Preventive restoration	Low–moderate	Low	Moderate–high	Restore green network before future demographic or climate pressure.
Balanced transition	Moderate	Moderate	Moderate	Targeted infill greening; monitor migration and land-cover change.
High-capacity / low-pressure	Low	High	Low–moderate	Conserve ecological connectivity and maintain long-term protection.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study restructures migration as an explicit input to landscape planning through the Artificial Intelligence-Assisted Migration–Landscape Adaptation Index. MLAI combines three dimensions—Migration Pressure,

Landscape Capacity, and Urban Pressure—and uses both absolute and population-relative migration measures, standardized remote-sensing indicators of urban vegetation, and settlement-based density and built-up variables. The arithmetic index provides a transparent 0–100 screening score, while a geometric alternative tests the effect of compensation among dimensions. PCA, K-means, and Silhouette analysis complement the score by revealing multivariate city profiles rather than reducing planning interpretation to a league table.

The model-development process supports several conclusions. Migration should be represented by both scale and intensity; national comparisons of urban vegetation are more defensible when a common remote-sensing workflow is applied; and clustering adds information that a composite score alone cannot retain. Equally important, MLAI should not be interpreted as a measure of general urban welfare or migrant integration. It is a diagnostic capacity–pressure indicator designed to identify locations where demographic demand and landscape constraints warrant closer investigation.

For implementation, five recommendations follow. First, the full workflow should be applied to 2025 data for all 81 provinces, with raw indicators, normalized values, sensitivity results, and cluster profiles published together. Second, all classification and seasonal-processing decisions should be documented so the index can be reproduced and audited. Third, provinces identified as high priority should be examined at district or neighborhood scale using measures of green-space accessibility, quality, environmental justice, and social vulnerability. Fourth, annual MLAI values should be developed to monitor whether sustained in-migration is followed by rising density, built-up expansion, or vegetation loss. Fifth, index results should support—not replace—professional judgment, local planning knowledge, and participatory decision-making.

In practical landscape-architecture terms, the framework can help distinguish between places that need new green infrastructure, places where existing green assets require stronger protection and connectivity, and places where preventive restoration is appropriate before pressures intensify. Used with transparent assumptions and equity-oriented follow-up analysis, MLAI offers a reproducible bridge among migration research, artificial intelligence, and strategic landscape planning.

REFERENCES

Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping. Scientific Data, 9, 251. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4

Chen, S., & Knöll, M. (2024). Environmental justice in the context of access to urban green spaces for refugee children. Land, 13(5), 716. https://doi.org/10.3390/land13050716

Dawson, L., Elbakidze, M., Yamelynets, T., Kraft van Ermel, L. E., Johansson, K.-E., & Schaffer, C. (2024). Urban greenspace for social integration: Which types of greenspace do new-Swedes prefer and why? Urban Forestry & Urban Greening, 95, 128310. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128310

Edge, S., Davis, C., Dean, J., Onilude, Y., Rishworth, A., & Wilson, K. (2023). The role of urban and rural greenspaces in shaping immigrant wellbeing and settlement in place. Wellbeing, Space and Society, 4, 100127. https://doi.org/10.1016/j.wss.2023.100127

Elbakidze, M., Teitelbaum, S., & Dawson, L. (2025). Urban greenspace to support social integration of immigrants? Case studies across Sweden. Urban Forestry & Urban Greening, 111, 128868. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128868

European Environment Agency. (2022). Who benefits from nature in cities? Social inequalities in access to urban green and blue spaces across Europe (EEA Briefing No. 15/2021). Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2800/160976

Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 374(2065), 20150202. https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202

MacQueen, J. B. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. In L. M. Le Cam & J. Neyman (Eds.), Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability (Vol. 1, pp. 281–297). University of California Press.

McAuliffe, M., & Oucho, L. A. (Eds.). (2024). World Migration Report 2024. International Organization for Migration.

OECD, European Union, & European Commission Joint Research Centre. (2008). Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en

Palinkas, L. A., Özbilgin, M. F., Aczel, M., Ortar, N., Monteleoni, C., Sethi, S., Rice, E., Dilkina, B., & Mor Barak, M. (2026). Artificial intelligence and climate migration equity. Humanities and Social Sciences Communications, 13, 374. https://doi.org/10.1057/s41599-026-07087-1

Ronco, M., Tárraga, J. M., Muñoz, J., Piles, M., Sevillano Marco, E., Wang, Q., Miranda Espinosa, M. T., Ponserre, S., & Camps-Valls, G. (2023). Exploring interactions between socioeconomic context and natural hazards on human population displacement. Nature Communications, 14, 8004. https://doi.org/10.1038/s41467-023-43809-8

Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics, 20, 53–65. https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7

Schiavina, M., Melchiorri, M., Pesaresi, M., Politis, P., Freire, S. M. C., Maffenini, L., Florio, P., Ehrlich, D., Goch, K., Carioli, A., Uhl, J., Tommasi, P., & Kemper, T. (2023). GHSL Data Package 2023. Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2760/098587

TUIK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2026). Internal Migration Statistics, 2025 (Press Release No. 58139, July 14, 2026). TUIK Data Portal.

Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities “just green enough”. Landscape and Urban Planning, 125, 234–244. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

ANALYSIS OF FACTORS DETERMINING GREEN SPACE DEFICIENCY IN MIGRATION-RECEIVING CITIES USING EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (SHAP)

Assoc. Prof. Dr. Arzu ALTUNTAŞ
Department of Landscape Architecture, Faculty of Fine Arts and Design, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1258-3875

Abstract
Rapid population movements can exert pressure not only on cities' housing and infrastructure requirements but also on their open and green space systems. However, the relationship between migration and urban green space deficiency is considered to be non-linear and should be evaluated together with factors such as population density, built-up ratio, and urban growth. This study aims to develop a reproducible method for analyzing the factors determining green space deficiency in migration-receiving cities in Türkiye through an explainable artificial intelligence approach. The research was designed using a province-year panel data structure covering Türkiye's 81 provinces over the 2019–2025 period. Migration indicators were obtained from TUIK Internal Migration Statistics and the Address-Based Population Registration System (ADNKS), while land-cover indicators were derived from Dynamic World/Sentinel-2 data with a spatial resolution of 10 m. The Green Space Deficiency Score, derived from vegetated area per capita and the proportion of green surfaces within urban settlement environments, was used as the dependent variable. The explanatory variables consisted of in-migration intensity, positive net migration rate, population growth, population density, built-up surface ratio, and annual built-up area growth. The performances of linear regression, Random Forest, and XGBoost models were compared using R^2, RMSE, and MAE metrics under GroupKFold cross-validation, and the best-performing tree-based model was interpreted using the SHapley Additive exPlanations (SHAP) method. The SHAP analysis aimed to determine not only the relative importance of the variables, but also the direction in which they increased or decreased green space deficiency, as well as their non-linear effects and critical thresholds. The study presents a transparent and data-driven decision-support approach that links migration pressure with landscape planning decisions.
Keywords: Migration, Urban Green Space, Landscape Architecture, Explainable Artificial Intelligence, SHAP, XGBoost

Göç Alan Kentlerde Yeşil Alan Yetersizliğini Belirleyen Faktörlerin Açiklanabilir Yapay Zekâ (Shap) İle Analizi

Özet
Hızlı nüfus hareketleri, kentlerin konut ve altyapı gereksinimlerinin yanı sıra açık ve yeşil alan sistemleri üzerinde de baskı oluşturabilmektedir. Bununla birlikte göç ile kentsel yeşil alan yetersizliği arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı; nüfus yoğunluğu, yapılaşma oranı ve kentsel büyüme gibi faktörlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de göç alan kentlerde yeşil alan yetersizliğini belirleyen faktörlerin açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımıyla analiz edilmesine yönelik tekrarlanabilir bir yöntem geliştirmektir. Araştırma, 2019–2025 döneminde Türkiye'nin 81 ilini kapsayan il-yıl panel veri yapısı üzerinden tasarlanmıştır. Göç göstergeleri TÜİK İç Göç İstatistikleri ve ADNKS'den; arazi örtüsü göstergeleri ise 10 m mekânsal çözünürlüğe sahip Dynamic World/Sentinel-2 verilerinden elde edilmiştir. Bağımlı değişken olarak kentsel yerleşim çevresindeki kişi başına bitki örtülü alan ve yeşil yüzey oranından türetilen Yeşil Alan Yetersizlik Skoru kullanılmıştır. Açıklayıcı değişkenler göç alma yoğunluğu, pozitif net göç hızı, nüfus artışı, nüfus yoğunluğu, yapılaşmış yüzey oranı ve yıllık yapılaşma artışından oluşmaktadır. Doğrusal regresyon, Random Forest ve XGBoost modellerinin performansları GroupKFold çapraz doğrulama altında R^2, RMSE ve MAE ölçütleriyle karşılaştırılmış; en başarılı ağaç tabanlı model SHapley Additive exPlanations (SHAP) yöntemiyle açıklanmıştır. SHAP analizi ile değişkenlerin hem önem sırası hem de yeşil alan yetersizliğini artırdığı veya azalttığı yönün, doğrusal olmayan etkilerin ve kritik eşiklerin de belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, göç baskısını peyzaj planlama kararlarıyla ilişkilendiren şeffaf ve veri temelli bir karar destek yaklaşımı sunulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Göç, Kentsel Yeşil Alan, Peyzaj Mimarlığı, Açıklanabilir Yapay Zekâ, SHAP, XGBoost

INTRODUCTION

Migration is a major demographic process shaping contemporary urban systems. Population mobility changes not only the number and composition of residents but also the spatial distribution of demand for housing, infrastructure, public services, recreation, and open-space systems. Urban green spaces are particularly sensitive to this relationship because they simultaneously function as ecological infrastructure, recreational environments, public-health assets, climate-adaptation components, and places of everyday social encounter. If demographic demand grows faster than green-infrastructure provision, effective green-space availability per resident may decline even when the absolute quantity of vegetation remains unchanged.

The issue is important in Türkiye, where interprovincial mobility is both substantial and uneven. TUIK reported that 2,475,019 people changed province of residence in 2025, equal to 2.87% of the national population; İstanbul, Ankara, and İzmir received the largest absolute inflows (TUIK, 2026a). Absolute inflow alone, however, cannot represent pressure adequately. Large metropolitan provinces may simultaneously receive and lose substantial populations, while a smaller province can experience a greater demographic shock relative to its resident population. Migration pressure therefore needs to be interpreted together with population size and broader demographic change.

Green-space provision is multidimensional. Urban vegetation contributes to ecosystem services, microclimate regulation, recreation, and physical and psychological well-being, while unequal access to green space is an established environmental-justice concern (Wolch et al., 2014). For immigrant and refugee populations, green environments may additionally support place attachment, social encounters, and settlement experiences, although their benefits depend on accessibility, safety, quality, and cultural appropriateness (Chen & Knöll, 2024; Edge et al., 2023; Elbakidze et al., 2025). Accordingly, nominal vegetation quantity cannot be equated with socially effective green-space provision.

From a landscape-planning perspective, migration is best understood as a dynamic demand pressure that interacts with pre-existing urban morphology and ecological capacity. A city with extensive and connected green infrastructure may accommodate population growth more effectively than a city with high built-up intensity and little vegetated land. These relationships are unlikely to be entirely linear. Density or built-up growth may exert limited effects below certain levels and become more restrictive beyond thresholds, and migration pressure may have different implications depending on available green capacity.

Machine-learning models can represent nonlinear relationships and interactions, but predictive accuracy alone is insufficient for planning. Decision-makers need to understand why a model generates a high-deficiency prediction. SHapley Additive exPlanations (SHAP) provide feature-level contributions to model output and can be aggregated from local explanations to global interpretation (Lundberg & Lee, 2017; Lundberg et al., 2020). Recent XGBoost-SHAP research on green-space supply-demand mismatch confirms the potential of explainable machine learning to reveal nonlinear morphological drivers relevant to equitable planning (Sun et al., 2026).

This study develops a reproducible framework for examining the factors associated with urban green-space deficiency in migration-receiving cities in Türkiye. It asks whether migration pressure contributes to predicted deficiency after density and built-up conditions are considered; which demographic and urban-form variables are most influential; whether nonlinear thresholds emerge; how global and local SHAP explanations can inform differentiated landscape interventions; and which safeguards are necessary to prevent population-size bias, rural-green inflation, and data leakage. Artificial intelligence is used as an interpretable decision-support layer rather than as an autonomous planning mechanism.

2. MATERIALS AND METHODS

The study is designed as a quantitative longitudinal province-year analysis covering all 81 provinces of Türkiye from 2019 through 2025. The panel structure increases the information available for model training, represents both interprovincial and temporal variation, and reduces dependence on a small number of metropolitan cases. With complete annual data, the theoretical maximum sample size is expressed in Equation (1).

$$N = 81 \times 7 = 567$$

Equation (1). Maximum province-year sample size.

The framework uses standardized official and remote-sensing sources. TUIK Internal Migration Statistics provide in-migration, out-migration, net migration, and net migration rate, while ADNKS provides annual population denominators (TUIK, 2026a, 2026b). Dynamic World supplies a globally consistent 10 m land-use/land-cover product derived from Sentinel-2 imagery through deep learning (Brown et al., 2022). A harmonized urban mask prevents province-wide forests, agricultural areas, or sparsely settled rural landscapes from artificially inflating urban greenness (Table 1).

Table 1. Core data sources and analytical functions

Data group	Source / variable	Period / resolution	Analytical function
Migration	TUIK in-/out-/net migration, net migration rate	2019-2025; province/annual	Migration pressure
Population	ADNKS annual population	2019-2025; province/annual	Denominators, density, growth
Land cover	Dynamic World / Sentinel-2	2019-2025; 10 m	Vegetated and built-up surfaces
Urban mask	Consistent built-up/settlement extent	Annual or harmonized	Restrict analysis to urban environment

Green-space metrics are calculated within a harmonized urban settlement environment rather than across the entire provincial territory. The workflow identifies built-up pixels, groups the principal contiguous settlement structure, applies a constant buffer to include adjacent parks and green corridors, and uses the same rule across provinces and years. Vegetation is measured only after the urban environment has been delineated, avoiding circular definition of the dependent variable. Alternative buffer distances are retained for sensitivity analysis.

The Green Space Deficiency Score (GSDS) combines vegetated surface per resident and the proportion of the urban analysis environment covered by vegetation. The first relates green supply to demographic demand; the second describes urban landscape composition.

$$VPC_{it} = \frac{VA_{it}}{P_{it}}$$

Equation (2). Vegetated surface per capita.

$$VSR_{it} = \frac{VA_{it}}{UA_{it}} \times 100$$

Equation (3). Vegetated surface ratio.

$$Z(x_{it}) = \frac{x_{it} - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Equation (4). Min-max normalization.

$$GCS_{it} = \frac{Z(VPC_{it}) + Z(VSR_{it})}{2}$$

Equation (5). Green Capacity Score.

$$GSDS_{it} = 1 - GCS_{it}$$

Equation (6). Green Space Deficiency Score.

Normalization parameters are estimated within each training fold and applied to its validation fold so preprocessing does not leak information.

GSDS ranges from 0 to 1, with higher values indicating greater relative deficiency. The score is comparative rather than statutory and should not be interpreted as a legal green-space threshold.
Six predictors are retained for parsimony and clear planning interpretation: in-migration intensity (MIG), positive net migration rate (PNMR), annual population growth (POPG), population density (PD), built-up surface ratio (BUILT), and annual built-up growth (BGR) (Table 2). Their expected positive association with GSDS represents increasing demand or spatial constraint; density is not treated normatively as undesirable.

Table 2. Explanatory variables and planning interpretation

Code	Variable	Definition	Planning interpretation
MIG	In-migration intensity	In-migrants per 1,000 residents	Receiving-demand pressure
PNMR	Positive net migration rate	Positive component of net migration rate	Migration-related population gain
POPG	Annual population growth	Year-on-year population change (%)	Total demographic demand growth
PD	Population density	Population per urban-area unit	Competition for limited urban land
BUILT	Built-up surface ratio	Built-up / urban analysis area (%)	Structural land-cover constraint
BGR	Built-up growth rate	Annual built-up area change (%)	Expansion/conversion pressure

$$MIG_{it} = \frac{IM_{it}}{P_{it}} \times 1000$$

Equation (7). In-migration intensity.

$$PNMR_{it} = \max(NMR_{it}, 0)$$

Equation (8). Positive net migration rate.

$$POPG_{it} = \frac{P_{it} - P_{i,t-1}}{P_{i,t-1}} \times 100$$

Equation (9). Annual population growth rate.

$$PD_{it} = \frac{P_{it}}{UA_{it}}$$

Equation (10). Population density.

$$BUILT_{it} = \frac{BA_{it}}{UA_{it}} \times 100$$

Equation (11). Built-up surface ratio.

$$BGR_{it} = \frac{BA_{it} - BA_{i,t-1}}{BA_{i,t-1}} \times 100$$

Equation (12). Annual built-up growth rate.

$$x' = \ln(1 + x)$$

Equation (13). Logarithmic transformation for right-skewed non-negative variables.

Province-year records are joined by province and year. Observations missing GSDS are not imputed because imputing remotely sensed outcomes could create artificial spatial patterns. Parameter-estimating preprocessing steps—including scaling, isolated predictor imputation, winsorization thresholds, and transformations—are fitted inside training folds only.

Correlation and variance-inflation diagnostics are used to identify redundancy, and sensitivity models are required when correlated predictors may redistribute SHAP importance.
A multiple linear regression benchmark is compared with Random Forest and XGBoost. The linear model represents additive associations; Random Forest provides a robust nonlinear ensemble benchmark (Breiman, 2001); and XGBoost captures thresholds and interactions through sequentially fitted regularized trees (Chen & Guestrin, 2016).

$$GSDS_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j X_{jit} + \varepsilon_{it}$$

Equation (14). Multiple linear regression baseline.

$$\hat{y}_i = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^{B} T_b(x_i)$$

Equation (15). Random Forest regression prediction.

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^{K} f_k(x_i)$$

Equation (16). XGBoost additive tree prediction.

$$Obj = \sum_{i=1}^{n} l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_{k=1}^{K} \Omega(f_k)$$

Equation (17). XGBoost regularized objective function.
Random row-wise train-test splitting is avoided because observations from the same province in different years share structural characteristics. Province-grouped cross-validation keeps all observations from a province in the same fold and evaluates generalization to provinces not used in training. Forward-temporal validation is proposed as an additional robustness test. Model comparison uses out-of-fold MAE, RMSE, and R^2.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |y_i - \hat{y}_i|$$

Equation (18). Mean Absolute Error.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

Equation (19). Root Mean Squared Error.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}$$

Equation (20). Coefficient of determination.
SHAP interpretation is conducted only after a tree-based model demonstrates adequate cross-validated performance. Each prediction is decomposed into the expected model output and feature-specific contributions, while TreeSHAP provides efficient and consistent explanations for tree ensembles (Lundberg et al., 2020).

$$f(x) = \phi_0 + \sum_{j=1}^{M} \phi_j$$

Equation (21). SHAP additive explanation.

$$\phi_j = \sum_{S \subseteq F_{-j}} \frac{|S|!\,(M - |S| - 1)!}{M!} [f(S \cup \{j\}) - f(S)]$$

Equation (22). Shapley feature attribution.

$$I_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\phi_{ij}|$$

Equation (23). Global SHAP importance.

Four outputs are required: global mean absolute SHAP importance, beeswarm plots showing direction and heterogeneity, dependence plots revealing nonlinear patterns and potential thresholds, and local waterfall plots for selected province-year cases. Robustness analysis re-estimates the two GSDS components separately, varies urban-buffer distances, tests MIG with and without PNMR, removes highly correlated predictors individually, compares XGBoost and Random Forest explanations, and complements province-grouped validation with forward-temporal validation.

FINDINGS AND DISCUSSION

The findings concern analytical choices that determine the validity of the empirical application. First, absolute in-migration is unsuitable as a standalone pressure measure because the largest provinces naturally receive larger flows. In-migration intensity therefore standardizes receiving pressure by population, while PNMR captures migration-related population gain. Retaining both avoids conflating high inflow with positive net growth.

Second, the spatial denominator of greenness is decisive. Province-wide vegetation can overstate the green environment available to urban residents in provinces containing forests, agricultural landscapes, or sparsely settled rural land. This is consistent with evidence that exposure to greenspace cannot be inferred from total land-cover proportions alone (Chen et al., 2022). Restricting measurement to a harmonized urban environment is therefore a core validity requirement.

Third, physical green quantity and social access are not equivalent. Dynamic World provides a consistent basis for measuring vegetated surface (Brown et al., 2022), but land-cover classes do not describe ownership, safety, maintenance, design quality, or cultural suitability. Studies of immigrant and refugee populations demonstrate that formal availability can coexist with barriers to use (Chen & Knöll, 2024; Edge et al., 2023; Elbakidze et al., 2025). GSDS should thus be used as a physical landscape-capacity screening indicator and followed by finer-scale accessibility and equity assessment in priority provinces.

Fourth, province-year data require explicit protection against leakage. Random row-wise splitting can allow the model to learn province-specific structure from one year and appear to predict the same province in another. Province-grouped validation provides a more credible test of spatial generalization, although it does not eliminate broader spatial dependence among neighbouring provinces. Region-based holdouts or spatial diagnostics remain useful extensions.

Fifth, explainability is meaningful only when the underlying model predicts adequately. SHAP explains the fitted model, not the real-world causal process. A large SHAP contribution for migration indicates that migration-related demand is important to the modelled prediction conditional on included variables; it does not demonstrate that migrants cause vegetation loss. Planning delays, housing responses, metropolitan attractiveness, or urban expansion may mediate the observed association.

The planning value of SHAP lies in differentiating intervention logic (Table 3). Migration-dominated deficiency indicates a need to expand green-infrastructure supply where demographic demand is rising rapidly. Density-dominated deficiency points toward distributed, space-efficient interventions such as pocket parks, green streets, schoolyard greening, and improved access to larger parks. A dominant BUILT contribution indicates retrofit constraints in the existing fabric, whereas BGR points to securing ecological corridors and green infrastructure before expansion consumes available land. Multiple high positive contributions indicate compound deficiency and require coordinated landscape and urban-development policy.

Table 3. Translation of dominant SHAP drivers into landscape-planning responses

Dominant SHAP driver	Interpretation	Primary planning response	Complementary action
MIG	Rapid increase in demand	Accelerate parks and multifunctional open-space provision	Reserve land; temporary green spaces
PNMR / POPG	Sustained demographic growth	Phase green-space investment with population change	Protect future corridors
PD	High demand per unit of land	Pocket parks, green streets, schoolyard/roof greening	Improve walkable access
BUILT	Existing fabric constrains greening	Retrofit impervious surfaces; distributed green links	Reuse underutilized parcels
BGR	Ongoing land conversion	Embed green infrastructure before development	Growth management; corridor protection
Multiple drivers	Compound deficiency	Integrated landscape/development strategy	Prioritize high-deficit neighbourhoods

The framework therefore extends conventional green-space analysis by treating migration as one component of changing demand and by pairing predictive modelling with interpretable intervention pathways. It is consistent with the XGBoost-SHAP precedent of Sun et al. (2026), while adding migration indicators, province-grouped validation, and explicit leakage controls. The model should nevertheless remain a first-stage national screening tool because neighbourhood-level inequalities may persist even where provincial average green capacity appears moderate.

Finally, reproducibility is central to the proposed decision-support framework. Province codes, annual joins, land-cover classes, urban-mask rules, preprocessing parameters, hyperparameter search spaces, random seeds, and out-of-fold predictions should be archived together. This procedural transparency is necessary because SHAP explanations are conditional on the fitted model and the underlying data-processing choices. Reproducible workflows make it possible to distinguish a stable planning signal from a result that depends excessively on one classification rule, one modelling specification, or one validation split.

The environmental-justice implications of model use require equal attention. Increasing urban vegetation is not automatically an equitable intervention if new amenities remain inaccessible to disadvantaged groups or contribute to displacement pressures. Wolch et al. (2014) demonstrate that urban greening can generate both environmental benefits and distributive risks. Consequently, a high GSDS prediction should trigger closer examination of where deficits occur, who can access existing green infrastructure, and whether proposed investments are socially protective. Migration-related SHAP contributions must be framed as evidence of a mismatch between changing demand and planning capacity, not as evidence that migrants themselves constitute an environmental problem.

Remote-sensing uncertainty also needs to be carried into the interpretation of GSDS. Dynamic World provides a common classification framework, but annual estimates may vary with seasonal vegetation cycles, cloud conditions, classification uncertainty, and the delineation of the urban analysis mask. The proposed use of fixed annual compositing windows and alternative buffer distances is therefore methodologically important. Where a province changes substantially under a reasonable alternative spatial or temporal specification, that sensitivity should be reported rather than concealed by a single definitive score. This is particularly relevant for landscape architecture, where ecological condition and urban form may respond differently across climatic regions.

The longitudinal design introduces additional interpretive considerations.

Repeated province-year observations enlarge the analytical sample and make annual change visible, but they do not remove regional dependence. Adjacent provinces may share climate regimes, development policies, labour-market conditions, or metropolitan spillovers that influence both migration and land-cover dynamics. Province-grouped cross-validation addresses leakage from repeated observations of the same province, yet it should not be treated as a complete spatial-econometric correction. A subsequent empirical application should therefore compare the primary results with region-based holdouts or spatially blocked validation and should report whether the global SHAP ordering remains stable under these more demanding transfer tests.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study develops an explainable-artificial-intelligence framework for analysing factors associated with urban green-space deficiency in migration-receiving cities in Türkiye. It integrates annual official migration and population statistics with consistent remotely sensed land-cover indicators and compares multiple linear regression, Random Forest, and XGBoost under province-grouped cross-validation. GSDS links vegetated surface per capita with the vegetated-surface ratio, while the explanatory structure captures migration pressure, demographic growth, density, built-up intensity, and urban expansion.

The methodological synthesis yields three principal safeguards: migration must be standardized to avoid population-size bias; greenness must be measured within a comparable urban environment to avoid rural-green inflation; and validation must keep province histories together to avoid spatial-temporal leakage. SHAP should be applied only after predictive adequacy is established, and its outputs must be interpreted as explanations of model behaviour rather than causal estimates.

Five recommendations follow. First, the complete 2019-2025 province-year dataset should be implemented with processing scripts, urban mask definitions, and annual composites archived for reproducibility. Second, out-of-fold performance and fold-to-fold variability should be reported for every competing model before SHAP analysis. Third, global importance rankings should be accompanied by beeswarm, dependence, and local waterfall plots so importance, directionality, thresholds, and city-specific mechanisms remain visible. Fourth, provinces identified as simultaneously migration-pressured and green-deficient should be examined at district or neighbourhood scale using public accessibility, green-space quality, socioeconomic vulnerability, and international-migration data where comparable information is available. Fifth, repeated annual modelling should be developed as a monitoring system capable of detecting whether demographic demand is outpacing green-infrastructure provision.

For landscape architecture, the framework's main contribution is to reposition migration as a dynamic demand variable in strategic green-infrastructure planning. Explainable AI does not replace professional judgement; it makes complex demographic-landscape relationships more transparent and helps distinguish whether intervention should emphasize new green-space provision, retrofit of dense urban fabric, protection of ecological corridors, or growth management. Used within these limits, the approach can support more adaptive, equitable, and evidence-based landscape planning.

REFERENCES

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45, 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping. Scientific Data, 9, 251. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4

Chen, B., Wu, S., Song, Y., Webster, C., Xu, B., & Gong, P. (2022). Contrasting inequality in human exposure to greenspace between cities of Global North and Global South. Nature Communications, 13, 4636. https://doi.org/10.1038/s41467-022-32258-4

Chen, S., & Knöll, M. (2024). Environmental justice in the context of access to urban green spaces for refugee children. Land, 13(5), 716. https://doi.org/10.3390/land13050716

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 785-794). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Edge, S., Davis, C., Dean, J., Onilude, Y., Rishworth, A., & Wilson, K. (2023). The role of urban and rural greenspaces in shaping immigrant wellbeing and settlement in place. Wellbeing, Space and Society, 4, 100127. https://doi.org/10.1016/j.wss.2023.100127

Elbakidze, M., Teitelbaum, S., & Dawson, L. (2025). Urban greenspace to support social integration of immigrants? Case studies across Sweden. Urban Forestry & Urban Greening, 111, 128868. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2025.128868

Lundberg, S. M., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J. M., Nair, B., Katz, R., Himmelfarb, J., Bansal, N., & Lee, S.-I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. Nature Machine Intelligence, 2(1), 56-67. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0138-9

Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. In I. Guyon, U. von Luxburg, S. Bengio, H. Wallach, R. Fergus, S. Vishwanathan, & R. Garnett (Eds.), Advances in Neural Information Processing Systems 30 (pp. 4765-4774). Curran Associates, Inc.

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., VanderPlas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825-2830.

Sun, L., Liu, W., & Liu, Q. (2026). Decoding green space supply-demand mismatch through urban morphology: Toward equitable urban planning with explainable machine learning. PLOS ONE, 21(3), e0342596. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0342596

TUIK. (2026a). Internal Migration Statistics, 2025 (Issue No. 58139).

TUIK. (2026b). Address-Based Population Registration System Results, 2025.

Wolch, J. R., Byrne, J., & Newell, J. P. (2014). Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities “just green enough”. Landscape and Urban Planning, 125, 234-244. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017

3D AND 4D BODY SCANNING FOR GARMENT FIT AND BODY – GARMENT INTERACTION

İlkay Özsev YÜKSEK
Department of Textile Engineering, Faculty of Textile Technologies and Design, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye.

Özet
Üç boyutlu (3D) vücut tarama teknolojisi, tekstil ve hazır giyim endüstrisindeki antropometrik uygulamaları dönüştürmekle beraber bu teknoloji vücudu ağırlıklı olarak statik duruşlarda kaydetmektedir. Ancak giysiler hareket halindeyken giyilmekte ve işlevsel performansları büyük ölçüde hareket sırasında belirlenmektedir. Hareket sırasında ardışık 3D geometrileri kaydeden dört boyutlu (4D) tarama, dinamik vücut-giysi etkileşiminin nicel olarak gözlemlenmesine olanak tanır. Statik formundaki 3D tarama, beden sistemi geliştirme, kalıp hazırlama, kişiye özel üretim, sanal prova ve kitlesel kişiselleştirme süreçlerini destekler. 4D tarama ise vücut şeklindeki dinamik değişimler, giysi deformasyonu ve yer değiştirmesi, vücut ile giysi hava boşluğu varyasyonları, hareket kısıtlaması ve basınç davranışı gibi parametreleri kaydederek bunları tamamlar. Bu parametreler özellikle spor giyim, koruyucu giysiler, kompresyon giysileri, tıbbi tekstiller ve diğer işlevsel giysilerin tasarımı için büyük önem taşır. Tarama teknolojilerinin başlıca avantajları arasında hızlı ve temassız ölçüm, yüksek yoğunluklu geometrik veri elde etme, iyileştirilmiş uyum değerlendirmesi ve fiziksel prototiplere olan bağımlılığın azaltılması yer alır. Bununla birlikte yüksek sistem ve yazılım maliyetleri, karmaşık veri işleme süreçleri, hareket kaynaklı sapmalar, anatomik referans noktalarının tespiti ve takibindeki zorluklar, birlikte çalışabilirlik sorunları ve veri gizliliği endişeleri, teknolojinin daha geniş çapta uygulanmasının önündeki önemli engeller olmayı sürdürmektedir. Genel olarak 4D tarama hareket sırasında giysi davranışını ve vücut ile giysi etkileşimini nicel olarak ölçülebilir kılarak statik antropometrinin kritik bir sınırlamasını aşmaktadır. Yapay zeka destekli veri işleme, akıllı telefon tabanlı tarama, dijital insan modelleme, sanal prova ve giyilebilir algılama teknolojileriyle birlikte bu gelişmeler, giysi geliştirme sürecini ağırlıklı olarak geometriye dayalı bedenleme yaklaşımından, veri odaklı ve dinamik uyum mühendisliğine doğru kaydırmaktadır. Bu geçiş süreci daha kişiselleştirilmiş, ergonomik, işlevsel ve kaynak açısından verimli tekstil ürünlerinin geliştirilmesi adına önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bu çalışma vücut tarama teknolojilerinin ilk dönemlerdeki lazer tabanlı sistemlerden günümüzdeki yüksek hızlı optik ve çok kameralı platformlara uzanan evrimini incelemektedir. Ayrıca tekstil ve hazır giyim alanında 3D ve 4D tarama teknolojilerinin uygulama alanlarını, avantajlarını ve sınırlamalarını ele almaktadır.
Anahtar kelimeler: 3D vücut tarama, 4D vücut tarama, giysi uyumu, sanal prova

Abstract
Three-dimensional (3D) body scanning has transformed anthropometric practice in the textile and apparel industry; however, it primarily captures the body only in static postures, whereas garments are worn and their functional performance is largely determined during movement. Four-dimensional (4D) scanning, which records sequential 3D geometries during movement, enables quantitative observation of dynamic body-garment interaction. In its static form, 3D scanning supports sizing - system development, pattern construction, made-to-measure production, virtual fitting, and mass customization. 4D scanning complements these capabilities by capturing dynamic changes in body shape, garment deformation and displacement, body-garment-air-gap variation, movement restriction, and compression behaviour – parameters of particular importance for sportswear, protective clothing, compression garments, medical textiles, and other functional apparel.
The principal advantages of these technologies include rapid non-contact measurement, high-density geometric data acquisition, improved fit assessment, and reduced reliance on physical prototypes. However, high system and software costs, complex data processing, motion artefacts, difficulties in anatomical landmark detection and tracking, interoperability issues, and data privacy concerns remain important barriers to wider implementation. Overall, 4D scanning addresses a critical limitation of static anthropometry by making garment behaviour and body-garment interaction during movement quantitatively measurable.

Together with artificial intelligence-assisted data processing, smartphone-based scanning, digital human modelling, virtual fitting, and wearable sensing, these developments are shifting garment development from predominantly geometry-based sizing toward data-driven dynamic fit engineering. This transition offers considerable potential for the development of more personalised, ergonomic, functional, and resource-efficient textile products. This study examines the evolution of body scanning technologies from early laser-based systems to current high-speed optical and multi-camera platforms and addresses the applications, advantages, and limitations of 3D and 4D scanning in the textile and apparel field.
Keywords: 3D body scanning, 4D body scanning, garment fit, virtual fitting

OKUL ÖNCESİ FEN EĞİTİMİ ALANINDAKİ LİSANSÜSTÜ TEZLERİN ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİNİN TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ AÇISINDAN İNCELENMESİ

RESEARCH TRENDS IN GRADUATE THESES ON PRESCHOOL SCIENCE EDUCATION: AN EXAMINATION THROUGH THE LENS OF THE CENTURY OF TURKIYE EDUCATION MODEL

Aydın SELLİOĞ
Science Education, Institute of Educational Sciences, Mersin University, Mersin, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0939-4769

Özet
Okul öncesi fen eğitimi, çocukların bilimsel düşünme becerilerinin geliştiği ve çevrelerini anlamlandırmaya başladıkları öğrenme alanıdır. Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de 2006–2026 yılları arasında okul öncesi fen eğitimi alanında tamamlanan lisansüstü tezlerin araştırma eğilimlerini belirlemek ve tez içeriklerini Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) bileşenleri açısından incelemektir. Nitel araştırma yaklaşımıyla yürütülen çalışmada doküman incelemesi kullanılmıştır. YÖK Ulusal Tez Merkezi'nde tam metnine erişilebilen ve belirlenen ölçütleri karşılayan 128 yüksek lisans ve doktora tezi içerik analiziyle çözümlenmiştir. Tezler bibliyografik ve yöntemsel özellikleri, araştırma konuları, katılımcı grupları, öğretim uygulamaları, dijital teknoloji kullanımı, araştırma boşlukları, hakemli makaleye dönüşme durumu ve TYMM bileşenleri temelinde kodlanmıştır. Bulgular, tez sayısının 2018 sonrasında arttığını ve çalışmaların %85,2'sinin yüksek lisans düzeyinde yürütüldüğünü göstermiştir. Nicel yöntem en sık kullanılan araştırma yöntemi olurken okul öncesi öğretmenleri ve çocuklar başlıca katılımcı gruplarını oluşturmuştur. Araştırma konuları ağırlıklı olarak fen öğretimi ve pedagojik uygulamalar, öğretmen bilgisi ve yeterliği ile bilimsel süreç ve fen alan becerilerinde yoğunlaşmıştır. Tezlerin %59,4'ünde planlı müdahaleye yer verilmediği, %41,4'ünden hakemli makale üretildiği belirlenmiştir. TYMM ile yapılan geriye dönük ilişkilendirmede fen bilimleri alan becerileri, öğrenci merkezli öğrenme, günlük yaşamla ilişkilendirme ve somut materyal kullanımı daha sık yer almıştır. Bilimsel gözlem, gözleme dayalı tahmin, sorgulama ve sınıflandırma yaygınken kanıt kullanma, model oluşturma, veriye dayalı tahmin, süreç odaklı değerlendirme, farklılaştırma ve erişilebilirlik sınırlı kalmıştır. Boylamsal çalışmaların, ebeveyn katılımının ve üretim odaklı dijital teknoloji kullanımının azlığı da belirgin araştırma boşlukları arasındadır. Bulgular, okul öncesi fen eğitimi alanındaki araştırma birikiminin geliştiğini; doktora düzeyinde, uzun süreli, kapsayıcı ve üst düzey fen becerilerine odaklanan yeni araştırmalara gereksinim bulunduğunu göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Okul öncesi fen eğitimi, lisansüstü tezler, araştırma eğilimleri, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, fen bilimleri alan becerileri, doküman incelemesi

Abstract
Preschool science education is a learning domain in which children develop scientific thinking skills and begin to make sense of their surroundings. This study aimed to identify research trends in graduate theses on preschool science education completed in Türkiye between 2006 and 2026 and to examine their content in relation to the components of the Century of Türkiye Education Model (CTEM). The study adopted a qualitative research approach and employed document analysis. A total of 128 master's and doctoral theses available in full text through the National Thesis Center of the Council of Higher Education (YÖK) and meeting the predetermined inclusion criteria were analyzed using content analysis. The theses were coded according to their bibliographic and methodological characteristics, research topics, participant groups, instructional practices, use of digital technologies, reported research gaps, publication as peer-reviewed articles, and associations with CTEM components. The findings showed that the number of theses increased after 2018 and that 85.2% were master's theses. Quantitative research was the most frequently used approach, while preschool teachers and children constituted the main participant groups. Research topics primarily focused on science teaching and pedagogical practices, teacher knowledge and competence, science process skills, and science domain skills. Planned interventions were absent in 59.4% of the theses, while 41.4% were confirmed to have resulted in peer-reviewed articles. The retrospective mapping of the theses to CTEM showed that science domain skills, student-centered learning, connections to everyday life, and the use of concrete materials were among the more prominent components.

Scientific observation, observation-based prediction, inquiry, and classification were relatively common, whereas evidence use, model construction, prediction based on scientific data, process-oriented assessment, differentiation, and accessibility were more limited. Longitudinal research, parental involvement, and the use of digital technologies for production-oriented purposes were also identified as notable research gaps. The findings indicate that the research base in preschool science education has expanded, while further doctoral-level, longitudinal, inclusive studies focusing on higher-order science skills are still needed.
Keywords: Preschool science education, graduate theses, research trends, Century of Türkiye Education Model, science domain skills, document analysis

YÜKSEK ANYONİK YÜKE SAHİP POLİFOSFAT KATKILARIN GENİŞ PVC ARALIĞINDAKİ SU BAZLI BOYALARDA AMBALAJ İÇİ KARARLILIK VE MİKROBİYOLOJİK AKTİVİTE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF HIGHLY ANIONIC POLYPHOSPHATE ADDITIVES IN WATERBORNE PAINTS OVER A WIDE PVC RANGE IN TERMS OF IN-CAN STABILITY AND MICROBIOLOGICAL ACTIVITY

R&D Manager Koray DEDEOĞLU
Marshall Boya ve Vernik Sanayi A.Ş., Kocaeli, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0001-9979-2364

Senior R&D Specialist Serkan YILMAZSÖNMEZ
Marshall Boya ve Vernik Sanayi A.Ş., Kocaeli, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-3548-3041

R&D Specialist Erdem AKYÜZ
Marshall Boya ve Vernik Sanayi A.Ş., Kocaeli, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0542-127X

Özet

Yüksek pigment hacim konsantrasyonuna (PVC, yaklaşık %85 ve üzeri) sahip su bazlı dekoratif boyalarda, ambalaj dolumunun ardından yüzeyde kuruma ve kabuk oluşumu, partikül gelişimi ile bulanıklaşma ve mikrobiyolojik bozulma sık karşılaşılan kararlılık sorunlarıdır. Bu sorunların önemli bir bölümü, mineral dolgulardan kaynaklanan eser düzeydeki çok değerlikli katyonların (başlıca Ca^{2+} ve Fe^{3+}) dispersant ve koruyucu sistemlerle etkileşerek kolloidal dengeyi bozmasıyla ilişkilendirilmektedir. Bu çalışmada, dolum sonrası yüzeye uygulanan water-float çözeltilerinde yüksek anyonik yük taşıyan iki polifosfatın, sodyum tripolifosfat (STPP) ve sodyum hekzametafosfatın (SHMP), katkısı; metal iyonu şelatlama ve pH tamponlama davranışları üzerinden değerlendirilmiştir. Çözeltiler farklı derişimlerde hazırlanmış, iç ve dış cephe formülasyonlarına standart koşullarda uygulanmış ve altı aya uzanan bir izleme takvimi boyunca ambalaj içi arayüzden numuneler alınmıştır. Değerlendirmede reolojik davranış (EN ISO 3219-2), partikül boyutu dağılımı (lazer difraksiyon/DLS), pH ve zeta potansiyeli izlenmiş; mikrobiyolojik dayanım ASTM D2574 kapsamında, hızlandırılmış ve donma-çözülme kararlılığı ise sırasıyla CIPAC MT 46.4 ve ISO 1147 yöntemleriyle incelenmiştir. Bulgular, anyonik polifosfat ilavesinin serbest çok değerlikli katyonları kompleksleştirerek partikül birikimini sınırladığına, düşük kayma hızı bölgesindeki reolojik sapmayı azalttığına ve pH'ı dar bir bantta tutarak koruyucu sistemin etkin çalıştığı aralığı genişlettiğine işaret etmektedir. Gözlenen etkinin derişime, polifosfat tipine ve dolgunun safsızlık profiline bağlı olduğu; bu nedenle uygun dozajın her formülasyon için ayrıca belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Çalışma, yüksek dolgulu su bazlı boyalarda ambalaj içi kararlılığın iyonik yük yönetimi çerçevesinde ele alınabileceğini göstermekte ve koruyucu madde yükünün azaltılmasına yönelik ileri araştırmalar için deneysel bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Su bazlı boya, yüksek PVC, polifosfat, kolloidal kararlılık, zeta potansiyeli, mikrobiyolojik dayanım

Abstract

In waterborne decorative paints with a high pigment volume concentration (PVC of approximately 85% and above), surface drying and skin formation, particle growth and haze development, and microbiological degradation are frequently encountered in-can stability problems after filling. A substantial part of these problems is associated with trace multivalent cations released from mineral extenders, mainly Ca^{2+} and Fe^{3+}, which interact with dispersant and preservative systems and disturb the colloidal balance. In this study, the contribution of two highly anionic polyphosphates, sodium tripolyphosphate (STPP) and sodium hexametaphosphate (SHMP), was evaluated in water-float solutions applied to the paint surface after filling, focusing on their metal ion chelation and pH buffering behaviour.

Solutions were prepared at different concentrations, applied to interior and exterior formulations under standardised conditions, and samples were taken from the in-can interface over a monitoring schedule extending to six months. Rheological behaviour (EN ISO 3219-2), particle size distribution (laser diffraction/DLS), pH and zeta potential were monitored; microbiological resistance was examined according to ASTM D2574, while accelerated and freeze-thaw stability were assessed using CIPAC MT 46.4 and ISO 1147, respectively. The findings indicate that the addition of anionic polyphosphates limits particle accumulation by complexing free multivalent cations, reduces rheological deviation in the low shear rate region, and keeps the pH within a narrow band, thereby widening the range in which the preservative system remains effective. The observed effect depends on concentration, polyphosphate type and the impurity profile of the extenders, so a suitable dosage must be determined for each formulation. The study shows that in-can stability in highly filled waterborne paints can be addressed within an ionic charge management framework and provides an experimental basis for further work on reducing preservative loading.

Keywords: Waterborne paint, high PVC, polyphosphate, colloidal stability, zeta potential, microbiological resistance

FARKLI SICAKLIK VE EKİM DERİNLİKLERİNDE BUĞDAY GENOTİPLERİNİN KOLEOPTİL UZUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF COLEOPTILE LENGTH IN WHEAT GENOTYPES UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND SOWING DEPTHS

Asst. Prof. Dr. Tuğba GÜLEÇ
Department of Plant and Animal Production, Vocational School of Technical Sciences, Karamanoğlu Mehmetbey University, Karaman, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1755-1082

Özet

Küresel iklim değişikliği kapsamında besinlerin ürettiği birim kalori için tükettikleri su miktarı önemlidir ve buğday kuraklığa tolerans çalışmalarının başında gelmektedir. Buğday yetiştiriciliğinde kuraklık zararından korunmak için bazı yetiştirme teknikleri uygulanır. Bu yetiştirme tekniklerinden birisi de özellikle kurak bölgelere derine ekim yapılmasıdır. Derine ekim yapılması toprak profilinde derinde bulunan suyun daha etkin değerlendirmesi ve güçlü bir kök sisteminin gelişmesi bakımından önemli iken, bunun sağlanabilmesi için çimlenen tohumun toprak yüzeyine çıkabilmesi için uzun bir koleoptile sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada, iki farklı sıcaklık ve 10 farklı ekim derinliğinde yetiştirilen ekmeklik buğday genotiplerinin koleoptil uzunlukları 3D yazıcı teknolojisi kullanılarak geliştirilen ve patenti alınan bir ekipmanla belirlenmiştir. Araştırmada materyal olarak 20 ekmeklik buğday genotipi kullanılmıştır. Genotipler 15 °C ve 20 °C sıcaklık, %70 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık koşullarında kontrollü olarak yetiştirilmiştir. Her genotip için on tohumdan oluşan üç tekerrürlü setler hazırlanmış ve koleoptilin ulaştığı en uzun kanalın uzunluğu ölçülerek koleoptil uzunluğu belirlenmiştir. Varyans analizi sonucunda genotip, sıcaklık ve derin ekim uygulamalarının koleoptil uzunluğu üzerinde önemli farklılıklara neden olduğu belirlenmiştir. Genotip × sıcaklık etkileşiminde 15 °C'de en yüksek koleoptil uzunlukları Kıraç66 (11,8 cm), Ak702 (11,6 cm) ve Topbaş (11,4 cm) genotiplerinde belirlenirken, 20 °C'de sırasıyla Kıraç66 (13,0 cm), Ak702 (12,6 cm) ve Topbaş (12,2 cm) öne çıkmıştır. Her iki sıcaklıkta da en düşük değerler Kaşıkçıbuğdayı genotipinde saptanmıştır. Genotip × derin ekim etkileşiminde en yüksek değer Kıraç66 genotipinin 13 cm derinlik uygulamasında 12,6 cm olarak belirlenmiştir. Bulgular, kullanılan 3D baskılı ekipmanın genotiplerin koleoptil uzunluğu ve erken çıkış özelliklerinin hızlı, pratik ve düşük maliyetli şekilde değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca ekipmanın erken gelişme açısından üstün genotiplerin belirlenmesine ve koleoptil uzunluğu ile ilişkili özelliklerin ıslah programlarında değerlendirilmesine katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Böylece özellikle kuraklık riskinin yüksek olduğu bölgelerde daha derin ekime uygun genotiplerin önceden belirlenmesi ve ıslah çalışmalarında zaman ve kaynak kullanımının azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ekmeklik Buğday, Koleoptil, Derin Ekim

Abstract

Within the context of global climate change, the amount of water consumed per unit calorie produced by food crops has become an important consideration, and wheat is among the major crops targeted in drought tolerance studies. Various agronomic practices are employed to mitigate the adverse effects of drought in wheat production. One such practice is deep sowing, particularly in drought-prone regions. Although deep sowing is important for more effective utilization of water available deeper in the soil profile and for the development of a strong root system, successful emergence from deep sowing requires seedlings to possess a long coleoptile capable of reaching the soil surface. In this study, coleoptile lengths of bread wheat genotypes grown at two different temperatures and ten sowing depths were determined using patented equipment developed with 3D printing technology. Twenty bread wheat genotypes were used as plant material. The genotypes were grown under controlled conditions at 15 °C and 20 °C, with 70% relative humidity, 16 h light and 8 h dark photoperiods. For each genotype, three replications consisting of ten seeds were prepared, and coleoptile length was determined by measuring the length of the deepest channel reached by the coleoptile tip. Analysis of variance revealed significant differences in coleoptile length among genotypes, temperatures, and deep-sowing treatments.

For the genotype × temperature interaction, the highest coleoptile lengths at 15 °C were observed in Kıraç66 (11.8 cm), Ak702 (11.6 cm), and Topbaş (11.4 cm), whereas at 20 °C, Kıraç66 (13.0 cm), Ak702 (12.6 cm), and Topbaş (12.2 cm) exhibited the highest values, respectively. The lowest values at both temperatures were recorded for Kaşıkçıbuğdayı. For the genotype × deep-sowing interaction, the highest coleoptile length was 12.6 cm in Kıraç66 under the 13 cm sowing-depth treatment. The findings demonstrated that the 3D-printed equipment used in this study can facilitate the rapid, practical, and cost-effective evaluation of coleoptile length and early emergence characteristics in wheat genotypes. Furthermore, the equipment can contribute to the identification of genotypes with superior early growth performance and the evaluation of coleoptile-related traits in breeding programs. Thus, it may help identify genotypes suitable for deeper sowing, particularly in regions with a high risk of drought, while reducing time and resource requirements in wheat breeding programs.
Keywords: Bread Wheat, Coleoptile, Deeper Sowing

Giriş

Beslenmedeki önemi ve hammadde olarak kullanıldığı ürün çeşitliliğine paralel olarak buğday büyük bir genoma ve zengin bir biyoçeşitliliğe sahiptir. Biyolojik ürün çeşitliliği, buğday ıslahı konusunda yapılan bilimsel araştırmaların özgünlük ve araştırma sonuçlarının ekonomik etkisini artırmaktadır. Küresel iklim değişikliği kapsamında besinlerin ürettiği birim kalori için tükettikleri su miktarı önemli bir kriter olmuştur. Bu kapsamda buğday kuraklığa tolerans çalışmalarının da odağındadır. Kuraklığa tolerans hedef bölgeye ve yetiştirme sezonuna göre önemli değişiklikler gösterir. Ayrıca tolerans mekanizması çevreden yüksek oranda etkilenir ve farklı çevrelerde farklı genetik özellikleri içeren karmaşık bir süreçtir (Chen vd., 2012; Richard vd., 2015). Buğday yetiştiriciliğinde bir genotipin kuraklığa toleransı birçok agronomik ve genetik özellik ile ilişkilendirilebilir.

Buğday yetiştiriciliğinde kuraklık zararından korunmak için bazı yetiştirme teknikleri uygulanır. Bu yetiştirme tekniklerinden birisi de özellikle kurak bölgelere derine ekim yapılmasıdır (Rebetzke vd., 2016). Derine ekim yapılması toprak profilinde derinde bulunan suyun daha etkin değerlendirmesi ve güçlü bir kök sisteminin gelişmesi bakımından önemli iken, bunun sağlanabilmesi için çimlenen tohumun toprak yüzeyine çıkabilmesi için uzun bir koleoptile sahip olması gerekmektedir (Kirby, 1993; Şentürk vd., 2012). Koleoptil uzunluğuyla ilgili çalışmalar bitki boyuyla ilişkili olarak yoğun bir şekilde yürütülmektedir ve özellikle ekim zamanı çalışmalarıyla kombine edilmektedir. Genel olarak uzun koleoptile sahip genotiplerin bitki boylarının da uzun olduğu bilinmektedir (Rebetzke vd., 2016; 2021). Ekim derinliğine karar verilmesinde temel özellik çeşidin koleoptil uzunluğudur (Rebetzke vd., 2021). Koleoptil, çimlenmeyle birlikte tohumdan çıkan ilk filizi çevreleyip koruyan kılıftır ve ekimden 7-14 gün sonra toprak yüzeyine çıkmaktadır (Mnyyenyembe, 1989; Sağlam, 2010). Buğdayda toprak yüzeyine başarılı bir çıkış için ekim derinliği koleoptil uzunluğundan daha fazla olmamalıdır. Çünkü koleoptil uzunluğundan daha derine ekilen tohumlar topraktan çıkamamakta ve sarı kıvrım problemi yaşanmaktadır (Mnyyenyembe, 1989; Sağlam, 2010). Dolayısıyla bu sorunun yaşandığı alanlarda optimum bitki sayısına ulaşılamamaktadır.

Koleoptil uzunluğunun ve fide çıkışının genetik temelinin anlaşılması, genetik altyapının yanı sıra toprak tekstürü, tohum bölgesindeki nem, sıcaklık, ışık gibi çevresel faktörlerin de dikkate alınmasıyla daha fazla araştırılmayı gerektirmektedir (Blackburn vd., 2021; Aydın vd., 2025). Koleoptil uzunluğuna yönelik fenotipleme çalışmalarında, bu önemli özelliği değerlendirmek amacıyla genellikle saksı kültürleri, çimlendirme kâğıdı testleri veya tarla ölçümleri gibi yöntemler kullanılmaktadır (Pound vd., 2013).

Günümüzde farklı disiplinlerdeki gelişmeler birbirinden etkilenmekte ve ekonomik çözümler ortaya çıkmaktadır. Bu gelişmelerden biri de 3D yazıcı teknolojisidir. Bu teknolojideki gelişmeler tüm ürün gruplarında kişisel olarak özelleştirilmesi ve sürdürülebilir bir üretim sağlamaktadır (Hausman ve Horne, 2014; Akbaba ve Akbulut, 2021). 3D baskı, kişisel olarak oluşturulan üç boyutlu modelin, katı bir şekilde 3D yazıcıdan çıktısının alındığı teknolojik işlemdir (Hornick, 2015; Arslan vd., 2018). 3D yazıcı teknolojileri günümüzde hızla gelişmekte ve yaygınlaşmaktadır. İlk uygulandığı zamanlarda sadece modelleme için kullanılan 3D yazıcılar, günümüzde otomotiv sektöründen sağlık sektörüne, havacılık ve uzay sektöründen gıda sektörüne kadar birçok alanda nerdeyse bütün mekanik parçaların basımında kullanılmaktadır (Saraçyakupoğlu, 2020; Akbaba ve Akbulut, 2021).

Özellikle son yıllarda ARGE çalışmaları yapan birçok kurumda, 3D yazıcılardan yararlanılarak daha hızlı ve ekonomik olarak materyal elde edilmekte, araştırmalara ve dolayısıyla ekonomiye önemli katkılar sağlanmaktadır. Genotiplerin koleoptil uzunluklarını kolay ve hızlı bir şekilde belirlemek için fenotipleme yöntemlerini kullanmak, ıslah çalışmaları için önemlidir. Bu çalışmada, 3D yazıcı kullanarak geliştirdiğimiz ve patentini aldığımız ekipman kullanılarak buğday genotiplerinin koleoptil uzunlukları iki farklı sıcaklık altında hızlı ve kolay bir şekilde belirlenmiştir. Ayrıca erken ve güçlü çıkış özelliğine sahip genotipler de belirlenmiştir.

Materyal ve Metod

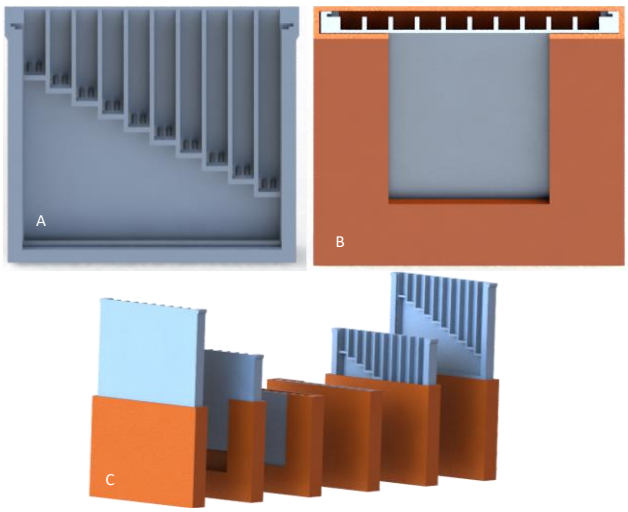
Çalışmada materyal olarak 20 adet ekmeklik buğday (*Triticum aestivum* L.) genotipi kullanılmıştır. Kullanılan genotipler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan ekmeklik buğday genotipleri

Sıra	Genotip	Sıra	Genotip
1	Yayla305	11	Gülümbür
2	Kıraç66	12	Kasıkcı Bugday
3	Akbuğday	13	Hatipbuğdayı
4	Albostan	14	Topbas
5	Göderedi	15	Kırık
6	Kamçı	16	Kırmızıbuğday
7	Karakılçık	17	Kobak
8	Şahman	18	Urumeli
9	Kocabuğday	19	Çalıbasan
10	Tosun21	20	Ak702

Koleoptil uzunluğu ölçüm ekipmanı

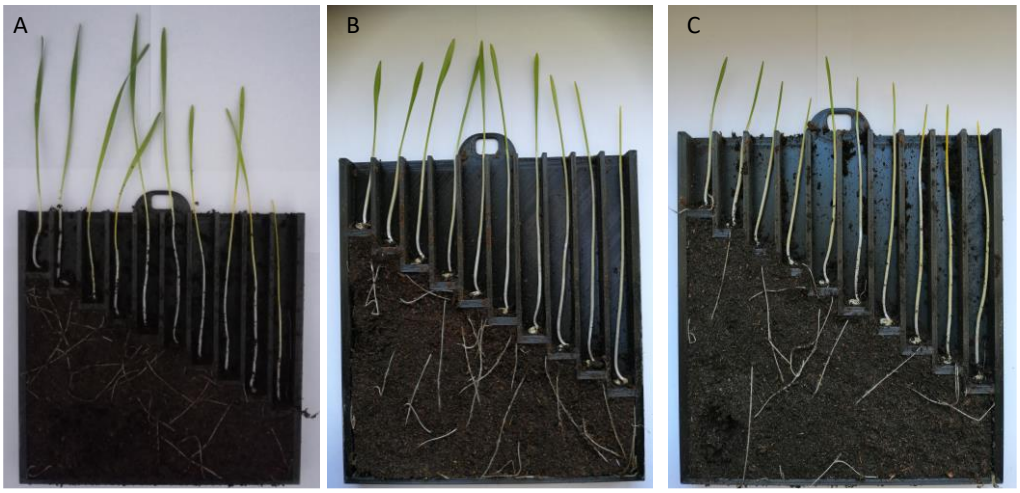
Koleoptil uzunluğunu belirlemek için tasarlanan ekipmanın çizimleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Ekipman 18 cm boy ve 19,4 cm ene sahiptir. Ekipmanın çimlendirme kanalları 4 cm derinlikten başlayım birer cm artırılarak 13 cm derinliğe kadar artan 10 adet kanaldan oluşmaktadır. Tohum ekim kısımlarının eni bir buğday tohumu rahatlıkla ekilebilecek şekilde 1,45 cm olarak belirlenmiştir. Köklerin rahatlıkla uzayabilmeleri için kanal diplerinde delikler oluşturulmuştur. Ekimi yapılacak tohumların elek değeri 2,5-2,8 mm arasındadır. Plaka 20x18x1,9 cm^3 iç hacime ve 0,4 cm kalınlığına sahip kapak ile kapatılarak köklerin karanlıkta büyümesi sağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Ekipmanın Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından patenti alınmıştır (Aydin vd., 2023).



Şekil 1: A: Koleoptil uzunluğunun belirleneceği ekipmanın iç görüntüsü, **B:** Koleoptil uzunluğunun belirleneceği ekipmanın kapaklı fotoğrafı, **C:** Koleoptil uzunluğunun belirleneceği ekipmanın farklı açılardan açık ve kapalı görüntüsü

Genotiplerin koleoptil uzunluğunun belirlenmesi

20 buğday genotipi ekilmeden önce, her bir plaka yaklaşık 120 g Klasmann TS1 torf ile doldurulmuş ve her genotipe ait on tohum belirlenmiş kanallara yerleştirilmiştir (Şekil 2). Tohumlar, embriyoları yukarı bakacak şekilde plakanın yan tarafına yatay olarak yerleştirilmiştir. Sulamalar yapılmış ve çimlenme, Daihan ThermoStable GC-459 model bitki büyütme kabininde, 15 °C ve 20 °C sıcaklıklarda, %70 nem, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık koşulları altında kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Toprak sıcaklığından etkilenen koleoptil uzunluğu, sıcaklık arttıkça genellikle %50 oranında azalmaktadır (Murphy vd., 2008). Bu nedenle, doğru koleoptil uzunluğu ölçümleri için 15 °C optimum sıcaklık olarak belirlenmiştir (Mohan vd., 2013). Tohumlar her gün kontrol edilmiş ve koleoptil ucunun ortaya çıkmasıyla birlikte koleoptilin çıkış tarihi kaydedilmiştir. Her genotipin koleoptilinin çıktığı en uzun kanalın uzunluğu, o genotipin koleoptil uzunluğu olarak belirlenmiştir. Her genotipteki 10 tohumlu set, üç tekerrür şeklinde yapılmıştır.



Şekil 2: A: Koleoptil uzunluğu 9.7 cm olan genotip, **B:** Koleoptil uzunluğu 11.4 cm olan genotip, **C:** Koleoptil uzunluğu 13.3 cm olan genotip

Araştırma Bulguları ve Tartışma

Koleoptil ölçümleri için tüm tohumların çimlenmesi ve sürgünün toprak yüzeyine çıkması beklendi. Bu süre, sıcaklığa ve çeşide göre değişiklik göstermiştir. Koleoptilleri toprak yüzeyine ulaşan tohumlar ile toprak altında kalan tohumlar belirlendi.

Varyans analizi, koleoptil uzunluğu bakımından genotip ve sıcaklık uygulamaları arasında önemli farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur (Tablo 3). Genotip×Sıcaklık (G×T) etkileşimlerine ilişkin ortalama değerler incelendiğinde, 15 °C sıcaklıkta en yüksek koleoptil uzunluğu sırasıyla (11.8 cm, 11.6 cm ve 11.4 cm) Kıraç66, Ak702 ve Topbaş genotiplerinde, en düşük koleoptil uzunluğu ise (7 cm) Kaşıkçıbuğday genotipinde gözlenmiştir. Buna karşılık, 20 °C sıcaklıkta en yüksek koleoptil uzunluğundaki en yüksek koleoptil uzunluğu sırasıyla (13 cm, 12.6 cm ve 12.2 cm) yine Kıraç66, Ak702 ve Topbaş genotiplerinde, en düşük koleoptil uzunluğu ise (7.8 cm) Kaşıkçıbuğday genotipinde gözlenmiştir (Tablo 2).

Genotip×Derin ekim (G×D) etkileşimleri açısından, en yüksek koleoptil uzunluğu (12.6 cm), Kıraç66 genotipi ile 13 cm derinliğinde yapılan ekim uygulamasının etkileşiminde gözlenmiştir. Buna karşılık, en düşük koleoptil uzunluğu (4.03 cm), Kaşıkçıbuğdayı genotipi ile 4 cm derinliğinde yapılan ekim uygulamasının etkileşiminde bulunmuştur. Sıcaklık×Derin ekim (T×D) etkileşimleri açısından, en yüksek koleoptil uzunluğu (11.3 cm), 15 °C sıcaklık ile 13 cm derinliğinde yapılan ekim uygulamasının etkileşiminde belirlenmiştir. En yüksek koleoptil uzunluğu (13.5 cm), 20 °C sıcaklık ile 11 cm derinliğinde yapılan ekim uygulamasının etkileşiminde belirlenirken, en düşük koleoptil uzunluğu (3,8 cm), 20 °C sıcaklık ile 4 cm derinliğinde yapılan ekim uygulamasının etkileşiminde bulunmuştur. Koleoptil uzunluğu açısından farklı sıcaklıklar ve derin ekim uygulamaları değerlendirildiğinde, çalışmamız Kıraç66, Ak702 ve Topbaş'ın en iyi performans gösteren genotipler olduğunu, Kaşıkçıbuğdayı'nın ise en düşük koleoptil uzunluğunu sergilediği belirlenmiştir.

Tablo 2. Genotiplerin 15 °C ve 20 °C sıcaklıklarda ortalama koleoptil uzunlukları

Genotip	15 °C'de Koleoptil uzunluğu ort.	20 °C'de Koleoptil uzunluğu ort.	Genotip	15 °C'de Koleoptil uzunluğu ort.	20 °C'de Koleoptil uzunluğu ort.
Yayla305	10.6	11.7	Gülümbür	10.6	11.3
Kıraç66	11.8	13	Kasıkcı Bugday	7	7.8
Akbuğday	9.7	10.2	Hatipbuğdayı	10.2	10.8
Albostan	8.4	8.6	Topbas	11.4	12.2
Göderedi	8.3	8.5	Kırik	9.7	10.4
Kamçı	8.1	9.3	Kırmızıbuğday	8.6	9.4
Karakılçık	9.8	10.6	Kobak	10.3	10.6
Şahman	8.5	8.6	Urumeli	8.5	9
Kocabuğday	11.1	11.8	Çalıbasan	9.8	10.8
Tosun21	9.6	9.3	Ak702	11.6	12.6

Tablo 3. Varyasyon analizi

Kaynak	DF	SM	F Ratio	Prob > F
Genotip	19	239,63333	22,1734	<,0001*
Sıcaklık	1	15,40833	27,0891	<,0001*
GentipxSıcaklık	19	4,27833	11,2654	<,0001*
Tekerrür	2	2,05350	1,8051	0,1713

***** $p < 0,05$ olasılık düzeyinde anlamlıdır,****** $p < 0,01$ olasılık düzeyinde anlamlıdır, DF: degrees of freedom, SM: sum of square

Koleoptil uzunluğu, başarılı büyüme için kritik olan optimum tohum ekim derinliğini belirlediğinden, buğday fidelerinin oluşumunu önemli ölçüde etkilemektedir (Mohan vd., 2013; Gao vd., 2024) Önceki çalışmalar, koleoptil uzunluğunun poligenik olarak kontrol edildiğini ve yüksek kalıtılabilirliğe ve güçlü additif etkilere sahip olduğunu göstermektedir (Murphy vd., 2008). Çalışmada sıcaklık uygulamaları ve derin ekim uygulamaları koleoptil uzunluğu açısından önemli farklılıklar göstermiştir. Genotipler arasında Kıraç66 en uzun koleoptillere sahipken, Kaşıkçıbuğdayı en kısa koleoptillere sahip olmuştur. Dikkat çekici olarak, koleoptil uzunluğu 20°C sıcaklıkta ve 11 cm ekim derinliğinde en yüksek düzeye ulaşmıştır. Genotip ve sıcaklık arasındaki iki yönlü etkileşimler sıcaklık ile koleoptil gelişimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Artan sıcaklıklarla birlikte koleoptil uzunluğu sabit kalan veya artan genotipler, çeşitli ekim koşulları için ideal niteliktedir. Albostan, Göderedi, Şahman, Tosun21 ve Kobak genotiplerinde koleoptil uzunlukları sıcaklık değişiminden önemli derecede etkilenmemiştir.
Koleoptil uzunluğundaki varyasyon, bunun ekim derinliği ile olan ilişkisini ortaya koymakta ve bu durum erken gelişim ve çevresel streslere dayanıklılık açısından kritik önem taşımaktadır (Mohan vd., 2013; Rebetzke vd., 2016). Daha uzun koleoptillerin seçilmesi, çimlenme için toprak altındaki neme ulaşmak amacıyla daha derin ekim yapılmasına olanak sağlamaktadır. Böylece çıkış ve tane verimi garanti alınabilir. Ayrıca, tohumları don gibi zararlardan koruyarak kuraklık koşullarında suyun daha iyi kullanılmasını ve daha iyi çıkışın gerçekleşmesini sağlamaktadır (Zhao vd., 2022) Bunun yanında, daha uzun koleoptiller genellikle daha uzun bitkilerle ilişkilendirilmekte olup, bu durum her zaman arzu edilen bir özellik değildir (Aydın vd., 2025). Daha uzun koleoptillere ve daha kısa bitki boyuna sahip yeni buğday çeşitlerinin geliştirilmesi, ıslah ve üretimde önemli değişiklikler sağlayabilir.
Koleoptil uzunluğunun manuel olarak ölçülmesi tarımsal araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak zaman alması, yoğun iş gücü gerektirmesi ve insan hatasına açık olması, işlemler sırasında mekanik zararlanmaların meydana gelmesi gibi çeşitli dezavantajlara sahiptir. Ayrıca modern ıslah programlarında binlerce genotiple çalışıldığında manuel yöntemler yetersiz kalmaktadır ve bu durum yüksek kapasiteli fenotipleme teknolojilerine ihtiyaç oluşturmuştur.

Çalışmada kullanılan ekipman, görüntü işleme programlarına veya deneyimli personele ihtiyaç duyulmadan, eşzamanlı ve farklı çevre koşullarında ölçüm yapılmasını sağlamıştır. Yapılan ön çalışmalarda, genotiplerin hem manuel olarak hem de çalışmada kullanılan ekipmanla yapılan ölçümlerinde benzer sonuçlar alınmıştır.

Sonuç

Bu çalışma, 3D baskı teknolojisinin kullanılarak farklı sıcaklık koşulları altında buğdayda koleoptil fenotiplemesi yapılacağını ortaya koymuştur. Dünyada bitki araştırmalarında fenotipleme çalışmalarında önemli gelişmeler yaşanmaktadır. Özellikle bu çalışmaların yetiştirme sezonundan bağımsız olarak yürütülmesi ve arazi denemelerinden önce genotipler hakkında değerli bilgilerin üretilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, fenotiplemede en verimli ve basit yaklaşımlardan biri olarak kabul edilen şeffaf saksı yöntemine benzer amaçla 3D yazıcı kullanılarak tasarlanmış ekipmandan yararlanılmıştır. Ekipmanın kompakt ve taşınabilir tasarımı, farklı iklim koşullarında fenotipleme yapılmasına olanak sağlamakta ve çok sayıda genotipin analiz edilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca erken ve güçlü gelişme gösteren buğday genotipleri daha kolay ve hızlı belirlenmesini sağlamıştır. Koleoptillerle eş zamanlı olarak kök uzunluğu, yoğunluğu ve sürgün uzunluğu gibi farklı parametreler de aynı anda belirlenebilmektedir. Böylece farklı koşullar altında buğday performansının iyileştirilmesine odaklanan ıslah çalışmalarında kullanılabilir. Sonuçlar, koleoptil özelliklerinde genotipik varyasyonlar bulunduğunu; Kıraç66, Ak702 ve Topbaş'ın koleoptil uzunluğu bakımından üstün performans gösterdiğini, Kaşıkçıbuğdayı'nın ise daha zayıf performans sergilediğini ortaya koymuştur. 3D baskı kullanılarak geliştirilen bu yöntem, ıslah süreçlerini hızlandırmakta ve koleoptille ilişkili QTL'lerin belirlenmesi için haritalama popülasyonlarının oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Böylece dayanıklı genotiplerin seçimini kolaylaştırmakta ve tarımsal verimliliğin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca özellikle kuraklık riskinin yüksek olduğu bölgelerde daha derin ekime uygun genotiplerin önceden belirlenmesi ve ıslah çalışmalarında zaman ve kaynak kullanımının azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

Akbaba, A. İ. & Akbulut, E. (2021). 3 Boyutlu yazıcılar ve kullanım alanları. *ETÜ Sentez İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 3,* 19-46.

Arslan, N., Yaylacı, B., Eyüpoğlu, N. & Kürtüncü, M, (2018). Sağlıkta Gelişen Teknoloji: Üç Boyutlu Yazıcılar. *International Journal of 3D Technologies and Digital Industry, 2,* 99-110.

Aydın, N., Güleç, T. & Sönmez M. S. (2022). Equipment for determining coleoptile length in plants. *Patent No: TR 005805 B 2023* (Turkish patent andtrademark office): Türkiye

Aydın, N., Sönmez, M. E., Güleç, T., Demir, B., Alipour, H. & Türkoğlu, A. (2025). High-throughput phenotyping of wheat root angle and coleoptile length at different temperatures using 3D-printed equipment. *BMC Plant Biol., 25*(1), 112.

Blackburn, A., Sidhu, G., Schillinger, W. F., Skinner, D. & Gill, K. (2021). QTL mapping using GBS and SSR genotyping reveals genomic regions controlling wheat coleoptile length and seedling emergence. *Euphytica, 217*(3), 45.

Chen, Y. L., Dunbabin, V. M., Diggle, A. J., Siddique, K. H. M. & Rengel, Z. (2012). Assessing variability in root traits of wild Lupinus angustifolius germplasm: basis for modelling root system structure. *Plant Soil, 354,*141-55.

Gao, S., Su, Z., Ma, J., Ma, J., Liu, C., Li, H. & Zheng, Z. (2024). Identification of a novel and plant height-independent QTL for coleoptile length in barley and validation of its effect using near isogenic lines. *Theor Appl Genet., 137*(3), 53.

Hausman, K. K. & Horne, R. (2014). 3D printing for dummies", Somerset, *NJ: John Wiley&Sons, 2,* 14.

Hornick, J. (2015). 3D Printing Will Rock The World", South Carolina: *Create Space Independent Publishing Platform.*

Kirby, E. J. M. (1993). Effect of sowing depth on seedling emergence, growth ve development in barley ve wheat. *Field Crops Res., 39,* 101-111.

Mnyyenyembe, P. H. (1989). Genotypic and envirormental effect on coleoptile length and sub crown internod elength in wheat. *Master Theses, Crop and Soil Envirormental Sciences Dept. Teksas University.*

Murphy, K., Balow, K., Lyon, S. & Jones, S. (2008). Response to selection, combining ability and heritability of coleoptile length in winter wheat. *Euphytica, 64,* 709-18. Mohan, A., Schillinger, W. F. & Gill, K. S. (2013). Wheat seedling emergence from deep planting depths and its relationship with coleoptile length. *PLoS ONE, 8*(9), e73314.

Pound, M. P., French, A. P., Atkinson, J. A., Wells, D. M., Bennett, M. J. & Pridmore, T. (2013). RootNav: navigating images of root architectures. *Plant Physiol., 162*(4), 1802-14.

Rebetzke, G. J., Zheng, B. & Chapman, S. C. (2016). Do wheat breeders have suitable genetic variation to overcome short coleoptiles and poor establishment in the warmer soils of future climates? *Funct Plant Biol, 43*(10), 961-72.

Rebetzke, G., Fletcher, A. & Micin, S. (2021). On-farm assessment of new long-coleoptile wheat genetics *Crop and Pasture Science, 71,* 128-133.

Richard, C. A., Hickey, L. T., Fletcher, S., Jennings, R., Chenu, K. & Christopher, J. T. (2015). Highthroughput phenotyping seminal root traits in wheat. *Plant Methods, 11(1),* 13.

Sağlam, S. (2010). Tarla Bitkileri Yetiştirme II, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fak. Ders Notları.

Saraçyakupoğlu, T. (2020). Havacılık Endüstrisinde 3 Boyutlu Üretim Uygulamalarının Uçuşa Elverişlilik Kural ve Düzenlemelerine Göre Değerlendirilmesi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 4(1),* 53-65.

Şentürk, Ş., Bolat, N., Yorgancılar, A., Kılınç, A. T. &Yuksel, S. (2012). Serin İklim Tahıllarında Bazı Tür ve Çeşitlerin Koleoptil Uzunluğunun Belirlenmesi. *Tarım Araştırma Dergisi, 1,* 86-89.

Zhao, Z., Wang, E., Kirkegaard, J. A. & Rebetzke, G. J. (2022). Novel wheat varieties facilitate deep sowing to beat the heat of changing climates. *Nat Clim Chang, 12*(3), 291-6

THE EFFECTS OF GREENHOUSE GASES ON GLOBAL WARMING AND CLIMATE CHANGE

Asst. Prof. Dr. Hakan ÇELİKTEN
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Kafkas University, Kars, Türkiye; Department of Interdisciplinary Biotechnology, Institute of Science, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8793-5631

Özet
Sera gazları (GHG'ler), gezegenin yüzeyinden yayılan ısı enerjisini absorbe eden ve Dünya atmosferinde uzun süre kalan bir gaz kategorisidir. Karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), nitröz oksit (N_2O) ve florlu gazlar (hidroflorokarbonlar, perflorokarbonlar, kükürt heksaflorür ve azot triflorür vb.) önemli sera gazları arasında yer almaktadır. Doğal sera etkisi yaşam için gerekli olsa da insan faaliyetleri sonucunda bu gazların atmosferdeki miktarının artması, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin temel nedenlerinden biri haline gelmiştir. Dünya nüfusunun artması ve sanayinin gelişmesine paralel olarak fosil yakıtların yoğun kullanımı, ormansızlaşma, sanayi faaliyetleri ve tarımsal üretim sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde artırmıştır. Atmosferde biriken bu gazlar, Dünya'dan uzaya yayılması gereken ısının bir bölümünü tutarak sıcaklıkların yükselmesine neden olmaktadır. Bu durum küresel ortalama sıcaklıkların artmasına ve iklim sisteminin dengesinin bozulmasına yol açmaktadır. Küresel ısınmanın etkileri günümüzde daha belirgin şekilde hissedilmektedir. Buzulların erimesi, deniz seviyesinin yükselmesi, kuraklıkların artması, aşırı hava olaylarının sıklaşması ve biyolojik çeşitliliğin azalması bu etkilerin başlıcalarıdır. Ayrıca su kaynaklarının azalması, tarımsal üretimin olumsuz etkilenmesi ve insan sağlığı üzerinde çeşitli risklerin ortaya çıkması da iklim değişikliğinin önemli sonuçları arasında yer almaktadır. Sonuç olarak, sera gazlarının kontrol altına alınması küresel ısınmanın yavaşlatılması ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, enerji verimliliğinin artırılması ve doğal ekosistemlerin korunması bu mücadelede etkili çözüm yolları arasında bulunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Sera gazları, küresel ısınma, iklim değişikliği

Abstract
Greenhouse gases (GHGs) are a category of gases that absorb heat energy emitted from the planet's surface and remain in the Earth's atmosphere for extended periods. Carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), and fluorinated gases (hydrofluorocarbons, perfluorocarbons, sulfur hexafluoride, and nitrogen trifluoride, etc.) are among the major greenhouse gases. While the natural greenhouse effect is essential for life, the increase in the amount of these gases in the atmosphere as a result of human activities has become one of the main causes of global warming and climate change. The intensive use of fossil fuels, deforestation, industrial activities, and agricultural production, parallel to the increase in the world's population and industrial development, have significantly increased greenhouse gas emissions. These gases accumulating in the atmosphere trap a portion of the heat that should be radiated from the Earth into space, causing temperatures to rise. This leads to an increase in global average temperatures and disrupts the balance of the climate system. The effects of global warming are felt more acutely today. The melting of glaciers, rising sea levels, increased droughts, more frequent extreme weather events, and decreased biodiversity are among the main effects. Furthermore, the depletion of water resources, negative impacts on agricultural production, and the emergence of various risks to human health are also significant consequences of climate change. Consequently, controlling greenhouse gases is crucial for slowing global warming and mitigating the negative effects of climate change. The use of renewable energy sources, increased energy efficiency, and the protection of natural ecosystems are effective solutions in this fight.
Keywords: Greenhouse gases, global warming, climate change

Introduction
With the growth of the world's population and the acceleration of industrialization, global energy demand has risen significantly, and global energy consumption has increased by 50% over the past few decades (Bozkaya, Ş., et al., 2025).

The limited nature of energy resources and the rise in environmental pollution linked to energy consumption pose serious threats both at the national level and to human societies (Candra, O., et al., 2023). In particular, greenhouse gas emissions resulting from energy production and consumption are causing climate change. Climate change leads to significant environmental problems such as global temperature rise, the melting of glaciers and polar ice caps, rising sea levels, loss of biodiversity, extreme weather events, and the emergence of countless diseases (Kumar et al., 2021). For this reason, governments, academics, and individuals are now focusing more on the impacts caused by greenhouse gas emissions and on how these emissions can be reduced (Wang et al., 2022).

The primary greenhouse gases are carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), chlorofluorocarbons (CFCs), water vapor (H_2O), and ozone (O_3). Carbon dioxide is the gas that contributes most significantly to global warming (Liu, Y., et al., 2023). However, N2O and CH4 emissions are a greater cause for concern because, on a 100-year timescale, they have a global warming potential 298 and 28 times higher than that of carbon dioxide, respectively (Fagodiya, R. K., et al. 2022). There have been significant increases in greenhouse gas concentration levels from the pre-industrial era to the present. While the human-induced CO_2 contribution comes primarily from secondary and tertiary industries, the burning of fossil fuels has also significantly increased atmospheric carbon dioxide concentrations over the past two centuries (Soeder, D. J., 2021; Liu, Y., et al., 2023). For CH_4 and N_2O, agriculture and livestock including soil nutrient management, animal digestion, and manure management are major sources of emissions (Liu, Y., et al., 2023). Globally, CFCs have been used in many different applications, including as propellants for aerosols, refrigerants, foaming agents for plastics, and solvents in chemical and pharmaceutical manufacturing processes (Blake, D., 1989). Although CFCs are present in much lower quantities in the atmosphere compared to other greenhouse gases, they are the second most potent greenhouse gas after carbon dioxide.

This study aims to examine the sources of greenhouse gases, their effects on global warming and climate change, and the strategies developed to combat this problem. Gaining more information about the increase in greenhouse gas emission concentration levels, their environmental impacts, and their physicochemical interactions will be a crucial step in developing effective solutions to the problem of global warming and climate change.

Materials and Methods

This study followed a qualitative and quantitative research method based on secondary data analysis and literature synthesis to reveal the causal relationship between greenhouse gas emissions and global temperature increase. The main materials of the study consist of the US Environmental Protection Agency's Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2022, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) assessment reports, and international peer-reviewed academic studies published in recent years.

This study investigated the changes in greenhouse gas concentrations and their contributions to global average surface temperature. The cumulative impact of greenhouse gases on the climate system was examined using current emission scenarios.

Findings and Discussion

Human activities such as fossil fuel combustion, cement production, land use, land-use change, and forestry, agriculture, and waste management can alter global average atmospheric concentrations of greenhouse gases by causing additional emissions or captures. Fossil fuel combustion, deforestation, and industrial activities are particularly highlighted as human activities that increase the concentration of these gases (Bajoria, A., et al., 2024). Furthermore, increased industrial production to meet the demand for basic necessities such as food, clothing, and shelter due to population growth, the use of agro-chemical products and various chemical fertilizers in agriculture, and the decomposition and incineration of waste in landfills are also significant factors increasing greenhouse gas emissions (Mikhaylov, A., et al., 2020). Atmospheric concentrations, growth rates, and atmospheric lifetimes of greenhouse gases are presented in Table 1.

Table 1. Global atmospheric concentration levels and atmospheric lifetimes of some greenhouse gases (adapted from the U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2022).

Atmospheric Variability	**CO_2 (ppm)**	**CH_4 (ppm)**	**N_2O (ppm)**	**SF_6 (ppt)**	**CF_4 (ppt)**
Pre-industrial atmospheric concentration	280	0.730	0.270	0.01	34.1
Atmospheric concentration (values presented are global 2022 annual average mole fractions)	419	1.912	0.336	11.02	85.5
Atmospheric lifetime (years)	*	11.8	109	1,000	50,000

For a given amount of CO_2 released, a portion of the increase in atmospheric concentration is rapidly absorbed by oceans and terrestrial vegetation; a portion of the increase in the atmosphere slowly decreases over years; and a small portion of the increase persists for centuries or longer.

Table 1 shows that when examining the global average atmospheric concentration levels in 2022, CO_2, CH_4, and N_2O concentrations increased by 419, 1.912, and 0.336 ppm, respectively, compared to previous years. The main sources in the atmosphere are energy production, the consumption of fossil fuels in industry and transportation, agricultural activities, forest fires, and volcanic activity. Methane emissions also originate from energy-industrial activities, fertilizer management, solid waste landfills, and natural gas and oil systems. Nitrous oxide, which causes the greenhouse effect, is released into the atmosphere from oceans and the use of nitrogen fertilizers in agriculture. Halocarbons, which are chlorofluorocarbons and hydrochlorofluorocarbons that significantly contribute to the greenhouse effect globally, are chemical compounds released as a result of industrial activities. The atmospheric concentration levels of greenhouse gases before and after the industrial revolution are shown in Figure 1.

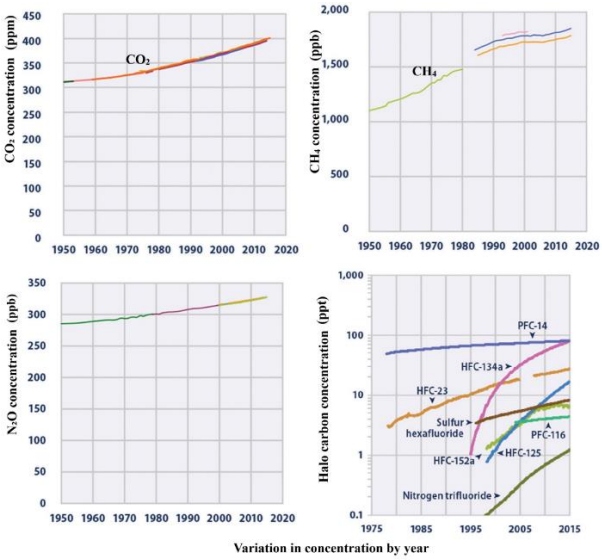


Figure 1. Changes in atmospheric concentrations of some greenhouse gases over the years (Audi, M., et al., 2020).

When examining greenhouse gas concentrations in the atmosphere between 1950 and 2015, it is observed that CO_2 concentration increased from approximately 300 ppm to 400 ppm. CH_4 emissions, which were 1.51 ppb in the 1980s, reached approximately 1.90 ppb in 2019. Similarly, the concentration of N_2O, another significant greenhouse gas, reached 332 ppb in 2019 (IPCC, 2023). Significant increases in still carbon concentrations have also been observed over the years. It has been definitively established that the observed increases in well-mixed greenhouse gas concentrations in the atmosphere since approximately 1950 are due to greenhouse gas emissions from human activities (IPCC, 2023).
Today, the increase in greenhouse gas concentrations in the atmosphere has led to a greater retention of solar energy in the atmosphere as heat (thermal infrared) radiation, resulting in an increase in the global average surface temperature of the Earth (Dilmore, R., & Zhang, L. 2017).

The main causes of the greenhouse effect, which is expressed as an increase in the Earth's surface temperature, are the use of fossil fuels such as coal, oil, and natural gas in industry; emissions from transportation; deforestation and destruction of vegetation due to forest fires; and increased carbon emissions (Mikhaylov, A., et al., 2020). The increase in global surface temperatures due to the increase in greenhouse gas concentration levels is shown in Figure 2.

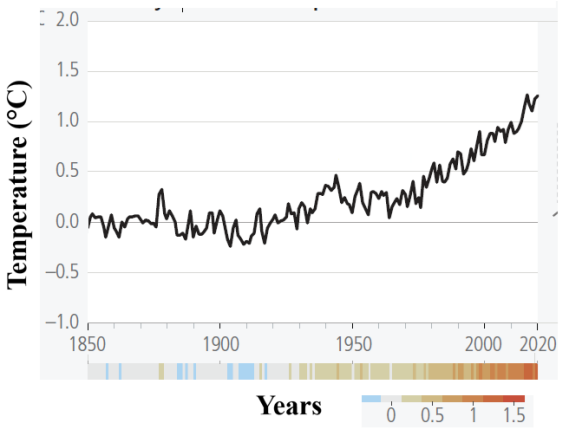


Figure 2. Changes in global surface temperature over the years (taken from the IPCC, 2023 report).

According to the IPCC 2023 Report, global surface temperature in the period 2011–2020 was approximately 1.1°C above the 1850–1900 average (1.09 [0.95–1.20] °C). This increase is greater over land (1.59 [1.34–1.83]°C) than over oceans (0.88 [0.68–1.01] °C). The possible range of human-induced global surface temperature increase between 1850–1900 and 2010–2019 is between 0.8 °C and 1.3 °C, with a best estimate of 1.07 °C. Well-mixed greenhouse gases are estimated to have contributed between 1.0 °C and 2.0 °C to global warming (IPCC, 2023).

Due to the increase in greenhouse gas concentrations, numerous changes have been observed in climate systems, including increased land and sea surface air temperatures, increased frequency and intensity of extreme weather events such as extreme rainfall, melting of ice sheets, sea level rise, and ocean acidification (Audi, M., et al., 2020). Furthermore, the increase in these gases can also have negative effects on human health and food security. It has been stated that transitioning to renewable energy, increasing energy efficiency in industry, promoting sustainable agricultural practices, and reforestation are fundamental methods to prevent the negative consequences of the increase in greenhouse gases (Filonchyk, M., et al., 2024). The effective use of renewable energy sources, digital transformation, and innovations in green technology are considered important elements in reducing carbon emissions and ensuring the transition from traditional energy sources to clean energy in energy production and consumption processes (Dimian, G. C., et al., 2026). Promoting the use of electric vehicles also has significant potential for reducing greenhouse gas emissions from transportation (Challa, R., et al., 2022).

Conclusion and Recommendations

The increase in energy consumption, parallel to the growth of the world's population and the development of industry, is causing an increase in the concentration levels of greenhouse gases in the atmosphere. Today, this situation results in global warming and climate change. The increases in global average surface and sea water temperatures due to global warming are causing disruptions to climate systems and negatively impacting ecosystems. Due to the increase in average temperatures worldwide, many problems are occurring, including an increase in the frequency and intensity of extreme weather events such as extreme rainfall and droughts, melting of ice sheets and rising sea levels, loss of agricultural production and biodiversity, an increase in forest fires, and consequently, negative impacts on human health. To mitigate the negative effects of global warming and climate change, it is crucial to use renewable energy sources instead of fossil fuels, increase energy efficiency through digital transformation, protect natural resources, prevent excessive consumption, and increase forested areas.

Furthermore, it is recommended that countries, governments, local administrations, and financial institutions support the implementation of technological innovations, national and international regulations and standards, and greenhouse gas reduction programs.

Thanks and Information Note
The author acknowledges the publicly available reports and datasets used in this study.

References

Audi, M., Ali, A., & Kassem, M. (2020). Greenhouse gases: A review of losses and benefits. *International Journal of Energy Economics and Policy*, *10*(1), 403-418.

Blake, D. (1989). Methane, CFCs, and other Greenhouse gases.

Bajoria, A., Kanpariya, J., & Bera, A. (2024). Greenhouse gases and global warming. In Advances and technology development in greenhouse gases: emission, capture and conversion (pp. 121-135). *Elsevier*.

Bozkaya, Ş., Duran, F., & Bekun, F. V. (2025). How Do Resource Efficiency and Environmental Innovation Affect Greenhouse Gas Emissions? Evidence From E-7 Countries. *Environmental Quality Management*, 34(3), e70060.

Candra, O., Chammam, A., Alvarez, J. R. N., Muda, I., & Aybar, H. Ş. (2023). The impact of renewable energy sources on the sustainable development of the economy and greenhouse gas emissions. *Sustainability*, 15(3), 2104.

Challa, R., Kamath, D., & Anctil, A. (2022). Well-to-wheel greenhouse gas emissions of electric versus combustion vehicles from 2018 to 2030 in the US. *Journal of Environmental Management*, *308*, 114592.

Dilmore, R., & Zhang, L. (2017). Greenhouse gases and their role in climate change. *Greenhouse Gases and Clay Minerals: Enlightening Down-to-Earth Road Map to Basic Science of Clay-Greenhouse Gas Interfaces*, 15-32.

Dimian, G. C., Maftei, M., Jablonský, J., Marin, E., & Olaru, S. M. (2026). The influence of digitalization on greenhouse gas emissions in European Union. The analysis of mediating effect of renewable energy consumption. *Journal of the Knowledge Economy*, *17*(1), 1888-1928.

Filonchyk, M., Peterson, M. P., Yan, H., Gusev, A., Zhang, L., He, Y., & Yang, S. (2024). Greenhouse gas emissions and reduction strategies for the world's largest greenhouse gas emitters. *Science of The Total Environment*, *944*, 173895.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2023. Accessed on 10 May 2026, available online at:
https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

USEPA. Accessed on 25 July 2026, available online at: https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2022

Fagodiya, R. K., Malyan, S. K., Singh, D., Kumar, A., Yadav, R. K., Sharma, P. C., & Pathak, H. (2022). Greenhouse gas emissions from salt-affected soils: Mechanistic understanding of interplay factors and reclamation approaches. *Sustainability*, 14(19), 11876.

Kumar, A., Nagar, S., & Anand, S. (2021). Climate change and existential threats. In Global climate change (pp. 1-31). *Elsevier*.

Liu, Y., Tang, R., Li, L., Zheng, G., Wang, J., Wang, G., ... & Yuan, J. (2023). A global meta-analysis of greenhouse gas emissions and carbon and nitrogen losses during livestock manure composting: Influencing factors and mitigation strategies. *Science of the Total Environment*, 885, 163900.

Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. (2020). Global climate change and greenhouse effect. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(4), 2897.

Soeder, D. J. (2021). Greenhouse gas sources and mitigation strategies from a geosciences perspective. *Advances in Geo-Energy Research*, 5(3), 274-285.

Wang, Q. J., Feng, G. F., Wang, H. J., & Chang, C. P. (2022). The influence of political ideology on greenhouse gas emissions. *Global Environmental Change*, 74, 102496.

A NUMERICAL STUDY USING THE COLLOCATION METHOD WITH CUBIC HERMITE BASIS FUNCTIONS

Merve GÜLER
Department of Mathematics, Faculty of Arts and Sciences, İnönü University, Malatya, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0007-1895-3191

Prof. Dr. Nuri Murat YAĞMURLU
Department of Mathematics, Faculty of Arts and Sciences, İnönü University, Malatya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1593-0254

ÖZET
Doğada meydana gelen olayların matematiksel olarak incelenebilmesi ve yorumlanabilmesi için bir matematik formülü olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Gerekli düzenlemeler sonrasında bu olaylar denklemlere dönüşerek uygun sınır şartları tayin edilir. Uygun sınır ve/veya başlangıç şartları altında alanına uygun bilim insanları bu tür problemleri ele alıp incelerler. İncelenen problemler başlangıçta, analitik çözümü bulunabilen problemler ve analitik çözümü bulunamayan problemler olarak iki kısma ayrılır. Bilim insanları çoğunluklada analitik çözümü olmayan bu tür problemleri incelerler. Ana amaç incelenen problemin analitik çözümü yoksa analitik çözümün yerine geçebilecek bir yaklaşık çözüm bulabilmektir. Yaklaşık çözüm bulma yöntemleri, çözüm bölgesinin tümünde işleme tabi tutan yöntemler veya çözüm bölgesini alt parçalara ayırma prensibine göre yaklaşık çözümü bulma esasına dayanmaktadır. Bu çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çözüm bölgesi eşit uzunluklu alt bölgelere ayrılarak matematiksel işlemlere tabi tutulacaktır. Çözüm bölgesi üzerinde eşit parçalanma sonucunda elde edilen elemanlardan tipik bir eleman seçilerek, bu eleman üzerinde kollokasyon yöntemi uygulanarak Hermite B-spline bazları kullanılarak eleman denklemi oluşturulacaktır. Sonrasında bu denklem yapısı tüm eşit uzunluklu elemanlar üzerinde oluşturularak tüm bölge üzerinde bir cebirsel denklem sistemi elde edilecektir. Elde edilen cebirsel denklem sistemi üzerinde problem ile verilen sınır şartları kullanılarak çözülebilir bir cebirsel denklem sistemi elde edilecektir. Farklı konum adım uzunluklarında hata analizlerinin yapılabilmesi için günümüz modern bilgisayarlarından yararlanılarak elde edilen şemanın programı yazılacaktır. Programı günümüzde yaygınca kullanılan MATLAB sembolik programlama dili seçilerek yazılacaktır. Program çalıştırılarak elde edilen sonuçlar tablolar ve grafikler halinde çalışmada sunulacaktır.
Anahtar Kelimeler: Kollokasyon metodu, Hermite B-spline baz fonksiyonları, Sonlu Eleman Yöntemi.
Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi (proje numarası FYL-2026-4682) tarafından desteklenmiştir.

ABSTRACT
In order for the events occurring in nature to be examined and interpreted mathematically, they must be organized as a mathematical formulae. After the necessary arrangements, these events are transformed into equations and appropriate boundary conditions are determined. Under appropriate boundary and / or initial conditions, scientists appropriate to the field handle and examine such problems. The problems studied are initially divided into two parts: problems for which analytical solutions can be found and problems for which analytical solutions cannot be found. Scientists mostly study such problems that have no analytical solution. The main goal is to find an approximate solution that can replace the analytical solution if there is no analytical solution to the problem under study. Approximate solution finding methods are based on the principle of finding the approximate solution according to the methods that process the entire solution region or the principle of subdividing the solution region. In the present work, by using the finite element method, the solution region will be divided into sub-regions of equal length and subjected to mathematical operations. A typical element will be selected from the elements obtained as a result of equal partitioning on the solution region and the element equation will be formed using Hermite B-spline bases by applying collocation method on this element. Then, this equation structure will be formed over all equal length elements to obtain a system of algebraic equations over the whole region. A solvable system of algebraic equations will be obtained by using the boundary conditions given by the problem on the obtained system of algebraic equations.

In order to perform error analysis at different position step lengths, the program of the obtained scheme will be written by using today's modern computers. The program will be written by choosing the symbolic programming language MATLAB which is widely used today. The results obtained by running the program will be presented in tables and graphs in the study.

Keywords: Collocation Method, Hermite B-spline basis functions, Finite Element Method.
This study is supported by Inonu University Scientific Research Project with project number FYL-2026-4682.

INTRODUCTION

The term Finite Element Method (FEM) was first introduced by Clough (1960). Over the subsequent decades, the rapid evolution of high-performance digital computing increased the widespread adoption of FEM across various scientific and engineering disciplines, enabling researchers to obtain more robust approximate solutions to highly complex mathematical and physical problems. A key computational advantage of FEM is its capacity to reformulate continuous differential equations into a solvable system of algebraic equations. Furthermore, unlike conventional grid-based numerical methods that yield discrete values only at specific grid locations, FEM defines continuous approximating functions across each localized subdomain.

Operationally, the continuous domain of a given boundary value problem is discretized into a network of one- or multi-dimensional geometric subregions known as finite elements, which intersect at discrete nodal or mesh points. Rather than attempting to compute a global solution in a single, monolithic step, the discretization framework resolves the governing equations locally within each element. Consequently, element-specific equations are formulated individually and subsequently assembled into a global system to reconstruct the behavior of the entire domain (Logan, 2007).

LITERATURE

In this section of the paper, a very few brief survey of the basis used in the approximation method and other problems that have been addressed in the literature with this basis will be presented. First of all, an article for the singularity of cubic Hermite B-spline basis functions is written by Amat et al. (2023). Then, a non-linear problem based on cubic Hermite B-spline basis functiosn with a robust hybrid method is solved by Ayebire et al. (2024). An approximate solution for 1D heat conduction equation is sought with the Septic Hermite Collocation Method (SHCM) (Kutluay et al, 2025). In their work, Ayebire et al. have studied whether the newly presented scheme is stable or not by means of both of the error norms L_2 and L_∞. Ganaie and Kukreja have dealth with the numerical solutions of the Burgers equation on a test problem with the collocation FEM based on cubic Hermite basis functions (Ganaie, Kukreja, 2014). A new robust numerical solution scheme constructed on Quintic Hermite Collocation Method (QHCM) utilizing the traditional Crank-Nicolson type approximation technique is developed for solving 1D heat conduction equation with certain initial and boundary conditions which is mostly handled as a prototype equation to support the reliability of many proposed new numerical methods (Kutluay et al, 2024). They have also shown that their scheme is unconditionally stable in temporal direction. Kumar (Kumar, 2024) has presented an application of cubic Hermite collocation technique on a differential equation. The author has presented the numerical results in tabular and graphical forms. An approximation analysis of the one dimesional heat conduction equation by means of cubic Hermite basis functions is investigated by (Kutluay et al, 2022). The authors have shown that their newly obtained results are reliable and accurate by means of the calculated error norms and finally proposed that their method may also be utilized in a successful manner in order to find out the numerical solutions of various nonlinear problems encountered generally in several branches of scientific fields.

APPLICATION OF CUBIC HERMITE B-SPLINE COLLOCATION METHOD ON FINITE ELEMENT METHOD

In the present work, a collocation finite element framework formulated together with cubic Hermite interpolating polynomials is developed to approximate the solution of a representative prototype model. For an initial step, a polynomial of degree 3 as given below on the solution domain [0,1]

$$P(x) = \boldsymbol{a_0}x^3 + \boldsymbol{a_1}x^2 + \boldsymbol{a_2}x + \boldsymbol{a_3} \qquad (\mathbf{1})$$

is taken into consideration. As it is obviously seen, the considered polynomial involves four unknown coefficients, namely $\boldsymbol{a_0}, \boldsymbol{a_1}, \boldsymbol{a_2}$ and $\boldsymbol{a_3}$. Here the main goal is to be able to define these unknown coefficients in terms of the following terms

$P(0), P'(0), P(1), P'(1).$

When the considered polynomial $P(x)$ is revised so that it is expressed only itself and its first derivative at the boundaries of the closed domain [0,1], then the unknown coefficients are found and they are given in Table 1.

Table 1. The unknown coefficients of the considered polynomial

$\boldsymbol{a_0} = 2P(0) + P'(0) - 2\,P(1) + P'(1),$	$\boldsymbol{a_1} = 3P(1) - P'(1) - 3P(0) - 2P'(0),$
$\boldsymbol{a_2} = P'(0),$	$\boldsymbol{a_3} = P(0).$

Since these values also should satisfy the equation itself, if the necessary fundamental calculations are performed in Equation $(\mathbf{1})$, one obtains

$$\mathrm{P}(x) = P(0)[1 - 3x^2 + 2x^3] + P'(0)[x - 2x^2 + x^3] + P(1)[3x^2 - 2x^3] + P'(1)[-x^2 + x^3]$$

It is obvious that the newly obtained coefficients are the cubic Hermite basis functions themselves. They are presented in Table 2 for the solution domain [0,1] in general form. On the 4 cubic Hermite B-spline functions on a typical element are illustrated in Figure 1. Hermite basis functions, one can see the following articles and those therein (Kutluay et al., 2022).

Table 2. The Hermite basis functions for Global Coordinate on solution domain [0,1]

$H_1 = 2x^3 - 3x^2 + 1$	$H_2 = x^3 - 2x^2 + x$
$H_3 = -2x^3 + 3x^2$	$H_4 = x^3 - x^2$

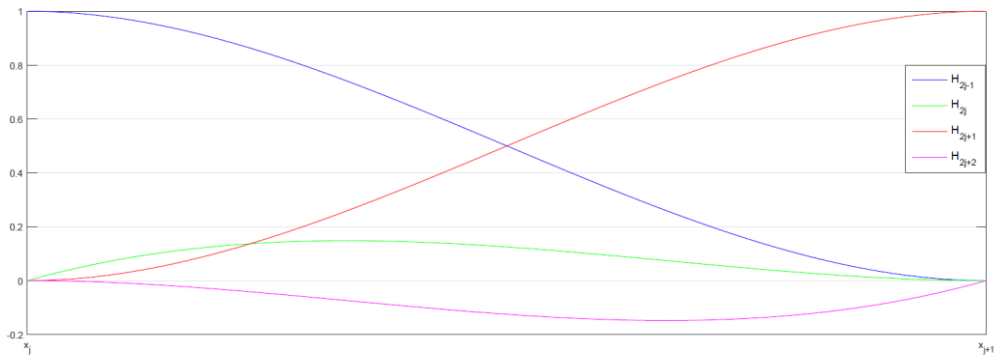


Figure 1. The 4 cubic Hermite B-spline functions on a typical element $[x_j, x_{j+1}]$.

SHIFTED LEGENDRE AND CHEBYSHEV ROOTS

While utilizing Hermite basis functions, if one chooses cubic Hermite basis functions, then only 2 inner collocation points are considered. In order to minimize the error in the approximation, it has become a tradition to use the shifted Legendre and Chebyshev roots in place of these 2 inner collocation points. The values of these shifted roots are Legendre roots

$\xi_1 = \frac{1}{2}(1 - \frac{1}{\sqrt{3}}), \quad \xi_2 = \frac{1}{2}(1 + \frac{1}{\sqrt{3}})$
and Chebyshev roots
$\xi_1 = \frac{1}{2}(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}), \xi_2 = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right).$
(Ganaie, Kukreja, 2014). In the present study, the obtained results are presented in tabular form for both of the inner collocation points choices, and the notations L stands for Legendre and C stands for Chebyshev roots, respectively.
The prototype equation given below

$$\frac{d^2U}{dx^2} + U = x^2 e^{-x}$$

having the following Dirichlet type boundary conditions is going to be considered.

$$U(0) = 0, \qquad U(10) = 0.$$

This Boundary Value Problem (BVP) has the following analytical solution

$$U(x) = \frac{1}{2}e^{-x}\left[1 + 2x + x^2 - e^x \cos x - 2e^x\left\{-\frac{\cot 10}{2} + \frac{121 \csc 10}{2e^{10}}\right\}\sin x\right]$$

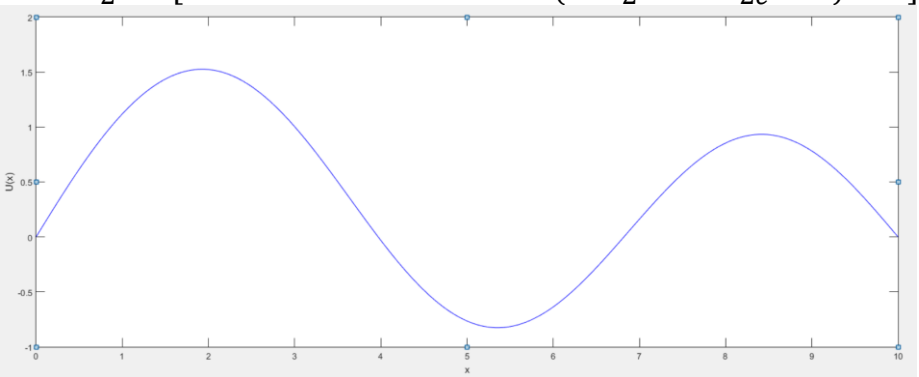


Figure 2. Exact solution of this boundary value problem on solution domain

After defining the prototype problem together with its boundary conditions and analytical solution, now one can use the collocation FEM utilizing cubic Hermite basis functions and find out approximate reults. One can use the following formula for the approximate solution over the whole domain of the problem

$$U_M = \sum_{j=1}^{M} a_{j+2k-2} \mathrm{H}_{ji}$$

a_{j+2k-2}'s are unknown coefficients to be determined, k stands for the element number, and I stands for the inner collocation points, that is 1 or 2, and $\mathrm{H}_{ji} = \mathrm{H}_j(x_i)$'s stand for cubic Hermite basis functions. The values of the function itself U_i and 2nd order derivative U''_i calculated at the inner collocation points are given as follows, respectively

$$U_i = \mathrm{a}_{2k-1}\mathrm{H}_{1i} + \mathrm{a}_{2k}\mathrm{H}_{2i} + \mathrm{a}_{2k+1}\mathrm{H}_{3i} + \mathrm{a}_{2k+2}\mathrm{H}_{4i}$$

$$h^2 U''_i = \mathrm{a}_{2k-1}H''_{1i} + \mathrm{a}_{2k}H''_{2i} + \mathrm{a}_{2k+1}H''_{3i} + \mathrm{a}_{2k+2}H''_{4i}$$

When those approximations are used in the governing equation, the following linear system of algebraic equations is obtained

$$[\mathrm{a}_{2k-1}H''_{1i} + \mathrm{a}_{2k}H''_{2i} + \mathrm{a}_{2k+1}H''_{3i} + \mathrm{a}_{2k+2}H''_{4i}] +$$
$$[\mathrm{a}_{2k-1}\mathrm{H}_{1i} + \mathrm{a}_{2k}\mathrm{H}_{2i} + \mathrm{a}_{2k+1}\mathrm{H}_{3i} + \mathrm{a}_{2k+2}\mathrm{H}_{4i}] - (h\xi + x_k)(h\xi + x_k) = 0.$$

Now this newly obtained system of algebraic equations can not be solved uniquely. The boundary conditions are applied and a uniquely solvable system yields. After this simple and necessary step is applied, one obviously come to the conclusion that

$$a_1 = 0 \ and \ a_{2M+1} = 0.$$

Now, one has a uniquely solvable and consistent system of algebraic equations as follows

$$La = R$$

where both of the Left hand and Right hand matrices are of $(2M \times 2M)$ and $(2M \times 1)$ type matrices. After solving this sytem of algebraic equations, one obtaines the unknown coefficients and this means that the approximate piecewise functions are also found out. Thus it is now easy to code and run the algorithm of the scheme for different values of spatial partition number M by meand of any symbolic programming language. In this study Matlab R2015a is used as means of sofwtware. The error norms L_2 and L_∞ given below are used to test and control the efficiency and accuracy of the newly presented scheme

$$L_2 = \sqrt{\left(h \sum_{i=1}^{M} |U_i - (U_M)_i|^2\right)}$$

$$L_\infty = \underbrace{max}_{1 \le i \le M} |U_i - (U_M)_i|.$$

Table 3. The error norms L_2 and L_∞ for increasing values M

	L_2		L_∞	
M	L	C	L	C
10	0.0149	0.5845	0.0051	0.1889
20	0.0010	0.1291	3.4792e-04	0.0427
40	6.7266e-05	0.0313	2.2100e-05	0.0104
80	4.2316e-06	0.0078	1.3965e-06	0.0026
160	2.6490e-07	0.0019	8.7290e-08	6.4443e-04
320	1.6559e-08	4.8406e-04	5.4554e-09	1.6103e-04

A detailed examination of the error norms L_2 and L_∞ presented in Table 3 for progressively increasing values of the spatial partition number (M) reveals a clear difference between the two sets of collocation points. In particular, the numerical solutions obtained using the Legendre roots consistently exhibit substantially smaller error norms than those computed using the Chebyshev roots. This observation indicates that, for the problem considered, the use of Legendre roots provides a more accurate numerical approximation and yields superior computational performance in terms of both the L_2 and L_∞ error measures.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

A careful examination of the numerical results obtained in the current study clearly shows the fact that the proposed computational framework, together with the underlying Hermite basis functions, possesses considerable potential for application to a broad range of problems arising in various fields of engineering and applied sciences. The numerical performance observed in the conducted experiments indicates that the method provides a flexible and effective approximation framework, which can be adapted to problems exhibiting different mathematical structures and boundary or initial conditions.

Building upon these findings, our ongoing research is focused on extending the proposed methodology to a wider class of differential equations. In particular, future investigations will consider nonlinear differential equations, partial differential equations, and even fractional-order differential equations, where the underlying mathematical structures may introduce additional computational challenges. Such extensions will provide an opportunity to further assess the robustness, accuracy, computational efficiency, and versatility of the proposed method under more demanding problem settings. Moreover, the performance of the presented method in these broader classes of problems will be systematically investigated through appropriate error measures, convergence analyses, and comparisons with alternative numerical techniques reported in the literature.

In conclusion, the results obtained in this study provide a promising basis for further development of the proposed numerical framework.

The anticipated extensions to nonlinear, partial, and fractional-order differential equations are expected to demonstrate the broader applicability of the method and to establish its potential as a reliable computational approach for solving a variety of complex problems in applied mathematics, engineering, and related scientific fields.

References

Amat S., Li Z., Alvarez J.R., Solano C. & Trillo J.C. (2023) Adapting Cubic Hermite Splines to the Presence of Singularities Through Correction Terms, *Journal of Scientific Computing*, https://doi.org/10.1007/s10915-023-02191-9

Ayebire A.M., Kaur I., Alemar D.A., Manshahia M.S. & Arora S., (2024) A robust technique of cubic Hermite splines to study the non-linear reaction-diffusion equation with variable coefficients, *AIMS Mathematics*, 9(4), p.8192–8213. https://doi.org/10.3934/math.2024398

Kutluay, S., Yağmurlu, M., & Karakaş, A. S. (2024). A robust quintic Hermite collocation method for one-dimensional heat conduction equation. *Journal of Mathematical Sciences and Modelling*, 7(2), p.82-89. https://doi.org/10.33187/jmsm.1475294

Clough, R. (1960). The Finite Element Method in Plane Stress Analysis, Proceedings of American Society of Civil Engineers, 2nd Conference on Electronic Computation, Pittsburgh, PA, Sept., 23, p.345–378.

Logan, D.L. (2007). A first course in the finite element method, Thomson, Toronto, Canada, 4. sürüm.

Ganaie I.A. & Kukreja V.K. (2014). Numerical solution of Burgers' equation by cubic Hermite collocation method, *Applied Mathematics and Computation*, 237, p.571–581. http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2014.03.102

Kutluay, S., Yağmurlu, N. M., & Karakaş, A. S. (2025). A robust septic Hermite collocation technique for Dirichlet boundary condition heat conduction equation. *International Journal of Mathematics and Computer in Engineering*, 3(2), p.253-266. http://dx.doi.org/10.2478/ijmce-2025-0019

Kumar H. (2024) Numerical Study of Differential Equations Via Cubic Hermite Collocation Technique, *Naturalista Campano*, 28(1).

Kutluay S., Yağmurlu N.M. & Karakaş A.S. (2022) An Effective Numerical Approach Based on Cubic Hermite B-spline Collocation Method for Solving the 1D Heat Conduction Equation, *New Trends in Mathematical Sciences*, 10(4), p.20-31. http://dx.doi.org/10.20852/ntmsci.2022.485

KIMYASAL SU ARITMA ÇAMURUNUN NORMAL AĞIRLIKLI BETON ÖZELLIKLERI ÜZERINDEKI ETKISI

EFFECT OF CHEMICAL WATER TREATMENT SLUDGE ON THE PROPERTIES OF NORMAL-WEIGHT CONCRETE

Prof. Dr. Ruslan IBRAGIMOV
Department of Construction Production Technologies, Institute of Construction, Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, Kazan, Russia.
ORCID ID: 0000-0001-8879-1190

Dr. Aygül Zara KEBİR
Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2081-8876

Özet
Bu çalışmada, kojenerasyon santrallerinde suyun kireçleştirme ve koagülasyon işlemleri sonucunda oluşan kimyasal su arıtma çamurunun, normal ağırlıklı betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, laboratuvara 10 mm'ye kadar boyutlarda düzensiz şekilli aglomeralar hâlinde getirilen su arıtma çamuru, özgül yüzey alanı 418 m^2/kg olacak şekilde öğütülerek mineral katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Öncelikle, çamur tozunun tane boyutu dağılımı ve temel fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, referans beton ile Portland çimentosunun kütlece %15'inin su arıtma çamuru tozu ile ikame edildiği beton karışımları hazırlanmıştır. Referans beton karışımı, C25/30 dayanım sınıfında beton üretilecek şekilde tasarlanmış ve Portland çimentosu, kuvars kumu, çakıl, su ve FREM GIPER PREMIUM süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinden oluşmuştur. Çamur içeren beton karışımında ise Portland çimentosunun %15'i su arıtma çamuru tozu ile ikame edilmiş, diğer bileşenlerin miktarları sabit tutulmuştur. Üretilen beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ile çamur tozu içeren beton numunelerinin donma-çözülme direnci ve su geçirimsizlik özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kimyasal su arıtma çamuru tozu kullanılarak C20/25 dayanım sınıfında, 150 donma-çözülme çevrimine dayanabilen ve 0,6 MPa su basıncı altında su geçirimsizliğini koruyan beton üretilebildiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, su arıtma çamuru içeren betonun 28 günlük basınç dayanımı referans betona kıyasla %21 oranında azalmıştır. Bu durum, çimentonun kısmen mineral katkı ile ikame edilmesinin dayanım gelişim süreci üzerindeki etkisiyle açıklanabilir. Sonuç olarak, kullanım oranının optimize edilmesi koşuluyla kimyasal su arıtma çamurunun normal ağırlıklı beton üretiminde alternatif bir mineral katkı malzemesi olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: normal ağırlıklı beton, kimyasal arıtma çamuru, su arıtma çamuru, endüstriyel atık, mineral katkı, sürdürülebilir beton

Abstract
In this study, the effects of carbonate-rich water treatment sludge (CWTS), generated as a by-product of lime softening and coagulation processes in combined heat and power (CHP) plants, on the physical, mechanical, and durability properties of normal-weight concrete were investigated. The water treatment sludge, delivered to the laboratory as irregularly shaped agglomerates with a maximum particle size of 10 mm, was ground to a specific surface area of 418 m^2/kg and used as a mineral admixture. Initially, the particle size distribution and basic physical properties of the CWTS powder were determined. Subsequently, two concrete mixtures were prepared: a reference concrete and a mixture with a 15% substitution of Portland cement (by mass) with CWTS powder. The reference concrete was designed to achieve the C25/30 strength class and consisted of Portland cement, quartz sand, gravel, water, and FREM GIPER PREMIUM superplasticizer. In the sludge-containing mixture, a 15% cement substitution (by mass) was achieved using CWTS powder, while the quantities of all other constituents were kept constant. The 7- and 28-day compressive strengths of the produced concrete specimens, as well as the freeze-thaw resistance and water impermeability properties of the concrete specimens containing sludge powder, were evaluated.

The results demonstrated that the incorporation of CWTS powder enabled the production of concrete meeting the C20/25 strength class, withstanding 150 freeze-thaw cycles, and exhibiting water impermeability under a pressure of 0.6 MPa. However, the 28-day compressive strength of the sludge-containing concrete decreased by 21% compared with the reference concrete. This reduction can be attributed to the influence of partially replacing Portland cement with a mineral admixture on the strength development process. Overall, the findings indicate that, provided its replacement level is optimized, CWTS has the potential to be utilized as an alternative mineral admixture in the production of normal-weight concrete.
Keywords: normal-weight concrete, chemical water treatment sludge, water treatment sludge, industrial waste, mineral admixture, sustainable concrete

Giriş

Doğal kaynakların etkin kullanımı ve çevre üzerindeki antropojenik yükün azaltılması, günümüz yapı malzemeleri biliminin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Bu hedeflere ulaşmanın yollarından biri, endüstriyel atıkların yapı malzemeleri üretiminde değerlendirilmesidir. Bu yaklaşım, depolanan atık miktarının azaltılmasına, doğal hammadde tüketiminin düşürülmesine ve beton karışımının en fazla enerji tüketen bileşeni olan Portland çimentosunun kullanım miktarının azaltılmasına olanak sağlamaktadır (Lazarenko & Shpilevskaya, 2016; Vashistha ve diğ., 2022; Stepanov ve diğ., 2013).

Günümüzde, beton teknolojisinde çeşitli türlerde endüstriyel atıkların kullanımına yönelik çok sayıda araştırma yapılmıştır. Mineral katkıların kullanımı, çimento hamuru ve beton matrisinin yapısının düzenlenmesinde etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Kimyasal bileşim, öğütülme derecesi, kullanım oranı ve karışımın hazırlanma koşullarına bağlı olarak bu tür malzemeler, beton yapısının yoğunluğunu değiştirebilmekte, çimento tüketimini ve kompozitin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyebilmektedir (Ul Haq ve diğ., 2026; Horohordin ve diğ., 2021; Lebedev & Konkin, 2023).

Endüstriyel atıklar arasında çeşitli türlerde çamurlar özellikle dikkat çekmektedir. Literatürde, kimyasal su arıtma tesislerinden kaynaklanan karbonat içeren çamurun, kırmızı çamurun, şlam-ligninin (lignin çamuru), galvanik çamurların yanı sıra atık betonun geri dönüştürülmesi sırasında ortaya çıkan ürünlerin kullanım olanakları ele alınmaktadır (Valeev & Shajhiev, 2024; Niyazbekova ve diğ., 2021; Yudakov & Fedyuk, 2025; Mamedova ve diğ., 2023; Tatarinceva & Komissarenko, 2020). Kökenleri ve bileşimleri farklı olmasına rağmen, bu tür malzemeler mineral dolgu maddeleri veya çimentonun bir kısmının yerine kullanılabilen bileşenler olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, çamurların betonun özellikleri üzerindeki etkisi yalnızca malzemenin kökenine değil, aynı zamanda karışıma katılmadan önce uygulanan hazırlama işlemlerine de bağlıdır.

Aynı zamanda, yapı atıklarının yeniden kullanımına yönelik çalışmalar da giderek yaygınlaşmaktadır. Beton atıklarının kırılarak agrega olarak kullanılması, geri dönüştürülmüş beton malzemelerinin ve polimerik atıkların değerlendirilmesi ile çimentosuz kompozit sistemlerin ve yeni nesil betonların geliştirilmesine yönelik araştırmalar sürdürülmektedir (Korovkin ve diğ. 2015; Kiyanec, 2022; Ibragimov & Zigangirova, 2025). Bu tür çözümlerin hayata geçirilmesi, günümüzde benimsenen kaynakların verimli kullanımı ilkeleriyle uyumlu olmakta ve yapı sektöründe döngüsel ekonomi anlayışına dayalı teknolojilerin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Sagadeev ve diğ., 2025; Erofeev ve diğ., 2025; Kveng ve diğ., 2024; Romanenko ve diğ., 2025).

Bir diğer araştırma alanı, ince taneli mineral bileşenlerin çimento esaslı kompozitlerin yapılaşma süreçleri üzerindeki etkisinin incelenmesine odaklanmaktadır. Bu tür malzemelerin karışıma dâhil edilmesi, çimentonun hidratasyonunu, gözenek yapısının dağılımını ve çimento hamuru ile agrega arasındaki ara yüzey bölgesinin oluşumunu etkilemektedir. Bunun sonucunda, betonun dayanım, donma-çözülme direnci, su geçirimsizliği ve dayanıklılık (durabilite) gibi temel performans özellikleri değişmektedir (Smirnov ve diğ., 2022; Karpenko ve diğ, 2025).

Pratik açıdan önem taşıyan endüstriyel atıklardan biri, kojenerasyon santrallerinde suyun kireçleştirme ve koagülasyon işlemleri sonucunda oluşan kimyasal su arıtma çamurudur (KSAÇ). Bu atığın büyük bir kısmını kalsiyum ve magnezyumun karbonat bileşikleri oluşturmakta olup, uygun ön işlemlerden geçirilmesinin ardından çimento esaslı kompozitlerde ince taneli mineral katkı olarak kullanılabilmektedir (Lazarenko & Shpilevskaya, 2016; Vashistha ve diğ., 2022; Valeev & Shajhiev, 2024). Ancak, mevcut çalışmalar KSAÇ'ın normal ağırlıklı betonların özellikleri üzerindeki etkisinin kesin olarak değerlendirilmesine olanak vermemektedir.

Bu durum; çamurun bileşimi, öğütülme derecesi, kullanım oranı ve beton karışımının hazırlanma koşullarındaki farklılıklardan kaynaklanmakta olup, konuya ilişkin ilave deneysel çalışmanın yapılmasını gerektirmektedir (Vashistha ve diğ., 2022; Valeev & Shajhiev, 2024).
Bu çalışmada, kojenerasyon santralinde suyun hazırlanması sırasında oluşan karbonatlı KSAÇ'ın, Portland çimentosunun kısmen ikame edilmesi durumunda normal ağırlıklı betonun fiziksel, mekanik ve performans özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Deneyler, bağlayıcı kütlesinin %15'i oranında KSAÇ tozu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmaların çoğundan farklı olarak, KSAÇ içeren betonun temel performans özelliklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine odaklanılmış; basınç dayanımı, donma-çözülme direnci ve su geçirimsizliği belirlenmiştir.

Malzeme ve Yöntem

Beton karışımının üretiminde mineral katkı olarak, suyun kireçleştirme ve koagülasyon işlemleri sırasında kojenerasyon santralinde (Nijnekamsk, Tataristan Cumhuriyeti, Rusya Federasyonu) oluşan karbonatlı bir atık olan kimyasal su arıtma çamuru (KSAÇ) tozu kullanılmıştır (Şekil 1a).
KSAÇ, Kazan Devlet Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği Üniversitesi laboratuvarına (Kazan, Tataristan Cumhuriyeti, Rusya Federasyonu), 10 mm'ye kadar boyutlara sahip, düzensiz şekilli aglomeralar hâlinde getirilmiştir. KSAÇ kullanılmadan önce ön hazırlama işlemine tabi tutulmuştur. İlk aşamada malzemenin başlangıç nem içeriği, tane boyutu dağılımı ve gerçek yoğunluğu belirlenmiş, ardından öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin uygulanması, çamurun beton karışımı içerisinde homojen bir şekilde dağılmasını zorlaştıran iri aglomeraların bulunmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, literatürde KSAÇ'ın normal ağırlıklı beton üretiminde kullanımına yönelik önerilen tane inceliğine ilişkin herhangi bir bilgiye rastlanmamıştır.
Öğütme işlemi, laboratuvar tipi titreşimli bilyalı değirmende Portland çimentosunun özgül yüzey alanına yakın bir değere ulaşılıncaya kadar sürdürülmüştür. Öğütme süresi 2 saniye olarak belirlenmiştir. Öğütülmüş malzemenin özgül yüzey alanı (Şekil 1a), PSH-12 cihazı (Şekil 1b) kullanılarak ölçülmüştür. Tane boyutu dağılımı ise Horiba LA950 partikül boyut analiz cihazında lazer difraksiyon yöntemiyle incelenmiştir.
Çamurun hazırlanmasının ardından elde edilen KSAÇ tozunun özgül yüzey alanı 418,2 m^2/kg, gerçek yoğunluğu ise 2500 kg/m^3 olarak belirlenmiştir.

a) b)

Şekil 1. Çamurun öğütülmesiyle elde edilen KSAÇ tozu (a) ve özgül yüzey alanının belirlenmesinde kullanılan PSH-12 cihazı (b)

KSAÇ'ın betonun özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla, çimento, kütlesinin %15'i oranında KSAÇ tozu ile kısmen ikame edilmiştir. Tablo 1'de beton karışımlarının bileşimi verilmiştir.
Deneysel çalışmalar kapsamında referans beton ve KSAÇ tozu içeren beton karışımları üretilmiştir. Hazırlanan beton karışımları metal kalıplara yerleştirilmiş ve ardından sıkıştırılmıştır. Basınç dayanımının belirlenmesi için referans beton numuneleri ve KSAÇ tozu içeren beton numuneleri, donma-çözülme direnci ve su geçirimsizliğinin belirlenmesi için ise KSAÇ tozu içeren numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, belirlenen deney yaşına ulaşıncaya kadar normal kür koşullarında bekletilmiştir.

Tablo 1. Beton karışımlarının bileşimi

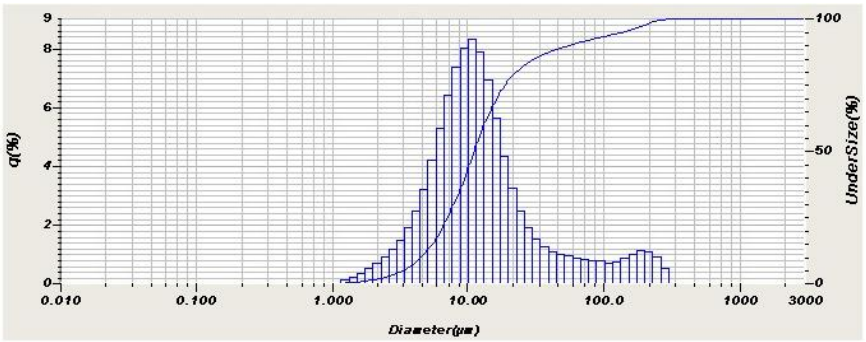
1 m^3 beton karışımındaki bileşen miktarları, kg/m^3		
Bileşen, kg	**Referans, No. 1**	**KSAÇ tozu içeren beton, No. 2**
Portland çimentosu	290	246,5
KSAÇ tozu	-	43,5
Su	140	140
Çakıl	1050	1050
Kuvars kumu	800	800
Süperakışkanlaştırıcı FREM GIPER PREMIUM	2,32	2,32

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler, Rusya Federasyonu'nun ilgili GOST standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri, beton numunelerinin 7 ve 28 günlük yaşlarında GOST 10180 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme direnci ve su geçirimsizlik, beton numunelerinin 28 günlük yaşa ulaşmasının ardından GOST 10060 ve GOST 12730.5 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma

KSAÇ tozunun tane boyutu dağılımı

Tane boyutu dağılımı analizinin sonuçlarına göre, KSAÇ tozundaki parçacıkların dağılımı bimodal (iki modlu) bir karakter göstermektedir (Şekil 2). Parçacıkların büyük bölümünü yaklaşık 10 µm boyutundaki parçacıklar oluşturmaktadır. Elde edilen bu öğütülme derecesi, KSAÇ tozunun beton üretiminde ince taneli mineral katkı olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 2. KSAÇ tozunun tane boyutu dağılımı

Yüksek inceliği sayesinde KSAÇ tozunun parçacıkları çimento matrisi içerisinde daha homojen bir şekilde dağılmaktadır. Bununla birlikte, karbonatlı KSAÇ, Portland çimentosuyla karşılaştırılabilir düzeyde hidrolik aktiviteye sahip değildir. Bu nedenle, çimentonun bu malzeme ile kısmen ikame edilmesi durumunda aktif bağlayıcı miktarı azalmakta; bu durum, betonun hidratasyon süreçlerini ve dayanım gelişimini etkilemektedir. Karbonatlı ve diğer mineral çamurların kullanımına ilişkin benzer özellikler literatürde de belirtilmiştir (Lazarenko & Shpilevskaya, 2016; Vashistha ve diğ., 2022; Horohordin ve diğ., 2021).

Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deney sonuçları, KSAÇ tozu içeren beton numunelerinin 7 günlük basınç dayanımının referans beton numunelerinin dayanımından farklı olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, ilerleyen kür sürecinde dayanım gelişimi değişmiş ve 28 günlük yaşta karışımlar arasındaki farklılıklar daha belirgin hâle gelmiştir. Tablo 2'de betonların 7 ve 28 günlük yaşlardaki dayanım değerleri verilmiştir.

Tablo 2. Betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri

Seri No.	Yoğunluk, kg/m^3		Basınç dayanımı, MPa		Beton sınıfı	
	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük	Rus/GOST 10180	TS EN 206
1	2,393	2,390	29,28	43,42	B30	C25/30
2	2,342	2,369	29,09	34,14	B25	C20/25

28 günlük yaşta, KSAÇ tozu içeren betonun dayanımının referans betonuna kıyasla %21 daha düşük olduğu belirlenmiştir. Buna göre, referans beton C25/30 dayanım sınıfına, KSAÇ tozu içeren beton ise C20/25 dayanım sınıfına karşılık gelmiştir. Bu durum, karışımda %15 oranında KSAÇ tozu kullanılmasının hidratasyona katılan aktif çimento bağlayıcısı miktarını azaltması ve KSAÇ tozunun incelenen karışımda esas olarak ince taneli dolgu maddesi işlevi görmesi ile açıklanabilir.
Dayanım kazanma hızındaki farklılıklar da dikkate değerdir. İlk 7 gün içerisinde dayanım gelişimi büyük ölçüde benzer seyretmişken, sonraki dönemde KSAÇ tozu içeren betonun dayanım artışı yavaşlamıştır. Bu durum, KSAÇ kullanımıyla çimento hamurunun yapı oluşum süreçlerinin yavaşladığına işaret etmektedir. Benzer bir eğilim, mineral dolgu maddeleri ve çeşitli türlerde endüstriyel çamurların incelendiği çalışmalarda da bildirilmiştir. Literatürde, kendi hidrolik aktivitesine sahip olmayan malzemelerle çimento ikame oranının artırılmasıyla beton dayanımının azaldığı belirtilmektedir (Vashistha ve diğ., 2022; Horohordin ve diğ., 2021; Niyazbekova ve diğ., 2021).

KSAÇ tozu içeren betonun donma-çözülme direnci

Şekil 3'te numunelerin donma-çözülme direnci deneyleri sırasındaki görünümleri gösterilmiştir.

Şekil 3. SM-55/50-18 iklimlendirme kabininde dondurma işleminden önce ve sonra numunelerin görünümü

Donma-çözülme deney sonuçlarına göre, KSAÇ tozu içeren beton ilgili GOST standardına göre F150 sınıfına karşılık gelmektedir. F150 sınıfı, betonun 150 donma-çözülme çevrimine dayanımını ifade etmektedir. KSAÇ tozu içeren numuneler ile referans numunelerin minimum dayanımları arasındaki oranın ilgili standartta belirtilen gereklilikleri karşıladığı belirlenmiştir. Numunelerdeki kütle kaybının %2'yi aşmadığı ve beton yüzeyinde çatlak, kopma veya yüzey dökülmesi belirtilerinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, %15 oranında KSAÇ tozu kullanılmasının betonun donma-çözülme direncinde belirgin bir azalmaya yol açmadığını göstermektedir. Bu durum, KSAÇ tozunun ince taneli parçacıklarının çimento hamurunun daha yoğun bir yapı oluşturmasına katkıda bulunarak malzemenin tekrarlanan donma-çözülme çevrimlerine karşı dayanımını korumasında rol oynayabileceğini düşündürmektedir.

KSAÇ tozu içeren betonun su geçirimsizliği

Deney sonuçlarına göre, KSAÇ içeren beton ilgili GOST standardına göre W6 sınıfına karşılık gelmektedir. W6 sınıfı, betonun 0,6 MPa su basıncı altında su geçirimsizliğini sağladığını ifade etmektedir. Elde edilen su geçirimsizlik düzeyi, KSAÇ'ın bileşiminde bulunan ince taneli karbonatlı çamurun varlığı ile açıklanabilir. Bu parçacıklar, çimento ve agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak büyük kapiler gözeneklerin hacmini azaltmakta ve böylece suyun malzeme içerisine nüfuz etmesini zorlaştırmaktadır. İnce taneli mineral dolgu maddelerinin kullanılmasıyla ortaya çıkan benzer bir etki, literatürde de bildirilmiştir (Ul Haq ve diğ., 2026; Mamedova ve diğ., 2023; Erofeev ve diğ., 2025).

Sonuç ve Öneriler

Gerçekleştirilen deney sonuçlarının karşılaştırılması, çimentonun %15 oranında karbonatlı çamur ile ikame edilmesinin, betonun 28 günlük yaşta dayanımında referans karışıma kıyasla %21 oranında azalmaya yol açtığını göstermiştir. Bu azalma, hidratasyon süreçlerine katılan aktif çimento bağlayıcısı miktarının azalmasından kaynaklanabilir; zira KSAÇ, incelenen karışımda esas olarak ince taneli dolgu maddesi işlevi görmektedir.

Bununla birlikte, betonun temel performans özelliklerinde önemli bir olumsuzluk tespit edilmemiştir. KSAÇ tozu içeren beton, dayanım açısından C20/25 sınıfına karşılık gelmekte, 150 donma-çözülme çevrimine dayanım göstermekte ve 0,6 MPa su basıncı altında su geçirimsizliğini sağlamaktadır.

Elde edilen sonuçlar, endüstriyel kökenli mineral atıkların çimento esaslı kompozitlerde kullanımına ilişkin literatürdeki çalışmaların bulgularıyla genel olarak uyumludur. Bu tür katkıların etkinliğinin, malzemenin kimyasal bileşimi, öğütülme derecesi ve tane inceliği, katkı oranı ile beton karışımının bileşimi ve yapısal özellikleri başta olmak üzere bir dizi faktöre bağlı olduğu bilinmektedir.

Bu doğrultuda, KSAÇ'ın normal ağırlıklı beton bileşiminde kullanılması, enerji üretim tesislerinden kaynaklanan atıkların rasyonel kullanımına yönelik umut vadeden yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilebilir. Çimentonun bu malzeme ile kısmen ikame edilmesi, endüstriyel atıkların yeniden kullanıma kazandırılmasına, çimento bağlayıcısı tüketiminin azaltılmasına, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasına ve endüstriyel atıkların birikim miktarlarının azaltılmasına olanak sağlayabilir.

İleriye yönelik çalışmalar kapsamında, beton karışımında KSAÇ tozunun optimum kullanım oranının belirlenmesi ve diğer aktif mineral katkılarla birlikte kullanım olanaklarının araştırılması önerilmektedir.

Kaynakça

Erofeev, V. T., Samchenko, S. V., Tarakanov, O. V., Maksimova, I. N., Stenechkina, K. S. & Erofeeva, I. V. (2025). Ot tradicionnyh betonov k betonam novogo pokoleniya. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya Himiya i himicheskaya tehnologiya*, *68*(12): 83–95. DOI: 10.6060/ivkkt.20256812.7199.

Horohordin, A. M., Rudakov, Ya. O., Percev, V. T., Cherepahina, R. G. & Rudakov, O. B. (2021). Primenenie shlam-lignina gashenogo izvest'yu v kachestve dobavki v beton. *Himiya, fizika i mehanika materialov*, *2*(29), 90–97.

Ibragimov, R. A. & Zigangirova, L. I. (2025). Tehnologiya reciklinga betonnyh othodov. *Stroitel'nye materialy*, *1–2*, 54–59. DOI: 10.31659/0585-430X-2025-832-1-2-54-59.

Karpenko, N. I., Korsun, V. I. & Moiseenko, G. A. (2025). Vliyanie povyshennyh do +300 °C temperatur na diagrammy deformirovaniya betona. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, *3*(73), 251–260. DOI: 10.48612/NewsKSUAE/73.20.

Kiyanec, A. V. (2022). Effektivnost' primeneniya produktov vtorichnoj pererabotki polietilentereftalata v betonah. *Inzhenernyj vestnik Dona*, *2*(86), available online at: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7487

Korovkin, M. O., Shesternin, A. I. & Eroshkina, N. A. (2015). Ispol'zovanie droblenogo betonnogo loma v kachestve zapolnitelya dlya samouplotnyayushchegosya betona. *Inzhenernyj vestnik Dona*, *3*(37), available online at: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3090

Kveng, P., Alokozaj, A. Sh., Kotlyarevskaya, A. V. & Abu, M. M. I. (2024). Pererabotannyj beton dlya proizvodstva ehkologicheski chistogo uplotnennogo betona, soderzhashchego materialy, poluchennye v rezul'tate snosa zdanij. *Ehkonomika stroitel'stva*, *6*, 387–390.

Lazarenko, O. V. & Shpilevskaya, N. L. (2016). Primenenie karbonatosoderzhashchego shlama himicheskoj vodoochistki v kompozicionnom vyazhushchem dlya samouplotnyayushchegosya betona. *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*, *16*, 55–62.

Lebedev, A. B. & Konkin, S. N. (2023). Primenenie krasnyh shlamov v kachestve dobavki v sostavy betonov i keramicheskih izdelij. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*, *12*, 79–95. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_12_0_79.

Mamedova, G. M., Vazirova, L. Z., Dzhamalova, R. H. & Mustafaly, N. Eh. (2023). Poluchenie kompozitnogo betona s uchastiem razlichnyh dobavok. *Problemy nauki*, *3*(77), 5–9.

Niyazbekova, R. K., Konkanov, M. D. & Krivoborodov, Yu. R. (2021). Issledovanie elektropovodyashchih svojstv cementnyh kompozicij s dobavkoj "krasnogo" shlama. *Tehnika i tehnologiya silikatov*, *28*(2), 58–61.

Romanenko, I. I., Petrovnina, I. N., Sheremet'eva, M. I. & Lobashina, D. M. (2025). Poluchenie betonov na bescementnoj osnove s zoloj-unos i lomom betona. *Inzhenernyj vestnik Dona*, *2*(122), available online at: http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2025/9849

Sagadeev, E. V., Sulejmanova, L. A., Ibragimov, R. A. & Sagadeev, V. V. (2025). Poluchenie i issledovanie fiziko-mehanicheskih svojstv kompozicij sernyh betonov. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V. G. Shuhova*, *7*, 8–19. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-10-7-8-19.

Smirnov, D. S., Mavliev, L. F., Huziahmetova, K. R. & Motyjgullin, I. R. (2022). Vliyanie mineral'noj dobavki na osnove molotogo domennogo shlaka na svojstva betonov i betonnyh smesej. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, *4*(62), 61–69. DOI: 10.52409/20731523_2022_4_61.

Stepanov, S. V., Morozov, N. M. & Hozin, V. G. (2013). Issledovanie dolgovechnosti betonov s uskoritelem tverdeniya na osnove gal'vanicheskogo shlama. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, *2*(24), 268–272.

Tatarinceva, E. A. & Komissarenko, M. V. (2020). Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya gal'vanicheskogo shlama v betonnyh smesyah. *Resursoehnergoehffektivnye tehnologii v stroitel'nom komplekse regiona*, *1*(12), 296–299.

Ul Haq, Sh., Ullah, M. S., Hameed, S. & Pervez, D. (2026). A sustainable integrated solution from waste to civil construction. *Fusion Journal of Engineering and Sciences*. DOI: 10.64615/fjes...2026.82.

Valeev, R. Sh. & Shajhiev, I. G. (2024). Utilizaciya shlama himvodoochistki v sostave betonov (obzor mirovoj literatury). *Akademicheskij vestnik ELPIT*, 9(2(28)), 28–40.

Vashistha, P., Park, S. & Pyo, S. (2022). Review on sustainable fabrication of futuristic cementitious binders based on application of waste concrete powder, steel slags, and coal bottom ash. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, *16*(1), 1–28. DOI: 10.1186/s40069-022-00541-9.

Yudakov, A. A. & Fedyuk, R. S. (2025). Strukturoobrazovanie cementnyh materialov, modificirovannyh shlamami, poluchennymi posle pererabotki hromsoderzhashchih rastvorov. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk*, *6*(244), 5–14. DOI: 10.7868/S3034530825060011.

THE DETERMINATION OF MEAT QUANTITY RATIOS IN DIFFERENT ANIMAL SPECIES USING MOLECULAR METHODS

Rumeysa ALTINMAKAS
Faculty of Veterinary Medicine, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.

Prof. Dr. Kamil EKİCİ
Department of Food Hygiene and Technology, Faculty of Veterinary Medicine, Van Yüzüncü Yıl University, Van, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6413-4361

ABSTRACT

In this study, a Real-Time PCR–based molecular approach was applied in order to quantitatively determine animal species in samples prepared by mixing beef and sheep meat at different ratios. In the experimental design, four different groups were established, consisting of 100% beef, 99% beef–1% sheep, 95% beef–5% sheep, and 90% beef–10% sheep, and genomic DNA was isolated from homogenized samples obtained from each group. The concentrations of the isolated DNA samples were determined using a fluorometric method, and all samples were diluted to concentrations suitable for Real-Time PCR analysis. In the analyses, the mitochondrial cytochrome b (cytb) gene region was targeted, and quantitative measurements were performed using species-specific primers and probes for beef and sheep. As a result of the Real-Time PCR analyses, it was determined that the target DNA was specifically amplified in all groups and that no amplification was observed in the negative control samples. In the group containing 100% beef, only the beef target was amplified, while no Ct value was obtained for the sheep target or the values remained above the threshold level of the instrument. In the mixed groups, it was observed that amplification of the sheep target occurred at earlier Ct values as the proportion of sheep meat increased. The mean Ct values for the sheep target were approximately in the range of 32–34 in the group containing 1% sheep, decreased to the range of 28–30 in the group containing 5% sheep, and were observed in the range of 25–27 in the group containing 10% sheep. In contrast, the Ct values for the beef target were found to be similar across all groups and remained approximately within the range of 20–23. Evaluation of the standard curves demonstrated a strong linear relationship between Ct values and logarithmic DNA quantities for both species, with regression coefficients exceeding 0.99. Percentage calculations performed using DNA quantities obtained from the standard curves showed a high level of agreement between the experimentally prepared theoretical mixture ratios and the calculated values. The calculated sheep proportions were approximately within the range of 0.8–1.2% in the group containing 1% sheep, 4.5–5.5% in the group containing 5% sheep, and 9–11% in the group containing 10% sheep. These results indicated that the method was capable of reliably detecting even low levels of species contribution. Statistical analyses revealed that the differences between the Ct values and calculated DNA quantities were statistically significant as the proportion of sheep meat increased. One-way analysis of variance applied to normally distributed data demonstrated significant differences among the groups, and multiple comparison tests indicated that these differences were particularly evident among the groups containing 1%, 5%, and 10% sheep meat. Graphical evaluations using bar graphs and boxplots clearly illustrated the discrimination among the groups. In conclusion, this study demonstrated that species identification and quantitative ratio determination in samples prepared by mixing beef and sheep meat at different proportions could be reliably achieved using a Real-Time PCR–based approach. The findings indicated that this method can be effectively used in food safety applications and in species authentication studies of meat and meat products.

Keywords: cytb gene, meat species identification, quantitative analysis, Real-Time PCR, beef and sheep meat

*Bu çalışma, aynı isimli yüksek lisans tezinden özetlenmiş ve Van Yüzün Yıl Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından **TLO-2025-11990** numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

PREVALENCE AND DETERMINANTS OF POOR THERAPEUTIC ADHERENCE IN HEART FAILURE: A RETROSPECTIVE STUDY

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Poor therapeutic adherence is a major driver of morbidity, mortality, and rehospitalization in heart failure. In Tunisia, approximately 42% of HF patients in Sfax are estimated to have suboptimal adherence. Multiple overlapping factors — including polypharmacy, health literacy, and socioeconomic barriers — complicate adherence management in this population. Understanding which factors most strongly predict non-adherence is essential for designing targeted interventions.

Objectives: To determine the prevalence of poor therapeutic adherence in HF patients and to identify the sociodemographic, clinical, and behavioral factors independently associated with non-adherence.

Methods: A cross-sectional, analytical study was conducted on 1,288 adult HF patients. Adherence was evaluated per medication class on a three-tier scale (poor, moderate, good). Bivariate analyses were performed to identify factors associated with poor adherence, with $p < 0.05$ as significance threshold.

Results: Poor therapeutic adherence was observed in 41.7% of the sample. Key risk factors identified were: low socioeconomic status (OR=1.523, p<0.001), disability (OR=1.720, p=0.014), low physical activity (OR=1.448, p=0.001), chronic kidney disease with dialysis (OR=15.684, p<0.001), psychiatric disorders (p=0.040), and preserved or mildly reduced ejection fraction. CNAM coverage was protective (OR=0.747, p=0.041).

Conclusion: Nearly half of HF patients in this Tunisian cohort showed poor therapeutic adherence. Social protection, mental health support, and individualized care plans appear to be critical determinants of adherence that should be systematically addressed in HF management programs.
Keywords: Therapeutic adherence, Heart failure, Non-adherence, Risk factors, Chronic kidney disease, Social protection

PHYSICAL ACTIVITY AND ITS PROTECTIVE ROLE AGAINST POOR THERAPEUTIC ADHERENCE IN HEART FAILURE

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Regular physical activity is a cornerstone of HF rehabilitation and is associated with improved quality of life, reduced hospitalization, and better medication adherence. However, many HF patients lead sedentary lifestyles due to symptoms such as dyspnea and fatigue. The relationship between habitual physical activity levels and therapeutic adherence in the North African context merits investigation.

Objectives: To analyze the association between weekly physical activity level and therapeutic adherence among HF patients in Sfax, and to explore implications for structured cardiac rehabilitation programs.

Methods: Physical activity was self-reported and categorized as: low (<1 h/week), moderate (1–3 h/week), or high (>3 h/week). The association between activity levels and therapeutic adherence was assessed using bivariate analysis with Chi-square tests and odds ratios in 1,288 HF patients.

Results: Low physical activity (<1 h/week) was significantly associated with poor adherence (OR=1.448, p=0.001). Conversely, moderate physical activity (1–3 h/week) was associated with lower risk of poor adherence (OR=0.692, p=0.001).

High physical activity (>3 h/week) showed no significant association, possibly due to limited statistical power in this subgroup.
Conclusion: Regular moderate physical activity is associated with improved therapeutic adherence in HF patients. Integrating structured exercise programs into HF care pathways could serve as a dual intervention improving both functional capacity and medication compliance.
Keywords: Physical activity, Heart failure rehabilitation, Therapeutic adherence, Cardiac rehabilitation, Exercise, Tunisia

ATRIAL FIBRILLATION AND THERAPEUTIC ADHERENCE: A PROTECTIVE ASSOCIATION IN HEART FAILURE

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Atrial fibrillation (AF) is a frequent comorbidity in HF, complicating both rhythm management and anticoagulation therapy. Patients with AF typically require more intensive medical follow-up, anticoagulation monitoring, and complex medication regimens. Whether the heightened medical surveillance associated with AF translates into improved therapeutic adherence in HF has not been well studied.

Objectives: To evaluate the association between atrial fibrillation and therapeutic adherence in HF patients followed at a Tunisian tertiary care center.

Methods: AF was documented as a binary variable in the study questionnaire. Its association with adherence quality was tested using Chi-square tests and logistic regression in 1,288 HF patients. Gender-stratified prevalence and treatment differences were also analyzed.

Results: AF was significantly associated with better therapeutic adherence (OR=0.668, IC95% [0.487–0.915], p=0.012), suggesting that the intensive anticoagulation follow-up required in AF patients may reinforce overall medication compliance.

Women had a higher prevalence of arrhythmic etiology (11.3% vs. 4.6%, $p<0.001$).
Conclusion: AF appears protective against poor adherence in HF, possibly through the mechanism of increased clinical monitoring and anticoagulation follow-up. This finding suggests that structured, regular follow-up protocols may serve as adherence-enhancing tools even in patients without AF.
Keywords: Atrial fibrillation, Therapeutic adherence, Heart failure, Anticoagulation, Clinical monitoring, Gender

EDUCATIONAL LEVEL AND THERAPEUTIC ADHERENCE: DOES HEALTH LITERACY MATTER IN HEART FAILURE?

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Health literacy — the ability to obtain, understand, and use health information — is a critical determinant of self-care in chronic diseases. In HF, low health literacy has been associated with poor medication adherence, higher hospitalization rates, and worse outcomes. In Tunisia, illiteracy rates in HF populations remain significant, with over 28% of patients in some studies being unable to read or write.

Objectives: To evaluate the relationship between educational level, health literacy, and therapeutic adherence among HF patients followed at a tertiary care hospital in Sfax.

Methods: Educational level was categorized as illiterate, primary, secondary, or university-educated. The association between education and poor adherence was analyzed using Chi-square tests and odds ratios for 1,288 patients. Gender-stratified rates of illiteracy were also documented.

Results: Contrary to expectations, educational level was not significantly associated with poor therapeutic adherence ($p > 0.05$ for all categories). However, notable gender disparities in education were observed: 43.8% of women were illiterate versus 19.5% of men.

This disparity may influence adherence through indirect pathways including limited self-efficacy and communication barriers.
Conclusion: While formal educational level alone did not independently predict adherence in this cohort, the pronounced gender gap in literacy highlights the need for oral, image-based, and caregiver-supported educational tools for HF patients with low health literacy.
Keywords: Health literacy, Education, Therapeutic adherence, Heart failure, Gender, Patient education

ISCHEMIC VS. NON-ISCHEMIC HEART FAILURE ETIOLOGY: IMPLICATIONS FOR GENDER DISTRIBUTION AND ADHERENCE

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: The etiology of HF significantly influences its clinical presentation, prognosis, and therapeutic options. Ischemic HF predominantly affects men and is associated with reduced ejection fraction, while non-ischemic etiologies — including hypertensive, valvular, and arrhythmic causes — are more prevalent in women. Understanding how etiology shapes adherence behavior may help clinicians tailor their approach to each HF subtype.

Objectives: To describe the distribution of HF etiologies by gender in a Tunisian cohort and to analyze how etiology relates to therapeutic adherence and hospitalization outcomes.

Methods: Etiology was classified as ischemic, valvular, hypertensive, arrhythmic, primitive, or other. Gender-stratified analysis was performed using Chi-square tests and odds ratios. Associations between etiology and therapeutic adherence were also evaluated.

Results: Ischemic etiology dominated in men (62.1% vs. 41%, $p<0.001$). Women more frequently had valvular (15.6% vs. 8.8%), hypertensive (14.1% vs. 5.6%), and arrhythmic etiologies (11.3% vs. 4.6%).

Prior ischemic heart disease was associated with lower risk of poor adherence (OR=0.738, p=0.008), suggesting greater patient awareness in this group.
Conclusion: HF etiology is strongly gender-patterned. Non-ischemic etiologies, more prevalent in women, may carry distinct adherence challenges due to symptom ambiguity and treatment complexity. Etiology-specific education and follow-up protocols could improve adherence across all HF subtypes.
Keywords: HF etiology, Ischemic heart disease, Gender, Therapeutic adherence, Valvular disease, Tunisia

THE ROLE OF NATIONAL HEALTH INSURANCE IN PROMOTING THERAPEUTIC ADHERENCE IN HEART FAILURE

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Universal health coverage is widely recognized as a determinant of health outcomes in chronic disease management. In Tunisia, the Caisse Nationale d'Assurance Maladie (CNAM) provides insurance coverage for a significant portion of the population, but coverage gaps persist among the most vulnerable groups. Whether insurance status translates into improved therapeutic adherence in HF has not been well characterized in the local context.

Objectives: To assess whether CNAM coverage is associated with better therapeutic adherence among HF patients, and to explore the differential impact of insurance status across gender groups.

Methods: Insurance status was categorized as: CNAM-covered, indigent (free care beneficiaries), or private insurance. The association between insurance type and adherence was analyzed for 1,288 patients using Chi-square tests and odds ratios.

Results: CNAM coverage was associated with significantly lower risk of poor adherence (OR=0.747, p=0.041). Indigent and private insurance statuses were not significantly associated with adherence outcomes. Among the 1,288 patients, 81.2% were CNAM-covered, while 32% reported financial dependency on a family member.

Conclusion: National health insurance coverage through CNAM plays a meaningful protective role in therapeutic adherence for HF patients. Extending coverage to uninsured or underinsured patients could be a cost-effective public health strategy to reduce HF-related rehospitalization in Tunisia.
Keywords: CNAM, Health insurance, Therapeutic adherence, Heart failure, Social coverage, Tunisia

THE PARADOX OF GENDER AND ADHERENCE IN HEART FAILURE: WHEN VULNERABILITY DOES NOT EQUAL NON-ADHERENCE

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: One of the most counter-intuitive findings in HF adherence research is that women — who carry greater socioeconomic vulnerability, lower health literacy, and more complex clinical profiles — may nonetheless demonstrate better therapeutic adherence than their male counterparts. This paradox has been described in several international cohorts and appears to be replicated in the Tunisian context.

Objectives: To analyze and interpret the apparent paradox of better adherence among women with HF despite higher socioeconomic vulnerability, and to explore the behavioral, cultural, and clinical mechanisms underlying this phenomenon.

Methods: Gender-stratified adherence data from 1,288 HF patients were analyzed alongside clinical and socioeconomic variables. Mediation and moderation mechanisms were explored through bivariate analyses.

Results: Despite higher rates of illiteracy (43.8% vs. 19.5%), poverty (46.6% vs. 26.5%), and prior hospitalization, women showed significantly lower poor adherence rates (32.5% vs. 47%, $p<0.001$). Women also demonstrated higher rates of moderate adherence (30.8% vs. 17%, $p<0.001$).

These findings suggest cultural, social, or psychological resilience factors among women that partially offset structural disadvantages.
Conclusion: The paradox of greater adherence in more vulnerable women underscores the complexity of the adherence construct. Cultural norms, family-centered health behaviors, and greater perceived illness severity in women may explain this finding. Further qualitative research is needed to fully understand and leverage these protective factors.
Keywords: Gender paradox, Adherence, Vulnerability, Heart failure, Cultural factors, Resilience

FINANCIAL DEPENDENCY AND THERAPEUTIC ADHERENCE IN HEART FAILURE: EXPLORING CAREGIVER DYNAMICS

Fedi BEN DHAOU
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Salma CHARFEDDINE
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Rania GARGOURI
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Emna MZIOU
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Department of Cardiology, Hedi Chaker University Hospital, Sfax, Tunisia.

Leila ABID
Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia.

ABSTRACT

Introduction: Financial dependency on family members is common in HF patients, particularly among women, elderly patients, and those with disability. While caregiver support can facilitate medication adherence through practical assistance, financial dependency may also signal power imbalances and limited autonomy in healthcare decision-making. The role of financial dependency in HF adherence has not been well characterized.

Objectives: To examine the relationship between financial dependency and therapeutic adherence in HF patients, and to explore whether dependency on specific family members (spouse, other relatives) modulates adherence outcomes.

Methods: Financial dependency was documented as: independent, dependent on spouse, dependent on family member, or other. Bivariate analysis was used to assess the association between dependency type and adherence quality in 1,288 patients.

Results: No statistically significant association was found between financial dependency type and poor adherence ($p>0.05$ for all categories). Among the sample, 32% of patients were financially dependent.

The absence of statistical significance may reflect that in this setting, dependency and support are functionally intertwined, with complex moderating effects.
Conclusion: Financial dependency alone does not significantly predict adherence in this cohort. Future studies should examine the quality of caregiver involvement and the extent to which financial dependence reflects supportive versus disempowering dynamics in HF self-management.
Keywords: Financial dependency, Caregiver support, Therapeutic adherence, Heart failure, Social support, Gender

CENTRAL COMPOSITE DESIGN METHOD DEVELOPMENT AND VALIDATION OF VIMSELTINIB BY RP-UPLC BY ANALYTICAL QUALITY BY DESIGN

Sk. Sushma TAJ

A. V. S. S. S. GUPTA

Dr. B. Maheshwari REDDY

I. MAMATHA

V. PARIMALA

B. CHAITANYA

K. MAHESHWARI

ABSTRACT

An Easy, sensitive, specific, and precise RP-UPLC method for the pharmaceutical dose estimation of Vimseltinib in tablet dosage form. Chromatogram was run through ACQUITY UPLC CHS C18 Column, 50, 1.8 µm, 2.1. Mobile phase containing 0.01N Ammonium formate: MeCN taken in the ratio 80:20 was pumped through column at a flow rate of 0.3ml/min. Temperature was maintained at 30°C. Optimized wavelength selected was 305.0nm. Retention time of Vimseltinib was found to be 0.922 min. %RSD of the Vimseltinib were and found to be 0.5 %RSD of Method precision of Vimseltinib was found to be 0.3%. %Recovery was obtained as 99.59% for Vimseltinib. LOD, LOQ values obtained from regression equation of Vimseltinib were 0.29, 0.88. Regression equation of Vimseltinib is y = 18434x + 1073.7. Retention times were decreased and that run time was decreased, so the method developed was simple and economical that can be adopted in regular Quality control test in Industries.

Keywords: Vimseltinib, RP-UPLC, CSF1R inhibitor, tenosynovial giant cell tumours.

AGGRESSION AND ITS FORMS AMONG DIFFERENT AGE GROUPS IN GENERAL EDUCATION

Assoc. Prof. Dr. Gela AZIKURI
Iakob Gogebashvili Telavi State University, Telavi, Georgia.

Abstract
In the 21st century, despite significant technological and scientific progress, humanity continues to struggle with the increasing manifestations of aggression. In contemporary society, aggression appears in many different forms, ranging from personal and interpersonal relationships all the way to large-scale international conflicts.
The purpose of this research was to study the forms, scale, and overall impact of aggression within schools in Telavi Municipality, examining how it differs across various age groups of students.
The study employed both qualitative and quantitative research methods. The qualitative component consisted of 3 focus groups conducted with different age categories, while the quantitative component involved surveying approximately 200 students and 84 teachers from various educational institutions across Telavi Municipality. In addition, 35 in-depth interviews were conducted with education experts, psychologists, and school resource officers (mandaturi). The research also incorporated an analysis of secondary data, including reports published by the Ministry of Education, the Mandaturi Service, and various international organizations, as well as a review of relevant legislative frameworks and policy documents.

Key Findings
- 41% of surveyed students reported having been the victim of some form of aggression within the past 12 months.
- The highest recorded rate of aggression among students (53%) was found within the 12–15 age group.
- A striking 72% increase in cyberbullying incidents was recorded during the period between 2020 and 2025.

Age-Specific Characteristics
In elementary grades (ages 6–9), aggression is primarily physical in nature, manifesting as fighting, pushing, and damage to objects. Children at this age often struggle to express their emotions appropriately, leading to frequent impulsive behavior; spontaneous physical aggression, such as hitting or scratching, is the dominant form, accounting for 58% of cases.
In middle grades (ages 10–15), verbal aggression — including mockery and insults — is most prevalent, accounting for 63% of cases, followed closely by social exclusion at 47%.
Among upper-grade students (ages 16–18), cyberbullying emerges as a particularly high-rate issue, accounting for 38% of reported cases.

Effectiveness of Existing Prevention Mechanisms
Schools that have implemented anti-bullying programs show a 28% reduction in aggression incidents compared to those without such programs. However, only 34% of teachers have received specialized training in conflict resolution and aggression management, and 60% of schools lack access to a qualified psychologist.

Main Conclusions
The findings suggest that aggression represents a systemic problem within educational institutions — one that requires a comprehensive, multi-layered approach to address effectively.
1. The forms that aggression takes vary significantly depending on age category, highlighting the need for age-differentiated prevention strategies tailored to each developmental stage.
2. Digital aggression, particularly cyberbullying, represents a rapidly growing challenge that demands innovative and timely response measures.
3. Early detection and effective management of aggression are essential for supporting students' healthy development, improving the overall learning environment, and fostering harmonious relationships within the broader community.

Keywords: aggression, digital aggression, prevention mechanisms, bullying victims, harmonious society

THE ASSOCIATION BETWEEN FRAILTY EVALUATED BY THE CLINICAL FRAILTY SCALE AND SHORT-TERM MORTALITY AMONG OLDER PATIENTS IN THE EMERGENCY DEPARTMENT: A PROSPECTIVE COHORT STUDY IN MOROCCO

Mohammed EL RHANBOURI
Morpho-Science Research Laboratory, Faculty of Medicine and Pharmacy, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.

Mounia AMANE
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques (ISPITS), Marrakech, Morocco.

Samia BOUSSAA
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques (ISPITS), Ministry of Health and Social Protection, Rabat, Morocco.

Taoufik ABOU EL HASSAN
Morpho-Science Research Laboratory, Faculty of Medicine and Pharmacy, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.

Hicham NEJMI
Morpho-Science Research Laboratory, Faculty of Medicine and Pharmacy, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco.

ABSTRACT
The accelerated demographic aging is confronting Moroccan emergency departments with a growing influx of older patients, who often present with unrecognized clinical frailty due to the absence of systematic screening tools. Having a simple instrument, usable at admission, to identify patients at high risk of short-term death represents a major clinical challenge, particularly in resource-limited settings. This study aimed to compare 7-, 30-, and 90-day mortality between frail and non-frail older patients admitted to the emergency department, with frailty assessed using the Clinical Frailty Scale (CFS). This was a prospective cohort study conducted across emergency care facilities in the Marrakech-Safi region, representative of the different levels of the Moroccan hospital network. Patients aged 60 years and older (N=168) were classified as frail (n=78, CFS≥5) or non-frail (n=90, CFS<5) at admission, and were followed up by telephone contact at 3 months to record deaths. Mortality rates between the two groups were compared using bivariate tests. Ninety-day mortality was significantly higher in the frail group (22.2% vs. 2.3%; p=0.002). The frail group also showed a heavier clinical profile, with a higher Charlson Comorbidity Index (3.91 ± 1.44 vs. 2.93 ± 0.97) and a higher prevalence of polypharmacy (23.1% vs. 3.3%). Clinical frailty, assessed at admission using a simple tool, is associated with a marked increase in early mortality among older patients in Moroccan emergency departments. These findings support the integration of the CFS into geriatric triage in emergency departments, particularly in resource-limited settings.
Keywords: Clinical Frailty Scale, emergency department, Frailty, Morocco, mortality, older adults.

KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND CLINICAL PRACTICES OF MIDWIVES REGARDING GESTATIONAL TOXOPLASMOSIS IN SAFI CITY, MOROCCO

Said AIT MESSAAD
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Safi Annex, Marrakech-Safi, Morocco; Laboratory of Marine Biotechnology and Environment (BIOMARE), Faculty of Sciences El Jadida, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco.

Abstract
Background: Toxoplasmosis is a widespread parasitic infection that may remain asymptomatic in pregnant women but can cause serious fetal complications when maternal infection occurs during pregnancy. Midwives play an important role in prenatal care, health education, prevention, screening and early detection of toxoplasmosis. Assessing their knowledge and clinical practices is therefore essential for improving the prevention of congenital toxoplasmosis.

Objective: This study aimed to assess the knowledge, attitudes and clinical practices of midwives regarding gestational toxoplasmosis in the city of Safi, Morocco, and to identify gaps that may require continuing professional education.

Methods: A descriptive cross-sectional study was conducted among 70 midwives working in different maternity and obstetric healthcare facilities in Safi, including Mohamed V Hospital, Aicha Hospital, and the maternity units of Had Hrara and Tlat Bouguedra. A non-probabilistic exhaustive sampling approach was used. Data were collected using a structured questionnaire covering sociodemographic and professional characteristics, knowledge of transmission routes, clinical manifestations, maternal-fetal complications, serological screening, preventive measures, treatment and clinical management. Data were analyzed using Excel and presented as frequencies, percentages and tables.

Results: Among the 70 participating midwives, 67.14% were aged 20–30 years, while 62.86% had less than five years of professional experience. Knowledge regarding toxoplasmosis was heterogeneous. Although 54.3% correctly recognized that infection in pregnant women is generally asymptomatic or associated with mild symptoms, misconceptions concerning transmission and clinical manifestations persisted. Only 51.4% correctly identified neurological and ocular complications as major fetal complications. Regarding prevention, 47.1% identified avoidance of raw meat and proper washing of food, while important gaps remained in knowledge of preventive measures. Clinical practices also showed variability: only 44.29% reported monthly serological monitoring until delivery for seronegative pregnant women. Furthermore, 54.29% recommended strict preventive measures for seronegative pregnant women, whereas inappropriate practices were reported by the remaining participants. Importantly, 84.29% of midwives considered continuing education on updated recommendations necessary.
Keywords: Toxoplasmosis; pregnancy; midwives; knowledge; attitudes; clinical practices; prevention; Safi, Morocco.

GUT MICROBIOTA AND CHRONIC LOW-GRADE INFLAMMATION IN OBESITY: MECHANISTIC LINKS AND CLINICAL IMPLICATIONS

Alexander PLAKIDA
Odessa National Medical University, Odessa, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0002-7537-7596

Oksana MOSKAL
Department of Internal Diseases, Medical Faculty No. 2, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-8615-9933

Abstract

Background and Aim. Obesity is increasingly recognized not only as a disorder of energy balance but also as a chronic systemic condition characterized by persistent low-grade inflammation. Growing evidence suggests that the gut microbiota may contribute to the initiation and maintenance of this inflammatory state through complex interactions with intestinal barrier function, microbial metabolism, and host immunity. This review summarizes the principal mechanisms linking obesity-associated alterations of the gut microbiota with chronic low-grade inflammation.

Main Findings. Changes in microbial community structure and function may reduce the production of metabolites that support epithelial homeostasis while promoting conditions associated with impaired intestinal barrier integrity. Increased intestinal permeability can facilitate the translocation of microbial products, including lipopolysaccharide, into the circulation, where they activate innate immune pathways and contribute to sustained inflammatory signaling. These effects may extend beyond the intestine to adipose tissue, liver, skeletal muscle, and the vascular system, thereby linking local intestinal disturbances with systemic metabolic dysfunction. Microbial metabolites, particularly short-chain fatty acids, provide an additional interface between the intestinal ecosystem, immune regulation, and host metabolism. Importantly, these relationships should not be interpreted as a simple unidirectional causal pathway. Obesity-related dietary, metabolic, and inflammatory changes can themselves reshape the intestinal environment and microbial ecosystem.

Conclusion. The gut microbiota should therefore be considered part of a bidirectional host-microbial network rather than an isolated cause of obesity-associated inflammation. Understanding these interactions may help identify modifiable mechanisms contributing to chronic inflammation and support the development of microbiota-targeted approaches as complementary strategies for prevention and management of obesity-related metabolic disorders.

Keywords: gut microbiota; obesity; low-grade inflammation; intestinal barrier; microbial translocation; host-microbiome interactions.

ADULT LIFESTYLE AND CHILDHOOD ONYCHOPHAGIA

Assoc. Prof. Dr. Monika LOPUSZANSKA-DAWID
Department of Human Biology, Faculty of Physical Education, Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Warsaw, Poland.
ORCID ID: 0000-0002-3533-5754

Kuba KORTA, MSc
Department of Human Biology, Faculty of Physical Education, Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Warsaw, Poland.
ORCID ID: 0000-0003-4814-8779

ABSTRACT
The potential conditioning of adult lifestyle by childhood compulsive behaviors still requires in-depth scientific research. It is of key importance to understand the potential relationships between two fundamental lifestyle components—namely physical activity levels and cigarette smoking and childhood onychophagia.
The study was conducted on a group of 355 men aged over 30 from Wrocław (Poland). Participation in the study was voluntary and involved completing a questionnaire, undergoing a series of biomedical examinations, and additional anthropometric measurements (e.g., body height and weight). The data were collected as part of a broader project, the *Wrocław Men's Study* (NCN grants: NN303 543 239; 6POC 04820, and as part of research within Scientific School No. 5 2020/2022 at the Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw – Task 1. Project Leader: Assoc. Prof. M. Lopuszanska-Dawid, AWF Professor).
Advanced statistical analysis methods were applied. The analysis of the obtained results did not reveal statistically significant relationships between onychophagia and cigarette smoking or physical activity levels. Despite the lack of statistically significant findings, clear trend patterns regarding these associations were observed. Participants who exhibited compulsive behaviors during adolescence were more inclined toward unhealthy behaviors in adulthood.
The obtained results highlight the need for further research, given the existence of multiple theories regarding onychophagia and the numerous factors that may influence these relationships.
Keywords: physical activity; smoking; health; stress

IN VITRO ANTIOXIDANT ACTIVITY OF METHANOLIC LEAF EXTRACT OF FICUS ABUTILIFOLIA

Umma Aliyu IDRIS
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abdullahi NASIR
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Aliyu I. YARDUA
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Ibrahim H. KANKIA
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Salahuddeen YA'U
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Mande Usman UMAR
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Muhammad M. USMAN
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abstract
Oxidative stress resulting from excessive free radical production contributes to the development of various chronic diseases. Antioxidants delay the oxidation process by neutralizing the free radicals. Natural antioxidants from plants are increasingly considered safer and cost-effective alternatives to synthetic drugs. Hence, this study evaluated the *in vitro* antioxidant activity of Fractions of the methanolic leaf extract of *Ficus abutilifolia.* The methanolic leaf extract was fractionated using Thin Layer Chromatography. The Fractions obtained were assessed for antioxidant activity using DPPH (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), ABTS [2, 2' azinobis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)], ferric reducing antioxidant power (FRAP) and total antioxidant capacity (TAC) assays. The results revealed that all Fractions showed significant antioxidant activity, with Fraction 3 showing the strongest activity having an IC_{50} value of 0.321 ± 0.078 µg/mL in DPPH and 4.477 ± 0.498 µg/mL in ABTS respectively, although lower than that of the Gallic acid (standard). The highest FRAP (186.87 ± 6.921 µg TE /ml) and TAC (135.33 ± 1.606 µg AAE/ml) values were also recorded for Fraction 3. Overall, the results strongly indicated significant antioxidant activity in all Fractions, suggesting that *F. abutilifolia* is a promising natural source of antioxidants and may have potential against various diseases associated with oxidative stress.
Keywords: *Ficus abutilifolia*, oxidative stress, antioxidants, DPPH assay, ABTS assay, FRAP, TAC.

PUBLIC HEALTH FINANCING AND UNDER-FIVE MORTALITY IN NIGERIA: AN ARDL TIME-SERIES ANALYSIS, 2000–2025

Dr. Isah Imam PAIKO
Department of Entrepreneurship, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria.

Asma'u USMAN
Department of Entrepreneurship, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria.

Faruk Imam LUPMA
Department of Economics, Ibrahim Badamasi Babangida University, Lapai, Niger State, Nigeria.

Abstract
Reducing under-five mortality remains a central public health and human development challenge in Nigeria. Although successive governments have expanded health-sector financing and introduced reforms to improve access to essential services, child survival outcomes remain a persistent concern. This study examines the relationship between public health financing and under-five mortality in Nigeria over the period 2000–2022, with particular attention to government expenditure on health, government expenditure on education, and out-of-pocket healthcare expenditure. The study adopts an ex-post facto research design and utilises annual secondary data obtained from the World Development Indicators and the Central Bank of Nigeria Statistical Bulletin. The Augmented Dickey-Fuller test is employed to establish the order of integration of the variables. At the same time, the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) framework is used to investigate both the short-run and long-run relationships. The bounds-testing procedure indicates the existence of a long-run equilibrium relationship among the variables. The results show that government expenditure on health is associated with a reduction in under-five mortality in the long run, while its short-run effect is positive. This divergence suggests that increases in public health expenditure do not necessarily produce immediate improvements in child survival where implementation constraints, institutional weaknesses and inefficiencies in resource utilisation persist. Out-of-pocket expenditure is negatively associated with under-five mortality in the long run, whereas government education expenditure exhibits a positive association. The study concludes that the effectiveness of health financing depends not only on the volume of resources committed but also on how efficiently and equitably those resources are converted into health services and outcomes. It recommends stronger expenditure accountability, improved primary healthcare infrastructure, expanded health insurance coverage, and greater prioritisation of maternal, neonatal and child health interventions.
Keywords: Public Health Financing; Under-Five Mortality; Health Expenditure; Out-of-Pocket Expenditure; ARDL.

FABA BEANS IN HUMAN NUTRITION: NUTRITIONAL BENEFITS, ANTINUTRITIONAL FACTORS AND HEALTH PERSPECTIVES

Chaima BELHOCINE
Laboratory of Biotechnology Applied to Agriculture and Environmental Preservation, Higher School of Agronomy Mohamed El Amjed Ben Abdel Malek, Mostaganem, Algeria.

Mohamed BELABBES
Laboratory of Biotechnology Applied to Agriculture and Environmental Preservation, Higher School of Agronomy Mohamed El Amjed Ben Abdel Malek, Mostaganem, Algeria.

Kaddour BOUDEROUA
Laboratory of Food Technology and Nutrition, Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem, Mostaganem, Algeria.

Ahmed Readh CHAIB EDDOUR
Laboratory of Biotechnology Applied to Agriculture and Environmental Preservation, Higher School of Agronomy Mohamed El Amjed Ben Abdel Malek, Mostaganem, Algeria.

Abstract
The growing demand for sustainable and nutritious food sources has increased interest in legumes as valuable components of healthy diets. Faba bean (*Vicia faba* L.) is a nutrient-rich legume characterized by its considerable protein content, dietary fiber, minerals, and bioactive compounds, making it a promising source of plant-based nutrients for human consumption. Recent research has also highlighted the potential of faba bean proteins and derived peptides to exhibit antioxidant, antidiabetic, antihypertensive, cholesterol-lowering, and anti-inflammatory activities, although further human studies are required to confirm these effects.Despite these nutritional advantages, faba beans contain several antinutritional factors, including tannins, phytic acid, vicine, convicine, and protease inhibitors, which may affect nutrient digestibility and mineral bioavailability. Processing techniques such as soaking, germination, fermentation, cooking, extrusion, and thermal treatment can reduce these compounds and improve the nutritional and functional properties of faba beans.The nutritional composition, health-related potential, antinutritional factors, and processing strategies of faba beans are considered, with particular emphasis on their contribution to plant-based protein intake, digestive and metabolic health, and sustainable food development. Current research findings and knowledge gaps are also highlighted, particularly regarding the need for further human-based evidence to clarify their potential health applications. Overall, faba beans represent a promising and sustainable source of nutrients with potential applications in healthy diets and the development of functional foods.
Keywords: Faba bean; human nutrition; plant protein; bioactive compounds; health

THE IMPACT OF OBESITY DURING THE PREPUBERTAL AND PUBERTAL PERIOD ON ORTHOPEDIC TREATMENT

Assoc. Prof. Dr. Elina TEODORESCU
Carol Davila University of Medicine and Pharmacy, Bucharest, Romania.

Prof. Dr. Mariana PĂCURAR
George Emil Palade University of Medicine, Pharmacy, Science, and Technology of Târgu Mureș, Târgu Mureș, Romania.

ABSTRACT

Overweight in children and adolescents is a complex, multifactorial condition and is the most widespread nutritional disease globally, reaching pandemic proportions, with morbidity rates that have been steadily increasing in recent years in both developed and developing countries; it has been termed the “disease of the century” by the World Health Organization.

Studies conducted over time suggest that the prevalence of overweight among children and adolescents has tripled over the past 30 years. In 2009, according to a study conducted by the WHO in 79 countries, there are an estimated 250 million obese children, with a steadily rising trend, particularly among the population of the United States and in certain countries in the Middle East, where the rate of childhood overweight and obesity stands at approximately 30%.

In this study, we sought to analyze the anthropometric assessment of general and craniofacial development during the prepubertal and pubertal periods in patients who have or are developing varying degrees of obesity or overweight. We identify asswell correlations and the influence of excess weight on the possible emergence of preferential growth patterns, the development of additional pathologies, the sometimes unexpected compensation for a growth trend, or the exacerbation of a preexisting condition.

Keywords: growth, cranio-facial development, obesity, dento-maxilary and facial discrepancies.

SPATIAL MULTI-OMICS OF THE TUMOUR MICROENVIRONMENT: DECIPHERING TUMOUR HETEROGENEITY, IMMUNE ESCAPE AND THERAPEUTIC RESISTANCE FOR PRECISION ONCOLOGY

Haliru JUNAIDU
Centre for Advanced Medical Research and Training (CAMRET), Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria; Department of Biochemistry and Molecular Biology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.

Fatahu JUNAIDU
Department of Biochemistry and Molecular Biology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.

Ismail Muhammad JUNAIDU
Department of Microbiology, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.

ABSTRACT

Background: Tumour heterogeneity and tumour–microenvironment (TME) interactions drive cancer progression, immune evasion and therapeutic resistance, yet bulk profiling obscures their spatial organization. Spatial multi-omics integrates molecular profiling with tissue architecture to resolve tumour ecosystems at cellular and spatial resolution.

Objective: To systematically synthesize evidence on spatial multi-omics for characterizing tumour heterogeneity and TME organization and identifying spatial mechanisms associated with immune dysfunction, therapeutic response and resistance.

Methods: PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase, ScienceDirect and Google Scholar were searched from inception to 20 May 2026. Eligible primary studies applied spatial transcriptomic, proteomic, metabolomic, lipidomic or integrated multi-omic approaches to cancer and reported spatially resolved tumour heterogeneity, TME interactions, immune dysfunction, treatment response or resistance. Two reviewers independently screened records and extracted data. Risk of bias was assessed using design-appropriate Joanna Briggs Institute tools. Findings were narratively synthesized because of clinical and methodological heterogeneity.

Results: Of 435 records identified, 11 studies met the eligibility criteria. Spatial multi-omics revealed metabolically distinct tumour ecosystems, immune-dysfunctional niches and stromal populations associated with malignant phenotypes. SPP1+ fibroblast-associated metabolic heterogeneity was implicated in colorectal cancer liver-metastatic growth, while spatial tumour–stroma organization was associated with breast cancer progression and treatment response. Tumour-ecosystem heterogeneity was associated with immunotherapy efficacy in advanced non-small-cell lung cancer. Studies in gastric, pancreatic and hepatocellular carcinomas identified spatially restricted metabolic, immune and fibroblast-mediated interactions.

Conclusions: Spatial multi-omics resolves tumour–TME heterogeneity and identifies spatial mechanisms associated with cancer progression and therapeutic response. Methodological heterogeneity and limited validation constrain clinical translation, supporting standardized analytical frameworks and prospective validation.

Keywords: Spatial multi-omics; Tumour heterogeneity; Tumour microenvironment; Cancer; Precision oncology

RETHINKING BLOCKCHAIN IN HEALTHCARE HR: A MULTI-LEVEL ADOPTION FRAMEWORK FOR MEDICAL CREDENTIAL MANAGEMENT

Darius DIRPES
Department of Management and Entrepreneurship, Faculty of Economics and Business Administration, West University of Timișoara, Timișoara, Romania.
ORCID ID: 0009-0004-3450-3623

Assoc. Prof. Dr. Denisa Bogdana ABRUDAN
Department of Management and Entrepreneurship, Faculty of Economics and Business Administration, West University of Timișoara, Timișoara, Romania.
ORCID ID: 0000-0001-8310-7011

SUMMARY
Blockchain is frequently proposed as a remedy for the burden of verifying and tracking the professional credentials of medical staff. One prior question is usually left unasked: whether the scale of the problem justifies the overhead a distributed ledger imposes. This paper asks a narrower question that four cases can address: which organisational conditions would warrant evaluating a permissioned ledger alongside conventional digital solutions. The study is an exploratory qualitative multiple-case study of four Romanian medical institutions, two public hospitals and two private providers, with staffing figures from 16 to 2,955. Data come from a structured documentation sheet completed by the responsible HR officer, from institutional records, and, at two of the four sites, from systematic on-site observation.
Comparable gaps were reported in all four cases: no integrated source of truth for the current validity of a credential, and no automatic alerting ahead of expiry at any site, the checks being manual throughout. Reported weekly effort ranged from about two hours in the smallest units to forty-five in the largest hospital. The cases do not support a uniform recommendation. Where the documented gap is incomplete alerting, conventional software is designed to close it. Where several employers must establish the same credential status and no single body is positioned to notify them, a shared register becomes worth evaluating. The comparison is with a centralised or federated alternative. This study cannot rule that alternative out. The paper offers a decision matrix, not a ranking, and identifies what would still have to be established before an architecture could be chosen. Size and ownership sector vary together in this sample, so their effects cannot be separated. Evidence of a cross-institutional verification need was reported at one site; the study did not establish which architecture would best address it.
Keywords: blockchain; healthcare human resource management; professional credential verification; technology adoption; qualitative case study

1. INTRODUCTION
In Romanian healthcare institutions the right to practise depends on documents that must be current. A physician may hold a degree, a recognised specialty and two decades of clinical experience. Entitlement to practise is a separate matter. Such a physician may still be legally barred from seeing a patient if the practice licence issued by the College of Physicians has lapsed, if the occupational-health fitness record is out of date, or if the continuing education credits required by the profession, of the order of two hundred over a five-year cycle, have not been accumulated and certified. Such documents are the legal precondition of clinical work.
Their absence exposes the institution to sanction by the public health directorate, to findings at accreditation review, and, in the worst case, to the suspension of a service line.
The documents themselves are rarely missing. What this study asks is whether institutions have a reliable way of establishing that they are valid at any given moment. Evidence of validity is assembled from spreadsheets maintained in parallel with the official personnel software, from paper registers, from photocopies deposited at the time of hiring, and from the employee's own initiative in renewing documents that are legally theirs. Compliance itself is not the gap here. Institutions generally take it seriously. What they lack is the administrative capacity to demonstrate compliance continuously and not after the fact.
Blockchain has been proposed, with considerable frequency, as the answer.

Since Mettler (2016) identified healthcare as a domain ripe for distributed ledger technology, a substantial literature has developed around medical applications, with credential verification repeatedly named among the most promising use cases (Alnuaimi et al., 2023; Angraal et al., 2017; Gordon & Catalini, 2018; Hasselgren et al., 2020). The argument is sound enough in its own terms. A credential is a claim issued by a third party whose authenticity an employer cannot independently establish. A tamper-evident registry shared among issuers and verifiers addresses that class of problem.

The difficulty is that this argument is almost always advanced at the level of the technology, not of the organisation. A recent scoping review of blockchain-enabled self-sovereign identity in healthcare found that the field remains at an early stage of maturity, most of the thirty-seven studies reviewed proposing conceptual models or prototype implementations, and that interoperability limits, governance gaps and weak integration into existing health infrastructures persist as barriers (Pokharel & Kathayat, 2026). Very few contributions ask whether a given institution has a problem large enough to warrant the architecture being proposed. A hospital with three thousand employees and a dental practice with sixteen face the same legal obligation; it does not follow that they face the same administrative problem, or that they should adopt the same solution.

This paper therefore asks a question of proportionality rather than of feasibility. Which organisational conditions would warrant evaluating a permissioned ledger alongside conventional digital solutions for professional credential management? Three subordinate questions follow. The first is how credential tracking is actually performed in institutions of different sizes and ownership sectors. The second is which vulnerabilities of the current model are structural and which are functions of volume. The third is what architecture would reconcile the verification benefits of a distributed ledger with a data protection regime whose right to erasure sits uneasily beside the immutability that gives a ledger its value. The contribution is twofold. Empirically, the paper documents credential administration in four Romanian medical institutions spanning two orders of magnitude in size, using a single instrument applied consistently across all four. Conceptually, it proposes a multi-level decision framework that separates three questions an institution faces in sequence: whether to automate internal monitoring, whether to arrange verification with the issuing bodies, and only then which architecture that verification should rest on. Blockchain enters at the third question as one candidate among others. The framework is exploratory: it is an instrument for deciding where a pilot would be worth evaluating, not a demonstration that a distributed ledger outperforms the alternatives, which four cases cannot establish.

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1. Credential administration and the gap between digitalisation and automation

Human resource management in healthcare has been studied principally as a workforce problem: shortages, distribution, retention and skill mix (Dussault & Dubois, 2003; Kabene et al., 2006; OECD, 2019; World Health Organization, 2016). This literature is concerned with whether the right people are in the right places, and has comparatively little to say about the administrative machinery that establishes whether those people are legally entitled to be there. The electronic HRM literature stops short of the question from the opposite direction, concentrating on recruitment, selection, performance management and training (Bondarouk & Ruël, 2009; Stone et al., 2015; Strohmeier, 2007). Those functions are discretionary, and there technology is expected to improve decision quality. Credential administration is not discretionary. It is a compliance function whose output is binary, the document is valid or it is not, and whose failure mode is not a suboptimal decision but a legal breach. Bondarouk and Ruël (2009) note that the value of e-HRM is realised through the reconfiguration of processes, not through the deployment of tools. The observation applies with particular force here. The tool most institutions possess, a personnel and payroll application, was never designed to track the validity horizon of third-party documents.

A recurring finding of the digital transformation literature is that the presence of technology in an organisation is a poor predictor of whether processes have actually changed. Vial (2019) distinguishes the adoption of digital tools from the structural reconfiguration of the activities those tools are meant to support; Legner et al. (2017) argue that digitalisation is not homogeneous but depends on sector, organisational size and context; Westerman et al. (2014) put the point in managerial terms: value is produced by the intensity with which technology is integrated into processes, not by its presence. Hess et al.

(2016) argue that transformation projects founder more often for organisational reasons (unclear ownership, absent skills, resistance) than for technical ones. It is the distinction between acquiring a tool and reconfiguring the work around it that the two public cases bear on most directly. An institution that has purchased personnel software and continues to maintain a parallel spreadsheet for expiry dates has acquired a digital instrument without automating the monitoring itself.

2.2. Blockchain, credential verification and the European regulatory layer

A blockchain is an append-only distributed ledger in which records are grouped into cryptographically linked blocks and validated by consensus, not by a central authority (Nakamoto, 2008; Yaga et al., 2018; Zheng et al., 2017). Buterin (2014) extended the model with programmable logic. Christidis and Devetsikiotis (2016) characterise smart contracts as self-executing agreements that trigger predefined actions when stated conditions are met. Xu et al. (2017) provide the architectural distinctions that matter for institutional use: public versus permissioned networks, and on-chain versus off-chain data placement. Permissioned platforms such as Hyperledger Fabric (Androulaki et al., 2018) restrict participation to identified members, which removes the energy-intensive consensus of public chains (Gervais et al., 2016) and replaces anonymous trust with institutional accountability. Healthcare applications have clustered around patient records, clinical trial consent and supply chain integrity (Angraal et al., 2017; Hasselgren et al., 2020; Mettler, 2016; Radanović & Likić, 2018). Credential verification occupies a narrower but conceptually cleaner position. The data involved are institutional, and the verification event is discrete. Alnuaimi et al. (2023) demonstrate technical feasibility for exactly this use case. Two limitations recur, however, and both bear on the argument advanced here. The first is what Gordon and Catalini (2018) describe as the oracle problem: a ledger guarantees the integrity of data after they have been written, but cannot by its own means guarantee their correctness at the moment of writing. The second is organisational: Bazomanza Nzabandora et al. (2026), surveying 194 IT professionals in healthcare organisations, find that perceived risk shapes adoption intention. Neither invalidates the technology. Both indicate that its value is conditional on governance and organisational readiness rather than intrinsic to the architecture.

The General Data Protection Regulation (Regulation (EU) 2016/679) imposes two requirements that stand in evident tension with an immutable ledger: data minimisation under Article 5(1)(c) and the right to erasure under Article 17. The European Data Protection Board addresses this directly in its guidelines on processing personal data through blockchain technologies. Its advice is restrictive: personal data should not be placed on a chain where this conflicts with data protection principles, and hashed values and transactional metadata are treated as capable of remaining personal data in their own right (European Data Protection Board, 2026); Vayena et al. (2018) situate the wider governance and accountability challenges within which this one sits. Article 35 adds a procedural obligation, a data protection impact assessment for high-risk processing, directly relevant to personnel files containing health, aptitude and criminal record data. The architectural response, now standard, is to place documents off-chain and record on-chain only a cryptographic hash with minimal metadata. That principle underlies the European Blockchain Services Infrastructure. It is a permissioned network developed jointly by the European Commission and the Member States around the W3C standards for decentralised identifiers and verifiable credentials (European Commission, 2024; Sporny et al., 2022). Diploma and credential verification are among its flagship use cases. Tan et al. (2023), reporting an action research study of a cross-border pilot between Belgium and Italy conducted on that infrastructure, found that verification could be completed in minutes, against days under conventional electronic verification and weeks on paper.

Two further instruments have altered the regulatory picture since much of this literature was written. Regulation (EU) 2024/1183, in force from 20 May 2024, amends the eIDAS framework to place verifiable credentials at the centre of the European digital identity ecosystem and obliges Member States to make a European Digital Identity Wallet available to citizens. Regulation (EU) 2025/327, published on 5 March 2025, establishes the European Health Data Space with staggered application dates from 2027 onward. The significance for this paper is specific: the absence of a legal framework recognising the evidentiary value of cryptographic verification has, until recently, been a decisive objection to proposals of this kind, and that layer is now under construction.

The question moves from whether such an infrastructure is legally conceivable to which institutions have a problem large enough to justify joining it.

3. RESEARCH AND FINDINGS

3.1. Research design and method

The study adopts an exploratory qualitative multiple-case design (Yin, 2014). The choice follows from the nature of the object. Credential administration is a process with a substantial informal component: hybrid instruments held alongside official ones, ad hoc telephone confirmations, responsibilities that are understood without being documented. A standardised questionnaire administered at scale would produce frequencies and opinions while missing precisely the mechanisms that explain how the process actually holds together, and where it does not. The research questions are of the how and why type for which case-based designs are recognised as appropriate (Bryman, 2016; Yin, 2014).

Cases were selected by theoretical rather than probabilistic sampling (Eisenhardt, 1989), maximising variation along two dimensions considered relevant a priori: ownership sector and organisational size. Crossing the two dimensions yields four combinations, of which the four cases occupy two, large and public and small and private: a large public hospital, a medium-large public hospital, a small multidisciplinary private provider and a very small specialised private practice. The logic is that a deficiency appearing in a public hospital with a reported staffing figure of 2,955 and again in a dental practice of 16 is more plausibly structural than accidental. One consequence of this sampling strategy must be stated at the outset. The two large institutions are both public and the two small ones both private. Organisational size and ownership sector therefore vary together. Their effects cannot be separated within this design.

Table 1. Data sources and the role of each institution in the research design

Code	Institution	Sector	Data type	Role in the research
IM-01	Public hospital, multidisciplinary clinical profile	Public	Documentation sheet and institutional public records	Reference case for the large public hospital
IM-02	Public county hospital, emergency and medical specialties	Public	Documentation sheet completed directly and systematic observation	Comparative case for the medium-large public hospital
IM-03	Private multidisciplinary polyclinic with national insurance contract	Private	Documentation sheet completed directly and systematic observation	Reference case for the multidisciplinary private unit
IM-04	Individual medical practice / specialised private clinic	Private	Documentation sheet completed directly	Reference case for the small private unit

Fieldwork was carried out in the spring of 2026. The principal instrument was a seven-part data collection sheet: the institutional profile and staffing structure; the current credential tracking process; external cooperation, risk and data protection; digital maturity and openness to innovation; a systematic observation grid completed by the researcher; a checklist of the documents consulted, also completed by the researcher; and an optional section capturing the perspective of a medical employee. The Appendix sets out the instrument items behind each reported indicator.

Applying the same instrument across all four institutions is what makes units of radically different size comparable on common indicators. The evidence base differs across cases, and the difference bears on what can be claimed. Systematic on-site observation accompanied the documentation sheet at IM-02 and IM-03 only. Statements about IM-01 and IM-04 therefore rest on declared and documentary evidence alone. At IM-04 the sheet was completed directly by the responsible person, with no observation visit, and at IM-01 it was completed by the institution and combined with publicly available institutional records (Table 1).

The analytical procedure was a structured comparison rather than an interpretive coding exercise. Responses were transferred, section by section, onto the common dimensions of the instrument and tabulated side by side (Table 2); recurrent gaps visible in that comparison were then grouped into the risk categories of Table 3, and the managerial recommendations follow from those categories. Where the sheet, the institutional records and the observation notes disagreed, the discrepancy is reported without being reconciled. Declared practice is labelled as declared throughout. Three sources of evidence were triangulated where available: the completed sheets, direct observation of the HR office, and institutional records and aggregate staffing data made available by the institutions. Observation targeted directly verifiable elements: the predominant medium of HR documents, the existence of visible expiry registers, restricted access to files, displayed procedures and IT infrastructure. Declared practice could therefore be checked against observed practice at the two institutions where observation took place.

The reported workload figures require several qualifications. The weekly hours are as reported by the respondents for their department as a whole. They are neither measured times nor individual workloads. Nor are they normalised by the number of documents managed, which the collection instrument did not capture. The decision matrix in Section 3.6 was built from the same comparison. It is exploratory and has not been validated. For each case it records the gap documented in the sheet, and in the observation notes where observation took place, the intervention that gap points to, what would have to hold before a shared registry were worth evaluating, and the questions that remained open at the end of data collection.

The instrument was centred on HR officers. That was a deliberate decision: for this purpose the relevant evidence concerns how the process functions, not how end users perceive it. An optional section on the employee perspective was completed at IM-03; it was not analysed for this paper, and none of the findings reported here rests on it. No personal data of employees and no patient data were requested or processed at any point, and the institutional information used was either aggregated or already public. The unit of analysis was the administrative process, and institutions are referred to by code. Coding protects but does not guarantee anonymity, since headcount, ownership and specialty profile could in principle narrow identification. External validity in the statistical sense is not claimed: case studies support analytic generalisation to theoretical propositions, not statistical generalisation to a population (Yin, 2014).

3.2. The four institutions

IM-01 is a large multi-pavilion public hospital with a broad clinical spectrum and a reported staffing figure of 2,955; the institution reports 518 physicians, 604 residents, 940 nurses and 82 pharmacists among them, categories that do not sum to the total, and the records consulted do not specify the residual. The source records use “staff positions” for IM-01 and “employees” for the other three; whether these denote approved posts, filled posts or individuals could not be resolved from the records consulted, and the figures are reported here as they were recorded. Set against an HR department of ten to fifteen people, that figure yields a ratio of at least 197 to one, a figure that understates the load because credential tracking is one responsibility among many: contracts, leave, certificates, competitions, payroll and correspondence with external authorities fall to the same department. Time attributable strictly to recording and updating personnel documents was estimated at forty to forty-five hours per week, the highest value in the sample. The institution operates dedicated personnel and payroll applications alongside the national employee registry. No fully automated module covers credential validity. Expiry is tracked through a combination of software, spreadsheets and physical registers. The need articulated by the HR officer was a single dashboard with automatic alerts ahead of expiry.

IM-02 is a county emergency hospital with 1,303 employees, including 198 physicians and 661 nurses, and eight HR staff, a ratio of approximately 163 per HR officer. What distinguishes this case is the visible tension between possessing an information system and judging it inadequate: the documentation

sheet records the hospital application explicitly as obsolete while auxiliary spreadsheets continue to operate in parallel. The application holds the expiry dates and can be consulted, but it issues no alert; the notices that reach employees are sent by the HR department after a manual check. Verification of documents at hiring takes two to three days and relies on copies supplied by the candidate, with selective confirmation at the issuer. From a data protection standpoint, no impact assessment has been performed, despite the volume and sensitivity of the data processed. Digital personnel files are not protected by individual file-level passwords. Access extends beyond HR to accounting and IT staff. These are reported features of the control environment, not evidence of unauthorised access: whether such access is lawful depends on authorisation, necessity and the controls around it. This instrument examined none of them. The need expressed here exceeded an alerting module: the respondent wanted the HR system replaced.

IM-03 is a private multidisciplinary polyclinic with a national insurance contract. Of its 28 employees, 15 are physicians. That clinical breadth, twelve specialties from cardiology to orthopaedics, is unusual for a unit of this size. HR is handled by one person assisted by a quality manager, working from paper files and spreadsheets, with approximately two hours per week devoted to credential tracking; renewal rests primarily on the employee. The distinctive feature of this case is the prevalence of multiple employment. The respondent estimated that more than twenty per cent of the 15 physicians work simultaneously at other healthcare institutions. On that base the figure implies four physicians or more, since three of fifteen would be exactly a fifth. The sheet does not record the number itself, so the proportion rests on the respondent's judgement and not on a count. The original licence remains with the employee and the institution holds certified copies, an arrangement that functions at small scale but raises a real question when several employers must each establish current validity. Verification of licences is performed online on the professional colleges' registries and takes about a minute; hiring verification as a whole is recorded in the documentation sheet at approximately two days (Table 2), the registry query being one step within it.

IM-04 is a small specialised private dental practice with 16 employees and two people covering HR and administration. Tracking operates through quarterly checks, a physical register and documents brought in by employees. There is no automated alerting of any kind. The respondent reported ordered files and a posted expiry schedule, and described the routine as working; no observation visit took place at this site. Taken as declared, that is an informative report in itself: at this scale the respondent considers informal control sufficient. No outcome data were collected against which to test that view. Even so, both small-unit respondents assigned the maximum rating to the usefulness of instant validity verification and to the importance of document immutability. Both volunteered that the process depends on a small number of people; neither was asked to assess its robustness.

3.3. The current process across the four cases

Table 2. Comparative synthesis of the current credential tracking process

Dimension	IM-01	IM-02	IM-03	IM-04
Reported staffing figure	2,955	1,303	28	16
HR staff	10–15	8	1	2
Reported staffing figure per HR officer	197–296	163	28	8
Principal instrument	Personnel/payroll software + spreadsheets + physical registers	Hospital HR application + spreadsheets	Paper + spreadsheets	Physical register + quarterly checks
Expiry notification	Partial: periodic manual checks via HR	Partial: deadlines consulted in the software; no alerts issued; periodic manual checks	Partial: periodic HR and quality manager review	Manual, quarterly

Dimension	IM-01	IM-02	IM-03	IM-04
Responsibility for renewal	Employee; HR verifies and archives	Employee or HR depending on document type	Employee plus quality manager; HR active for occupational health	Employee, with quarterly HR verification
Hours per week on credential records	40–45	25–30	≈2	≈2
Verification at hiring	Copies/originals + selective online checks	Copies + selective issuer confirmation; 2–3 days	Copies/originals + online check (≈1 min); 2 days	Copies/originals; no additional verification
Multiple employment	Not precisely known	Not precisely known	Frequent; respondent's estimate, >20% of the 15 physicians	Not specified
Principal need expressed	Single dashboard with automatic alerts	New HR system (current one judged obsolete)	Integrated system with automatic verification and alerts	Automatic verification and document calendar

Across Table 2 the instruments in use differ considerably, while the underlying problem is much the same everywhere. Regardless of size or sector, the process remains partially manual, dependent on employee initiative for renewal, and incompletely integrated across the instruments in use. At IM-03 and IM-04 a couple of hours per week are reported as covering the work. At IM-01 the same activity is reported to absorb forty to forty-five hours, a difference of more than an order of magnitude.

Before that difference can carry any weight it has to be put on a common footing. The reported hours are departmental totals, and the departments differ in size as much as the institutions do. Normalised by the reported staffing figure, the ranking inverts. Credential administration absorbs roughly fifty seconds per person per week at IM-01 and about a minute and a quarter at IM-02. At IM-03 the figure is some four minutes, and at IM-04 seven and a half. Normalised instead by HR staff, the spread narrows sharply: on the reported ranges, 2.7 to 4.5 hours per HR officer per week at IM-01 and 3.1 to 3.8 at IM-02, against approximately 2 at IM-03 and 1 at IM-04. Neither calculation is a measurement. The underlying hours are as reported, without independent observation, and the IM-01 denominator is of uncertain meaning (Section 3.2). Two readings have to be kept apart. The reported totals do not show that the large institutions administer credentials less efficiently: per employee the small units carry the heavier load, and per HR officer the four sit between roughly one and four and a half hours a week, a narrower spread than the raw figures suggest. What the totals do show is the quantity of work accumulating in one department, forty to forty-five hours a week being of the order of one full-time post at IM-01. That is an argument for examining how the work is resourced and what of it could be automated. It is not an argument for a distributed ledger, and nothing in these figures makes one.

The case for evaluating a shared register rests elsewhere, on the cross-institutional condition set out in Section 3.6.

A further observation concerns the allocation of responsibility. Practice licences, specialty certificates, competence attestations and continuing education credits belong legally to their holder; HR requests, verifies, centralises and archives, but does not renew. The exception is occupational health documentation, for which the institution plays an active organising role. This division was present in all four cases and formalised in none of them. Where responsibility is unclear, documents are more likely to lapse unnoticed, and clarifying the division in internal procedures and job descriptions is the intervention this points to.

Compared on the same dimensions (instruments, alerting, data protection and external integration), the four cases differ in ways consistent with organisational size, although this design cannot separate size from ownership, since the large cases are public and the small ones private. Both public hospitals operate dedicated HR software, yet neither reported systematic integration with the issuing registries; at IM-02 alone the software supports the check, though it issues no alerts; the two private units manage their obligations with a couple of hours a week while having, on the same figures, the fewest employees and the least software. Which of those two facts accounts for the low reported burden cannot be settled here, but reading the low figure as evidence of a well-automated process would misread it.

3.4. Risks in the current model

The personnel file of a healthcare employee contains data of particular sensitivity: health status, fitness for work, qualifications, attestations, specialisations, criminal record extracts, training records and practice licences. Any gap in the tracking of these documents is therefore not only an efficiency problem but a compliance problem, an audit problem and, ultimately, a patient safety problem. Six recurring risk types were identified across the four cases. No expired credential, audit finding or sanction was recorded at any of the four sites during the study, so the risks below are ones the arrangements leave open, not events observed to have occurred. The six are not evenly distributed. For some of them the evidence covers only part of the sample, as the entries in Table 3 state.

Table 3. Principal managerial risks of the current credential tracking model

Risk	Manifestation in the current model	Managerial impact	Measure the risk points to
Undetected expired document	Periodic manual checks at all four sites; at IM-02 the software supports the check but issues no alerts	Non-conformity at external audit; possible temporary suspension of activity	Automatic pre-expiry alerts; integration with professional college registries
Multiple copies without a single source of truth	Each institution keeps its own copies with no real-time validity confirmation	Risk of outdated versions or undetected falsification	Verification at the issuer; where several employers must establish the same status, a shared register of that status, under the conditions set out in Section 3.6
Verification at hiring not systematic, and no record of the check kept	No additional verification at IM-04; selective online checks only at IM-01; two to three days at IM-02; at IM-03 a check of about a minute that leaves no record	Risk of hiring a professional with invalid documents; delays in filling posts	Verification against the issuer registry at hiring, with the check itself recorded

Risk	Manifestation in the current model	Managerial impact	Measure the risk points to
Insufficient digital protection	Physical files and local spreadsheets with variable protection; no impact assessment at IM-02	Risk of uncontrolled access to or loss of sensitive data	Assessment of whether an impact assessment is required and of the controls already in place, then role-based access, audit logging and HR server hardening as that assessment warrants
No centralised view of continuing education	Responsibility rests with the employee; no continuously updated central record	Difficulty planning training; risk of failing the 200-credit obligation	Centralised credit dashboard; institutional annual training plan
Multiple employment and the original licence	Frequent at IM-03: the original stays with the employee, the institution holds certified copies	No continuous monitoring: a check confirms status only at the moment it is made, and no integrated record of checks exists across employers	Continuous status visibility across employers, which a centralised or a consortium register could each provide; Section 3.6 sets out what would decide between them

Beyond these operational risks, three data protection matters emerged that would warrant further assessment. At IM-02 no impact assessment under Article 35 has been performed; whether one is required turns on the nature, scope, context and purposes of the processing, which this study did not analyse. At IM-03 access to personnel files extends to the medical director without formally documented role-based procedures. At IM-04 the sheet records certain obligations as not applying to the practice. What the three have in common is that the sheets record no documentation of the assessment or of the access rules, not that the underlying obligations were shown to be breached. This instrument did not establish which obligations apply to each institution, nor what internal records exist beyond those it asked about. The gaps matter for the argument that follows. Extensive digitalisation of personnel documents will amplify data protection risk unless it is accompanied by a corresponding security architecture.

3.5. The proposed architecture

The model proposed here starts from a restriction: not all personnel documents should be written to a ledger, and certainly not in a form that exposes employees' personal data. Doing so would conflict directly with data minimisation under Article 5(1)(c) and with the right to erasure under Article 17, since immutability makes subsequent deletion of on-chain data impossible. The proposal reduces the exposure through an off-chain architecture organised in four functional layers (Figure 1). At the top sit the authorised issuers: the professional colleges, medical universities and accredited education providers. These operate as consortium nodes. Each writes the hash and minimal metadata of every document it issues, the document type, issuer, date of issue, validity period and current status. The second layer is the permissioned ledger itself, which holds only those fingerprints and never the document. The third is off-chain storage, where complete documents and personal data remain within the secured systems of institutions or issuers under role-based access. The bottom layer comprises employing institutions, which query the registry and receive the current status of the credential without receiving the document itself; that answer still relates to an identified person.

The separation between the fingerprint recorded on the chain and the document retained off-chain is a design measure that reduces exposure; it is not, by itself, a guarantee of compliance. The European Data Protection Board treats hashes and transactional metadata as capable of remaining personal data, since

they may permit an individual to be singled out even where the underlying document is held elsewhere (European Data Protection Board, 2026). An institution adopting this architecture would still owe a data protection impact assessment, a defined controller structure across consortium nodes, and a demonstration that the on-chain metadata set is the minimum the verification purpose requires. The third question posed in Section 1 is therefore only partly answered. Off-chain storage narrows the exposure, but establishing compliance with Article 17 would require work the present study did not undertake, and the architecture set out here does not demonstrate it. The Board's guidelines discuss design-dependent routes, among them rendering any remaining on-chain data effectively anonymous, and treat compliance as conditional on how a given system is built.

1 · AUTHORISED ISSUERS (consortium nodes) Colleges of Physicians and Nurses · Medical universities · Accredited continuing-education providers
↓ *write cryptographic hash and minimal metadata*
2 · PERMISSIONED CONSORTIUM LEDGER stores only the hash and minimal metadata (document type, issuer, date of issue, validity period, current status) and never the document
↕ *the on-chain hash references the document held off-chain*
3 · OFF-CHAIN STORAGE complete document and personal data, held in institutional or issuer systems under role-based access (GDPR Article 5(1)(c), Article 17)
↑ *verification request* ↓ *response: validity status only (still relates to an identified person)*
4 · EMPLOYING INSTITUTIONS hospitals and clinics verifying a credential at hiring or at audit

Figure 1. Proposed four-layer off-chain architecture, not implemented in this study (source: authors)

The architecture is a set of mechanisms that depend on one another, and the order of that dependence matters. A dashboard whose expiry dates are maintained by hand reproduces the spreadsheet it replaces. A ledger without issuer integration does not remove the need for physical copies. Smart contracts without an audit trail provide no traceability for external inspection. Alerting itself, it should be said, needs neither a ledger nor a smart contract: a conventional application with a scheduled job achieves it, which is why it belongs at stage 2 of the roadmap and not at the architectural stages. The value of the model resides in the systemic integration of hash registration, automated validity checking, a centralised HR view of licences and education credits, and an immutable log of verifications and accesses, which is also why the roadmap in Section 3.6 orders the work into successive stages, the centralised internal view first and the pilot of whichever architecture is selected last. An institution may stop at whichever stage answers its own gap, and an institution that only queries a registry someone else operates need not have built the earlier stages at all; what it cannot do is operate a later stage without them. The practical difference the architecture would make is easier to see when the same operation is followed across arrangements (Figure 2): establishing the current validity of one practice licence, and learning of a change afterwards. As reported, the check itself is not necessarily slow. At IM-03 a query against the issuing college's public registry takes about a minute. What the current arrangement does not provide is any signal between checks, or any record that a check was made. Neither of the arrangements described next was implemented or tested here. A registry integration would address both gaps, and a consortium ledger would add an entry each participant can audit independently.

A. As reported in the four cases	B. Registry integration (not implemented)	C. Consortium ledger (not implemented)
Employee presents a copy of the licence; HR files it	Employee identifies the licence; HR queries the issuer by interface	Employee identifies the licence; the employer queries the consortium registry for the entry the issuing body wrote
Validity established by a check at the issuer's public registry (about one minute at IM-03), by selective online checks at IM-01, or by selective confirmation at IM-02; no additional check at IM-04	Validity established by query against the issuing body's own record	Two checks, kept distinct: the hash shows the document is unaltered; the issuer's status entry shows whether the licence is still in force
Between checks: no signal if the licence is suspended or lapses	Between checks: status change can be pushed by the issuer, if the issuer provides that service	Between checks: status updates written by the issuer are visible to every authorised participant
Record kept: the copy on file; the check itself leaves no trace	Record kept: the query and its answer, within the employer's system	Record kept: an entry each participant can audit independently

Figure 2. Establishing the validity of one practice licence: current practice as reported, compared with two arrangements that were not implemented (source: authors)

Columns B and C describe proposed arrangements that this study did not implement or test. The operation compared is the same throughout: establishing the current validity of one practice licence, and knowing of a change thereafter. A matching hash establishes integrity, not current validity; the status entry is what establishes the latter.

The proposed arrangement remains dependent on the accuracy and timeliness of the issuers' own updates. A ledger guarantees integrity after writing, not correctness at the moment of writing (Gordon & Catalini, 2018). The same caution applies to the cryptographic layer itself. A hash establishes that a document has not been altered since registration, not that it was legitimately issued in the first place. The registry inherits whatever assurance the issuing process already provides. Applied to this model the question is concrete: who guarantees that a professional college records a licence, or its withdrawal, correctly and promptly? The answer is organisational rather than technical. The public online registries of the professional colleges were accessible at the time of the fieldwork and were used at IM-03; how far the other issuing bodies, the universities and the accredited education providers, maintain comparable digital records was not established here. To the extent that they do, the problem is not the creation of correct data from nothing but the connection of existing sources to a common verifiable infrastructure. Consortium governance would need at minimum an inter-institutional agreement defining each issuing node's obligations and liability, an audit mechanism capable of detecting discrepancies between an issuer's conventional registry and its ledger entries, and a correction procedure, since although a block cannot be deleted, a document's status can be updated through a subsequent transaction marking it withdrawn without erasing the prior history. Without these, the technical value of the ledger depends on how accurately each node enters its data. This does not invalidate the model. It makes implementation success conditional on inter-institutional cooperation. That condition is organisational and political.

A legitimate objection remains. Why a distributed ledger, when a centralised registry operated by a single authority could in principle deliver the same instant verification at lower cost and complexity? The argument for the consortium model is not one of technical performance but of governance, and much depends on how the centralised alternative is built. A registry with digitally signed records, published verification interfaces, independent audit and appropriate redundancy can provide integrity and availability guarantees close to those of a ledger.

What differs is where control over the rules sits. In a consortium ledger, no single participant, including the authority that initiated the project, can unilaterally modify a validated record, and the conditions of modification are agreed among the participating institutions. Whether that difference is worth its cost depends on how much the participants need shared governance of the record, which in turn depends on the legal consequences the documents carry (Yaga et al., 2018). For small institutions, or in a first implementation phase, a centralised software-as-a-service solution with authentication and automatic alerts is the obvious first option to price, and the early stages of the roadmap below are deliberately compatible with both architectures.

3.6. Proportionality and a multi-level decision framework

A rigorous feasibility assessment would require detailed institution-level financial data, vendor quotations and a valuation of non-compliance risk, none of which this study possesses; the data collected permit an order-of-magnitude estimate on one side of that comparison only, the recurring administrative cost of the present arrangement. The most direct indicator of that cost is the weekly time reported as devoted to credential records: forty to forty-five hours at IM-01 and twenty-five to thirty at IM-02. To put an order of magnitude on that, take an illustrative gross monthly salary of 4,500 to 6,500 lei for a higher-education HR officer in the public system. The bracket is an assumption adopted for this calculation; it is not tied to a specific function, grade or reference year, and no pay schedule is relied on here. At a conventional 170 working hours a month that is roughly 26 to 38 lei an hour. Over 52 weeks the direct labour cost of manual credential administration at IM-01 works out at between approximately 54,000 and 89,000 lei a year. That is before any indirect cost and before employer contributions, and it is an illustration of scale built on a stated assumption, not a costing. On the risk side, an undetected expired licence exposes the institution to sanction and, in the worst case, to suspension of an activity; no sanction data were collected here and no amount is put on that exposure, so this side of the comparison is left unquantified. In the wider literature on administrative automation, Lacity and Willcocks (2016) report substantial reductions in operating cost and processing time; whether any such reduction would follow here was not examined.

No implementation cost was established in this study, and none is offered here: a credible figure would require vendor quotations, a defined integration scope and a specification, none of which were collected. What can be set out are the cost categories a decision would have to price, which differ by stage. Internal standardisation and alerting are largely configuration and staff time within systems the institutions already operate. Integration with the issuing registries adds interface development and an inter-institutional agreement. A consortium ledger adds node infrastructure and continuing governance. Those costs arise at the level of the ecosystem. Their distribution among participants is a condition of financial feasibility rather than a line item for any single institution. Two things follow from this. The reported labour figure is the single quantified element on the burden side, and it rests on assumptions the reader can check and vary: the hours as reported by the respondent, the illustrative pay bracket, the 170-hour month, the 52-week year, and the arithmetic above. On the investment side nothing was quantified, so no payback period can be computed here, and any such calculation would in any case have to allow for the fact that digitalisation redistributes administrative work without abolishing it, and that freed staff time in a public hospital is not necessarily a budget saving. For the consortium stage, feasibility depends on the participation of the issuing bodies and on how costs are shared, which is a governance condition before it is a financial one.

The three conditions below are a decision aid derived from the cases, not a measurement taken from them, and the matrix that follows (Table 4) records for each institution what was documented, what intervention that points to, and what would still have to be established before an architecture could be chosen. The conditions are not scored: the number of documents handled was not collected, so documentary volume is approachable only through indirect indicators. Across the sheets the spread is wide: manual tracking runs from forty to forty-five hours a week at IM-01 against two at IM-04, and staffing-to-HR ratios from 197 to 296 against eight (Table 2). Dual employment is estimated to affect more than a fifth of the 15 physicians at IM-03. As Section 3.3 argued, the first two of these bear on how the work is resourced and not on which architecture suits it; the third is the one that bears on architecture.

Together they support differentiated recommendations instead of one answer for all four institutions.
The comparison suggests three organisational dimensions for further assessment, each bearing on a different decision. The first is administrative workload. Whether it passes the point at which informal control ceases to be reliable, that is, whether the ratio of employees to HR officer exceeds what periodic manual review can absorb, is a question for assessment and not something established here: neither the documentary volume nor the capacity of manual review was measured. No numerical threshold is proposed either. The sample contains no case between 28 and 1,303 employees, and locating a boundary inside that gap would be an extrapolation. The second is the diversity of credential requirements: several professional categories subject to distinct authorisation regimes, issued by several distinct authorities. The third, and the most discriminating, is a genuine cross-institutional verification requirement, which arises from multiple employment, from external audit obligations, or from both. Where only the first dimension is in play, internal automation is what the gap calls for. Where the third is present as well, the institution has a verification problem that no internal record, however well maintained, can settle on its own, since the information it needs sits with the issuer and with other employers; there an arrangement for verifying across institutions is worth pursuing. Whether that arrangement should be a distributed ledger is a further question, and these three dimensions do not answer it.
A further distinction belongs here, because the framework would otherwise be read too coarsely: participating in a shared verification scheme is not the same as funding or operating one. A small clinic may be able to query an existing registry at little cost, depending on the terms of access, without any reason to build infrastructure of its own. Three decisions are at stake here, and the conditions bear on them differently. Whether internal administration should be automated turns on the documented monitoring gap, which all four cases report. Whether verification across institutions is worth arranging turns on the cross-institutional condition, documented at IM-03. Whether that arrangement needs distributed governance rather than a single administrator turns on the legal weight of the records and on who must be able to audit them, a question this study does not settle. Volume and variety of documents bear on the first decision. On their own they establish nothing about the third.

Table 4. Decision matrix: documented gap, the intervention it points to, the conditions that would warrant evaluating a shared registry, and what remains unknown

Case	Gap documented in this study	Intervention the gap points to	What would have to hold to warrant evaluating a shared registry	Information still missing
IM-04 16	Quarterly manual checks; no automated alerting; process reported as resting on two people	Automated expiry alerting within an existing or subscription tool	Sustained growth in headcount, or a requirement to prove validity to an external party between checks	Whether any external body requests proof between checks
IM-03 28	Paper and spreadsheets; renewal resting on the employee; dual employment estimated by the respondent at >20% of the 15 physicians; online check at the issuer takes about a minute but leaves no record	Integrated register with alerting; a record of checks performed	Several employers needing to establish the same licence status, with no single body positioned to notify them	Whether the issuing colleges could push status changes to employers directly

Case	Gap documented in this study	Intervention the gap points to	What would have to hold to warrant evaluating a shared registry	Information still missing
IM-02 1,303	HR software reported as obsolete; parallel spreadsheets; hiring-file verification reported at 2–3 days; no data protection impact assessment reported	Replacement or extension of the HR system; impact assessment	Verification demands from multiple issuers and audit bodies that a single connected registry could not satisfy	Whether a centralised registry with an open interface would suffice
IM-01 2,955	40-45 reported hours per week on credential records; software, spreadsheets and paper registers in parallel; several professional categories under distinct authorisation regimes	Single dashboard with automatic alerts; integration with the issuing registries	A need for shared governance of the record among issuers and employers, rather than administration by one authority	Whether the issuing bodies would participate, and on what terms

The matrix records what each case documented and what would have to be established before an architecture could be chosen. It is a decision aid, not a ranking: this study did not implement or compare systems.

The case of multiple employment documented at IM-03 shows more clearly than any aggregate indicator what the architecture is meant to address, though the reader should hold its scale in view: the estimate concerns four or so physicians in a unit of 28. When a physician works simultaneously at several institutions, each employer holds only a copy of the licence. A check against the issuing college's public registry is quick, but its reach is momentary: it establishes status at the moment it is made, and nothing afterwards signals a suspension or lapse to the other employers. What is missing is continuous monitoring and an integrated record of the checks performed, not the ability to verify quickly. A status registered once by the issuing college would, on the design set out above, be readable by every authorised employer at the moment it changed, which is the property the present arrangement lacks. That this would hold in practice was not tested here. It is worth noting that IM-03, with 28 employees, is the institution in the sample where the cross-institutional condition is most clearly met while the volume condition is not demonstrated by the data, which is why its entry in Table 4 pairs an ordinary integrated register with a condition for evaluating a shared one, instead of pointing to either alone. The framework translates into a staged pathway (Table 5), and the sequence matters as much as its content: an institution that skipped straight to piloting an architecture without having standardised its internal records would risk replicating a fragmented process in a more expensive medium. Staging here is a way of reducing risk and of building the organisational capacity that the later stages presuppose.

Table 5. Staged pathway for credential administration, with the choice of architecture deferred to stage 4

Stage	Designation	Duration	Principal actions	Expected result
1	Internal standardisation	1–2 months	Inventory of credentials by category; clarification of employee versus HR responsibility; definition of standard registry fields	A coherent internal registry and formalised procedures
2	Minimal digitalisation	2–4 months	Internal dashboard of expiry dates; automatic email alerts; scanning of existing documents into digital form	Lower risk of undetected expiry; a digital base for later stages
3	Integration with issuers	6–12 months	Interface connection or cooperation agreement with the professional colleges; integration of accredited education providers	Rapid verification; fewer telephone checks and physical copies
4	Comparative evaluation of architectures	Not estimated here	Specification of the verification requirement; comparison of a centralised registry, a federated arrangement and a permissioned consortium ledger against it, on governance, audit, cost and legal weight	A reasoned choice of architecture, with the grounds recorded

Stage	Designation	Duration	Principal actions	Expected result
5	Pilot and, if warranted, extension	Dependent on the architecture selected	Pilot of the selected architecture on practice licences; inclusion of specialty certificates, attestations and education credits only if the pilot warrants it	Evidence on which to decide whether to extend, or to stop

Durations for stages 1 to 3 are indicative planning orders of magnitude, not estimates derived from this study. For stages 4 and 5 no duration is offered: the work depends on the verification requirement specified and on the architecture selected.

Stages 1 and 2 can usually be attempted within systems the institutions already operate, and they target undetected expiry, the gap common to all four sheets. Their cost was not estimated here and would have to be established, so no benefit-to-cost claim is made for them. One qualification belongs with them: at IM-02 the respondent placed replacement of the HR system ahead of alerting. Stages 3 to 5 presuppose inter-institutional cooperation, an adequate legal framework, and technical and financial resources of a different order. Building and operating them falls to whichever participants meet the conditions set out above, and to the issuing bodies; using them does not, and IM-03 is the case in this sample with the clearest reason to want them.

3.7. Confrontation with the literature

The distinction between digitalisation and automation is borne out in both public cases: in both, dedicated HR software coexisted with manual checks, and fully integrated credential monitoring was not reported. That is the mechanism Vial (2019) and Legner et al. (2017) describe in general terms. The identification of credential verification as a promising application (Alnuaimi et al., 2023; Gordon & Catalini, 2018; Hasselgren et al., 2020) is consistent with the IM-03 data, where more than a fifth of the 15 physicians are reported to hold simultaneous positions and each employer retains only copies. Where that literature emphasises transformative potential (Mettler, 2016), these cases suggest a narrower reading, one consistent with the maturity assessment of Pokharel and Kathayat (2026) and with Iansiti and Lakhani's (2017) account of blockchain as a foundational rather than a disruptive technology, whose adoption unfolds slowly. What these four cases document is a monitoring gap. Which architecture should close it is not settled by the evidence collected here.

The tension with data protection law set out in the European Data Protection Board's blockchain guidelines (2026) takes a more elementary form in these four cases. The concern in the literature is that immutability conflicts with the right to erasure. What the field returns is more elementary: at IM-02 the sheet records no impact assessment. Whether the institution has mapped its processing by other means was not asked, so the point stands only as a sequencing one. An assessment of the existing processing is the natural first step before any ledger is designed. The barriers named in the documentation sheets were cost, employee resistance and inadequate HR training, not technical limitation, which matches the conclusions of Hess et al. (2016) and is consistent with the finding of Bazomanza Nzabandora et al. (2026) that perceived risk shapes adoption intention in healthcare organisations, an effect those authors report as significant in their Canadian sample but not in their African one, and therefore as context-dependent. For practice, a digitalisation project of this kind should be managed as a change programme rather than procured as a technical acquisition.

4. CONCLUSION

This study began from a practical problem that the academic discourse on health digitalisation tends to underrate: the administration of the professional credentials of medical staff.

Practice licences, specialty certificates, competence attestations, continuing education records and occupational-health fitness documents are legal conditions for the exercise of the profession, which is why their administration bears on institutional compliance and, ultimately, on patient safety. In none of the four institutions did the arrangements for tracking them issue an automatic notification ahead of expiry. At IM-02 the software holds the deadlines and can be consulted, but it raises no alert; everywhere else the check is manual, whether or not the routine currently holds. The central finding is that the problem is not the absence of documents but the absence of a mechanism for establishing their current status and learning when it changes. That deficiency has the same structure in all four cases irrespective of scale: no single source of truth regarding validity, no systematic automatic alerting, no integration between the instruments in use. What varies is magnitude, from forty to forty-five hours per week at IM-01 to approximately two at IM-03 and IM-04. That the structure holds at both ends of that range is the finding. One instrument, one HR respondent per site and a single researcher introduce common influences on how the four accounts were elicited and read. That limits how much weight the convergence will bear.

From that shared structure, and from the conditions under which it becomes an architectural problem rather than a staffing one, the paper derives its principal contribution, a multi-level decision framework. It separates three questions that the literature tends to collapse into one. Whether internal monitoring should be automated turns on the documented monitoring gap, reported in all four cases. Whether verification should be arranged with the issuing bodies turns on the cross-institutional condition, documented at IM-03. Which architecture that verification should rest on turns on how the record must be governed and audited, and on that question the cases are silent. Documentary volume and the multiplicity of professional categories and issuing authorities bear on the first question. They settle nothing about the third. IM-01 and IM-02 report the largest administrative effort, and IM-01 records several professional categories under distinct authorisation regimes; the sheets do not record how many such categories are present at IM-02. As Section 3.3 set out, that effort is an argument for resourcing and automating the work, not for a shared register. IM-03 is the opposite case: small, but the site where the sheets record several employers needing to establish the same licence status, which is the condition bearing most directly on architecture; for the other three the sheets do not establish whether it holds. Two limits on what the cases can answer should be stated here rather than left implicit. Documentary volume was never counted, so whether the reported effort at IM-01 and IM-02 exceeds what reliable manual control can absorb is unknown. And the cross-institutional requirement is documented at IM-03 and left open at the other three, so the evidence for the second decision rests on one case. The third decision, which architecture the verification should rest on, received no evidence at all.

For IM-03 the finding is that the shared-register question is worth investigating, alongside a federated or centralised registry with digital signatures, role-based access and audit logging, which could deliver much of the same verification and which this study cannot rule out. For IM-01 and IM-02 the documented gaps point to the earlier stages, a single dashboard with automatic alerts and integration with the issuing registries, and at IM-02 to the replacement of a system its own respondent judged obsolete. For IM-04 the gap is the absence of automated expiry alerting, which conventional subscription software is designed to address. None of these options was tested here. The conclusion is a managerial one rather than a technological one: the organisational context decides which solution fits.

Several limitations qualify these conclusions. The sample of four institutions supports analytic but not statistical generalisation; the results are useful for hypothesis formation and for local decisions, not for quantitative estimates about the Romanian health system. Individual personnel files were not consulted at any site, a restriction that was ethical and methodological at once. At IM-01 and IM-04 there was also no observation visit, so informal aspects of the process at those two sites may have gone unrecorded. The financial assessment is an order-of-magnitude estimate, not a cost-benefit analysis, which matters particularly for public hospitals subject to lengthy procurement procedures. The collection sheet stated the terms of participation on its cover: the data would be used for academic purposes only, each institution would be identified by a code and not by name, and no personal data of employees would be processed. That statement describes the intended use of the data; it does not by itself evidence the consent given. Whether and how approval was obtained at each institution is not documented in this account, and no outcome measure was collected.

Across the four institutions the study records no expired credential, audit finding or sanction, so the risk it describes is one the arrangements permit, without any instance observed to have materialised. The acceptability of such a system to medical staff is not examined here at all: the optional employee section was completed at one institution and was left outside this analysis. The evidence for the cross-institutional condition is thinner than its role in the argument suggests: it comes from one site, and there from an estimate covering four or so individuals. A larger unit with the same pattern would test it properly. Most consequentially, the sample confounds two variables: both large cases are public and both small ones private, so the study cannot establish whether the observed differences follow organisational size, ownership sector, or their combination, and it contains no case between 28 and 1,303 employees in which a threshold might be located.

Three directions follow. The first is extension to a larger and more varied set of institutions, including municipal hospitals, large private networks and integrated ambulatory units, to test whether the decision criteria proposed here hold across other organisational profiles. The second is a quantitative study among HR personnel with standardised measures of document volume, time allocation, error frequency and satisfaction with current instruments; methodological triangulation strengthens the credibility of conclusions about complex organisational phenomena (Bryman, 2016). The third, and the most applied, is the design and testing of a prototype for practice licence verification, comprising an HR dashboard with alerting, an employee interface and a cryptographic verification module connected to the registries of the professional colleges. A prototype of that kind would test in real conditions the question this paper leaves open: whether, and under which conditions, a distributed ledger delivers benefits that a federated or centralised registry with digital signatures and audit logging does not.

REFERENCES

Alnuaimi, A., Hawashin, D., Jayaraman, R., Salah, K., & Omar, M. (2023). Trustworthy healthcare professional credential verification using blockchain technology. *IEEE Access, 11*, 109669–109688. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3322359

Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., Enyeart, D., Ferris, C., Laventman, G., Manevich, Y., Muralidharan, S., Murthy, C., Nguyen, B., Sethi, M., Singh, G., Smith, K., Sorniotti, A., Stathakopoulou, C., Vukolić, M., … Yellick, J. (2018). Hyperledger Fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, Article 30. https://doi.org/10.1145/3190508.3190538

Angraal, S., Krumholz, H. M., & Schulz, W. L. (2017). Blockchain technology: Applications in health care. *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes, 10*(9), e003800. https://doi.org/10.1161/CIRCOUTCOMES.117.003800

Bazomanza Nzabandora, W., Mellouli, S., & Nishant, R. (2026). Resistance to blockchain adoption in health care organizations: Evidence from a cross-sectional study. *Journal of Medical Internet Research, 28*, e77933. https://doi.org/10.2196/77933

Bondarouk, T. V., & Ruël, H. J. M. (2009). Electronic human resource management: Challenges in the digital era. *The International Journal of Human Resource Management, 20*(3), 505–514. https://doi.org/10.1080/09585190802707235

Bryman, A. (2016). *Social research methods* (5th ed.). Oxford University Press.

Buterin, V. (2014). *A next-generation smart contract and decentralized application platform* [White paper]. Ethereum Foundation. https://ethereum.org/en/whitepaper/

Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the Internet of Things. *IEEE Access, 4*, 2292–2303. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339

Dussault, G., & Dubois, C. A. (2003). Human resources for health policies: A critical component in health policies. *Human Resources for Health, 1*(1), 1. https://doi.org/10.1186/1478-4491-1-1

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review, 14*(4), 532–550. https://doi.org/10.2307/258557

European Commission. (2024). *European Blockchain Services Infrastructure (EBSI)*. https://ec.europa.eu/digital-building-blocks/sites/spaces/EBSI/overview

European Data Protection Board. (2026). *Guidelines 02/2025 on processing of personal data through blockchain technologies* (Version 2.0, adopted 7 July 2026). https://www.edpb.europa.eu/system/files/2026-07/edpb_guidelines_202502_blockchain_v2_en.pdf

Gervais, A., Karame, G. O., Wüst, K., Glykantzis, V., Ritzdorf, H., & Capkun, S. (2016). On the security and performance of proof of work blockchains. *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, 3–16. https://doi.org/10.1145/2976749.2978341

Gordon, W. J., & Catalini, C. (2018). Blockchain technology for healthcare: Facilitating the transition to patient-driven interoperability. *Computational and Structural Biotechnology Journal, 16*, 224–230. https://doi.org/10.1016/j.csbj.2018.06.003

Hasselgren, A., Kralevska, K., Gligoroski, D., Pedersen, S. A., & Faxvaag, A. (2020). Blockchain in healthcare and health sciences: A scoping review. *International Journal of Medical Informatics, 134*, 104040. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2019.104040

Hess, T., Matt, C., Benlian, A., & Wiesböck, F. (2016). Options for formulating a digital transformation strategy. *MIS Quarterly Executive, 15*(2), 123–139.

Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2017). The truth about blockchain. *Harvard Business Review, 95*(1), 118–127.

Kabene, S. M., Orchard, C., Howard, J. M., Soriano, M. A., & Leduc, R. (2006). The importance of human resources management in health care: A global context. *Human Resources for Health, 4*(1), 20. https://doi.org/10.1186/1478-4491-4-20

Lacity, M. C., & Willcocks, L. P. (2016). A new approach to automating services. *MIT Sloan Management Review, 58*(1), 41–49.

Legner, C., Eymann, T., Hess, T., Matt, C., Böhmann, T., Drews, P., Mädche, A., Urbach, N., & Ahlemann, F. (2017). Digitalization: Opportunity and challenge for the business and information systems engineering community. *Business & Information Systems Engineering, 59*(4), 301–308. https://doi.org/10.1007/s12599-017-0484-2

Mettler, M. (2016). Blockchain technology in healthcare: The revolution starts here. *2016 IEEE 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services (Healthcom)*, 1–3. https://doi.org/10.1109/HealthCom.2016.7749510

Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

OECD. (2019). *Health at a glance 2019: OECD indicators*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/4dd50c09-en

Pokharel, A., & Kathayat, S. (2026). Blockchain-enabled self-sovereign identity applications in health care: Scoping review. *Journal of Medical Internet Research, 28*, e89574. https://doi.org/10.2196/89574

Radanović, I., & Likić, R. (2018). Opportunities for use of blockchain technology in medicine. *Applied Health Economics and Health Policy, 16*(5), 583–590. https://doi.org/10.1007/s40258-018-0412-8

Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (General Data Protection Regulation). *Official Journal of the European Union*, L 119, 1–88.

Regulation (EU) 2024/1183 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 amending Regulation (EU) No 910/2014 as regards establishing the European Digital Identity Framework. *Official Journal of the European Union*, L, 2024/1183.

Regulation (EU) 2025/327 of the European Parliament and of the Council of 11 February 2025 on the European Health Data Space and amending Directive 2011/24/EU and Regulation (EU) 2024/2847. *Official Journal of the European Union*, L, 2025/327.

Sporny, M., Noble, G., Longley, D., Burnett, D. C., Zundel, B., & Den Hartog, K. (Eds.). (2022). *Verifiable credentials data model v1.1* (W3C Recommendation, 3 March 2022). World Wide Web Consortium. https://www.w3.org/TR/2022/REC-vc-data-model-20220303/

Stone, D. L., Deadrick, D. L., Lukaszewski, K. M., & Johnson, R. (2015). The influence of technology on the future of human resource management. *Human Resource Management Review, 25*(2), 216–231. https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2015.01.002

Strohmeier, S. (2007). Research in e-HRM: Review and implications. *Human Resource Management Review, 17*(1), 19–37. https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2006.11.002

Tan, E., Lerouge, E., Du Caju, J., & Du Seuil, D. (2023). Verification of education credentials on European Blockchain Services Infrastructure (EBSI): Action research in a cross-border use case

between Belgium and Italy. *Big Data and Cognitive Computing, 7*(2), 79. https://doi.org/10.3390/bdcc7020079

Vayena, E., Haeusermann, T., Adjekum, A., & Blasimme, A. (2018). Digital health: Meeting the ethical and policy challenges. *Swiss Medical Weekly, 148*, w14571. https://doi.org/10.4414/smw.2018.14571

Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *Journal of Strategic Information Systems, 28*(2), 118–144. https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003

Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.

World Health Organization. (2016). *Global strategy on human resources for health: Workforce 2030*. World Health Organization.

Xu, X., Weber, I., Staples, M., Zhu, L., Bosch, J., Bass, L., Pautasso, C., & Rimba, P. (2017). A taxonomy of blockchain-based systems for architecture design. *2017 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA)*, 243–252. https://doi.org/10.1109/ICSA.2017.33

Yaga, D., Mell, P., Roby, N., & Scarfone, K. (2018). *Blockchain technology overview* (NIST Internal Report 8202). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8202

Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods* (5th ed.). SAGE Publications.

Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2017). An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)*, 557–564. https://doi.org/10.1109/BigDataCongress.2017.85

Appendix. The Collection Instrument And The Derivation Of The Reported Indicators

The same instrument was applied at all four institutions. It is a seven-part collection sheet, each part naming who completes it and the time it was expected to take: Part I, the institutional profile and staffing structure, completed by the HR officer with the researcher; Part II, the current process for tracking personnel documents, by the HR officer; Part III, external cooperation, risk and data protection, by the HR officer; Part IV, digital maturity and openness to innovation, by the HR officer; Part V, the systematic observation grid, completed by the researcher during the visit; Part VI, a checklist of documents consulted, ticked by the researcher; and Part VII, an optional section on the employee perspective. The cover of the sheet set out the terms of participation quoted in Section 4.

Several of the instrument's items are framed as estimates in the instrument itself. Part I states that exact figures are not required and that approximations suffice, and it asks for the headcount of each staff category alongside the number working part-time or at several institutions. The weekly-hours item likewise asks for an approximate figure. Where this paper reports such values, it reports estimates by design, not measurements that were rounded.

Table A1. The instrument items behind each indicator reported in Table 2

Indicator as reported here	Instrument item	Response options or format
Reported staffing figure; HR staff	Part I, staffing structure and HR resources	Headcount per staff category, and the number in the HR department; stated in the instrument to be approximate
Multiple employment	Part I, staffing structure	Per category, the approximate number working part-time or at several institutions
Principal instrument	Part II, item 1	Spreadsheet; physical register; dedicated HR software (named); other. Multiple selection permitted
Expiry notification	Part II, item 3	Automatic notification by the system; partial, with periodic manual checks; none, relying on the employee; none, discovered at checks or inspections
Hours per week on credential records	Part II, item 4	Free text, with the item stating that an approximate figure suffices
Verification at hiring	Part II, item 5	Copies or originals with no further check; contact with the issuing body; online check at the professional registries; combined, copies plus selective confirmation; other
Duration of hiring verification	Part II, item 6	Free text, average time from submission to decision for a complete file
Responsibility for renewal	Part II, document typology	Per document type: HR, employee, or both
Tracking of continuing education	Part II, item 8	Employee deposits copies; HR requests the position annually; continuously updated central table; not tracked centrally; other

The document typology in Part II lists thirteen credential types, among them the practice licences issued by the College of Physicians and by the nursing and midwifery order, specialty and competence

certificates, continuing-education credits, the occupational-health fitness record and the criminal-record extract.

Three terms recur in the comparison, and each needs delimiting, because the instrument does not resolve all the distinctions the discussion turns on. Manual tracking denotes work carried out by hand, whatever software the institution holds; both public hospitals operate dedicated applications and still track expiry manually, so the term marks the activity and not the absence of a tool. Partial notification is the second option of Part II item 3, periodic manual checking rather than automatic alerting. At IM-02 the notices reaching employees are sent by HR after a periodic manual check. The hospital application holds the expiry dates and can be consulted, but it issues no alert of its own, as the authors confirmed against the collection sheet. No case in the sample therefore falls under the first option of that item. Third, and most consequential for the argument, three things that this paper keeps apart are easily conflated: verification at the issuer, meaning a manual online check or direct contact; system integration, meaning an exchange of data between the employer's system and the issuer's; and automatic notification, meaning status changes pushed to the employer. Part II item 5 documents the method of verification only. It establishes which of these routes is used at hiring, and it does not by itself demonstrate system integration. Where the body of the paper speaks of integration with the issuers as an objective, it means the second and third of these, which no case reported.

The evidence behind each statement differs by case, and the difference is recoverable from Table 1. At IM-02 and IM-03 the completed sheet is accompanied by the Part V observation grid; statements about those two institutions can therefore be checked against observed practice. At IM-04 only the sheet was completed. At IM-01 the sheet was completed by the institution and combined with publicly available institutional records. Statements resting on the sheet alone are labelled as reported or declared throughout the text.

The risk categories of Table 3 were derived from the comparison rather than from a coding scheme. The responses of Parts II and III were tabulated side by side on the common dimensions of the instrument; gaps that recurred across cases were grouped, and the six groups that resulted are the rows of Table 3. The grouping was performed once, by the researcher, and was not independently replicated.

SUSTAINABLE FABRICATION OF A NATURAL POLYMER-BASED BIOPLASTIC USING AGAR, GELATIN, AND GLYCERIN: A LOW-COST APPROACH TO ECO-FRIENDLY MATERIAL DESIGN

Shirinjemal DOVLETOVA
Department of Ecology and Ecological Technologies, Oguz Han Engineering and Technology University of Turkmenistan, Ashgabat, Turkmenistan.

Guljemal DOVLETOVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

Mayajan MUHAMMETDURDYYEVA
Specialized Provincial School for Advanced Study of English and Humanities, Mary, Turkmenistan.

ABSTRACT
The growing accumulation of petroleum-based plastics has intensified the need for sustainable, biodegradable alternatives. This study introduces a novel bioplastic formulated from agar agar, gelatin, and glycerin—natural, renewable materials processed through a simple and low-cost method. The composition leverages agar's structural strength, gelatin's elasticity, and glycerin's plasticizing effect to achieve an optimal balance of flexibility and durability. Experimental analyses indicate that the material forms uniform, translucent films with good mechanical performance and complete biodegradation within 4–8 weeks under soil conditions. Water solubility tests confirm its high environmental compatibility and safe decomposition without toxic residues. The production process requires no specialized equipment, enabling practical implementation for educational, packaging, and eco-design applications. This research demonstrates an accessible and sustainable approach to bioplastic fabrication, offering a viable pathway toward reducing dependence on conventional plastics and supporting global circular economy goals.
Keywords: Bioplastic, Agar agar, Gelatin, Glycerin, Biodegradability, Sustainable materials, Eco-friendly polymers, Circular economy.

INTRODUCTION
Plastics have become indispensable to modern society, serving critical roles in packaging, medicine, construction, and technology. However, the same characteristics that make them versatile—durability, chemical resistance, and low production cost—have also rendered them one of the most persistent pollutants in the environment. Over 400 million tons of plastic are produced annually, yet less than 10% is effectively recycled. The remainder accumulates in landfills and aquatic ecosystems, fragmenting into microplastics that contaminate soil, water, and food chains. These particles have been detected in marine organisms, drinking water, and even human tissues, posing significant ecological and health concerns. The persistence of synthetic polymers, derived primarily from non-renewable fossil fuels, further exacerbates carbon emissions and resource depletion, making the plastic crisis a defining environmental challenge of the 21st century.

In response, global scientific efforts have increasingly turned toward bioplastics—materials derived from renewable biological sources capable of partial or complete biodegradation. While bioplastics such as polylactic acid (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHA) represent important advancements, their industrial synthesis often involves complex fermentation processes, costly feedstocks, or the need for specialized composting facilities. Consequently, large-scale adoption remains constrained, particularly in regions lacking advanced waste management infrastructure. This has prompted the need for bioplastic formulations that are simpler, safer, and more accessible, without sacrificing mechanical or environmental performance.

Recent studies have explored natural polymers such as agar, gelatin, starch, chitosan, and cellulose as alternative bioplastic bases due to their abundance, biocompatibility, and biodegradability. These substances can form flexible films when combined with plasticizers like glycerin, offering an opportunity to develop environmentally benign materials through low-energy, small-scale fabrication.

Despite this progress, systematic investigations into the synergistic interactions of these natural components remain limited, particularly regarding how their compositional ratios influence flexibility, solubility, and degradation behavior.

This study addresses that gap by developing and characterizing a bioplastic synthesized from agar agar, gelatin, and glycerin, using a straightforward thermal casting method that requires no specialized industrial equipment. The resulting material is designed to be fully biodegradable, non-toxic, and economically viable, making it suitable for educational, packaging, and eco-design applications. Furthermore, this work evaluates the mechanical flexibility, water solubility, and biodegradation profile of the bioplastic under natural environmental conditions. The outcomes contribute to the broader pursuit of sustainable material innovation and provide a foundation for scalable, community-level bioplastic production.

LITERATURE REVIEW

The search for sustainable alternatives to petroleum-based plastics has driven extensive research into biopolymers derived from renewable resources. Over the past two decades, bioplastics have emerged as a major focus within green materials science due to their potential for biodegradability and reduced carbon footprint. According to Pilla (2011) and Klodzinska (2020), bioplastics can be broadly classified into three categories: bio-based and biodegradable (e.g., PLA, PHA), bio-based but non-biodegradable (e.g., Bio-PE, Bio-PET), and fossil-based but biodegradable (e.g., PBAT, PCL) (1). Among these, bio-based and biodegradable materials have attracted particular attention because they can decompose naturally, minimizing environmental impact.

Recent advances have emphasized the use of natural polymers such as starch, chitosan, cellulose, agar, and gelatin. These biopolymers are abundant, renewable, and compatible with various plasticizers that enhance flexibility and mechanical performance. Zhao (2019) highlighted agar's excellent film-forming ability, while Mariniello (2022) discussed the potential of gelatin-based matrices for biodegradable packaging(3,5). Glycerin, a widely used natural plasticizer, has been shown to improve elasticity and reduce brittleness in bioplastic formulations.

Despite these developments, most existing bioplastics still depend on industrial-scale production and controlled composting conditions, limiting accessibility in low-resource regions. Prior studies (Yaranal, 2018) have suggested that simplified formulations using food-grade ingredients could democratize bioplastic production. Building upon this foundation, the present research investigates a bioplastic composed of agar, gelatin, and glycerin, aiming to create a biodegradable, low-cost, and easily producible material that supports sustainable material innovation and environmental stewardship.

Plastic generation exacerbates the challenge of solid waste management. Moreover, plastics emit substantial amounts of microplastics, which infiltrate the environment and food chain, posing significant environmental risks. Katerina Synani researched (2024) compounded by their production from fossil fuels, such as crude oil and natural gas, plastics present a formidable environmental concern(20). As a result, bioplastics are an attractive alternative to fossil-based plastics since they use renewable energy sources, aim to alleviate worries about reliance on fossil fuels, and are biodegradable, further enhancing their environmental appeal. Along similar lines, the utilization of food waste to produce bioplastics is attracting international interest.

Bio-based plastics have been identified as a promising alternative to conventional plastics with regards to finite fossil resources and climate change. With emerging novel bio-based plastics and 70% of its market share in short life cycle packaging applications, the end-of-life options (recycling, anaerobic and aerobic digestion, energy recovery etc.) as well as the resource circulation have been moved into the spotlight and have to be assessed. This paper will provide an insight into the bio-based plastics in the context of circular economy and gives an overview on its status and potential future development. Sebastian Spierling (2018) focused is set on the assessment of the potential environmental impacts of the different end-of-life options and resource circulation of bio-based plastics with the help of life cycle assessment(19).

MATERIALS AND METHODS

Materials

The primary components used in this study were agar agar (food-grade, Meron, Thailand), gelatin (type A, 240 Bloom, derived from porcine skin), and glycerin (analytical grade, 99.5% purity)(Figure 1). All materials were selected for their biodegradability, non-toxicity, and wide commercial availability. Distilled water was used as the solvent in all formulations.

Figure1. Preparation of bioplastic samples

The bioplastic films were produced through a solution casting method. A mixture containing 2% agar agar and 3% gelatin (w/v) was dissolved in 100 mL of distilled water under continuous stirring and gentle heating at 90°C for 15 minutes to ensure complete dissolution(Figure 2). Once homogeneous, 1.5 mL of glycerin was added as a plasticizer to enhance flexibility. The mixture was then stirred for an additional 5 minutes to achieve uniform dispersion.

The resulting viscous solution was poured into a flat acrylic mold (20×20 cm) and allowed to cool to room temperature. Afterward, the samples were dried in a ventilated oven at 45°C for 48 hours until complete film formation. The dried bioplastics were carefully peeled off and stored in a desiccator at 25°C for further analysis.

Figure 2. Process of mixing

Characterization of Bioplastic

To evaluate the properties of the produced bioplastic, several tests were conducted:

- Thickness Measurement: Average film thickness was determined using a digital micrometer (±0.01 mm accuracy) by measuring five random points per sample.
- Tensile Strength and Elongation: Mechanical properties were assessed using a universal testing machine (UTM) at a crosshead speed of 5 mm/min following ASTM D882 standards.
- Water Solubility and Absorption: Samples (2×2 cm) were immersed in distilled water for 24 hours at room temperature to assess solubility percentage and water uptake.
- Biodegradability Test: Soil burial tests were conducted for 8 weeks under controlled moisture conditions, monitoring mass loss at 2-week intervals.
- Visual and Structural Analysis: Surface uniformity and transparency were visually inspected and photographed under consistent light conditions.

Data Analysis

All experiments were performed in triplicate. Results were expressed as mean ± standard deviation, and data were analyzed using basic statistical methods to determine consistency and reproducibility.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical Appearance and Film Formation

The prepared agar–gelatin–glycerin bioplastic films were transparent, flexible, and uniform in texture, indicating successful blending and plasticization. The surface exhibited smoothness without visible cracks or air bubbles, demonstrating good film-forming properties. The glycerin content was found to be optimal at 1.5 mL; lower concentrations resulted in brittleness, whereas higher amounts produced tacky films due to excessive moisture retention. The overall visual characteristics confirm the compatibility and synergistic interaction between agar and gelatin in the polymer network.

Thickness and Mechanical Properties

The film thickness ranged between 0.35–0.45 mm, ensuring consistent sample formation. The average tensile strength was measured at 16.8 ± 0.5 MPa, while elongation at break reached 24 ± 1.2%, values comparable to previously reported agar–gelatin composites (Zhao et al., 2019). The mechanical results indicate that the bioplastic exhibits an optimal balance between strength and flexibility, attributed to hydrogen bonding between agar and gelatin molecules, stabilized by glycerin's plasticizing effect. Such mechanical stability highlights the potential of this formulation for packaging and single-use material applications.

Water Solubility and Absorption

Water absorption and solubility tests revealed a moderate hydrophilicity, with samples absorbing 32–36% of their mass after 24 hours of immersion. Complete dissolution was not observed, confirming that the material maintains its integrity under short-term contact with moisture. The partial solubility aligns with the hydrophilic nature of gelatin and agar, which facilitates biodegradation while preserving structural performance in low-humidity environments. This characteristic makes the bioplastic suitable for temporary-use or controlled-degradation applications.

Biodegradability Analysis

The soil burial tests showed that the bioplastic samples exhibited progressive mass loss over time, with approximately 55% degradation after 4 weeks and complete decomposition within 8 weeks. The degradation process was primarily driven by microbial activity and moisture interaction, consistent with natural polymer behavior. The results validate that the produced material is fully biodegradable under ambient soil conditions, unlike synthetic plastics which may persist for decades. This demonstrates the environmental advantage of the agar–gelatin–glycerin formulation in waste reduction and sustainable disposal.

Comparative Assessment and Sustainability

Compared to commercial bioplastics such as PLA and PHA, the developed composite offers simpler synthesis, lower production cost, and full biodegradability without requiring industrial composting. The absence of toxic by-products and reliance on food-grade, renewable ingredients make it a viable alternative for small-scale and educational production.The study supports the concept of localized

bioplastic fabrication as a low-barrier approach to sustainable materials innovation, contributing to circular economy goals and eco-conscious consumer practices.

REFERENCES

Pilla, S. (2011). Engineering applications of bioplastics and biocomposites-An overview. *Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications*, 1-15.

Joo, S. H. (Ed.). (2022). *Assessing the Effects of Emerging Plastics on the Environment and Public Health*. IGI Global..

Ju, J., & Zhao, F. (Eds.). (2025). *Edible Film and Coatings: Innovative Applications for Packaging and Food Preservation*. CRC Press.

Hollingworth, C. S. (2010). Food hydrocolloids: characteristics, properties and structures. *(No Title)*.

Porta, R., Di Pierro, P., Sorrentino, A., & Mariniello, L. (2011). Promising perspectives for transglutaminase in "bioplastics" production. *J Biotechnol Biomaterial*, *1*, 1-4.

Lopez Rodriguez, A. (2023). Optimization of Algae-Based Bioplastics: Exploring Agar and Carrageenan Blends for Sustainable Applications in the Design Industry.

Spyridoula Gerassimidou, Olwenn V Martin, Stephen P Chapman, John N Hahladakis, Eleni Iacovidou (2021). Journal of Cleaner Production 286, 125378

Simone Blanc, Stefano Massaglia, Filippo Brun, Cristiana Peano, Angela Mosso, Nicole Roberta Giuggioli.(2019).Sustainability 11 (9), 2475

Sarah Kakadellis, Zoe M Harris(2020).Journal of Cleaner Production 274, 122831

Taofeeq D Moshood, Gusman Nawanir, Fatimah Mahmud, Fazeeda Mohamad, Mohd Hanafiah Ahmad, Airin AbdulGhani(2022).Current Research in Green and Sustainable Chemistry 5, 100273

Samiris Cocco Teixeira, Taila Veloso de Oliveira, Nilda de Fatima Ferreira Soares, Paulo A Raymundo-Pereira(2025).Food Chemistry 470, 142652

Ahmed M Elgarahy, AK Priya, Hamida Y Mostafa, EG Zaki, SM Elsaeed, M Muruganandam, Khalid Z Elwakeel(2023).Journal of Environmental Chemical Engineering 11 (5), 110993

Naseeba Parveen, SV Chinna Swami Naik, Kumar Raja Vanapalli, Hari Bhakta Sharma(2024).Science of the Total Environment 945, 173893

Macarena Beltran, Benny Tjahjono, Anna Bogush, Jorge Julião, Evandro LS Teixeira(2021).Sustainability 13 (7), 3896

Xiaoying Zhao, Katrina Cornish, Yael Vodovotz(2020).Environmental science & technology 54 (8), 4712-4732

Zita Markevičiūtė, Visvaldas Varžinskas(2022).Sustainability 14 (10), 6366

Jaakko Siltaloppi, Markus Jähi(2021).Journal of Cleaner Production 315, 128113

Kushi Yadav, Ganesh Chandrakant Nikalje(2024)PeerJ 12, e18013

Sebastian Spierling, Carolin Röttger, Venkateshwaran Venkatachalam, Marina Mudersbach, Christoph Herrmann, Hans-Josef Endres(2018).Procedia CIRP 69, 573-578

Katerina Synani, Konstadinos Abeliotis, Kelly Velonia, Angeliki Maragkaki, Thrassyvoulos Manios, Katia Lasaridi(2024).Sustainability 16 (13), 5529

DEEP LEARNING-BASED SEGMENTATION OF SKIN LESIONS FOR COMPUTER-AIDED DIAGNOSIS

Asst. Prof. K. Uma MAHESWARI
Department of Computer Science and Engineering, A.V.C. College of Engineering, Mannampandal, Tamil Nadu, India.

Asst. Prof. Dr. K. GAJALAKSHMI
Department of Computer Science and Engineering, A.V.C. College of Engineering, Mannampandal, Tamil Nadu, India.

Abstract
Accurate segmentation of skin lesions is an essential step in computer-aided diagnosis (CAD) systems for the early detection of skin cancer. Manual segmentation of dermoscopic images is time-consuming and may vary depending on the expertise of the clinician. This study proposes a deep learning-based approach for automatically segmenting skin lesions from dermoscopic images. Convolutional neural network architectures, particularly U-Net-based segmentation models, are employed to identify lesion regions and accurately distinguish them from surrounding healthy skin. Image preprocessing and data augmentation techniques are incorporated to improve model robustness against variations in lesion size, shape, color, illumination, and image quality. The performance of the proposed segmentation framework can be evaluated using metrics such as Dice coefficient, Intersection over Union (IoU), sensitivity, specificity, and accuracy. Effective lesion segmentation provides reliable regions of interest for subsequent feature extraction and classification, thereby supporting automated diagnosis. The proposed approach aims to reduce manual effort, improve segmentation consistency, and provide a reliable foundation for computer-aided skin lesion analysis and early skin cancer detection.
Keywords: Deep Learning, Skin Lesion Segmentation, Dermoscopic Images, U-Net, Convolutional Neural Network, Computer-Aided Diagnosis, Skin Cancer Detection, Medical Image Segmentation, Image Processing.

EFFECTS OF AI-POWERED VISUALIZATION TOOL ON STUDENTS UNDERSTANDING AND RETENTION OF BIOLOGY CONCEPT IN SENIOR SECONDARY SCHOOLS IN MINNA METROPOLIS

Zaliha Ndatsu USMAN
Department of Curriculum and Instruction, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.

Muhammad BABA
Department of Educational Foundations, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.

Hauwakulu SABA
Department of Early Childhood Care Education, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.

Hajara SALIHU
Department of Curriculum and Instruction, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.

ABSTRACT
This study examined, “Effects of AI-powered visualization Tool on students’ achievement and retention of biology concept in senior secondary schools in Minna Metropolis. The study employed a pretest, posttest Quasi-experimental design in which five research questions and four null hypotheses were raised. The target population for this study was 5,465 Secondary Schools in Minna Metropolis. Two hundred and ninety-six 296 students were used as the sample. The reliability of the instrument was determined using Cronbach's alpha of 0.735, and 0,749 index for the variables. A total of twenty choice objective questions were used for data collection at pre-test and posttest.
The study revealed that there is significance difference in the achievement level with a mean score of 3.10 and retention level with a mean score of 2.89 for secondary school students taught using AI-powered visualization Tools. It was recommended among other that, educators and instructional planners should prioritize the integration AI-powered visualization Tools in teaching and learning of biology in secondary schools.
Keywords: achievement, AI Powered visualization tool, Biology and Retention

ORGANOCHLORINE PESTICIDES IN NILE TILAPIA (OREOCHROMIS NILOTICUS) FROM AL MASSIRA RESERVOIR (MOROCCO): DISTRIBUTION PATTERNS AND HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT FOR ADULTS, HIGH FISH CONSUMERS AND CHILDREN

Loubna FERRAJ
Environmental, Ecological and Agro-Industrial Engineering Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Meriem BOUSSEBA
Biotechnology, Environment and Georesources Research Laboratory, Higher School of Technology of Khenifra, Sultan Moulay Slimane University, Khenifra, Morocco.

Mly Lahcen OUAHIDI
National Laboratory for Pollution Studies and Monitoring (LNESP), Rabat, Morocco.

Mohamed KABRITI
National Laboratory for Pollution Studies and Monitoring (LNESP), Rabat, Morocco.

Mohammed EL BOUCH
National Laboratory for Pollution Studies and Monitoring (LNESP), Rabat, Morocco.

Mustapha HASNAOUI
Environmental, Ecological and Agro-Industrial Engineering Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

ABSTRACT
Freshwater reservoirs are vulnerable to contamination by legacy pesticides, raising concerns regarding food safety and human health. The present study evaluated the occurrence of eight organochlorine pesticides (OCPs) in the muscle tissue of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) collected from Al Massira Reservoir, one of Morocco's largest freshwater reservoirs, and assessed the potential health risks associated with fish consumption. A total of 120 specimens were sampled between July 2022 and June 2023 and analyzed using gas chromatography–mass spectrometry (GC–MS). The investigated compounds included α-HCH, β-HCH, γ-HCH, aldrin, dieldrin, p,p′-DDD, p,p′-DDE, and p,p′-DDT. Overall OCP concentrations ranged from below the detection limit to 8.445 ng g^{-1} wet weight, with dieldrin and p,p′-DDT being the most frequently detected compounds. Seasonal variations in residue levels were not statistically significant, and no consistent relationships were observed between pesticide concentrations and fish biometric characteristics, except for a positive correlation between dieldrin concentration and body weight. Dietary exposure was estimated for adults, high fish consumers, and children using estimated daily intake (EDI) and hazard ratio (HR) approaches. For all exposure scenarios, EDI values remained below the corresponding acceptable daily intake limits, while HR values were consistently lower than one, indicating no appreciable non-carcinogenic health risk associated with the consumption of Nile tilapia from the reservoir. These findings provide valuable baseline information on the occurrence of persistent organochlorine pesticides in an important Moroccan freshwater ecosystem and support the need for continued environmental monitoring to safeguard aquatic resources and public health.
Keywords: Organochlorine pesticides; *Oreochromis niloticus*; Al Massira Reservoir; Human health risk assessment; Gas chromatography–mass spectrometry ; Morocco.

RELATIONSHIP BETWEEN PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS AND FRESHWATER FISH GROWTH: A RANDOM FOREST AND LINEAR REGRESSION ANALYSIS

A Loubna FERRAJ
Environmental, Ecological and Agro-Industrial Engineering Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Meriem BOUSSEBA
Biotechnology, Environment and Georesources Research Laboratory, Higher School of Technology of Khenifra, Sultan Moulay Slimane University, Khenifra, Morocco.

Mly Lahcen OUAHIDI
National Laboratory for Pollution Studies and Monitoring (LNESP), Rabat, Morocco.

Mohamed KABRITI
National Laboratory for Pollution Studies and Monitoring (LNESP), Rabat, Morocco.

Mohammed EL BOUCH
National Laboratory for Pollution Studies and Monitoring (LNESP), Rabat, Morocco.

Mustapha HASNAOUI
Environmental, Ecological and Agro-Industrial Engineering Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Abstract
Persistent organic pollutants (POPs), particularly organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs), remain a major environmental concern because of their persistence, bioaccumulation potential, and toxicity to aquatic organisms. This study investigated the influence of these contaminants on the growth performance of three freshwater fish species of ecological and economic importance: Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), common carp (*Cyprinus carpio*), and pike-perch (*Sander lucioperca*) from Al Massira Reservoir, Morocco. A total of 120 individuals of each species were collected between July 2022 and June 2023. Eight OCPs (α-HCH, β-HCH, γ-HCH, aldrin, dieldrin, DDD, DDE, and DDT) and four PCB congeners (PCB28, PCB52, PCB101, and PCB180) were quantified. The relationships between contaminant concentrations and fish growth parameters (length and weight) were investigated using Random Forest and linear regression analyses. Random Forest identified dieldrin as the most influential predictor of length and weight in Nile tilapia and pike-perch, whereas aldrin and β-HCH were the main contributors in common carp. Among PCB congeners, PCB28 and PCB180 showed the highest predictive importance depending on the species. Despite these differences, no significant differences were observed between measured and Random Forest-predicted morphometric values ($p > 0.05$). Linear regression analyses also revealed weak associations between contaminant concentrations and fish growth, with most coefficients of determination (R^2) remaining low and only a few significant relationships involving dieldrin. Overall, the findings indicate that the current levels of OCPs and PCBs in Al Massira Reservoir do not significantly affect the growth of the three investigated fish species. The combined use of Random Forest and linear regression proved to be an effective approach for identifying the contaminants most closely associated with fish growth and provides valuable information for ecotoxicological assessment and long-term monitoring of freshwater ecosystems.
Keywords: Persistent organic pollutants (POPs); Organochlorine pesticides (OCPs); Polychlorinated biphenyls (PCBs); Random Forest; Freshwater fish; Al Massira Reservoir

ENCAPSULATION OF CARVACROL IN ALGINATE–CASEINATE CAPSULES: EFFECT OF CHITOSAN COATING

Safae CHARFAOUI
Laboratory of Applied Chemistry and Environment (LCAE-CPSUNAP), Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.

Amina AMRANI
Laboratory of Applied Chemistry and Environment (LCAE-CPSUNAP), Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.

Abdesselam TAHANI
Laboratory of Applied Chemistry and Environment (LCAE-CPSUNAP), Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.

Abstract
Carvacrol is a hydrophobic bioactive compound with promising antimicrobial and antioxidant properties; however, its high volatility, low water solubility, and sensitivity to environmental conditions limit its direct incorporation into food formulations . This study aimed to encapsulate carvacrol in sodium alginate capsules and to evaluate the effect of an additional chitosan coating on their structural characteristics and encapsulation performance. Two systems were prepared by external ionic gelation in a calcium chloride solution: uncoated alginate–caseinate–carvacrol capsules and chitosan-coated capsules. The formation of the coated system was based on electrostatic interactions between the negatively charged carboxylate groups of alginate and the protonated amino groups of chitosan . Alginate exhibits a pH-dependent negative charge due to the ionization of its carboxylate groups, with a pKa generally reported to be 3.4–3.7. In contrast, sodium caseinate has an isoelectric point near pH 4.6. Therefore, the pH of the formulation influences the charge density, intermolecular interactions, emulsion stability, and organization of the alginate@caseinate matrix. The developed capsules were characterized by Fourier-transform infrared spectroscopy to investigate interactions among alginate, sodium caseinate, chitosan, and carvacrol. Encapsulation efficiency and loading capacity were determined to compare carvacrol retention in uncoated and coated capsules. Capsule size and surface morphology were evaluated by scanning electron microscopy.In addition, physicochemical analyses were carried out to determine the surface charge density and the isoelectric point, which are crucial for understanding the matrix interactions. The results demonstrate the potential of chitosan coated alginate@caseinate capsules as delivery systems for protecting hydrophobic bioactive compounds in food related applications.
Keywords: carvacrol, sodium alginate, sodium caseinate, chitosan coating, encapsulation.

SIMULATION-GUIDED DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF A MOS_2/PEDOT/PPY-PIL-BASED INTEGRATED SOLAR–SUPERCAPACITOR ENERGY STORAGE SYSTEM

Asst. Prof. Dr. Shama ISLAM
Department of Computer Science and Engineering, School of Engineering Sciences and Technology, Jamia Hamdard, New Delhi, India.

Dr. S. S. ASHRAF
Department of Computer Science and Engineering, School of Engineering Sciences and Technology, Jamia Hamdard, New Delhi, India.

ABSTRACT
The rapid growth of portable electronics, wearable systems, and sustainable energy technologies has increased the demand for advanced energy harvesting and storage systems with high power density, flexibility, and long-term cycling stability. In the present work, a simulation-guided investigation of a hybrid solar–supercapacitor integrated energy storage system based on a MoS_2/PEDOT/PPy-PIL nanocomposite electrode is presented. The proposed system combines solar energy harvesting with high-performance electrochemical energy storage for sustainable and portable energy applications. MATLAB/Simulink-based computational modeling was employed to analyze the photovoltaic charging behavior, energy management, charge–discharge characteristics, and cycling stability of the integrated system. The electrochemical parameters were selected based on reported trends of MoS_2 and conducting polymer hybrid systems. The simulated device exhibited a specific capacitance of approximately 820 F g^{-1}, energy density of 74 Wh kg^{-1}, and power density of 9.5 kW kg^{-1} with low equivalent series resistance of 0.42 Ω. Cyclic voltammetry simulations demonstrated quasi-rectangular behavior with pseudocapacitive redox peaks, while galvanostatic charge–discharge analysis revealed symmetric triangular profiles with low IR drop. The integrated photovoltaic-supercapacitor system exhibited stable charging under variable solar irradiance conditions and retained approximately 93% capacitance after 5000 charge–discharge cycles. The present study demonstrates the potential of MoS_2/PEDOT/PPy-PIL hybrid systems for next-generation solar-assisted energy storage applications. The computational methodology proposed in this work can serve as a foundation for future experimental realization of flexible and sustainable energy storage devices.

Keywords: Supercapacitor, Solar energy storage, MoS_2, PEDOT, PPy-PIL, MATLAB Simulink, Energy harvesting, Flexible energy devices.

HEART FAILURE MORTALITY PREDICTION USING MACHINE LEARNING: A COMPREHENSIVE FRAMEWORK WITH EXPLAINABLE AI

Akmal Ahmed AAUB
Bachelor of Medicine and Bachelor of Surgery (MBBS), Sher-e-Bangla Medical College, Barisal, Bangladesh.

ABSTRACT
Heart failure (HF) is a leading cause of global mortality, affecting approximately 64 million individuals worldwide. Accurate risk stratification is essential for timely intervention and optimal resource allocation. In this paper, we present a comprehensive machine learning (ML) framework for predicting mortality in HF patients using a clinical dataset of 5,000 patients with 13 features. Our methodology integrates robust preprocessing, feature engineering (creating 6 novel clinical indices), SMOTE for class imbalance handling, and evaluation of 7 ML algorithms including Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, SVM, KNN, CatBoost, and Neural Networks. We employ 5-fold stratified cross-validation, hyperparameter tuning via GridSearchCV, and SHAP analysis for model interpretability. Additionally, Kaplan-Meier survival analysis with log-rank tests provides temporal insights. The XGBoost model achieved superior performance with ROC-AUC of 0.999, accuracy of 99.4%, and F1-score of 0.990. Feature importance analysis identified time (0.313), creatinine-sodium ratio (0.138), serum creatinine (0.102), ejection fraction (0.087), and age (0.060) as top predictors. Our framework demonstrates exceptional predictive accuracy while maintaining interpretability through SHAP, making it suitable for clinical decision support systems.
Keywords: Heart Failure; Machine Learning; XGBoost; Survival Analysis; Explainable AI; SHAP; SMOTE; Clinical Decision Support

CLIMATE CHANGE AND THE AGEING MIND: A REVIEW OF ECO-ANXIETY AND ENVIRONMENTAL DISTRESS AMONG OLDER ADULTS

Asst. Prof. Dr. Priya CHOUDHARY
Institutional affiliation not provided.

Asst. Prof. Dr. Pallavi SACHDEVA
Department of Lifelong Learning, University of Jammu, Jammu, India.

Abstract
As the global climate crisis intensifies, its psychological toll is increasingly recognised as a public health concern, yet older adults remain a markedly understudied population within eco-anxiety research, despite facing distinct vulnerabilities. This review synthesises existing literature on eco-anxiety and environmental distress among older adults, examining how age-related factors such as cognitive changes, reduced mobility, health comorbidities, generational environmental attitudes and proximity to end-of-life reflection shape the experience and expression of climate-related psychological distress. Unlike younger cohorts, whose eco-anxiety is often future-orientated and tied to anticipatory loss, older adults may experience environmental distress through the lens of retrospective environmental change, intergenerational concern for descendants, and disruption to place attachment and lifelong routines. The review further explores protective and risk factors specific to this population, including social support networks, lived environmental memory, spirituality, and pre-existing mental health vulnerabilities, while critically evaluating the near-total absence of age-validated eco-anxiety measurement tools. This study is a review article that includes studies from 2025-2026. Articles were taken from Google Scholar and PubMed, WOS and other databases. Drawing on frameworks from environmental psychology, gerontology, and socioemotional selectivity theory, this review identifies significant gaps in both empirical research and clinical practice regarding older adults' climate-related mental health needs. Implications are discussed for geropsychology, environmental policy, and the development of age-sensitive assessment tools and interventions. This review calls for greater research attention to an overlooked but growing demographic facing the compounding psychological effects of environmental change and ageing.
Keywords: *Eco-Anxiety, Environmental Distress, Older Adults, Ageing, Climate Change, Geropsychology, Socioemotional Selectivity Theory*

EVALUATION OF ASPERGILLUS NIGER FERMENTED MILLET STALK FOR SAFER INCLUSION IN CHICKEN FEED FORMULATION.

A. ALIYU
Department of Biochemistry, Al-Qalam University Katsina, Katsina, Nigeria.

A. I. YARADUA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

A. NASIR
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

I. H. KANKIA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

R. NASIR
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

U. S. ZANGO
Department of Biochemistry, Al-Qalam University Katsina, Katsina, Nigeria.

M. M. GUMEL
Department of Biochemistry, Al-Qalam University Katsina, Katsina, Nigeria.

M. ALIYU
Department of Chemistry, Federal University Wukari, Taraba State, Nigeria.

A. Y. SANI
Hassan Usman Katsina Polytechnic, Katsina, Nigeria.

ABSTRACT
There is severity in the problem of human and livestock food competitions as a result of increase in demand for poultry feed and insufficient supply. This result in high cost of conventional feed which form 70-80% of chicken production cost. The low or underutilization of agricultural waste products particularly millet stalk is creating waste of resources, environmental pollution among other problems. Transformation of millet stalk into a high nutritional value feed ingredient can be achieved using fermentation. This study was aimed at investigating the effect of *Aspergillus niger* on the proximate and antinutritional components of millet stalk. The millet stalk was collected from farmers in Umaru Musa Yaradua University Katsina, Katsina State Nigeria, sorted, cleaned and ground into powdered form. The sample was fermented by solid state fermentation at the optimized pH and temperature which are 6 and 35^{o}C respectively. The data were statistically analyzed using Statistical Package for Social Sciences (SPSS version 27). The proximate and antinutrients composition before and after fermentation were; Moisture (7.28% to 9.65%), Ash (4.23% to 5.97%), Crude protein (2.11% to 5.23%), Crude fat (1.99% to 2.78%), Crude fiber (34.81% to 25.12%), Carbohydrate (49.58% to 51.25%), Phytate (411 mg/100 to 176 mg/100 g), Oxalate (175 mg/100 to 75 mg/100 g) and Tannin (231 mg/100 to 87 mg/100 g). Fermentation increased Crude protein, Ash, Crude fat, and Carbohydrate contents while reducing Crude fiber and antinutritional factors Phytate, Oxalate and Tannin. The result showed that, *Aspergillus niger* fermented millet can be used in chicken feed formulation.
Keywords: Millet stalk, *Aspergillus niger*, Proximate composition, Antinutrients, Fermentation.

SYSTEMIC LITERATURE REVIEW: HOSPITAL INFORMATION SYSTEMS AND ITS IMPACT ON HOSPITAL PERFORMANCE

Asmae EL BOUZIDI
Laboratory of Financial Engineering, Governance and Development, National School of Commerce and Management of Casablanca, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

Saadia MAROUANE
Laboratory of Financial Engineering, Governance and Development, National School of Commerce and Management of Casablanca, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

Abdallah RHIHIL
Laboratory of Financial Engineering, Governance and Development, National School of Commerce and Management of Casablanca, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

Abstract
The health system is a very complicated one, which can be manifested in the particularity of its services in terms of healthcare and medical services and in the specificity of the healthcare sector. The health system in Morocco faces several deficiencies in managing hospitals and among the tools for decision-making and hospital management there is the hospital information system which is a set of interacting elements whose objective is to collect, process and provide the information needed for the hospital activity in order to facilitate the management of medical and administrative information in a hospital by allowing the improvement of the quality of hospital services and an optimization of resources.
This paper presents a systematic literature review about the impact of hospital information system on hospital performance.
We conducted a search for scientific articles addressing topics related to hospital information systems and their impact on hospital performance in the Scopus and PubMed databases between 2000 and 2026. Then the selected were subjected to network analysis using the VOSviewer software in order to map the co-authorship and the co-occurrence of keywords.
The Bibliometric analyses have revealed a clear transition from the establishment of basic infrastructure (early 2000s) to the emergence of intelligent tools for anticipating clinical risks by 2026. The maps show a strong complementarity between Scopus's managerial vision and PubMed's medical-clinical vision, while the co-authorship network eemphasizes strong interdisciplinary collaboration hubs.
Keywords: Hospital Information System (HIS), Hospital Performance, healthcare facility, systematic literature review, PRISMA, VOSviewer, bibliometrics.

IMPACT OF RECURRING FLOODS ON ENVIRONMENT, HUMAN HEALTH, AND SUPPLY CHAIN DISRUPTION: EVIDENCE FROM PAKISTAN

Senior Asst. Prof. Dr. Farrukh MAHFOOZ
Bahria University, Islamabad, Pakistan.

Abstract

This paper discusses the multi-faceted implications of periodic flooding on environmental degradation, human health, food security and supply chain disruption in Pakistan, with a focus on the devastating floods of 2022 and 2025. The present research builds and analyses a conceptual model relating flood intensity to environmental degradation, human health impacts, effects on food security and supply chain disruptions. A total of 340 people were surveyed among flood affected people, healthcare specialists, environmental workers, agricultural experts and supply chain managers across Pakistan. Data analysis was performed using PLS-SEM in SmartPLS4. The conceptual model explores the relationship between Flood Intensity (FI), Environmental Degradation (ED), Human Health Impact (HHI), Food Security Impact (FSI), Supply Chain Disruption (SCD) and Community Resilience (CR). The findings confirm that intensity of the flood significantly increases environmental degradation and directly impacts human health. Environmental degradation mediates the association of flood intensity with human health. Flood-related supply chain disruption has serious implications for food security. Community resilience significantly moderates the relationship between flood intensity and human health effects, and community resilience has a strong protective effect in communities with a higher resilience capability. A comparative analysis reveals developing nations, particularly Pakistan, to be unduly vulnerable due to limited supply chain choices, fragile functional flexibility and more dependence on flood-prone farming practices. The study provides practical recommendations for politicians, calamity response agencies, health organizations, farmers and supply chain managers on weather-resilient networks, unified health supervision, diversified supply chains, public adaptation policies and preventive action programs. This study adds to the empirical literature on the intensified environmental, health, food security, and supply chain effects of periodic floods in Pakistan through quantitative survey for the 2022-2025 floods and by providing a unified framework.

Keywords: Floods, environmental degradation, health, food security, supply chain disruption, community resilience

FROM WASTED MECHANICAL NOISE TO SUSTAINABLE POWER: A SMART PIEZOELECTRIC FRAMEWORK

Amina TAOULI
Laboratory of Innovation and Systems Engineering (L2IS), Complex Systems and Structures Engineering (I2SC), Moulay Ismail University, Morocco.
ORCID ID: 0009-0006-6566-6016

Smail ZAKI
Laboratory of Innovation and Systems Engineering (L2IS), Complex Systems and Structures Engineering (I2SC), Moulay Ismail University, Morocco.
ORCID ID: 0000-0003-1586-6352

ABSTRACT
In a global context marked by the climate emergency, the depletion of fossil resources, and the need to diversify the energy mix, this work aligns with the dynamics of the ongoing energy transition. It aims to explore vibrational energy harvesting using piezoelectric materials, an underexploited technology with significant potential, particularly in Africa. The main objective is to design an autonomous system capable of converting often-overlooked ambient mechanical vibrations into usable electrical energy, thereby contributing to the development of renewable, sustainable, and local solutions.
The core advantage of this project lies in the continuous and ubiquitous nature of environmental vibrations, unlike solar or wind power which rely on variable weather conditions. Vibrations generated by human footsteps, road traffic, industrial machinery, or air turbulence represent abundant energy sources. By exploiting piezoelectricity, this research seeks to develop an innovative, compact device to power autonomous systems in areas where energy access is limited or unstable.
This project relies on two complementary scientific approaches. First, we investigate the vibrational behavior of piezoelectric materials through finite element numerical simulations coupled with mechanical characterization to determine optimal energy generation conditions. Second, the work focuses on power electronics, specifically designing a circuit capable of efficiently harvesting, conditioning, and storing the generated energy in an embedded system. The complete setup will be validated through prototypes to evaluate power output, energy efficiency, and long-term durability under real-world conditions.
Ultimately, this integrated and smart solution targets diverse environmental applications, such as the Internet of Things (IoT), environmental monitoring, and portable systems in rural areas. By valorizing an underutilized energy source, this research aligns with international sustainable development priorities, aiming to foster local expertise and build a more energy-resilient and technologically autonomous future.
Keywords: Piezoelectric, Vibrational Energy, Energy Conversion, Autonomous System, Numerical Simulation, Environment.

STACHYS ANNUA L. AS A NATURAL ADDITIVE FOR BIODIESEL–DIESEL BLENDS: GC-MS PROFILING AND DSC CRYSTALLIZATION BEHAVIOR

Assoc. Prof. Dr. Nalan TÜRKÖZ KARAKULLUKÇU
Karadeniz Advanced Technology Research and Application Center, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7774-4970

Assoc. Prof. Dr. Şükriye ÇAKMAK
Department of Medical Services and Techniques, Vocational School of Health Services, Sinop University, Sinop, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2221-0098

Özet
Artan küresel enerji ihtiyacının büyük ölçüde fosil yakıtlardan karşılanması, sera gazı emisyonları ve çevresel etkiler nedeniyle yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmaları hızlandırmıştır. Bu kapsamda biyodizel; yenilenebilir kaynaklardan üretilebilmesi, biyolojik olarak parçalanabilir olması ve fosil kökenli dizel yakıtlara alternatif oluşturabilmesi nedeniyle önemli bir yakıt seçeneği olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, yapısında bulunan doymamış yağ asidi esterleri biyodizelin oksidatif bozunmaya karşı duyarlılığını artırabilmekte ve yakıtın depolama kararlılığını ve uzun süreli kullanım performansını sınırlandırabilmektedir. Bu nedenle, biyodizel ve biyodizel–dizel karışımlarının özelliklerini iyileştirmek amacıyla doğal kaynaklı ve çevre dostu katkı maddelerinin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Lamiaceae (Ballıbabagiller) familyasına ait Hacıosman otu (*Stachys annua* L.) bitkisinden elde edilen ekstraktın biyodizel–dizel yakıt sistemlerinde doğal katkı maddesi olarak kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Bitki ekstraktının performansı, referans antioksidan olarak kullanılan askorbik asit ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. *Stachys annua* L. ekstraktının kimyasal bileşen profili gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) yöntemiyle belirlenerek, ekstraktta bulunan potansiyel biyoaktif bileşenlerin ortaya konulması hedeflenmektedir. Hazırlanan biyodizel–dizel karışımlarının termal davranışları ise diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) yöntemi kullanılarak incelenecek; özellikle kristalizasyon başlangıç sıcaklığı ve düşük sıcaklık davranışındaki değişimler üzerinden bitki ekstraktının yakıt matrisi üzerindeki etkisi değerlendirilecektir. GC-MS ile belirlenen kimyasal bileşim ile DSC sonuçları arasındaki olası ilişkilerin ortaya konulması, *Stachys annua* L. ekstraktının yakıt sistemlerindeki işlevsel etkisinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır. Çalışmanın, kolay erişilebilir bitkisel kaynaklardan elde edilen doğal ekstraktların biyodizel–dizel karışımlarında çevre dostu katkı maddeleri olarak değerlendirilmesine yönelik yeni bir yaklaşım sunması ve *Stachys annua L.* türünün bu alandaki kullanım potansiyeline ilişkin bilimsel veri sağlaması beklenmektedir.
Anahtar Kelimeler: *Stachys annua* L., Biyodizel–dizel karışımları, Doğal antioksidan, GC-MS, DSC, Oksidatif kararlılık

Abstract
The growing global demand for energy, which is still largely met by fossil fuels, has intensified the search for renewable and sustainable energy sources due to increasing greenhouse gas emissions and associated environmental concerns. Biodiesel has emerged as a promising alternative to petroleum-derived diesel because of its renewable origin, biodegradability, and environmental advantages. However, the presence of unsaturated fatty acid esters in biodiesel can increase its susceptibility to oxidative degradation and may adversely affect its storage stability and long-term fuel performance. Therefore, the development of natural and environmentally friendly additives capable of improving the performance characteristics of biodiesel and biodiesel–diesel blends has gained considerable importance. In this study, the potential use of an extract obtained from *Stachys annua* L. (Lamiaceae) as a natural additive in biodiesel–diesel fuel systems will be investigated. The performance of the plant extract will be comparatively evaluated against ascorbic acid as a reference antioxidant. The chemical profile of the *Stachys annua* L. extract will be characterized by gas chromatography–mass spectrometry (GC-MS) to identify its major bioactive constituents.

The thermal behavior of the prepared biodiesel–diesel blends will be examined by differential scanning calorimetry (DSC), with particular emphasis on changes in crystallization onset temperature and low-temperature crystallization behavior. Correlating the chemical composition obtained by GC-MS with the DSC results is expected to provide a more comprehensive understanding of the functional effects of *Stachys annua* L. extract within the fuel matrix. This study is expected to provide scientific evidence regarding the potential application of *Stachys annua* L. as a plant-derived, environmentally friendly additive for biodiesel–diesel fuel blends.
Keywords: *Stachys annua* L., Biodiesel–diesel blends, Natural antioxidant, GC-MS, DSC, Oxidative stability

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF MENTHA ARVENSIS L. METHANOLIC EXTRACT AND ITS EFFECT ON BIODIESEL–DIESEL BLENDS

Assoc. Prof. Dr. Şükriye ÇAKMAK
Department of Medical Services and Techniques, Vocational School of Health Services, Sinop University, Sinop, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-2221-0098

Assoc. Prof. Dr. Nalan TÜRKÖZ KARAKULLUKÇU
Karadeniz Advanced Technology Research and Application Center, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-7774-4970

Özet
Son yıllarda, yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanımının azaltılmasına yönelik küresel ölçekteki çabaların hız kazanması ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda çevreyle uyumlu alternatif enerji kaynaklarına duyulan gereksinimin artması, alternatif ve çevre dostu yakıtlara yönelik bilimsel ve teknolojik ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Bu doğrultuda, yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan biyoyakıtlar, fosil yakıtlara alternatif oluşturmaları ve çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaları bakımından ön plana çıkmaktadır. Biyoyakıtlar içerisinde önemli bir yere sahip olan biyodizel, bitkisel ve hayvansal kökenli yağların çeşitli dönüşüm süreçleri sonucunda elde edilen, yenilenebilir ve çevre dostu özellikleriyle fosil yakıtlara alternatif oluşturan önemli bir enerji kaynağıdır. Bununla birlikte, biyodizel yakıtların düşük sıcaklık koşullarındaki performansının iyileştirilmesi, kullanım alanlarının genişletilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu bağlamda, doğal ve bitki kökenli bileşenlerin yakıt katkı maddesi olarak kullanımına yönelik araştırmalar önem kazanmaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada *Mentha arvensis* L. metanolik ekstraktının antioksidan aktivitesi, 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil (DPPH) radikal süpürme yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, metanolik ekstrakt 31,53 ± 4,28 µg/mL IC_{50} değeri sergilerken, standart askorbik asit 1,46 ± 0,00 µg/mL IC_{50} değeri göstermiştir. Buna göre, metanolik ekstraktın antioksidan aktivitesinin standart askorbik aside kıyasla daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, ekstraktın biyodizel-dizel yakıt karışımlarında doğal katkı maddesi olarak kullanım potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla, dizel ve biyodizel yakıtları %50:%50 hacimsel oranında harmanlanmış ve elde edilen yakıt karışımına ekstrakt 3000 ppm konsantrasyonunda ilave edilmiştir. Hazırlanan yakıt karışımlarının termal özellikleri ve kristalleşme davranışları DSC analizleri ile karakterize edilmiştir. Elde edilen bulgular, *M. arvensis* L. metanolik ekstraktının biyodizel bazlı yakıt formülasyonlarının düşük sıcaklık özelliklerinin iyileştirilmesinde doğal ve bitki kökenli bir katkı maddesi olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymuştur.
Anahtar Kelimeler: *Mentha arvensis* L., Antioksidan Aktivite, Biyodizel, DSC

Abstract
In recent years, the acceleration of global efforts to reduce the use of non-renewable energy sources, coupled with the growing need for environmentally compatible alternative energy resources in line with environmental sustainability goals, has significantly increased scientific and technological interest in alternative and environmentally friendly fuels. In this context, biofuels, which are among the renewable energy sources, have gained prominence as alternatives to fossil fuels and due to their contribution to environmental sustainability. Biodiesel, which holds an important place among biofuels, is a significant renewable energy source produced from vegetable- and animal-derived oils through various conversion processes and offers a renewable and environmentally friendly alternative to fossil fuels. However, improving the low-temperature performance of biodiesel fuels is essential for expanding their potential applications. In this context, research into the use of natural and plant-derived compounds as fuel additives has gained increasing importance. Accordingly, the antioxidant activity of the methanolic extract of *Mentha arvensis* L. was evaluated using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. The results showed that the methanolic extract exhibited an IC_{50} value of 31.53 ± 4.28 µg/mL, whereas the standard ascorbic acid exhibited an IC_{50} value of 1.46 ± 0.00 µg/mL.

Accordingly, the methanolic extract was found to exhibit lower antioxidant activity than the standard ascorbic acid. Nevertheless, to evaluate the potential of the extract as a natural additive in biodiesel–diesel fuel blends, diesel and biodiesel were blended at a 50:50 volumetric ratio, and the resulting fuel blend was supplemented with the extract at a concentration of 3000 ppm. The thermal properties and crystallization behavior of the prepared fuel blends were characterized using differential scanning calorimetry (DSC) analyses. The findings demonstrated that the methanolic extract of *M. arvensis* L. can be considered a natural, plant-derived additive for improving the low-temperature properties of biodiesel-based fuel formulations.
Keywords: *Mentha arvensis* L., Antioxidant Activity, Biodiesel, DSC

TUZ STRESİNİN KAMIŞSI YUMAK (FESTUCA ARUNDİNACEA SCHREBER) BİTKİSİNİN ÇİMLENME GELİŞİMİNE ETKİSİ

EFFECT OF SALT STRESS ON THE GERMINATION DEVELOPMENT OF TALL FESCUE (Festuca arundinacea Schreber) PLANT

Prof. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8709-4633

Assoc. Prof. Dr. Semih AÇIKBAŞ
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4384-3908

Emircan SATAN
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0001-4307-1912

Özet
Bu araştırma, farklı konsantrasyonlarda (0, 50, 100, 150 ve 200 mM) uygulanan tuz (Sodyum klorür, NaCl) stresinin kamışsı yumak (*Festuca arundinacea* Schreber) tohumlarının çimlenme gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışmada laboratuvar deneyi, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda, tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Bitkisel materyal olarak 'Nilüfer' kamışsı yumak çeşidi kullanılmıştır. Uygun yöntemle sterilize edilen tohumlar, her bir Petri kabında 25'şer adet olmak üzere filtre kağıdı arasına yerleştirilmiş ve dozlara göre tuz konsantrasyonları uygulanarak ±25 °C ayarlı etüve konulmuştur. Onuncu gün sonunda deney tamamlanmıştır. Çalışmada; çimlenme yüzdesi, ortalama çimlenme süresi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi parametreleri incelenmiştir. İstatistiksel analizler, çimlenme parametreleri yönünden uygulamalar arasında anlamlı ($p<0.01$) farklılıkların olduğunu göstermiştir. Kamışsı yumak tohumları 50 mM dozundan itibaren başlamak üzere artan tuz konsantrasyonundan tüm çimlenme süreçleri olumsuz yönde etkilenmiştir. Çalışma sonuçları, kamışsı yumak bitkisinin çimlenme döneminde tuzluluğa çok hassas olduğunu ortaya koymuştur.
Anahtar Kelimeler: Kamışsı yumak, çimlenme yüzdesi, çimlenme enerjisi, çimlenme indeksi

Abstract
This research was conducted to determine the effects of salt (sodium chloride, NaCl) stress applied at different concentrations (0, 50, 100, 150, and 200 mM) on the germination development of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreber) seeds. The laboratory experiment was set up in the Field Crops Department Laboratory of the Faculty of Agriculture, Siirt University, using a randomized block design with four replications. The 'Nilüfer' tall fescue variety was used as plant material. Seeds, sterilized using appropriate methods, were placed between filter paper in Petri dishes (25 seeds per dish) and subjected to salt concentrations according to the doses. They were then placed in an oven set at ±25 °C. The experiment was completed after ten days. The following parameters were examined in the study: germination percentage, mean germination time, germination uniformity coefficient, germination energy, and germination index. Statistical analyses showed significant differences ($p<0.01$) between treatments in terms of germination parameters. Starting from a dose of 50 mM, increasing salt concentrations negatively affected all germination processes of tall fescue seeds. The study results revealed that tall fescue is sensitive to salinity during the germination period.
Keywords: Tall fescue, germination percentage, germination energy, germination index

Giriş

Sürdürülebilir tarıma önemli katkıda bulunan yem bitkileri (Satognon, 2024), hem tarla tarımı içerisinde yetiştirilen kuru otu hem de çok sayıdaki türlerinin hakim olduğu çayır-meralar ile (Taube ve ark., 2014) küresel ekonomide önemli bir rol oynar (Satognon, 2024).

Ayrıca yem bitkisi türleri, bitki biyoçeşitliliğinin korunması, karbon tutulumu, su kalitesinin korunması, toprak bozulmasının azaltılması ve organik madde ilavesi yoluyla toprak verimliliğinin artırılması gibi ekosistem hizmetleri sağlarlar (Frąc ve ark., 2018; Sharma ve ark., 2018). Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye meralarındaki bitki örtüsü buğdaygiller, baklagiller, diğer otsu bitkiler ve çalılardan oluşmaktadır. Kamışsı yumak (*Festuca arundinacea* Schreber) Türkiye meralarında doğal olarak yetişen önemli yem bitkisi türlerinden biridir. Avrupa ve Kuzey Afrika kökenli olan kamışsı yumak (Satognon, 2024), Poaceae familyasının bir üyesi olup (Fraser ve ark., 2016); ılıman iklimlerde ve serin mevsimde yetişen, uzun ömürlü, çok yıllık bir bitkidir (Cao ve ark., 2009; Satognon, 2024). Kamışsı yumak, iyi adaptasyon yeteneği ve yüksek ot verimi nedeniyle önemli bir yem bitkisi olmasının yanı sıra; yüksek estetik değeri nedeniyle hem ılıman hem de karasal iklimlerde çim bitkisi (Liu ve ark, 2022; Özyazıcı, 2026) olarak da yaygın olarak kullanılan bir bitkidir. Bitki, subtropikal iklime veya hatta subtropikal ve tropikal arasındaki geçiş iklimine ve bazı durumlarda aşırı tuzlu topraklara kadar yayılmıştır (Cao ve ark., 2009). Bununla birlikte, bu yayılım; özellikle kuraklık, tuz ve yüksek sıcaklık gibi abiyotik streslere karşı toleransını da zorlaştırmaktadır (Cao ve ark., 2009).

Toprak tuzluluğu, dünya çapında bitki büyümesini ve verimliliğini sınırlayan en önemli abiyotik streslerden biridir. Toprak veya suyun tuz seviyeleri yükseldiğinde, bazı yem bitkisi ve çim türlerinde tuzluluk stresi oluşabilir. Kamışsı yumakta tuzlanmaya neden olan aşırı sulamalar, hem ot üretimine hem de çim özelliklerine zarar vermektedir. Toprak tuzluluğu, kamışsı yumağın büyümesini ve çim kalitesini tehdit eden başlıca faktörlerden biridir (Wang ve ark., 2017; Li ve ark., 2022). Bu nedenle kamışsı yumak gibi buğdaygil türlerinde tuz toleransı hakkında daha iyi bir anlayış geliştirmek önemlidir. Bu çalışmada, tuz stresinin kamışsı yumak (*F. arundinacea*) bitkisinin çimlenme gelişimi üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Yöntem

Çalışma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak 'Nilüfer' kamışsı yumak çeşidi kullanılmıştır. Araştırmada 5 farklı tuz (Sodyum klorür, NaCl) konsantrasyonu (T_0: 0 mM, T_1: 50 mM, T_2: 100 mM, T_3: 150 mM ve T_4: 200 mM) ele alınmıştır. Çalışmada laboratuvar deneyi tesadüf parselleri deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak kurulmuştur. Deney öncesi tohumlar, etil alkol (% 70) ile 1 dakika ve % 10'luk sodyum hipoklorid (NaOCl) ile 10 dakika yüzey sterilizasyonuna tabi tutulmuştur. Sterilizasyon sonrasında tohumlar distile su ile 3 kez yıkanmış ve yüzey suyundan arındırılmıştır. Her bir Petri kabına (90 mm x 15 mm) iki kat filtre kağıdı (Whatman) yerleştirilmiş ve arasına 25'şer adet homojen büyüklükte tohum konulmuştur. Daha sonra, beş farklı konsantrasyonda hazırlanan tuz dozları, her Petri kabına 5 ml olacak şekilde uygulanmıştır. Petri kapları, ±25 °C ayarlı etüve yerleştirilmiştir. Her gün aynı saatte olacak şekilde, günlük olarak Petrilerdeki çıkışların sayımı yapılmış; 48 saatte bir dozlara göre 5 ml tuz eklenmiştir. Onuncu gün sonunda deney tamamlanmıştır.

Çalışmada incelenen parametreler ve metodolojisi Tablo 1'de özetlenmiştir. Elde edilen veriler JMP (5.0.1) istatistik programında varyans analizine tabi tutulmuştur. İstatistiki açıdan önemli farklılıkların bulunduğu özelliklerin gruplandırılmasında TUKEY testi kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışma incelenen çimlenme parametreleri

Parametre	Eşitlik	Açıklama	Kaynak
Çimlenme yüzdesi (ÇY)	ÇY= (*NÇTS*/*TS*)x100	Eşitlikte *NÇTS*, normal çimlenen tohum sayısını; *TS*, toplam tohum sayısını ifade etmektedir.	Scott ve ark. (1984)
Ortalama çimlenme süresi (OÇS)	OÇS= $\sum(N_iT_i/N_i)$	Eşitlikte N_i, T_i gününde çimlenen tohum sayısını; T_i, çimlenmenin başlangıcından itibaren geçen günlerin sayısını ifade etmektedir.	Ellis ve Roberts (1981)

Çimlenme üniformite katsayısı (ÇK)	ÇK= $\sum n$ / $\sum[(OÇS-t)^2 n]$	Eşitlikte *t*, ekim günü olan 0. günden başlayarak gün cinsinden süreyi; *n*, t gününde çimlenmeyi tamamlayan tohum sayısını ifade etmektedir.	Bewley ve Black (1994)
Çimlenme enerjisi (ÇE)	ÇE= (T_1/*N*)x100	Eşitlikte T_1, birinci günde çimlenen tohum sayısını; *N*, toplam tohum sayısını ifade etmektedir.	Li ve ark. (2020)
Çimlenme indeksi (Çİ)	Çİ= $\sum(G_i/T_t)$	Eşitlikte G_i, i. gündeki çimlenme oranı ve T_t, çimlenme süresinin günleridir.	Wang ve ark. (2004)

Bulgular ve Tartışma

Kamışsı yumak tohumlarına farklı tuz konsantrasyonlarının etkisi sonucunda elde edilen bazı çimlenme parametrelerine ait veriler Tablo 2'de sunulmuştur. İncelenen tüm çimlenme parametreleri yönünden uygulamalar arasında anlamlı ($p<0.01$) farklılıklar bulunmuştur. Çalışmada incelen çimlenme yüzdesi, çimlenme üniformite katsayısı, çimlenme enerjisi ve çimlenme indeksi bakımından en yüksek değerlere sırasıyla % 97.5, 22.2, 35.0 ve 4.85 ile tuz stresinin uygulanmadığı kontrol grubunda tespit edilmiştir. İncelenen bu özelliklerde en düşük değerler 200 mM tuz konsantrasyonunda belirlenmiştir. Ortalama çimlenme süresi bakımından ise en hızlı çimlenmeler kontrol (0 mM) konusunda gerçekleşirken, en geç çimlenmeler 7.75 gün ile 200 mM tuz konsantrasyonunda saptanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Kamışsı yumak tohumlarında tuz konsantrasyonlarına göre çimlenme parametrelerinin değişimi*

Tuz dozları (mM)	Çimlenme yüzdesi (%)	Ortalama çimlenme süresi (gün)	Çimlenme indeksi	Çimlenme üniformite katsayısı	Çimlenme enerjisi
T_0= 0	97.5 a	4.43 c	4.85 a	22.2 a	35.0 a
T_1= 50	76.3 b	5.65 bc	3.26 b	13.6 b	24.3 b
T_2= 100	63.8 c	6.53 ab	2.36 c	9.9 c	14.8 c
T_3= 150	35.0 d	6.90 ab	1.21 d	5.1 d	8.3 d
T_4= 200	12.5 e	7.75 a	0.40 e	1.7 e	2.8 d
Tukey değeri / Önemlilik düzeyi	9.57**	1.58**	0.44**	2.19**	6.04**

*: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki farklılık istatistiki açıdan önemli değildir,
**: $p<0.01$ düzeyinde önemli farklılık

Tohum çimlenmesi, bir bitkinin başarılı bir şekilde tesisinde önemli aşamadır. Tuz stresi, çimlenen tohumlarda toksik etkilere neden olur ve yüksek tuzluluk stresi altında, tohum çimlenmesi önemli ölçüde azalır (Murillo-Amador ve ark., 2002; Liang ve ark., 2018). Ayrıca, toprakta tuz birikmesi, köklerin su alımını azaltır ve bitki büyümesini ve metabolik aktivitelerini doğrudan etkiler (Chen ve ark., 2022). *Festuca arundinacea*, çok yıllık buğdaygillerde stres toleransının moleküler mekanizmalarını belirlemek için sıklıkla model bitki olarak kullanılan başlıca bir yem bitkisidir (Chen ve ark., 2015). Hem yem bitkisi hem de çim bitkisi olarak ekilen kamışsı yumakta hızlı çimlenme ve bitkinin alanı kaplaması, yabancı otlara karşı rekabeti artırmak için önemlidir.

Bitki örtüsündeki boşluklar yabancı otların yerleşmesine izin vererek yem ve çim kalitesini düşürür. Bu nedenle, özellikle çimlenme döneminde tuz stresi kamışsı yumakta önem taşımaktadır. Mevcut çalışmada, incelenen çimlenme parametrelerinde, artan tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak 50 mM tuz dozundan itibaren istatistiksel açıdan anlamlı olacak şekilde değerlerde azalmalara sebep olduğu saptanmıştır. Ayrıca, artan tuz konsantrasyonları çimlenmelerin geç olmasına da neden olmuştur. Nitekim benzer şekilde, Shiade ve Boelt (2020) kamışsı yumak çeşitlerinde artan tuzluluğun ana etkisinin çimlenmede gecikme olduğunu rapor etmişlerdir. Artan tuz konsantrasyonlarının kamışsı yumak tohumlarının çimlenme oranını azalttığı diğer bazı araştırmalarda da bildirilmiştir (Kusvuran ve ark., 2014; Türk ve Alagöz, 2020; Liu ve ark., 2021).

Sonuç

Toprak tuzluluğu, bitki büyümesini ve gelişimini çeşitli yönleriyle etkileyen önemli bir çevresel sorundur. Kamışsı yumak tohumları artan tuz konsantrasyonundan tüm çimlenme süreçleri olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu etki 50 mM dozunda başlamıştır. Bu sonuçlar, kamışsı yumak bitkisinin çimlenme döneminde tuzluluğa çok hassas olduğunu ortaya koymuştur.

Kaynaklar

Bewley, J.D., & Black, M. (1994). Seeds: Physiology of Development and Germination. New York.

Cao, Y.-J., Wei, Q., Liao, Y., Song, H.-L., Li, X., Xiang, C.-B., & Kuai, B.-K. (2009). Ectopic overexpression of AtHDG11 in tall fescue resulted in enhanced tolerance to drought and salt stress. *Plant Cell Reports*, *28*, 579-588.

Chen, Y., Hu, B., Tan, Z., Liu, J., Yang, Z., Li, Z., & Huang, B. (2015). Selection of reference genes for quantitative real-time PCR normalization in creeping bentgrass involved in four abiotic stresses. *Plant Cell Reports*, *34*, 1825-1834.

Chen, Y., Xiang, Y., Hu, Z., Gao, Y., Zhang, Y., Chen, M., Khaldun, A.B.M., Yan, X., & Fan, J. (2022). Transcriptomic profiling revealed the role of 24-epibrassinolide in alleviating salt stress damage in tall fescue (*Festuca arundinacea*). *Frontiers in Plant Science*, *13*, 976341.

Ellis, R.A., & Roberts, E.H. (1981). The quantification of ageing and survival in orthodox seeds. *Seed Science and Technology*, *9*(2), 373-409.

Frąc, M., Hannula, S.E., Bełka, M., & Jędryczka, M. (2018). Fungal biodiversity and their role in soil health. *Frontiers in Microbiology*, *9*, 2018.

Fraser, K., Collette, V., & Hancock, K.R. (2016). Characterization of proanthocyanidins from seeds of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea*) by liquid chromatography-mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(35), 6676-6684.

Kusvuran, A., Nazlı, R.I., & Kusvuran, S. (2014). Salinity effects on seed germination in different tall fescue (*Festuca arundinaceae* Schreb.) varieties. *Reserach Journal of Agricultural Sciences*, *7*(2), 8-12.

Li, W., Zhang, H., Zeng, Y., Xiang, L., Lei, Z., Huang, Q., Li ,T., Shen, F., & Cheng, Q. (2020). A salt tolerance evaluation method for sunflower (*Helianthus annuus* L.) at the seed germination stage. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-9.

Li, Y., You, X., Tang, Z., Zhu, T., Liu, B., Chen, M.-X., Xu, Y., & Liu, T.-Y. (2022). Isolation and identification of plant growth-promoting rhizobacteria from tall fescue rhizosphere and their functions under salt stress. *Physiologia Plantarum*, *174*, e13817.

Liang, W., Ma, X., Wan, P., & Liu, L. (2018). Plant salt-tolerance mechanism: A review. *Biochem Biophys Res Commun.*, *495*(1), 286-291.

Liu, B., Zhang, X., You, X., Li, Y., Long, S., Wen, S., Liu, Q., Liu, T., Guo, H., & Xu, Y. (2022). Hydrogen sulfide improves tall fescue photosynthesis response to low-light stress by regulating chlorophyll and carotenoid metabolisms. *Plant Physiology and Biochemistry*, *170*, 133-145.

Liu, Y., Zhang, S., De Boeck, H.J., & Hou, F. (2021). Effects of temperature and salinity on seed germination of three common grass species. *Front. Plant Sci.*, *12*, 731433.

Murillo-Amador, B., López-Aguilar, R., Kaya, C., Larrinaga-Mayoral, J., & Flores-Hernández, A. (2002). Comparative effects of NaCl andpolyethylene glycol on germination, emergence and seed-ling growth of cowpea. *J Agron Crop Sci.*, *188*(4), 235-247.

Özyazıcı, M.A. (2026). Performances of some cool-season turfgrass species in a semi-arid climate zone. *KSU J. Agric Nat.*, *29*(1), 98-117.

Satognon, F. (2024). Advancements in tall fescue (*Festuca arundinacea*) in the US: Origin, American introduction, development, and improvement. *Journal of Crop Improvement*, *38*(6), 665-687.

Scott, S.J., Jones, R.A., & Williams, W.A. (1984). Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*, *24*(6), 1192-1199.

Sharma, P., Singh, A., Kahlon, C.S., Brar, A.S., Grover, K.K., Dia, M., & Steiner, R.L. (2018). The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture-A review paper. *American Journal of Plant Sciences*, *9*(9), 1935-1951.

Shiade, S.R.G., & Boelt, B. (2020). Seed germination and seedling growth parameters in nine tall fescue varieties under salinity stress. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, *70*(6), 485-494.

Taube, F., Gierus, M., Hermann, A., Loges, R., & Schönbach, P. (2014). Grassland and globalization-Challenges for North-West European grass and forage research. *Grass and Forage Science*, *69*(1), 2-16.

Türk, M., & Alagöz, M. (2020). Effects of salt stress on the germination of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) seeds. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *34*(2), 317-324.

Wang, G.Y., Bi, A.Y., Amombo, E., Li, H.Y., Zhang, L., Cheng, C., Hu, T., & Fu, J. (2017). Exogenous calcium enhances the photosystem II photochemistry response in salt stressed tall fescue. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 2032.

Wang, Y.R., Yu, L., Nan, Z.B., & Liu, Y.L. (2004). Vigor tests used to rank seed lot quality and predict field emergence in four forage species. *Crop Sciences*, *44*(2), 535-541.

TIBBİ BİTKİLER NE ZAMAN HASAT EDİLMELİ? ETKEN MADDE BİRİKİMİNİN ZAMANSAL DEĞİŞİMİ

WHEN SHOULD MEDICINAL PLANTS BE HARVESTED? TEMPORAL VARIATION IN BIOACTIVE COMPOUND ACCUMULATION

Assoc. Prof. Dr. Gülen ÖZYAZICI
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2187-6733

Prof. Dr. Esra UÇAR
Department of Plant and Animal Production, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6327-4779

Özet
Tıbbi bitkilerin biyolojik ve ekonomik değerinde, içerdikleri biyoaktif bileşiklerin miktarı ve kimyasal profili önemli bir yere sahiptir. Bu bileşiklerin birikimi, bitkinin gelişme dönemlerine bağlı olarak değişkenlik gösterebildiğinden, uygun hasat zamanının belirlenmesi kaliteli tıbbi hammadde üretiminin temel aşamalarından biridir. Bu bildiride, tıbbi bitkilerde fenolojik gelişme dönemleri ile etken madde birikimi arasındaki ilişki ele alınmış ve hasat zamanının uçucu yağlar, fenolik bileşikler ve diğer biyoaktif bileşikler üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bitkilerin vejetatif gelişme, tomurcuklanma, çiçeklenme ve olgunlaşma gibi farklı dönemlerinde meydana gelen kimyasal değişimler ile hedef bileşiklerin birikim eğilimleri incelenmiştir. Bunun yanında tür ve genotip özellikleri, çevresel koşullar, yetiştirme uygulamaları ve bitkinin kullanım amacının optimum hasat zamanının belirlenmesindeki rolü ele alınmıştır. Literatürdeki bulgular, etken madde birikiminin bitkinin gelişme dönemine göre önemli ölçüde değişebildiğini ve tüm tıbbi bitkiler için geçerli tek bir ideal hasat zamanının bulunmadığını göstermektedir. Bu nedenle optimum hasat döneminin belirlenmesinde yalnızca biyokütle veya verim gibi agronomik özelliklerin değil, hedeflenen etken maddenin birikim düzeyinin ve kimyasal kalite özelliklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Uygun hasat zamanının belirlenmesi, tıbbi bitkilerden elde edilen hammaddenin kalite, standardizasyon ve kullanım değerinin artırılmasına katkı sağlayabilecek önemli bir üretim yaklaşımıdır.
Anahtar Kelimeler: Hasat zamanı, fenolojik gelişme, etken madde birikimi, sekonder metabolitler, kalite standardizasyonu

Abstract
The biological and economic value of medicinal plants is closely associated with the quantity and chemical profile of their bioactive compounds. Since the accumulation of these compounds may vary depending on phenological stages, determining the appropriate harvesting time is an essential step in the production of high-quality medicinal plant materials.
This paper examines the relationship between phenological development and bioactive compound accumulation in medicinal plants and evaluates the effects of harvesting time on essential oils, phenolic compounds, and other bioactive constituents. Chemical changes occurring during different phenological stages, including vegetative growth, budding, flowering, and maturation, as well as the accumulation patterns of target compounds, are discussed. In addition, the roles of species and genotype characteristics, environmental conditions, cultivation practices, and intended use in determining the optimum harvesting period are considered. Findings reported in the literature indicate that the accumulation of bioactive compounds may vary considerably throughout plant development and that there is no single ideal harvesting time applicable to all medicinal plants.
Therefore, determining the optimum harvesting period requires consideration not only of agronomic characteristics such as biomass and yield but also of the accumulation level of target compounds and relevant chemical quality characteristics. Appropriate determination of harvesting time may contribute to improving the quality, standardization, and utilization value of raw materials obtained from medicinal plants.

Keywords: Harvesting time, phenological development, bioactive compound accumulation, secondary metabolites, quality standardization

1. Giriş

Tıbbi bitkilerde bulunan alkaloidler, terpenoidler ve fenilpropanoidler gibi sekonder metabolitler (SM), çeşitli biyolojik aktiviteleri nedeniyle farmasötik açıdan değerli bileşikler olarak kabul edilmekte ve ilaç geliştirme çalışmalarında değerlendirilmektedir (Sanchita ve Sharma, 2018). Bu bileşiklerin miktarı ve kimyasal bileşimi, tıbbi bitkilerden elde edilen drog materyalinin kalite ve biyolojik etkinliğinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu bileşiklerin sentezi ve birikimi; tür ve genotipin yanı sıra bitkinin gelişme dönemi, çevre koşulları ve hasat edilen organa bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle aynı türden elde edilen drog materyallerinin kimyasal profili ve dolayısıyla kalitesi, üretim ve hasat koşullarına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterebilmektedir (Li ve ark., 2020; Hazrati ve ark., 2024; Özay ve Pehlivan, 2024).

Bu değişkenlik içerisinde hasat zamanı, etken madde açısından kaliteli drog elde edilmesinde kritik bir aşamadır. Çünkü sekonder metabolitlerin birikimi bitkinin yaşam döngüsü boyunca sabit olmayıp belirli gelişme dönemlerinde artış veya azalış gösterebilmektedir (Eskandarzade ve ark., 2024). Dolayısıyla tıbbi bir bitki için "en uygun hasat zamanı", yalnızca yüksek biyokütlenin elde edildiği dönem olarak değil, kullanım amacına yönelik hedef bileşiğin en uygun düzey ve verime ulaştığı dönem olarak ele alınmalıdır.

Nitekim literatürde, bitkilerin gelişme sürecine bağlı olarak sekonder metabolitlerin birikiminde farklı modellerin ortaya çıkabildiği bildirilmektedir. Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)'nda rosmarinik asit ile fenolik bileşiklerin farklı gelişme dönemlerinde maksimum düzeylere ulaştığı belirlenmiştir (Ben Farhat ve ark., 2014). Oğulotu bitkisinde çiçeklenme öncesi, çiçeklenme başlangıcı ve tam çiçeklenme dönemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, hasat zamanının drog verimi, uçucu yağ oranı ve uçucu yağ verimini önemli ölçüde etkilediği ve yüksek verim açısından çiçeklenme başlangıcının uygun dönem olduğu bildirilmiştir (Seğmen ve Beyzi, 2025). Benzer şekilde, *Echinacea purpurea*'da farklı hasat dönemleri ve bitki organlarının toplam fenolik madde, toplam flavonoid ve DPPH radikal süpürme aktivitesi üzerinde önemli farklılıklar oluşturduğu ortaya konmuştur (Şahin ve Coşge Şenkal, 2024). Bu bulgular, sekonder metabolitlerin birikimi ve buna bağlı biyolojik özelliklerin gelişme dönemi ve bitki organına göre değişebildiğini ve dolayısıyla tıbbi bitkiler için tek bir genel optimum hasat zamanının belirlenmesinin yeterli olmadığını göstermektedir.

Bu noktada önemli olan yalnızca etken madde konsantrasyonunun en yüksek olduğu zamanı belirlemek değildir. Yüksek konsantrasyonun düşük biyokütle ile birlikte ortaya çıkması durumunda birim alandan elde edilen toplam etken madde miktarı beklenenden düşük olabilir. Nitekim *Echinacea purpurea*'da yapılan bir çalışmada, gelişme dönemi ve hasat edilen bitki organına bağlı olarak hem biyokütle hem de biyolojik aktif bileşiklerin konsantrasyon ve alan başına verimlerinin değiştiği belirlenmiştir (Thomsen ve ark., 2018). Bu nedenle optimum hasat zamanı belirlenirken hedef bileşik, bitki organı, gelişme dönemi, metabolit konsantrasyonu ve biyokütle birlikte değerlendirilmelidir. Ayrıca çevresel koşulların sekonder metabolit birikimini önemli ölçüde değiştirebildiği dikkate alındığında, hasat zamanının belirlenmesi tek başına fenolojik bir gözleme indirgenmemelidir (Pant ve ark., 2021).

Çalışmada, tıbbi bitkilerde sekonder metabolitlerin gelişme sürecindeki zamansal birikim değişimleri ve bu değişimlerin optimum hasat zamanı ile ilişkisi ele alınmıştır. Farklı tıbbi bitkilerden elde edilen literatür bulguları karşılaştırılarak, etken maddelerin gelişme dönemlerine bağlı birikim özellikleri değerlendirilmiş ve hedef bileşiğe yönelik uygun hasat döneminin belirlenmesinde dikkate alınması gereken temel ölçütler üzerinde durulmuştur.

2. Bitki Gelişimi Boyunca Etken Madde Birikiminin Zamansal Değişimi

2.1. Gelişme evrelerine göre etken madde birikimi

Vejetatif gelişme

Vejetatif dönemde yaprak ve diğer genç dokuların gelişimiyle birlikte metabolik profilde önemli değişimler meydana gelmektedir. Bu dönemde bazı sekonder metabolitlerin yüksek düzeylerde bulunması, genç dokularda savunma ve çevresel uyuma yönelik metabolik gereksinimlerle ilişkilendirilebilir.

Artemisia argyi yapraklarının sekiz farklı gelişme döneminde metabolomik yöntemlerle incelendiği bir çalışmada, metabolit profillerinin gelişme boyunca belirgin biçimde değiştiği ve özellikle birçok monoterpenoid ile fenolik asidin erken gelişme dönemlerinde daha yüksek düzeylerde bulunduğu belirlenmiştir. Buna karşılık flavonoidlerin önemli bir bölümünün hızlı vejetatif gelişme döneminde maksimum birikim gösterdiği bildirilmiştir (Zhong ve ark., 2026).

Tomurcuklanma dönemi: Tomurcuklanma dönemi, özellikle uçucu yağ taşıyan tıbbi ve aromatik bitkilerde etken madde birikiminin önemli ölçüde değişebildiği bir gelişme aşamasıdır. *Origanum minutiflorum* üzerinde yapılan bir çalışmada, tomurcuklanma başlangıcından tohum olgunlaşmasına kadar yedi farklı biçim dönemi karşılaştırılmış ve uçucu yağ içeriği ile bileşenlerinin gelişme dönemine bağlı olarak önemli değişimler gösterdiği belirlenmiştir. Uçucu yağ oranı tam çiçeklenme döneminde %3.0 ile en yüksek düzeye ulaşırken, uçucu yağın temel bileşeni olan karvakrol tomurcuklanma sonunda %82.78 ile maksimum değere ulaşmıştır. İlerleyen gelişme dönemlerinde karvakrol oranının azalması, uçucu yağ miktarı ile belirli bir etken maddenin maksimum düzeyinin aynı döneme karşılık gelmeyebileceğini göstermektedir (Baydar ve Avcu, 2020).

Çiçeklenme dönemi: Çiçeklenme dönemi, birçok tıbbi ve aromatik bitkide uçucu yağ ve diğer sekonder metabolitlerin birikimi açısından önemli bir gelişme evresidir. Bununla birlikte, bu dönemdeki metabolit birikimi doğrusal bir artış göstermeyebilir ve optimum hasat zamanı türe, gelişme aşamasına ve hedeflenen bileşene göre değişebilir. Nitekim Çukurova koşullarında ölmez çiçekte (*Helichrysum italicum*), çiçeklenme başlangıcı, tam çiçeklenme ve çiçeklenme sonrası dönemler arasında verim ve kalite özelliklerinin önemli ölçüde değiştiği; çiçekte uçucu yağ oranının %0.30–0.88 arasında farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Savaşlı Yıldırım ve ark., 2025).
Benzer şekilde, İzmir kekiğinde (*Origanum onites*) uçucu yağ oranının %50 çiçeklenme döneminde en yüksek düzeye ulaşmasına karşın, uçucu yağın temel bileşeni olan karvakrolün daha erken bir gelişme döneminde, tomurcuklanma sırasında maksimum değere ulaştığı belirlenmiştir. Buna karşılık γ-terpinen oranının gelişmenin ilerlemesiyle artması, toplam uçucu yağ miktarı ile uçucu yağ bileşenlerinin aynı zamansal değişim modelini göstermeyebileceğini ortaya koymaktadır (Katar ve Katar, 2020).
Bu farklılaşma lavantada da görülmektedir. *Lavandula angustifolia* çeşitlerinde hasat zamanının uçucu yağ içeriği ve bileşimi üzerinde önemli etkiler oluşturduğu; özellikle Hemus çeşidinde uçucu yağ içeriğinin çiçeklenme sonrası dönemde en yüksek düzeye ulaştığı, hasadın geciktirilmesiyle linalool ve linalil asetat oranlarının artarken kafur oranının azaldığı bildirilmiştir (Türkaslan ve Özel, 2026). Dolayısıyla çiçeklenme dönemi, tıbbi bitkilerde hasat için önemli bir biyolojik eşik oluşturmakla birlikte, tek başına evrensel bir optimum hasat zamanı olarak değerlendirilmemelidir. Hasat kararının, bitkinin gelişme durumu ile birlikte hedeflenen etken maddenin birikim eğilimi ve ürünün kullanım amacına göre verilmesi daha uygun bir yaklaşımdır.

Meyve ve tohum oluşumu: Meyve ve tohum oluşumu döneminde metabolit birikiminin yönü ve kimyasal profili değişebilmektedir. Özellikle uçucu yağ taşıyan türlerde meyve gelişimi, yalnızca toplam uçucu yağ miktarının değil, uçucu yağ bileşenlerinin de yeniden şekillendiği bir dönemdir. Kişnişte (*Coriandrum sativum*) meyve gelişimi boyunca uçucu yağ miktarının ve bileşiminin önemli ölçüde değiştiği; olgunlaşmanın ilerlemesiyle linaloolun baskınlığının arttığı, buna karşılık erken dönemde öne çıkan geranil asetat gibi bileşenlerin daha ileri gelişme dönemlerinde azaldığı bildirilmektedir (Al-Khayri ve ark., 2023).
Rezene (*Foeniculum vulgare*) üzerinde yapılan çalışmada, uçucu yağ veriminin özellikle mumsu gelişme dönemindeki şemsiyelerde ve erken meyve dönemindeki tam olgun şemsiyelerde yüksek olduğu, yalnızca olgun tohumların değerlendirildiği aşamada ise daha düşük düzeylere gerilediği belirlenmiştir. Uçucu yağın temel bileşeni olan (E)-anetol, tüm gelişme dönemlerinde baskınlığını korurken, oranı olgunlaşmamış şemsiyelerde %64.0'dan mumsu dönemde %72.3'e yükselmiş ve tam olgunlukta %71.6 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, fenkon oranı gelişme ilerledikçe %4.8'den %10.7'ye yükselmiştir (Šunić ve ark., 2023).

Bu durum, meyvenin olgunlaşmasının yalnızca tohum verimi açısından değil, hedeflenen uçucu yağ bileşeninin birikimi açısından da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir**.**
Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, sekonder metabolit birikiminin bitkinin gelişme süreci boyunca doğrusal bir artış göstermediği anlaşılmaktadır. Aynı türde farklı metabolit grupları farklı gelişme dönemlerinde maksimuma ulaşabilmekte; bazı bileşikler erken vejetatif dönemde yüksek düzeylere ulaşırken, bazıları tomurcuklanma, çiçeklenme veya tohum gelişimi sırasında birikmektedir. Dolayısıyla gelişme evresi, hasat zamanının belirlenmesinde önemli bir gösterge olmakla birlikte, tek başına yeterli bir ölçüt değildir. Özellikle hedeflenen etken maddenin gelişme boyunca gösterdiği birikim eğiliminin dikkate alınması, tıbbi bitkilerde daha rasyonel bir hasat zamanının belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

2.2. Etken madde birikimini belirleyen biyolojik ve çevresel faktörler

Etken madde birikimi, yalnızca bitkinin gelişme dönemine bağlı olarak değil, genetik yapı, bitki organı ve yetişme koşullarının birlikte etkisiyle şekillenmektedir. Aynı tür içerisinde farklı genotiplerin metabolit üretme kapasitesi değişebildiği gibi, metabolitlerin bitkinin farklı organlarında dağılımı da farklılık gösterebilmektedir. Bunun yanında ışık, sıcaklık, su durumu, toprak verimliliği ve tuzluluk gibi çevresel faktörler sekonder metabolitlerin biyosentezini ve birikimini önemli ölçüde değiştirebilmektedir (Yang ve ark., 2018).

Genotip, etken madde birikimindeki farklılığın temel biyolojik kaynaklarından biridir. Aynı tür içerisinde farklı genetik materyallerin sekonder metabolitleri sentezleme ve biriktirme kapasitesi birbirinden farklı olabilmektedir. Bu farklılık, yalnızca toplam etken madde miktarında değil, metabolitlerin bileşiminde ve maksimum birikim döneminde de kendini gösterebilmektedir. Nitekim *Salvia fruticosa* üzerinde yürütülen bir çalışmada, farklı klonların uçucu yağ bileşenleri bakımından önemli farklılıklar gösterdiği ve klon × hasat zamanı etkileşiminin bazı bileşenlerin düzeylerini önemli ölçüde değiştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı klonların aynı bileşen için en yüksek değerlere farklı aylarda ulaşması, optimum hasat zamanının genotipe bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir (Uysal ve ark., 2024). Benzer şekilde, *Tanacetum vulgare* üzerinde gerçekleştirilen metabolomik çalışmada, genetik kökenin tür içi kimyasal çeşitliliğin önemli bir belirleyicisi olduğu ve farklı genetik kökenlerin metabolit profillerinde belirgin farklılıklar oluşturduğu gösterilmiştir (Dussarrat ve ark., 2023).

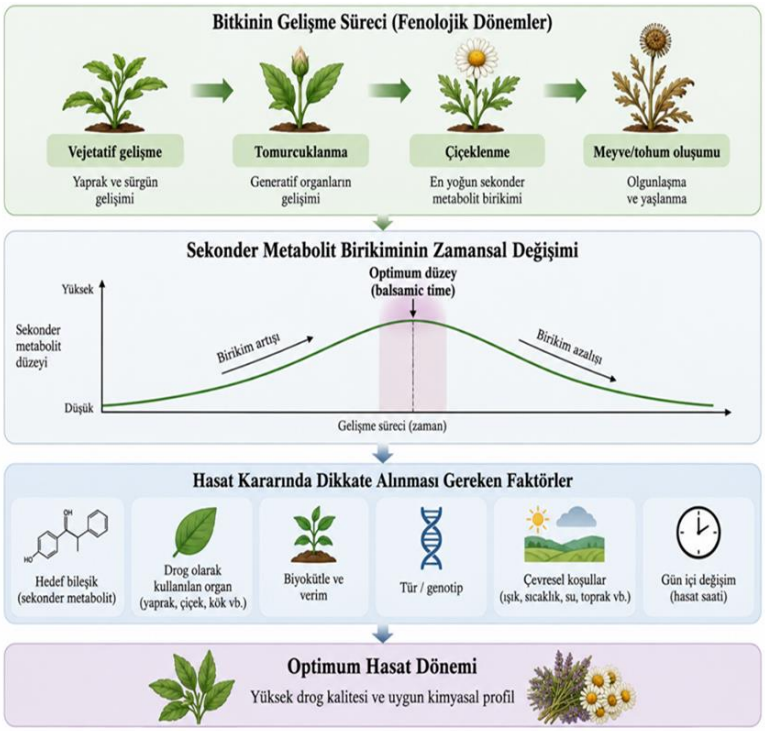
Bitki organı da etken maddelerin miktarı ve bileşiminin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Yaprak, çiçek, kök, meyve ve tohum gibi farklı organlar, fizyolojik işlevleri ve metabolik özellikleri bakımından farklılaştığından, aynı bitki içerisinde etken maddelerin dağılımı ve birikim düzeyi de değişebilmektedir. Nitekim *Bletilla striata*'da kök, yumru ve yaprakların metabolit profillerinin belirgin biçimde farklı olduğu ve çeşitli sekonder metabolitlerin organlara özgü birikim gösterdiği bildirilmiştir (Ma ve ark., 2021). Benzer şekilde, *Filipendula ulmaria*'nın farklı organlarında fenolik bileşiklerin nitel ve nicel dağılımının önemli ölçüde değiştiği ortaya konmuştur (Savina ve ark., 2023). Dolayısıyla hasat zamanı belirlenirken yalnızca bitkinin gelişme dönemi değil, hangi organın ve hangi etken maddenin hedeflendiği de dikkate alınmalıdır.

Yetiştirme koşulları, özellikle su ve besin elementlerinin düzeyi bakımından etken madde üretimini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Su stresinin bitkisel gelişme ve sekonder metabolit birikimi üzerindeki etkisi, stresin şiddetine ve bitkinin metabolik yanıtına bağlı olarak değişebilmektedir. *Salvia officinalis* üzerinde yapılan bir çalışmada, düzenli sulamanın bitki ve yaprak biyokütlesini artırdığı, buna karşılık orta düzey su stresinin uçucu yağ oranını yükselttiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada NPK uygulaması biyokütle verimi ve uçucu yağ içeriği üzerinde olumlu etki gösterirken, biçim zamanları arasında da uçucu yağ miktarı ve agronomik verim bakımından farklılıklar ortaya çıkmıştır (Soltanbeigi ve ark., 2021). Benzer şekilde, *Melissa officinalis* üzerinde yürütülen güncel bir çalışmada, şiddetli su açığının uçucu yağ konsantrasyonunu artırmasına rağmen biyokütle üretimini önemli ölçüde azalttığı; entegre besin yönetiminin ise su stresinin olumsuz etkilerini azaltarak uçucu yağ verimi ve bileşimini iyileştirebildiği ortaya konmuştur (Bolhassani ve ark., 2025).

Bu bulgular, yüksek biyokütle üretimi ile yüksek etken madde konsantrasyonunun her zaman aynı yetiştirme koşullarında gerçekleşmeyebileceğini ve optimum üretim koşullarının belirlenmesinde biyokütle verimi ile hedeflenen etken maddenin miktar ve bileşiminin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Hasat yılı ve mevsimsel koşullar da etken madde birikiminin düzeyini ve bileşimini etkileyebilmektedir. Aynı bitkinin aynı fenolojik dönemde hasat edilmesi, farklı yıllarda tamamen aynı kimyasal profili veya etken madde düzeyini sağlayacağı anlamına gelmemektedir. Nitekim *Salvia officinalis* üzerinde farklı yıllar ve hasat dönemlerinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, uçucu yağ verimi ve bileşiminin hasat mevsimine bağlı olarak değiştiği, yıllar arasındaki farklılığın ise daha sınırlı olduğu belirlenmiştir (Hasa ve ark., 2021).
Labiatae familyasından, adaçayı (*Salvia officinalis*), Sideritis (*Sideritis perfoliata*) ve nanede (*Mentha spicata*) yürütülen bir çalışmada, mevsimin toplam fenolik madde içeriği, antioksidan kapasite ve uçucu yağ verimi üzerinde önemli etkiler oluşturduğu; ayrıca uçucu yağların temel bileşenlerinin mevsim ve yetişme ortamına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Chrysargyris ve ark., 2021). Bu durum, optimum hasat zamanının yalnızca takvimde belirli bir tarihe veya tek bir fenolojik döneme dayandırılmaması, hasat dönemindeki çevresel koşulların ve bitkinin kimyasal gelişiminin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

3. Balsamic Time: Etken Madde Birikimine Dayalı Optimum Hasat Dönemi
Tıbbi ve aromatik bitkilerde "balsamic time" veya "balsamic period", hedeflenen biyoaktif bileşiklerin hasat açısından en uygun düzeye ulaştığı dönemi ifade etmektedir. Bu yaklaşımda optimum hasat zamanı yalnızca bitkinin fenolojik gelişme evresine göre değil, hedef metabolitlerin birikim düzeyi ve kimyasal profili dikkate alınarak belirlenmektedir.
Dolayısıyla balsamic time, tüm türler için geçerli sabit bir tarih olmayıp tür, hedef bileşik, gelişme dönemi ve yetiştirme koşullarına göre değişebilen bir hasat penceresi olarak değerlendirilebilir (Hazrati ve ark., 2020, 2024). Optimum hasat döneminin belirlenmesinde fenolojik gelişim, hedef metabolit birikimi, bitki organı, biyokütle, genotip ve çevresel koşulların birlikte değerlendirilmesine yönelik genel yaklaşım Şekil 1'de gösterilmiştir.
Balsamic time'ın belirlenmesinde, etken madde birikiminin farklı mevsimlerde ve günün farklı saatlerinde nasıl değiştiğini ortaya koyan çalışmalar yol gösterici olmaktadır. Gori ve ark. (2020), üç Akdeniz tıbbi bitkisinde yaprak fenoliklerinin mevsimsel ve gün içi değişimini inceleyerek, en yüksek fenolik içerik ve antioksidan kapasiteyi sağlayan hasat zamanının türlere göre farklılaşabildiğini göstermiştir. Benzer şekilde, *Tanacetum balsamita* üzerinde yapılan çalışmada, polifenol içeriğinin yüksek olduğu balsamic time döneminde elde edilen bitkisel materyalin biyolojik aktif bileşikler bakımından değerlendirildiği bildirilmiştir (Bonetti ve ark., 2025).
Bu yaklaşımın bir örneği, *Cynara cardunculus* L. üzerinde gerçekleştirilen metabolomik çalışmada görülmektedir. Mandrone ve ark. (2026), farklı yükseltilerde yetişen bitkilerin yaprak metabolitlerini fenolojik dönemlere göre karşılaştırmış ve çiçeklenme dönemini balsamic time olarak belirlemiştir. Bu bulgu, balsamic time'ın yalnızca fenolojik gözleme dayalı olarak değil, metabolit profili ve hedef bileşiklerin birikiminin birlikte değerlendirilmesiyle belirlenebileceğini göstermektedir. Bir başka çalışmada, *Dracocephalum multicaule* üzerinde farklı fenolojik dönemlerin karşılaştırılması sonucunda belirli bir çiçeklenme evresi optimum balsamic time olarak belirlenmiş, ancak farklı uçucu yağ bileşenlerinin farklı dönemlerde maksimuma ulaşabildiği ortaya konmuştur (Hazrati ve ark., 2026).



Şekil 1. Tıbbi bitkilerde optimum hasat döneminin (balsamic time) belirlenmesine yönelik kavramsal yaklaşım.

4. Farklı Tıbbi Bitkilerde Optimum Hasat Zamanı: Karşılaştırmalı Literatür Bulguları

4.1. Adaçayı (*Salvia officinalis*)

Adaçayında hasat dönemi, uçucu yağ miktarı ve kimyasal bileşim üzerinde etkili olabilmektedir. Farklı fenolojik dönemlerin karşılaştırıldığı bir çalışmada, uçucu yağ oranının çiçeklenme öncesinde %1.70 ile en yüksek, meyve döneminde ise %0.36 ile en düşük düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte α-tujon oranı gelişme ilerledikçe artarken, kafur çiçeklenme başlangıcında en yüksek düzeye ulaşmıştır (Golparvar ve ark., 2024). Bu sonuçlar, toplam uçucu yağ miktarı ile belirli bileşenlerin maksimum düzeylerinin aynı gelişme dönemine karşılık gelmeyebileceğini göstermektedir.

Hasat döneminin etkisi yetiştirme koşullarıyla birlikte değerlendirildiğinde daha karmaşık bir yapı ortaya çıkmaktadır. Delfine ve ark. (2024), adaçayında farklı su koşullarının biyokütle üretimi ve uçucu yağ birikimi üzerinde farklı etkiler gösterdiği; iyi sulanan bitkilerde kuru biyokütle daha yüksekken, uçucu yağ içeriğinin yağış koşullarında yetiştirilen bitkilerde daha yüksek olabildiği bildirmiştir. Benzer şekilde, farklı gölgeleme koşulları altında Mayıs, Ağustos ve Eylül aylarında gerçekleştirilen hasatlarda uçucu yağ verimi ve cis-tujon, trans-tujon, kafur ve 1,8-sineol gibi temel bileşenlerin oranlarının değiştiği belirlenmiştir (Milenković ve ark., 2026).

4.2. Oğulotu (*Melissa officinalis L.*)

Oğulotunda optimum hasat döneminin belirlenmesindeki temel sorun, biyokütle, uçucu yağ ve fenolik bileşiklerin aynı dönemde maksimum düzeye ulaşmamasıdır. Yıl boyunca farklı dönemlerde gerçekleştirilen hasatlarda uçucu yağ içeriğinin özellikle yaz sonu ve sonbahar başında yükseldiği, uçucu yağın temel bileşenlerinden neral ve geranial oranlarının da hasat zamanına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Said-Al Ahl ve ark., 2018). Németh-Zámboriné ve ark. (2019) ise uçucu yağ, polifenol içeriği ve herba veriminin aynı dönemde maksimuma ulaşmadığını ve tomurcuklanma döneminin bu özellikler arasında daha dengeli bir üretim sağlayabildiğini ortaya koymuşlardır.

Oğulotunun önemli fenolik bileşenlerinden rosmarinik asit açısından genotipler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır (Kittler ve ark., 2018). Göre ve ark. (2026) ise iki farklı hasat dönemi ve gübreleme uygulamalarını karşılaştırarak, biyokütle, uçucu yağ ve rosmarinik asit açısından en uygun dönemin her zaman örtüşmediğini göstermiştir. Oğulotunda hasat dönemi, üretimin uçucu yağ, rosmarinik asit veya yüksek biyokütleden hangisini hedeflediğine göre farklılaşabilmektedir.

4.3. Papatya (*Matricaria chamomilla L.*)

Papatyada hasat zamanı, çiçek verimi ve uçucu yağ özellikleri üzerinde önemli rol oynamaktadır. Farklı gelişme dönemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalarda, çiçek verimi ile uçucu yağ oranı ve bileşiminin hasat dönemine bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Kumar ve ark., 2020). Fenolojik dönemin yanı sıra gün içindeki hasat saati de uçucu yağ birikimini etkileyebilmektedir. Mahmoudi ve ark. (2026), farklı gelişme dönemleri ve gün içi hasat saatlerini karşılaştırdıkları çalışmada, en yüksek uçucu yağ oranını tam çiçeklenme döneminde saat 12.00'de yapılan hasatta belirlemiştir. Papatya için uygun hasat zamanı belirlenirken gelişme dönemi kadar gün içindeki hasat saatinin de dikkate alınması önem taşımaktadır.

4.4. Aynısefa (*Calendula officinalis L.*)

Aynısefa, optimum hasat döneminin ürünün kullanım amacına göre değişebildiğini gösteren dikkat çekici örneklerden biridir. Tıbbi drog olarak değerlendirilen çiçek başlarında flavonoid içeriği ön plana çıkarken, tohum üretiminde yağ verimi ve yağ asidi bileşimi temel kalite özellikleri arasındadır. Honório ve ark. (2016), çiçek gelişimi sırasında flavonoid birikiminin çiçeklerin açılmasından sonraki ilk günlerde arttığını ve yaklaşık üç gün sonra en yüksek düzeye ulaştığını, daha sonraki dönemde ise azaldığını bildirmiştir. Palma-Tenango ve ark. (2025) tomurcuklanmadan tamamen açılmış çiçek başlarına kadar olan gelişme sürecinde flavonoidlerin yüksek düzeylerde bulunabildiğini göstermiştir. Buna karşılık tohum ve tohum yağı üretiminde farklı bir optimum dönem ortaya çıkmaktadır. Król ve Paszko (2017), orta düzeyde tohum olgunluğunun yüksek tohum ve yağ verimi açısından daha uygun olduğunu, ileri olgunlukta ise bazı çeşitlerde tohum dökülmesine bağlı verim kayıplarının meydana gelebildiğini bildirmiştir.

4.5. Ölmez Çiçek (*Helichrysum spp.*)

Ölmez çiçekte hasat döneminin etkisi, çiçek gelişme evresinin yanı sıra yetişme koşulları ve hasat yöntemiyle birlikte ortaya çıkmaktadır. *Helichrysum amorginum* üzerinde iki yıl ve iki farklı yetiştirme alanında gerçekleştirilen çalışmada toplam fenolik madde içeriğinin çiçek gelişme aşaması, bitki yaşı ve yetiştirme koşullarına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir (Stavropoulos ve ark., 2024). Benzer şekilde *H. aureonitens*'te farklı iklim bölgeleri ve mevsimlerde elde edilen materyallerin metabolomik analizleri, sekonder metabolit profilinin mevsim ve yetişme ortamından önemli ölçüde etkilendiğini göstermiştir (Adeosun ve ark., 2022).

Helichrysum italicum üzerinde gerçekleştirilen Giannakoula ve ark. (2024) çalışmasında ise hasat zamanı ve hasat yönteminin uçucu yağın kalite özelliklerini etkileyen önemli faktörler olduğu ortaya konulmuştur. Farklı aylarda gerçekleştirilen hasatlarda uçucu yağın niteliksel özellikleri değişirken, elle ve makineyle hasat edilen materyaller arasında da uçucu yağ bileşimi bakımından farklılıklar belirlenmiştir. Elle hasat edilen materyalde α-pinen ve neryl asetat, makineyle hasat edilen materyalde ise γ-kurkumen açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir.

4.6. Ekinezya (*Echinacea purpurea* (L.) Moench)

Ekinezyada optimum hasat döneminin belirlenmesinde bitki organı ve hedeflenen bileşik grubu temel belirleyicilerdir. Ozcan ve ark. (2025), tam çiçeklenme dönemindeki bitkilerin yaprak ve çiçeklerinde fenolik ve flavonoid bileşiklerin günün farklı saatlerinde değişebildiğini; bazı fenolik asitlerin daha erken saatlerde yüksek düzeylere ulaştığını ortaya koymuştur.

Bitkinin toprak üstü kısımları ile kökleri karşılaştırıldığında ise farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Thomsen ve ark. (2018), tomurcuklanma, çiçeklenme ve çiçeklenme sonrası dönemlerde alkamidler ile kafeik asit türevlerinin birikiminin farklılaştığını ve toprak üstü kısımlar ile köklerin aynı zamanda hasat edilmesinin her iki ürün açısından optimum sonucu sağlamadığını bildirmiştir. Yurteri ve ark. (2026) tarafından iki yıl boyunca gerçekleştirilen çalışmada da *E. purpurea* ve *E. angustifolia*'nın uçucu metabolit profillerinin tür ve yıllara bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Bu nedenle ekinezyada optimum hasat döneminin drog olarak kullanılacak organ ve hedeflenen bileşik grubu temelinde ayrı ayrı belirlenmesi daha uygun görünmektedir.

4.7. Nane (*Mentha × piperita* L.)

Nanede hasat dönemi, özellikle uçucu yağ verimi ve bileşiminin yanı sıra gün içindeki değişim açısından önem taşımaktadır.

Türkiye koşullarında *Mentha* × *piperita* üzerinde yapılan çalışmada tomurcuklanma, çiçeklenme başlangıcı, %50 çiçeklenme ve tam çiçeklenme dönemleri farklı hasat saatleriyle birlikte değerlendirilmiş; ilaçlık yaprak veriminin çiçeklenme başlangıcında, diğer verim özellikleri ile uçucu yağ veriminin ise tam çiçeklenmede öne çıktığı belirlenmiştir. Uçucu yağ oranının sabah saatlerinde daha yüksek olması, fenolojik dönem ile gün içindeki hasat saatinin birlikte değerlendirilmesinin önemini göstermektedir (Yeşil ve Özcan, 2021).

Hasat tarihinin uçucu yağ miktarı ve bileşimi üzerindeki etkisi *M. pulegium* ve *M. suaveolens* türlerinde de gösterilmiştir (Omer ve ark., 2022). *M. longifolia*'da ise uçucu yağ içeriğinin mevsim, gün içindeki zaman ve bitki organına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Said-Al Ahl ve ark., 2026). Ayrıca üç yetiştirme sezonunda farklı Mentha genotiplerinin karşılaştırıldığı çalışmada, uçucu yağ, fenolik bileşikler ve flavonoidlerin birikiminde genotip ve yetiştirme yılına bağlı farklılıklar ortaya konulmuştur (Pluháčková ve ark., 2026). Bu nedenle nanede uygun hasat döneminin belirlenmesinde fenolojik gelişme ve gün içi değişimin yanı sıra genotip ve yetiştirme yılı da dikkate alınmalıdır.

Farklı tıbbi bitkiler üzerinde yürütülen çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, optimum hasat zamanını belirleyen ölçütlerin türlere göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Adaçayında çevresel koşullar ve uçucu yağ bileşimi, oğulotunda uçucu yağ ve rosmarinik asit birikimi, papatyada çiçek gelişme evresi ve gün içindeki hasat saati, aynısefada kullanım amacı, ölmez çiçekte yetişme koşulları ve hasat yöntemi, ekinezyada bitki organı ve hedef bileşik, nanede ise fenolojik dönem ve gün içi değişim öne çıkmaktadır. Bu farklılıklar, tıbbi bitkilerde hasat zamanının belirlenmesinde türe ve kullanım amacına özgü değerlendirmelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Tıbbi bitkilerde etken madde birikimi gelişme süresince değişmekte ve farklı bileşikler aynı bitkide farklı dönemlerde en yüksek düzeye ulaşabilmektedir. Optimum hasat zamanı bu nedenle sabit bir fenolojik dönem veya takvim tarihi olarak ele alınmamalıdır. Hedeflenen etken madde, hasat edilen bitki organı ve ürünün kullanım amacı hasat zamanının belirlenmesinde dikkate alınması gereken başlıca unsurlardır. Etken madde konsantrasyonunun yüksek olması da tek başına yeterli bir ölçüt değildir. En yüksek konsantrasyonun görüldüğü dönem ile en yüksek biyokütlenin elde edildiği dönem her zaman örtüşmeyebilir. Hasat döneminin seçiminde etken madde konsantrasyonu kadar elde edilen ürün miktarı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Tür ve kullanım amacına uygun hasat dönemlerinin belirlenebilmesi için etken madde değişiminin bitki gelişimi boyunca izlenmesi ve fenolojik gözlemlerin kimyasal analizlerle desteklenmesi önem taşımaktadır. Bu veriler, uygun hasat döneminin daha doğru belirlenmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar

Adeosun, W. B., Bodede, O., & Prinsloo, G. (2022). Effect of different climatic regions and seasonal variation on the antibacterial and antifungal activity, and chemical profile of *Helichrysum aureonitens* Sch. Bip. *Metabolites, 12*(8), 758.

Al-Khayri, J. M., Banadka, A., Nandhini, M., Nagella, P., Al-Mssallem, M. Q., & Alessa, F. M. (2023). Essential oil from *Coriandrum sativum*: A review on its phytochemistry and biological activity. *Molecules, 28*(2), 696.

Baydar, H., & Avcu, F. (2020). Yayla kekiği (*Origanum minutiflorum* O. Schwarz et P.H. Davis)'nin farklı biçim dönemlerinde uçucu yağ içeriği ve bileşenleri. *Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi, 2*(2), 64-70.

Ben Farhat, M., Chaouch-Hamada, R., Sotomayor, J. A., Landoulsi, A., & Jordán, M. J. (2014). Antioxidant potential of *Salvia officinalis* L. residues as affected by the harvesting time. *Industrial Crops and Products, 54*, 78-85.

Bolhassani, Z., Feizian, M., Kasmai, L. S., & Etesami, H. (2025). Integrated nutrient management enhances essential oil yield and composition in lemon balm under water deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 25*(3), 7738-7753.

Bonetti, A., Grattacaso, M., Lonardo, S. D., & D'Acqui, L. P. (2025). Impact of sustainable soil cropping management on the production and stability of bioactive compounds in *Tanacetum balsamita* L. by cold pressure extraction. *Plants, 14*(6), 948.

Chrysargyris, A., Evangelides, E., & Tzortzakis, N. (2021). Seasonal variation of antioxidant capacity, phenols, minerals and essential oil components of sage, spearmint and sideritis plants grown at different altitudes. *Agronomy, 11*(9), 1766.

Delfine, S., Formisano, C., Sirignano, C., & Rigano, D. (2024). Effect of harvest time and low water availability during balsamic period on *Salvia officinalis* L. biomass development, ecophysiological traits and essential oil yield and composition. *Biochemical Systematics and Ecology*, *114*, 104825.

Dussarrat, T., Schweiger, R., Ziaja, D., Nguyen, T. T. N., Krause, L., Jakobs, R., Eilers, E. J., & Müller, C. (2023). Influences of chemotype and parental genotype on metabolic fingerprints of tansy plants uncovered by predictive metabolomics. *Scientific Reports*, *13*, 11645.

Eskandarzade, P., Mehrjerdi, M. Z., Gruda, N. S., & Aliniaeifard, S. (2024). Phytochemical compositions and antioxidant activity of green and purple basils altered by light intensity and harvesting time. *Heliyon*, *10*, e30931.

Giannakoula, A. E., Dimitriadis, C., & Garitsis, V. (2024). The impact of harvesting method and harvesting month on the quality of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don. essential oils and oxidative stress. *International Journal of Environmental Studies*, *81*(5), 2107-2116.

Golparvar, A. R., Hadipanah, A., & Zamanpour Shahmansouri, H. (2024). Effect of harvesting time on chemical components of sage (*Salvia officinalis* L.) from Iran. *Research on Crop Ecophysiology*, *19*(1), 37-44.

Gori, A., Nascimento, L. B., Ferrini, F., Centritto, M., & Brunetti, C. (2020). Seasonal and diurnal variation in leaf phenolics of three medicinal mediterranean wild species: what is the best harvesting moment to obtain the richest and the most antioxidant extracts?. *Molecules*, *25*(4), 956.

Göre, M., Avcı, A. B., Bayız, O., Esetlili, B. Ç., & Öztürk, B. (2026). Nutrient management via organic and organomineral fertilization modulates yield and rosmarinic acid accumulation in *Melissa officinalis* L. *Frontiers in Plant Science*, *17*, 1845091.

Hasa, E., Duka, S., Lika, E., & Nushi, E. (2021). Variation of Albanian *Salvia officinalis* L. yield and essential oil composition in different harvesting seasons and years. *Research in Plant Sciences*, *9*(1), 7-12.

Hazrati, S., Mollaei, S., Rabbi Angourani, H., Hosseini, S. J., Sedaghat, M., & Nicola, S. (2020). How do essential oil composition and phenolic acid profile of *Heracleum persicum* fluctuate at different phenological stages?. *Food Science & Nutrition*, *8*, 6192-6206.

Hazrati, S., Mousavi, Z., & Nicola, S. (2024). Harvest time optimization for medicinal and aromatic plant secondary metabolites. *Plant Physiology and Biochemistry*, *212*, 108735.

Hazrati, S., Habibzadeh, F., Davatgar-Iranizad, A., & Ebadi, M. T. (2026). Changes in essential oil content and composition of *Dracocephalum multicaule* at different phenological stages: Determination of balsamic time. *Biochemical Systematics and Ecology*, *126*, 105215.

Honório, I. C. G., Bonfim, F. P. G., Montoya, S. G., Casali, V. W. D., Leite, J. P. V., & Cecon, P. R. (2016). Growth, development and content of flavonoids in calendula (*Calendula officinalis* L.). *Acta Scientiarum. Agronomy*, *38*(1), 69-75.

Katar, N., & Katar, D. (2020). Eskişehir ekolojik koşullarında farklı hasat dönemlerinin İzmir kekiği (*Origanum onites* L.)'nin uçucu yağ oranı ve bileşenleri üzerine etkisi. *Turkish Journal of Agricultural Engineering Research*, *1*(2), 441-451.

Kittler, J., Krüger, H., Ulrich, D., Zeiger, B., Schütze, W., Böttcher, C., ... & Marthe, F. (2018). Content and composition of essential oil and content of rosmarinic acid in lemon balm and balm genotypes (*Melissa officinalis*). *Genetic Resources and Crop Evolution*, *65*(5), 1517-1527.

Król, B., & Paszko, T. (2017). Harvest date as a factor affecting crop yield, oil content and fatty acid composition of the seeds of calendula (*Calendula officinalis* L.) cultivars. *Industrial crops and products*, *97*, 242-251.

Kumar, D., Suryavanshi, P., Padalia, R.C., Chauhan, A., Venkatesha, K.T., Tiwari, A.K., Singh, V.R., Singh, S., & Upadhyay, R.K. (2020). Evaluation of harvesting time and standardization of distillation duration for higher essential oil content and quality in German chamomile (*Chamomilla recutita* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *29*(2), 140-147.

Li, Y., Kong, D., Fu, Y., Sussman, M. R., & Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *148*, 80-89.

Ma, X., Tang, K., Tang, Z., Dong, A., Meng, Y., & Wang, P. (2021). Organ-specific, integrated omics data-based study on the metabolic pathways of the medicinal plant *Bletilla striata* (Orchidaceae). *BMC Plant Biology*, *21*, 504.

Mahmoudi, A., Norani, M., Sedaghat, S., & Ebadi, M.-T. (2026). Essential oil variation in *Matricaria chamomilla* L.: The impact of harvest timing and flower development. *Agrotechniques in Industrial Crops*, *6*(2), 219-230.

Mandrone, M., Chiocchio, I., Trincia, S., De Agostini, A., Sanna, C., & Poli, F. (2026). Metabolomic study of *Cynara cardunculus* L. growing at different altitudes reveals the flowering stage as the balsamic time. *BMC Plant Biology*, *26*(1), 1036.

Milenković, L., Ilić, Z. S., Stanojević, L., Milenković, A., Tmušić, N., Lalević, D., Stanojević, J., Cvetković, D., & Kevrešan, Ž. (2026). Influence of shading on essential oil quantity and quality of sage (*Salvia officinalis* L.) at different harvest times. *Plants*, *15*(11), 1711.

Németh-Zámboriné, É., Seidler-Łożykowska, K., & Szabó, K. (2019). Effect of harvest date on yield and secondary compounds of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Journal of Applied Botany & Food Quality*, *92*, 81.

Omer, E., Aziz, E. E., Fouad, R., & Fouad, H. (2022). Qualitative and quantitative properties of essential oil of *Mentha pulegium* L. and *Mentha suaveolens* Ehrh. affected by harvest date. *Egyptian Journal of Chemistry*, *65*(7), 709-714.

Ozcan, B., Sen, N., Demiray, M. R., Bulduk, I., Sarihan, E. O., & Yildirim, M. U. (2025). Determination of morphogenetic and diurnal variability in phenolic and flavonoid content of *Echinacea purpurea* (L.) Moench: A potential source of natural anioxidants. *Plant Foods for Human Nutrition*, *80*(1), 88.

Özay, C., & Pehlivan, E. (2024). Bitki sekonder metabolitlerinin biyosentezini ve akümülasyonunu etkileyen faktörler. *Ankara Eczacılık Fakültesi Dergisi*, *48*(3), 1248-1263.

Palma-Tenango, M., Soto-Hernández, M., San Miguel-Chavez, R., Gaytán-Acuña, A., & González-Hernández, V. A. (2025). Flavonoid content during the growth and floral development of *Calendula officinalis* L. *Journal of Visualized Experiments*, *220*, e67741.

Pant, P., Pandey, S., Dall'Acqua, S. (2021). The influence of environmental conditions on secondary metabolites in medicinal plants: A literature review. *Chemistry & Biodiversity*, *18*, e2100345.

Pluháčková, H., Kudláčková, B., Šinko, M., Michutová, M., Neugebauerová, J., & Svojanovská, L. (2026). Phytochemical variability of *Mentha* L. species over three growing seasons. *Chemistry & Biodiversity*, *23*(3), e03674.

Said-Al Ahl, H. A., Sabra, A. S., Gendy, A. S., & Astatkie, T. (2018). Essential oil content and concentration of constituents of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.) at different harvest dates. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *21*(5), 1410-1417.

Said-Al Ahl, H. A. H., Astatkie, T., Mahmoud, A. A., & Hikal, W. M. (2026). Seasonal and diurnal variations in the essential oil content of different plant parts of *Mentha longifolia* L. *Journal of Agricultural Sciences–Sri Lanka*, *21*(3), 679-693.

Sanchita, & Sharma, A. (2018). Gene Expression Analysis in Medicinal Plants under Abiotic Stress Conditions. In: P. Ahmad, M. A. Ahanger, V. P. Singh, D. K. Tripathi, P. Alam, M. N. Alyemeni, *Plant Metabolites and Regulation under Environmental Stress*, 407-414.

Savaşlı Yıldırım, D., Ferahoğlu, E., & Kırıcı, S. (2025). Determination of yield and quality characteristics of immortal flower (*Helichyrsum italicum* (Roth) G. Don fil.) plant conditions at different growth periods in Çukurova conditions. *Proceedings of the 4th International Congress of the Turkish Journal of Agriculture–Food Science and Technology (TURJAF 2025)*, 612-619.

Savina, T., Lisun, V., Feduraev, P., & Skrypnik, L. (2023). Variation in phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of extracts from different plant organs of meadowsweet (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.). *Molecules*, *28*(8), 3512.

Seğmen, H., & Beyzi, E. (2025). Oğulotu (*Melissa officinalis* L.) bitkisinin agronomik ve kalite özellikleri üzerine hasat zamanı ve organik gübrelemenin etkileri. *Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, *40*(1), 93-106.

Soltanbeigi, A., Yıldız, M., Dıraman, H., Terzi, H., Sakartepe, E., & Yıldız, E. (2021). Growth responses and essential oil profile of *Salvia officinalis* L. influenced by water deficit and various nutrient sources in the greenhouse. *Saudi Journal of Biological Sciences*, *28*(12), 7327-7335.

Stavropoulos, G., Karapatzak, E., Argyropoulou, A., Vassalos, E., Kakabouki, I., Skaltsounis, L. A., & Papastylianou, P. (2024). Sustainable experimental cultivation of the Greek endemic *Helichrysum amorginum* Boiss. and Orph.: Assessment of the total phenolic content at different flower harvest stages. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *52*(3), 13943.

Šunić, L., Ilić, Z. S., Stanojević, L., Milenković, L., Stanojević, J., Kovač, R., Milenković, A., & Cvetković, D. (2023). Comparison of the essential oil content, constituents and antioxidant activity from different plant parts during development stages of wild fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Horticulturae*, *9*(3), 364.

Şahin, R. V., & Coşge Şenkal, B. (2024). Determination of antioxidant activities of *Echinacea purpurea* (L.) Moench. plant extracts harvested at different times. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, *8*(4), 926-937.

Thomsen, M. O., Christensen, L. P., & Grevsen, K. (2018). Harvest strategies for optimization of the content of bioactive alkamides and caffeic acid derivatives in aerial parts and in roots of *Echinacea purpurea*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *66*(44), 11630-11639.

Türkaslan, Z., Özel, A. (2026). Bazı lavanta (*Lavandula angustifolia* Mill.) çeşitlerinde ontogenetik varyabilitenin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi, 29*(5), 1276-1294.

Uysal, F., Gölükçü, M., Alan, M., Alim, E., & Turgut, K. (2024). Clonal and seasonal genetic variation of major oil components of *Salvia fruticosa* Mill. *Horticultural Science*, *51*(4), 297-304.

Yang, L., Wen, K.-S., Ruan, X., Zhao, Y.-X., Wei, F., & Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, *23*(4), 762.

Yeşil, M., & Özcan, M. M. (2021). Effects of harvest stage and diurnal variability on yield and essential oil content in *Mentha* × *piperita* L. *Plant, Soil and Environment*, *67*(7), 417-423.

Yurteri, E., Özcan Aykutlu, A., & Seyis, F. (2026). Secondary volatile metabolite content of two *Echinacea* species in two subsequent years in Rize, Türkiye. *BMC Plant Biology*, *26*(1), 725.

Zhong, Y., Ren, Y., Zhang, J., Liu, J., Zheng, Y., Zhang, D., ... & Guo, L. (2026). Exploring dynamic changes in metabolic profiles of *Artemisia argyi* leaves across different growth stages via plant metabolomics. *Frontiers in Plant Science*, *17*, 1913814.

TIBBİ VE AROMATİK BİTKİLERDE UÇUCU YAĞ MİKTARI MI, KOMPOZİSYONU MU? ÜRETİMDEN KALİTEYE BİR DEĞERLENDİRME

ESSENTIAL OIL CONTENT OR COMPOSITION IN MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS? FROM PRODUCTION TO QUALITY

Assoc. Prof. Dr. Gülen ÖZYAZICI
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2187-6733

Prof. Dr. Esra UÇAR
Department of Plant and Animal Production, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6327-4779

Özet
Tıbbi ve aromatik bitkiler, sahip oldukları uçucu yağlar ve diğer biyoaktif bileşikler nedeniyle gıda, kozmetik, farmasötik ve fitoterapi alanlarında önemli hammadde kaynaklarıdır. Bu bitkilerin ekonomik ve biyolojik değerinin belirlenmesinde uçucu yağ miktarı sıklıkla temel kalite göstergelerinden biri olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yüksek uçucu yağ oranı her zaman yüksek kaliteli bir ürün elde edildiği anlamına gelmemektedir. Uçucu yağın kimyasal kompozisyonu, özellikle hedeflenen bileşenlerin miktarı ve birbirlerine oranları, ürünün kullanım amacını ve biyolojik değerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu bildiride, tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarı ile kimyasal kompozisyon arasındaki ilişki ele alınarak, kalite değerlendirmesinde bu iki parametrenin birlikte değerlendirilmesinin önemi ortaya konulmuştur. Ayrıca tür ve genotip, çevresel koşullar, yetiştirme uygulamaları, hasat zamanı, kurutma ve depolama gibi faktörlerin uçucu yağ miktarı ve bileşimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Lavanta, kekik, nane ve biberiye gibi yaygın tıbbi ve aromatik bitkiler üzerinden linalool, linalil asetat, timol, karvakrol, mentol, menton, 1,8-sineol ve kafur gibi başlıca bileşenlerin kalite açısından önemi ele alınmıştır. Değerlendirmeler, uçucu yağ oranının üretim açısından önemli bir gösterge olmakla birlikte, tek başına kaliteyi tanımlamak için yeterli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, tıbbi ve aromatik bitkilerde kalite, yalnızca uçucu yağ miktarıyla değil; kimyasal kompozisyon, hedef bileşenlerin oranı ve kullanım amacı birlikte değerlendirilerek ele alınmalıdır.
Anahtar Kelimeler: Tıbbi bitkiler, uçucu yağ, kimyasal kompozisyon, biyoaktif bileşikler, kalite

Abstract
Medicinal and aromatic plants are important sources of raw materials for food, cosmetic, pharmaceutical, and phytotherapeutic applications due to their essential oils and other bioactive compounds. Essential oil content is frequently used as one of the primary quality indicators for determining the economic and biological value of these plants. However, a high essential oil content does not necessarily indicate a high-quality product. The chemical composition of essential oils, particularly the amounts and relative proportions of target compounds, can directly determine their intended use and biological value. This paper discusses the relationship between essential oil content and chemical composition in medicinal and aromatic plants and highlights the importance of considering these two parameters together in quality assessment. In addition, the effects of species and genotype, environmental conditions, cultivation practices, harvesting time, drying, and storage on essential oil content and composition are evaluated. The quality significance of major compounds, including linalool, linalyl acetate, thymol, carvacrol, menthol, menthone, 1,8-cineole, and camphor, is discussed using commonly cultivated medicinal and aromatic plants such as lavender, thyme, mint, and rosemary as examples. The evaluation indicates that although essential oil content is an important production parameter, it is insufficient to define product quality on its own. Therefore, the quality of medicinal and aromatic plants should be assessed not only based on essential oil content but also by considering their chemical composition, the proportions of target compounds, and the intended use of the plant material.
Keywords: Medicinal plants, essential oil, chemical composition, bioactive compounds, quality

1. Giriş

Tıbbi ve aromatik bitkiler (TAB), içerdikleri uçucu yağlar, fenolik bileşikler, terpenler ve diğer biyoaktif bileşenler nedeniyle gıda, farmasötik, kozmetik, parfümeri ve fitoterapi gibi farklı sektörlerde önemli doğal hammadde kaynaklarıdır. Bu bitkilerden elde edilen ürünlere yönelik ilginin artması, üretim ve ticaretin yanı sıra elde edilen hammaddenin kalite ve standardizasyonunu da önemli bir konu haline getirmiştir. Tıbbi ve aromatik bitkilerin ekonomik değeri yalnızca elde edilen biyokütle veya ürün miktarıyla değil, aynı zamanda hedeflenen bileşiklerin miktarı, kimyasal profili ve kullanım amacına uygunluğu ile de ilişkilidir. Bu nedenle, üretimden işleme ve son ürüne kadar uzanan süreçte kaliteyi belirleyen özelliklerin doğru şekilde tanımlanması, sürdürülebilir ve standartlaştırılmış bir üretim açısından önem taşımaktadır.

Uçucu yağlar, tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen ve gıda, kozmetik, parfümeri ve farmasötik sektörler başta olmak üzere farklı alanlarda kullanılan önemli doğal ürünlerdir. Terpenler ve terpenoidler başta olmak üzere çeşitli uçucu bileşenlerden oluşan bu kompleks karışımlar, kimyasal bileşimlerinin çeşitliliği nedeniyle farklı kullanım alanlarına sahiptir. Uçucu yağların antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri, özellikle gıda uygulamalarında doğal aroma verici ve koruyucu bileşenler olarak kullanımına yönelik ilgiyi artırmıştır. Bunun yanında, kozmetik, parfümeri, farmasötik ve fitoterapötik ürünlerin formülasyonlarında da yaygın olarak değerlendirilmektedir (Sadgrove ve ark., 2021; Tsitlakidou ve ark., 2023).

Tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ oranı, üretim performansının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan önemli bir parametredir. Bununla birlikte, uçucu yağ oranı ile birim alan başına elde edilen uçucu yağ verimi farklı üretim göstergelerini ifade etmektedir. Uçucu yağ oranı, elde edilen bitkisel materyalin içerdiği uçucu yağ miktarını gösterirken, birim alan başına uçucu yağ verimi, bitkinin biyokütle üretimi ile uçucu yağ oranının birlikte bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, tıbbi ve aromatik bitkilerin üretim performansının değerlendirilmesinde her iki parametrenin birlikte dikkate alınması gerekmektedir. Daha da önemlisi, uçucu yağ miktarının tek başına ürün kalitesini açıklaması mümkün değildir. Uçucu yağın kimyasal kompozisyonu ve özellikle hedef bileşenlerin oranları, ürünün kullanım amacı ve biyolojik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynayabilmektedir (Morsy, 2017; Ali ve ark., 2023; Rathore ve ark., 2023; Afrokh ve ark., 2024). Nitekim tıbbi ve aromatik bitkilerde kalite değerlendirmesinde uçucu yağ verimi ve kompozisyonu yaygın olarak kullanılan ölçütler olmakla birlikte, uçucu yağ kompozisyonunun bitkiden yayılan uçucu bileşik profilini ve duyusal özelliklerini her zaman doğrudan yansıtmayabileceği bildirilmektedir (Łyczko ve ark., 2023).

Bu durum, "yüksek uçucu yağ oranı her zaman yüksek kaliteli bir ürün anlamına gelir mi?" sorusunu gündeme getirmektedir. Çünkü üretim koşullarında meydana gelen değişimler, uçucu yağ verimi ile kimyasal kompozisyonu aynı yönde etkilemeyebilir. Nitekim son yıllarda yapılan çalışmalar, farklı yetiştirme ve besleme koşullarının uçucu yağ verimi, ana uçucu yağ bileşenleri ve fenolik bileşikler üzerinde farklı sonuçlar oluşturabildiğini göstermektedir. *Origanum majorana* üzerinde yürütülen bir çalışmada, farklı su ve besin yönetimi uygulamalarının uçucu yağ verimi ve kompozisyonunun yanı sıra toplam fenolik içerik üzerinde de farklı etkiler oluşturduğu bildirilmiştir (Mugwanya ve ark., 2025a). Benzer şekilde, *Rosmarinus officinalis* üzerinde yapılan bir çalışmada, farklı sulama suyu uygulamalarının toplam fenolik içerik, uçucu yağ verimi ve uçucu yağ kompozisyonunda farklılıklar oluşturduğu belirlenmiştir (Mugwanya ve ark., 2025b). Bu bulgular, yalnızca uçucu yağ miktarını artırmaya yönelik bir üretim yaklaşımının, hedeflenen kimyasal profile sahip kaliteli bir hammadde elde edilmesini her zaman garanti etmeyebileceğini göstermektedir.

Bu bildirinin amacı, tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarı ile kimyasal kompozisyon arasındaki ilişkiyi ele almak ve kalite değerlendirmesinde bu iki parametrenin birlikte değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktır. Bu kapsamda, uçucu yağ miktarı ve kompozisyonunu etkileyen genetik özellikler, çevresel koşullar, yetiştirme uygulamaları, hasat zamanı ve hasat sonrası işlemler incelenerek; uçucu yağ miktarının üretim açısından önemi ile kimyasal kompozisyonun kalite ve kullanım amacındaki rolü birlikte değerlendirilmiştir. Böylece tıbbi ve aromatik bitkilerde kalite kavramının yalnızca "ne kadar uçucu yağ elde edildiği" üzerinden değil, aynı zamanda "elde edilen uçucu yağın hangi bileşenleri ve hangi oranlarda içerdiği" üzerinden de ele alınması gerektiği tartışılmıştır.

2. Uçucu Yağların Değerlendirilmesinde Temel Ölçütler

Tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağların değerlendirilmesinde uçucu yağ oranı, uçucu yağ verimi ve kimyasal kompozisyon temel ölçütler arasında yer almaktadır. Uçucu yağ oranı, bitkisel materyalde bulunan yağın oransal miktarını; uçucu yağ verimi ise birim alandan elde edilen toplam yağ miktarını ifade etmektedir. Kimyasal kompozisyon ise uçucu yağda bulunan bileşenleri ve bunların nispi oranlarını ortaya koymaktadır. Bu ölçütler, uçucu yağların üretim ve kalite özelliklerinin değerlendirilmesinde farklı bilgiler sağlamaktadır (Duarte ve ark., 2017).

2.1. Uçucu yağ oranı ve verimi

Uçucu yağ miktarı, tıbbi ve aromatik bitkilerde genellikle uçucu yağ oranı (%) ve birim alan başına uçucu yağ verimi üzerinden değerlendirilmektedir. Uçucu yağ oranı, belirli miktardaki bitkisel materyalden elde edilen yağın oransal düzeyini ifade ederken, uçucu yağ verimi birim alandan elde edilen toplam uçucu yağ miktarını göstermektedir. Bu nedenle bu iki parametre birbirinin eş anlamlısı değildir. Uçucu yağ verimi, bitkinin biyokütle verimi ile uçucu yağ oranının birlikte ortaya çıkardığı bir sonuç olduğundan, üretim performansının değerlendirilmesinde her iki göstergenin ayrı olarak ele alınması önemlidir (Çakmakçı ve ark., 2020).

2.2. Uçucu yağların kimyasal kompozisyonu

Uçucu yağlar, çok sayıda uçucu bileşenin oluşturduğu kompleks doğal karışımlardır. Kimyasal yapı bakımından bu bileşiklerin önemli bir bölümünü monoterpenler, seskiterpenler ve bunların oksijenlenmiş türevleri oluşturmaktadır. Uçucu yağların kimyasal bileşiminin belirlenmesi ve karakterizasyonunda gaz kromatografisi ve kütle spektrometrisi gibi analitik yöntemler temel araçlar arasında yer almakta; bileşenlerin doğru tanımlanması, yağın kimyasal profilinin ve özgünlüğünün değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (Hanif ve ark., 2019; Sadgrove ve ark., 2022).

Uçucu yağların kimyasal kompozisyonunda ana bileşenlerin oranları özellikle önemlidir. Aynı tür içerisinde veya farklı türler arasında ana bileşenlerin değişmesi, uçucu yağların kimyasal profilinde belirgin farklılıklar oluşturabilmektedir. Rathore ve ark. (2023), beş aromatik ve tıbbi bitkinin uçucu yağlarını karşılaştırdıkları çalışmada hem uçucu yağ oranlarının hem de ana bileşenlerin önemli ölçüde farklılaştığını bildirmiştir. Örneğin *Origanum majorana*, *O. vulgare*, *Cymbopogon winterianus*, *Pelargonium graveolens* ve *Nepeta cataria* uçucu yağlarında farklı bileşiklerin baskın hale geldiği ve bu bileşiklerin oranlarının türlere göre değiştiği belirlenmiştir. Aynı çalışmada uçucu yağların antimikrobiyal aktivitelerinde de farklılıklar gözlenmiştir.

Aynı tür içerisinde belirli bileşenlerin baskın hale gelmesiyle farklı kimyasal profiller ortaya çıkabilmekte ve bu farklılıklar kemotip kavramı çerçevesinde değerlendirilmektedir. Bu nedenle uçucu yağların karakterizasyonunda yalnızca bileşenlerin belirlenmesi değil, baskın bileşenlerin ve bunların nispi oranlarının ortaya konulması da önem taşımaktadır (Sadgrove ve ark., 2022).

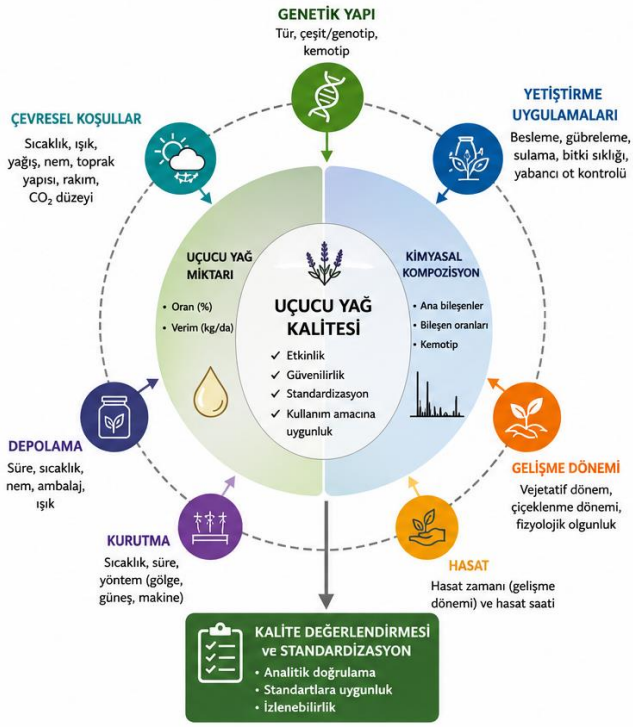
3. Uçucu Yağ Miktarı ve Kompozisyonunu Etkileyen Faktörler

Tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarı ve kimyasal kompozisyon, genetik yapıdan çevresel koşullara ve üretim uygulamalarına kadar uzanan çok sayıda faktörün birlikte etkisiyle şekillenmektedir (Şekil 1). Bu nedenle aynı tür içerisinde dahi uçucu yağ verimi ve bileşen profili bakımından farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle tür ve genotip, bitkinin kimyasal potansiyelini belirlerken; çevresel koşullar, yetiştirme uygulamaları ve bitkinin gelişme süreci bu potansiyelin ortaya çıkışını etkileyebilmektedir. Hasat sonrasında uygulanan kurutma ve depolama işlemleri ise elde edilen uçucu yağın miktarı ve başlangıçtaki kimyasal profilinin ne ölçüde korunacağını belirleyen son aşamalar arasında yer almaktadır. Bu nedenle uçucu yağ özelliklerinin değerlendirilmesinde, üretimin yalnızca tarla koşullarına değil, hasat sonrası sürece kadar bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir (Nurzyńska-Wierdak, 2023).

Uçucu yağ miktarı ve kompozisyonundaki değişkenliğin temelinde tür ve genetik yapı önemli bir yer tutmaktadır. Farklı türlerin uçucu yağ üretme kapasitesi ve karakteristik bileşenleri birbirinden ayrıldığı gibi, aynı tür içerisinde genetik farklılıklar da kimyasal profilde belirgin değişikliklere neden olabilmektedir. Bu durum özellikle kemotip kavramında açık biçimde görülmektedir. Aynı botanik türe ait, morfolojik olarak benzer bireylerde belirli uçucu bileşenlerin baskın hale gelmesi farklı kimyasal profillerin ortaya çıkmasına yol açabilmektedir.

Ocimum türleri üzerine yapılan kapsamlı bir çalışmada, farklı tür ve popülasyonlarda çok sayıda uçucu yağ kemotipinin tanımlandığı ve kimyasal çeşitliliğin uçucu yağın kullanım alanı, kalitesi ve verimi açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle uçucu yağların değerlendirilmesinde yalnızca tür adının değil, mümkün olduğunda genetik materyalin ve kimyasal profilin de dikkate alınması önem taşımaktadır (Gurav ve ark., 2022).

Şekil 1. Uçucu yağ miktarı ve kimyasal kompozisyonunu etkileyen faktörlerin bütüncül modeli



Genetik yapı tarafından oluşturulan bu farklılıklar çevresel koşullar tarafından da değiştirilebilmektedir. Sıcaklık, ışık, su durumu, kuraklık, tuzluluk, UV-B radyasyonu ve diğer abiyotik stresler, bitkinin büyüme ve metabolik faaliyetlerini etkileyerek uçucu yağların hem miktarında hem de bileşen dağılımında değişikliklere neden olabilmektedir. Çevresel stres altında bitkilerin savunma mekanizmalarında meydana gelen değişimler, ikincil metabolitlerin sentez ve birikim süreçlerine de yansıyabilmektedir. Bununla birlikte, çevresel faktörlere verilen yanıtın tür ve genotipe göre değişmesi nedeniyle, belirli bir stres koşulunun bütün tıbbi ve aromatik bitkilerde aynı sonucu oluşturması beklenmemelidir. Nitekim çevresel değişimlerin uçucu yağ biyosentezi üzerindeki etkilerini ele alan bir çalışmada, sıcaklık, su stresi, tuzluluk ve UV-B gibi faktörlerin uçucu yağ miktarı ve biyoaktif bileşenler üzerinde önemli değişikliklere yol açabildiği, ancak bu değişimlerin bitki türüne ve stres koşullarına bağlı olduğu belirtilmiştir (Aqeel ve ark., 2023).

Çevre ile birlikte yetiştirme teknikleri de uçucu yağ oluşumunu yönlendirebilmektedir. Özellikle sulama ve bitki besleme, bitkinin biyokütle üretimi ile ikincil metabolizma arasındaki dengeyi etkileyen önemli uygulamalardır. Besin elementlerinin yetersizliği kadar aşırı veya dengesiz uygulanması da metabolik süreçleri değiştirebilmekte ve bunun sonucunda uçucu yağ miktarı ile bileşenlerin oranlarında farklılıklar oluşabilmektedir. Özellikle mikro besin elementleri, uçucu yağların biyosentezinde görev alan enzimatik süreçler açısından önem taşımaktadır. Bu konuda yapılan bir çalışmada, mikro besinlerin bulunabilirliği ve uygulama şeklinin uçucu yağ verimi ve kompozisyonu üzerinde belirgin etkiler oluşturabildiği; dolayısıyla besin yönetiminin yalnızca bitkisel verim açısından değil, uçucu yağ kalitesi açısından da ele alınması gerektiği vurgulanmıştır (Kumar ve ark., 2022).

Uçucu yağ miktarı ve kimyasal kompozisyonun değişiminde bitkinin gelişme dönemi ve hasat zamanı da önemli bir belirleyicidir. Bitkinin ontogenetik gelişimi boyunca metabolik faaliyetlerin değişmesi, uçucu bileşiklerin sentez ve birikim düzeylerinin de zamana bağlı olarak farklılaşmasına neden olmaktadır (Hazrati ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2025).

Achillea millefolium üzerinde yapılan bir çalışmada uçucu yağ oranı vejetatif dönemde %0.17, çiçeklenme döneminde %0.24 ve meyve bağlama döneminde %0.14 olarak belirlenirken, ana bileşen olan 1,8-sineol ile monoterpen ve seskiterpen gruplarının oranlarının da gelişme dönemlerine göre değiştiği belirlenmiştir (Farhadi ve ark., 2020). Benzer şekilde, *Salvia limbata*'da gelişme dönemlerine ve yetişme koşullarına bağlı olarak uçucu yağ miktarı ve kimyasal kompozisyonun değiştiği, monoterpen ve seskiterpenlerin farklı gelişme dönemlerinde farklı düzeylere ulaştığı bildirilmiştir (Saffariha ve ark., 2021). Bu sonuçlar, hasat zamanının belirlenmesinde yalnızca uçucu yağ miktarının değil, hedeflenen bileşenlerin birikim düzeylerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Hasat zamanının yanı sıra hasat saati de bazı uçucu bileşenlerin birikimi açısından önem taşıyabilmektedir. Uçucu bileşiklerin sentezi ve salınımı, bitkinin günlük fizyolojik ritimleri ve çevresel koşullarla ilişkili olduğundan, aynı gelişme döneminde farklı saatlerde yapılan hasatlar farklı kimyasal profiller oluşturabilmektedir. Ancak bu etkinin türlere ve bileşenlere göre değişebilmesi nedeniyle belirli bir hasat saatinin bütün tıbbi ve aromatik bitkiler için genellenmesi mümkün değildir. Bu nedenle hasat zamanının değerlendirilmesinde fenolojik dönem ile hasat saatinin birlikte ele alınması, özellikle belirli bir bileşenin hedeflendiği üretim sistemlerinde önem taşımaktadır (Özyazıcı ve Kevseroğlu, 2019; Karaca Öner ve Sonkaya, 2020).

Hasattan sonra uygulanan kurutma işlemi, uçucu yağ miktarı ve kompozisyonunun korunmasında ayrı bir öneme sahiptir. Taze bitki materyalinin kurutulması sırasında suyun uzaklaştırılmasıyla birlikte hücre yapısında ve uçucu bileşiklerin bulunduğu salgı yapılarında değişiklikler meydana gelebilmekte; sıcaklık ve kurutma süresine bağlı olarak bazı uçucu bileşiklerde kayıp veya dönüşüm gerçekleşebilmektedir. Bu nedenle gölgede kurutma, güneşte kurutma, sıcak hava ile kurutma, vakumla kurutma veya dondurarak kurutma gibi yöntemler aynı bitkisel materyalde farklı uçucu yağ sonuçlarının ortaya çıkmasına neden olabilmektedir.

Kurutma sıcaklığı ve süresi başta olmak üzere uygulanan yöntemin, uçucu bileşiklerin kaybı veya dönüşümü yoluyla uçucu yağ verimi ve bileşen profilinde değişikliklere neden olabildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte, kurutma yöntemlerine verilen yanıtların bitki türü, kullanılan bitki organı ve uçucu bileşiklerin özelliklerine göre farklılık gösterdiği görülmektedir. Nitekim 2000-2025 yılları arasında yayımlanan 100'den fazla çalışmanın değerlendirildiği güncel bir literatür sentezinde, düşük sıcaklıklı kurutma uygulamalarının birçok Lamiaceae türünde uçucu bileşiklerin korunması açısından daha uygun olduğu, yüksek sıcaklık uygulamalarının ise bazı türlerde uçucu yağ kaybı ve kimyasal profil değişiklikleriyle ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Bu bulgular, kurutma yönteminin yalnızca uçucu yağ miktarını koruma açısından değil, istenen kimyasal kompozisyonun sürdürülmesi açısından da tür ve kullanım amacına göre belirlenmesi gerektiğini göstermektedir (Nurhaslina ve ark., 2022; Boukraâ ve ark., 2026).

Kurutma yöntemlerinin uçucu yağ miktarı ve kompozisyonu üzerindeki etkisi *Mentha* × *piperita* üzerinde de ortaya konulmuştur. Beigi ve ark. (2018), kurutma uygulamalarının uçucu yağ miktarını önemli ölçüde etkilediğini ve yağ miktarının 1.33-22.24 g kg^{-1} kuru madde arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Aynı çalışmada mentol, menton, mentofuran, 1,8-sineol ve mentil asetat gibi başlıca bileşenlerin nispi oranlarının da kurutma yöntemlerine bağlı olarak farklılaştığı belirlenmiştir.

Kurutma sonrasında depolama koşulları da uçucu yağın kimyasal bütünlüğünün korunması bakımından önemlidir. Uçucu yağ bileşenlerinin ışık, sıcaklık, oksijen ve zaman karşısındaki stabilitesi farklı olabildiğinden, uygun olmayan depolama koşulları başlangıçta elde edilen kimyasal profilin zaman içerisinde değişmesine neden olabilmektedir. Nitekim farklı Lamiaceae türlerinin uçucu yağları üzerinde yapılan bir stabilite çalışmasında, sıcaklık, ışık ve depolama süresinin yağların kimyasal bileşiminde değişikliklere yol açabildiği gösterilmiştir. Bu nedenle hasat ve kurutma sonrasında uygun ambalajlama ve depolama koşullarının sağlanması, uçucu yağın başlangıçtaki özelliklerinin korunması açısından önem taşımaktadır (Ganosi ve ark., 2023).

Bütün bu faktörler birlikte değerlendirildiğinde, tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarı ve kompozisyonunun üretimin tek bir aşamasında belirlenmediği görülmektedir.

Tür ve genetik yapı başlangıçtaki kimyasal potansiyeli oluştururken, çevre ve yetiştirme koşulları bu potansiyelin ortaya çıkışını; gelişme dönemi ve hasat zamanı ise bileşiklerin birikim düzeyini şekillendirmektedir. Kurutma ve depolama ise hasat edilen materyalin ve elde edilen uçucu yağın özelliklerinin ne ölçüde korunacağını belirlemektedir. Dolayısıyla uçucu yağ üretiminde yüksek miktara ulaşılması kadar, istenen kimyasal profilin üretim ve hasat sonrası süreç boyunca korunması da önem taşımaktadır.

4. Uçucu Yağ Kalitesinin Değerlendirilmesi: Miktar Mı, Kompozisyon Mu?

Tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarı, üretim ve ekonomik değerlendirme açısından önemli bir gösterge olmakla birlikte, uçucu yağların çok sayıda bileşenden oluşan kompleks yapısı dikkate alındığında, elde edilen yağ miktarının tek başına ürünün kalite düzeyini açıklaması mümkün değildir. Aynı miktarda uçucu yağ içeren ürünler, bileşenlerin türü ve nispi oranları bakımından farklılaşabilir ve bu farklılıklar ürünün kullanım alanı, biyolojik aktivitesi ve standardizasyonu üzerinde etkili olabilir. Bu nedenle uçucu yağın kalite değerlendirmesinde miktarın yanı sıra kimyasal profilin ve hedef bileşenlerin oranlarının dikkate alınması gerekmektedir.

Bu durum özellikle standartlaştırılmış uçucu yağlarda daha belirgin hale gelmektedir. Kalite standartlarında bazı uçucu yağlar için toplam yağ miktarından ziyade, karakteristik bileşenlerin belirli sınırlar içerisinde bulunması esas alınmaktadır. Dolayısıyla bir yağın daha yüksek miktarda elde edilmesi, söz konusu yağın belirli bir kullanım amacı için daha kaliteli olduğu anlamına gelmemektedir. Burada belirleyici olan, elde edilen ürünün hedeflenen kimyasal özellikleri taşıyıp taşımadığıdır. Uçucu yağ miktarı ile ürün kalitesi arasındaki bu ilişki Şekil 2'de kavramsal olarak gösterilmektedir.

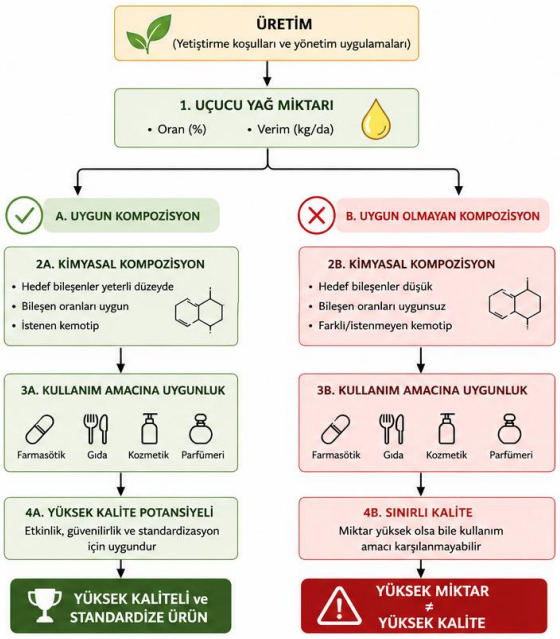
Bu yaklaşım, farklı bitkilerin uçucu yağlarında aşağıdaki örneklerle daha açık biçimde ortaya konulabilir.

Lavanta (*Lavandula angustifolia*) bu açıdan dikkat çekici bir örnektir. Lavanta uçucu yağında linalool ve linalil asetat başlıca bileşenler arasında yer almakta ve bu bileşenlerin nispi oranları yağın karakteristik kimyasal profilinin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır. Farklı *L. angustifolia* çeşitlerinin incelendiği bir çalışmada, linalool ve linalil asetat tüm örneklerde başlıca bileşenler olarak belirlenmiş, ancak bu bileşenlerin oranlarında önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Aynı çalışmada incelenen örneklerin hiçbirinin

Avrupa Farmakopesi ve ISO 3515:2002 tarafından belirlenen kompozisyon kriterlerinin tamamını karşılamadığı bildirilmiştir (Pokajewicz ve ark., 2021). Bu durum, lavanta uçucu yağında kalite değerlendirmesinin yalnızca elde edilen yağ miktarı üzerinden yapılamayacağını; istenen kimyasal profile ve ilgili kalite standartlarına uygunluğun da dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

L. angustifolia uçucu yağı için linalool ve linalil asetat başta olmak üzere çeşitli bileşenlere ilişkin belirli sınırların Avrupa Farmakopesi ve ISO 3515:2002 kapsamında tanımlanmış olması da bu yaklaşımı desteklemektedir (Crisan ve ark., 2023). Parfüm sanayinde kullanılacak lavanta yağında linalool ve linalil asetat oranı kalite standartlarına göre en az %25 düzeyinde, kafurun ise en fazla %0.5 düzeyinde olması istenmektedir (Yenikalaycı ve ark., 2023; Tahmas-Kahyaoğlu ve ark., 2024).

Şekil 2. Uçucu yağ miktarı ile kalite arasındaki ilişkinin kavramsal modeli



Bu ayrım kekik (*Origanum*) uçucu yağlarında daha belirgin biçimde ortaya çıkmaktadır. *Origanum* türlerinde uçucu yağların kimyasal yapısı ve bileşenlerin nispi oranları türler ve genetik materyaller arasında farklılık gösterebilmektedir. Nitekim Çukurova koşullarında yetiştirilen beş farklı *Origanum* türünün incelendiği çalışmada, uçucu yağ oranlarının %1.4-5.63 arasında değiştiği ve türlerin uçucu yağlarında baskın bileşenlerin de farklılaştığı belirlenmiştir (Ferahoğlu ve ark., 2022). *Origanum vulgare* ve alt türleri üzerine yapılan çalışmalarda uçucu yağ bileşimindeki çeşitliliğin farklı kemotiplerin ortaya çıkmasına yol açabildiği ve özellikle timol ile karvakrolün önemli bileşenler arasında bulunduğu bildirilmektedir (Lombrea ve ark., 2020; Soltani ve ark., 2021).

Bu kimyasal farklılıkların biyolojik özelliklere de yansıyabildiği gösterilmiştir. Zinno ve ark. (2023), *O. vulgare* genotiplerinden karvakrol ve timol kemotiplerini temsil eden uçucu yağları karşılaştırmış ve kimyasal profillerin yanı sıra biyolojik aktivitelerde de farklılıklar belirlemiştir. Karvakrol kemotipinin daha yüksek karvakrol düzeyi ile karakterize olduğu ve iki kemotipin biyolojik özelliklerinin birbirinden farklılaştığı bildirilmiştir. Bu bulgular, *Origanum* uçucu yağlarının değerlendirilmesinde yalnızca toplam uçucu yağ miktarının değil, baskın bileşenlerin ve bunların nispi oranlarının oluşturduğu kimyasal profilin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Nane (*Mentha* × *piperita*), kimyasal kompozisyonun kalite ve standardizasyon açısından önemini açık biçimde gösteren bir örnektir. Nane uçucu yağlarında mentol, menton ve izomenton başta olmak üzere çeşitli uçucu bileşenler bulunmakta ve bu bileşenlerin nispi oranları yağın karakteristik özelliklerinin ve kullanım potansiyelinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Nane uçucu yağlarının bileşimi, kalite özellikleri ve kullanım alanlarını birlikte değerlendiren bir çalışmada, mentol, menton ve izomentonun nane yağının karakteristik özellikleri açısından öne çıkan bileşenler olduğu; kimyasal profilin ise kalite değerlendirmesinde temel unsurlardan biri olarak ele alınması gerektiği vurgulanmıştır (Pintilia ve ark., 2025).

Bu durum ticari nane yağları üzerinde yapılan araştırmalarda da açık biçimde ortaya konulmuştur. Wang ve ark. (2024), 22 otantik nane yağı ile piyasadan temin edilen 36 ticari ürünü karşılaştırmış; ticari örneklerin %53'ünün ISO spesifikasyonlarını karşılamadığını bildirmişlerdir. Araştırmada ayrıca menton/izomenton oranının ürünlerin kimliklendirilmesi ve tağşişin belirlenmesi açısından yararlı bir gösterge olduğu gösterilmiştir. Bu bulgu, kalite değerlendirmesinin yalnızca uçucu yağın varlığı veya miktarı üzerinden değil, karakteristik bileşenlerin oranları üzerinden de yapılması gerektiğini göstermektedir.

Biberiye (*Rosmarinus officinalis*) uçucu yağları da miktar ile kompozisyon arasındaki ayrımı ortaya koyan önemli bir örnektir. Biberiye uçucu yağlarında 1,8-sineol, α-pinen ve kamfor başta olmak üzere farklı terpen bileşenlerinin yaygın olarak bulunduğu bildirilmektedir (Andrade ve ark., 2018). Farklı coğrafi bölgelerden elde edilen biberiye uçucu yağlarının karşılaştırıldığı çalışmalarda kimyasal profiller arasında belirgin farklılıklar ortaya konulmuş; α-pinen, 1,8-sineol ve kamforun başlıca bileşenler arasında yer aldığı, ancak bunların nispi oranlarının örnekler arasında değişebildiği belirlenmiştir (Micić ve ark., 2021). Biberiye uçucu yağlarının kimyasal çeşitliliğini ele alan kapsamlı bir çalışmada ise 1,8-sineol, kamfor, α-pinen ve verbenonun baskın olduğu farklı kimyasal profiller ve kemotipler tanımlanmış; coğrafi, çevresel ve gelişme dönemine bağlı farklılıkların uçucu yağ kompozisyonuyla ilişkili olabileceği bildirilmiştir (Aziz ve ark., 2022).

Bu kimyasal çeşitlilik, aynı tür içerisinde uçucu yağ bileşenlerinin oranlarının önemli ölçüde değişebileceğini göstermektedir. İran'ın farklı bölgelerinden elde edilen biberiye genetik kaynaklarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, uçucu yağ veriminin yanı sıra 1,8-sineol, kamfor ve α-pinen başta olmak üzere temel bileşenlerin oranlarında farklılıklar belirlenmiş ve çok değişkenli analizler sonucunda aksesyonlar kamfor tipi ile α-pinen/1,8-sineol/kamfor tipi olmak üzere iki temel kemotip altında sınıflandırılmıştır (Bajalan ve ark., 2017). Bu bulgu, biberiye uçucu yağlarının yalnızca miktar bakımından değil, baskın bileşenleri ve bunların nispi oranları bakımından da farklılaşabildiğini ortaya koymaktadır.

Miktar-kompozisyon ayrımını daha doğrudan gösteren bir başka örnek, ABD'nin Iowa eyaletinde aynı yetiştirme koşullarında yetiştirilen Fransız ve İtalyan biberiye çeşitlerinin karşılaştırıldığı çalışmadır. Bu çalışmada uçucu yağ oranları birbirine oldukça yakın bulunmasına rağmen, yağların kimyasal profilleri belirgin biçimde farklılaşmıştır. Fransız çeşidinde uçucu yağ oranı %1,38, İtalyan çeşidinde ise %1,25 olarak belirlenirken; Fransız çeşidinde α-pinen ve verbenon, İtalyan çeşidinde ise 1,8-sineol ve kamfor daha yüksek oranlarda bulunmuştur (Sharma ve ark., 2020). Benzer düzeylerde uçucu yağ elde edilmesine rağmen kimyasal bileşimde ortaya çıkan bu farklılık, uçucu yağ miktarının ürünün kimyasal karakterini tek başına açıklayamayacağını açıkça göstermektedir. Bu nedenle biberiye uçucu yağlarının kalite değerlendirilmesinde miktar bilgisinin yanı sıra baskın bileşenlerin ve bunların nispi oranlarının da dikkate alınması gerekmektedir.

Lavanta, kekik, nane ve biberiye örnekleri birlikte değerlendirildiğinde, toplam uçucu yağ miktarının ürünün kimyasal özellikleri ve kullanım amacına uygunluğu hakkında tek başına yeterli bilgi sağlamadığı görülmektedir. Uçucu yağların kalite değerlendirilmesinde kimyasal profil, karakteristik bileşenler ve kullanım amacına uygunluk da dikkate alınmalıdır (Yang ve ark., 2024). Bu örnekler, uçucu yağ üretiminde "daha fazla yağ" hedefi ile "daha uygun özelliklere sahip yağ" hedefinin birbirinden ayrılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu bildiride, tıbbi ve aromatik bitkilerden elde edilen uçucu yağların değerlendirilmesinde miktar ile kimyasal niteliğin ayrı ancak ilişkili boyutlar olduğu ortaya konulmuştur. Literatür örnekleri, uçucu yağ miktarındaki artışın her durumda ürünün kullanım değerindeki artışla örtüşmediğini göstermektedir. Bu nedenle kalite hedefinin belirlenmesinde ürünün kullanım amacı esas alınmalı; uygun kalite kriterleri tanımlanmalı ve bu kriterler analitik yöntemlerle doğrulanmalıdır. Üretim çalışmalarında yalnızca uçucu yağ verimine odaklanmak yerine, ürünün karakteristik kimyasal özelliklerinin ve ilgili standartlara uygunluğunun da değerlendirilmesi önerilmektedir. Gelecekteki çalışmalarda üretim, hasat ve işleme uygulamalarının uçucu yağ miktarı yanında ürünün kalite özellikleri üzerindeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesi; karakteristik bileşenlerin izlenmesi ve farklı üretim partileri arasında tutarlılığın belirlenmesi, daha güvenilir kalite değerlendirmelerine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, tıbbi ve aromatik bitkilerde üretim hedefi yalnızca yüksek verimli uçucu yağ elde etmekle sınırlı kalmamalı; kullanım amacına uygun, tanımlanmış özellikleri taşıyan ve standardize edilebilir bir ürün elde edilmesine yönelmelidir.

Kaynaklar

Afrokh, M., El Mehrach, K., Chatoui, K., Ait Bihi, M., Sadki, H., Zarrouk, A., ... & Tahrouch, S. (2024). Quality criteria, chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of Mentha suaveolens Ehrh. *Heliyon*, *10*(7), e28125.

Ali, S., Ekbbal, R., Salar, S., Yasheshwar, Ali, S. A., Jaiswal, A. K., Singh, M., Kumar Yadav, D., Kumar, S. & Gaurav. (2023). Quality standards and pharmacological interventions of natural oils: Current scenario and future perspectives. *ACS omega*, *8*, 39945-39963.

Andrade, J. M., Faustino, C., Garcia, C., Ladeiras, D., Reis, C. P., & Rijo, P. (2018). *Rosmarinus officinalis* L.: An update review of its phytochemistry and biological activity. *Future Science OA*, *4*(4), FSO283.

Aziz, E., Batool, R., Akhtar, W., Shahzad, T., Malik, A., Shah, M. A., ... & Thiruvengadam, M. (2022). Rosemary species: a review of phytochemicals, bioactivities and industrial applications. *South African Journal of Botany*, 151, 3-18.

Aqeel, U., Aftab, T., Khan, M. M. A., & Naeem, M. (2023). Regulation of essential oil in aromatic plants under changing environment. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *32*, 100441.

Bajalan, I., Rouzbahani, R., Ghasemi Pirbalouti, A., & Maggi, F. (2017). Quali-quantitative variation of essential oil from Iranian rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) accessions according to environmental factors. *Journal of Essential Oil Research*, *30*(1), 16-24.

Beigi, M., Torki-Harchegani, M., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2018). Quantity and chemical composition of essential oil of peppermint (Mentha× piperita L.) leaves under different drying methods. *International Journal of Food Properties*, *21*(1), 267-276.

Boukraâ, D., Tadjeddine, N., Tabeti, S., Başar, Y., & Sami, R. (2026). Impact of drying methods on essential oils yield and quality in Lamiaceae: Meta-analysis. *South African Journal of Botany*, *192*, 691-704.

Çakmakçı, R., Mosber, G., Milton, A. H., Alatürk, F., & Ali, B. (2020). The effect of auxin and auxin-producing bacteria on the growth, essential oil yield, and composition in medicinal and aromatic plants. *Current Microbiology*, *77*(4), 564-577.

Crișan, I., Ona, A., Vârban, D., Muntean, L., Vârban, R., Stoie, A., ... & Morea, A. (2023). Current trends for lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) crops and products with emphasis on essential oil quality. *Plants*, *12*, 357.

Duarte, M. C. T., Duarte, R. M. T., Rodrigues, R. A. F., & Rodrigues, M. V. N. (2017). Essential oils and their characteristics. In: S. M. B. Hashemi, A. M. Khaneghah, A.de Souza Santapos , *Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications*, 1-19.

Farhadi, N., Babaei, K., Farsaraei, S., Moghaddam, M., & Ghasemi Pirbalouti, A. (2020). Changes in essential oil compositions, total phenol, flavonoids and antioxidant capacity of *Achillea millefolium* at different growth stages. *Industrial Crops and Products*, *152*, 112570.

Ferahoğlu, E., Çürük, U., Çoğalan, D., Kırıcı, S., & Çakan, H. (2022). Çukurova koşullarında yetiştirilen Origanum türlerinin uçucu yağ oranları ve bileşenlerinin belirlenmesi. Turkish *Journal of Biodiversity*, *5*(2), 75-85.

Ganosi, E., Barda, C., Grafakou, M. E., Rallis, M. C., & Skaltsa, H. (2023). An in-depth stability study of the essential oils from *Mentha× piperita*, *Mentha spicata*, *Origanum vulgare*, and *Thymus vulgaris*: The impact of thermal and storage conditions. *Separations*, *10*(9), 488.

Gurav, T. P., Dholakia, B. B., & Giri, A. P. (2022). A glance at the chemodiversity of *Ocimum* species: Trends, implications, and strategies for the quality and yield improvement of essential oil. *Phytochemistry Reviews*, *21*(3), 879-913.

Hanif, M. A., Nisar, S., Khan, G. S., Mushtaq, Z., & Zubair, M. (2019). Essential oils. In: S. Malik (Ed.), *Essential Oil Research: Trends in Biosynthesis, Analytics, İndustrial Applications and Biotechnological Production* (pp. 3-17). Cham: Springer International Publishing.

Hazrati, S., Mousavi, Z., & Nicola, S. (2024). Harvest time optimization for medicinal and aromatic plant secondary metabolites. *Plant Physiology and Biochemistry*, *212*, 108735.

Karaca Öner, E. & Sonkaya, M. (2020). Identification of ontogenetic and diurnal variability in oregano (*Origanum onites* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *48*(3), 1185-1193.

Kumar, D., Punetha, A., Verma, P. P., & Padalia, R. C. (2022). Micronutrient based approach to increase yield and quality of essential oil in aromatic crops. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *26*, 100361.

Lombrea, A., Antal, D., Ardelean, F., Avram, S., Pavel, I. Z., Vlaia, L.,Mut, A.M., Diaconeasa, Z., Dehelean, C.A., Soica, C., & Danciu, C. (2020). A recent insight regarding the phytochemistry and bioactivity of *Origanum vulgare* L. essential oil. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*, 9653.

Łyczko, J., Kiełtyka-Dadasiewicz, A., Skrzyński, M., Klisiewicz, K., & Szumny, A. (2023). Chemistry behind quality–The usability of herbs and spices essential oils analysis in light of sensory studies. *Food Chemistry*, *411*, 135537.

Micić, D., Đurović, S., Riabov, P., Tomić, A., Šovljanski, O., Filip, S., Tosti, T., Dojčinović, B., Božović, R., Jovanović, D., & Blagojević, S. (2021). Rosemary essential oils as a promising source of bioactive compounds: Chemical composition, thermal properties, biological activity, and gastronomical perspectives. *Foods*, *10*, 2734.

Morsy, N.F.S. (2017). Chemical structure, quality indices and bioactivity of essential oil constituents. In: H.A. El-Shemy (Ed.), *Active Ingredients From Aromatic and Medicinal Plants*, IntechOpen, pp. 175-205.

Mugwanya, M., Kimera, F., Dawood, M. A., Ali, O. S., Reda, A., Shoeib, T., & Sewilam, H. (2025a). Comparative analysis of plant morphometric traits, essential oil yield, and quality of *Origanum majorana* L. cultivated under diverse sustainable organic nutrient management strategies. *Scientific Reports*, *15*, 32934.

Mugwanya, M., Kimera, F., Dawood, M. A., Ali, O. S., Reda, A., Shoeib, T., & Sewilam, H. (2025b). Variation in growth, total phenolics, and essential oil composition of *Rosmarinus officinalis* L. under aquaculture and biofloc wastewater irrigation treatments in greenhouse cultivation. *Industrial Crops and Products*, *235*, 121790.

Nurhaslina, C. R., Bacho, S. A., & Mustapa, A. N. (2022). Review on drying methods for herbal plants. *Materials Today: Proceedings*, *63*, 122-139.

Nurzyńska-Wierdak, R. (2023). Chemical diversity, yield, and quality of aromatic plants. *Agronomy*, *13*, 1614.

Özyazıcı, G., Kevseroğlu, K. (2019). *Mentha spicata* L. *Origanum onites* L. *Melissa officinalis* L. ve *Lavandula angustifolia* Mill. bitkilerinde uçucu yağ oranı üzerine ontogenetik ve diurnal varyabilitenin etkileri. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, *6*(3), 285-294.

Pokajewicz, K., Białoń, M., Svydenko, L., Fedin, R., & Hudz, N. (2021). Chemical composition of the essential oil of the new cultivars of *Lavandula angustifolia* Mill. Bred in Ukraine. *Molecules*, *26*, 5681.

Pintilia, S., Petcu, E., Ionescu, N., Ion, V. A., & Bădulescu, L. (2025). A comprehensive review of mint essential oils-composition, quality and applications. *Published in Scientific Papers. Series B, Horticulture*, LXIX(2), 881-891.

Rathore, S., Mukhia, S., Kumar, R., & Kumar, R. (2023). Essential oil composition and antimicrobial potential of aromatic plants grown in the mid-hill conditions of the Western Himalayas. *Scientific Reports*, *13*, 4878.

Sadgrove, N. J., Padilla-González, G. F., Leuner, O., Melnikovova, I., & Fernandez-Cusimamani, E. (2021). Pharmacology of natural volatiles and essential oils in food, therapy, and disease prophylaxis. *Frontiers in Pharmacology*, *12*, 740302.

Sadgrove, N. J., Padilla-González, G. F., & Phumthum, M. (2022). Fundamental chemistry of essential oils and volatile organic compounds, methods of analysis and authentication. *Plants*, *11*(6), 789.

Saffariha, M., Tavili, A., & Potter, D. (2021). Changes in the essential oil content and composition of *Salvia limbata* C.A. Mey at different growth stages and altitudes. *Biomedical Chromatography*, *35*(7), e5127.

Sharma, Y., Schaefer, J., Streicher, C., Stimson, J., & Fagan, J. (2020). Qualitative analysis of essential oil from French and Italian varieties of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) grown in the Midwestern United States. *Analytical Chemistry Letters*, *10*(1), 104-112.

Soltani, S., Shakeri, A., Iranshahi, M., & Boozari, M. (2021). A review of the phytochemistry and antimicrobial properties of *Origanum vulgare* L. and subspecies. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, *20*(2), 268.

Tahmas-Kahyaoğlu, D., Özen, M.B., & Yıldız, H. (2024). Chemical composition of essential oil extracted from lavender growing in Kastamonu, Türkiye. *Turkish Journal of Forestry*, *25*(1), 113-117.

Tsitlakidou, P., Tasopoulos, N., Chatzopoulou, P., & Mourtzinos, I. (2023). Current status, technology, regulation and future perspectives of essential oils usage in the food and drink industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *103*(14), 6727-6751.

Wang, M., Lee, J., Zhao, J., Chatterjee, S., Chittiboyina, A. G., Ali, Z., & Khan, I. A. (2024). Comprehensive quality assessment of peppermint oils and commercial products: an integrated

approach involving conventional and chiral GC/MS coupled with chemometrics. *Journal of Chromatography B*, *1232*, 123953.

Yang, H., Huang, X., Yang, M., Zhang, X., Tang, F., Gao, B., ... & Li, H. (2024). Advanced analytical techniques for authenticity identification and quality evaluation in essential oils: A review. *Food Chemistry*, 451, 139340.

Yenikalaycı, A., Bozarı, S., & Kurt, F. (2023). Lavanta (*Lavandula X intermedia* Emeric Ex Loisel) bitkisinin gölgede ve güneşte kurutulmasının uçucu yağ kalitesi üzerine etkisi. *Doğu Fen Bilimleri Dergisi*, *6*(1), 1-9.

Zhang, C., Zhong, X., Bao, S., Urtnasan, M., & Li, M. (2025). Main factors affecting the efficacy of medicinal plants during the cultivation process. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1634926.

Zinno, P., Guantario, B., Lombardi, G., Ranaldi, G., Finamore, A., Allegra, S., Mammano, M.M., Fascella, G., Raffo, A., & Roselli, M. (2023). Chemical composition and biological activities of essential oils from *Origanum vulgare* genotypes belonging to the carvacrol and thymol chemotypes. *Plants*, *12*, 1344.

TUZLULUK PROBLEMİ OLAN ALANLARDA YEM BİTKİLERİ: ISLAH VE SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME

FORAGE CROPS IN AREAS WITH SALINITY PROBLEMS: AN EVALUATION REGARDING IMPROVEMENT AND SUSTAINABLE PRODUCTION

Assoc. Prof. Dr. Semih AÇIKBAŞ
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-4384-3908

Prof. Dr. Mehmet Arif ÖZYAZICI
Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Siirt University, Siirt, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8709-4633

Özet

Bu çalışmanın amacı, küresel ve bölgesel ölçekte tarımsal üretkenliği kısıtlayan toprak tuzluluğunun ıslahında yem bitkilerine dayalı fitoremediasyon teknolojisinin kullanım potansiyelini ve etki mekanizmalarını değerlendirmektir. Kaliteli su ile yıkama, drenaj ve jips uygulaması gibi geleneksel toprak iyileştirme yöntemlerinin yüksek maliyetli, zaman alıcı ve su kaynaklarına aşırı bağımlı yapısına karşın; fitoremediasyon, çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir bir iyileştirme alternatifi sunmaktadır. Yem bitkileri, ıslah sürecinde hem doğrudan hem de dolaylı fizyo-kimyasal mekanizmalar aracılığıyla kritik roller üstlenmektedir. *Atriplex* spp., *Suaeda* spp. ve *Salicornia* spp. gibi halofit türler, topraktaki çözünebilir sodyum ve klor iyonlarını bünyelerine alıp sürgünlerinde biriktirerek (fitoekstraksiyon) sistemden uzaklaştırmaktadır. Buna karşın *Festuca arundinacea*, *Thinopyrum* (*Agropyron*) *elongatum* ve tuza dayanıklı *Medicago sativa* çeşitleri gibi glikofitler; derin kök aktiviteleri, organik madde katkıları ve rizosfer kimyasını düzenleme kapasiteleri sayesinde toprak agregat stabilitesini, gözenekliliği ve hidrolik iletkenliği geliştirerek tuzların yıkanmasını kolaylaştırmaktadır. Sürecin uzun vadeli başarısı ve ekonomik sürdürülebilirliği, elde edilen tuz yüklü biyokütlenin doğru yönetilmesine bağlıdır; bu, biyokütlenin seyreltilerek hayvan yemi, biyoenerji hammaddesi veya kontrollü kompost olarak değerlendirilmesi kapalı döngü bir iyileştirme modeli oluşturmaktadır. Hem bozulmuş marjinal arazileri yeniden üretken hâle getiren hem de kaba yem açığını kapatmaya katkı sunan bu entegre yaklaşım, özellikle yem ihtiyacı ve tuzluluk sorunu bulunan bölgelerde bütüncül ve ekolojik bir arazi yönetim stratejisi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Toprak tuzluluğu, fitoremediasyon, halofit, kaba yem, arazi ıslahı

Abstract

The aim of this study is to evaluate the using potential and mechanisms of action of forage crops-based phytoremediation technology for the reclamation of salt-affected soils, a major constraint on agricultural productivity at both global and regional scales. In contrast to traditional soil reclamation methods-such as leaching with high-quality water, drainage, and gypsum application-which are costly, time-consuming, and heavily dependent on water resources, phytoremediation offers an eco-friendly, economical, and sustainable alternative. Forage crops play critical roles in the reclamation process through both direct and indirect physicochemical mechanisms. Halophytic species such as Atriplex spp., Suaeda spp., and Salicornia spp. remove soluble sodium and chloride ions from the soil system by accumulating them in their shoots (phytoextraction). Conversely, glycophytes-such as Festuca arundinacea, Thinopyrum (Agropyron) elongatum, and salt-tolerant Medicago sativa varieties-facilitate salt leaching by improving soil aggregate stability, porosity, and hydraulic conductivity through deep root activity, organic matter addition, and the modulation of rhizosphere chemistry. The long-term success and economic sustainability of the process depend on the proper management of the salt-laden biomass; utilizing this biomass-through dilution-as animal feed, bioenergy rawmaterial, or controlled compost establishes a closed-loop reclamation model. This integrated approach, which both restores degraded marginal lands to productivity and contributes to bridging the roughage deficit, offers a holistic and ecological land management strategy, particularly in regions facing forage requirement and salinity issues.

Keywords: Soil salinity, phytoremediation, halophyte, roughage, land reclamation

1. Giriş

Toprak tuzluluğu, kurak ve yarı kurak iklim kuşağında tarımsal üretkenliği sınırlayan en yaygın toprak bozunum süreçlerinden biridir. Yağışın buharlaşmayı karşılayamadığı bölgelerde çözünebilir tuzlar toprak profilinden yıkanamamakta; sulama suyunun tuz içeriği, yetersiz drenaj ve taban suyu seviyesinin yükselmesi bu birikimi hızlandırmaktadır. Süreç, gözenek ölçeğinden havza ölçeğine kadar farklı düzeylerde işleyen ve birbirini besleyen mekanizmalar içermekte; bu nedenle, tek bir müdahaleyle geri döndürülmesi güç bir yapı kazanmaktadır (Singh, 2021; Shokri ve ark., 2024). İklim projeksiyonları, su kıtlığının arttığı bölgelerde tuzlanma ve arazi bozunumu riskinin daha da yükseleceğine işaret etmektedir (Kramer ve ark., 2025). Sorunun ölçeği bölgeden bölgeye değişmekle birlikte, küresel niteliktedir; tuzdan etkilenmiş alanlar hem kurak kuşaktaki sulanan ovalarda hem de kıyı bölgelerinde genişlemektedir. Türkiye'de yarı kurak koşullarda yürütülen uzun dönemli izleme çalışmaları da sulanan alanlarda tuzluluğun zaman içinde arttığını belgelemektedir (Akça ve ark., 2020).

Diğer yandan, hayvansal üretimin sürdürülebilirliği, yeterli miktarda ve kalitede kaba yeme bağlıdır; ancak yem bitkisi ekim alanlarının genişletilmesi, verimli tarım arazileri üzerindeki rekabet nedeniyle çoğu bölgede sınırlıdır. Bu noktada tuzdan etkilenmiş marjinal araziler, iki yönlü bir fırsat sunmaktadır; bu alanlar, hem ıslah edilmesi gereken bozulmuş topraklar hem de tuza toleranslı yem bitkileri için potansiyel üretim alanlarıdır. Nitekim marjinal kalitedeki suların tuzlu topraklarda yem üretimi amacıyla değerlendirilmesi, sınırlı su kaynaklarının verimli kullanımı bakımından giderek daha fazla ilgi görmektedir (Pérez-Reverón ve ark., 2024).

Geleneksel ıslah yaklaşımları; kaliteli su ile yıkama, drenaj sistemlerinin kurulması ve jips gibi kimyasal iyileştiricilerin uygulanması teknik olarak etkilidir; ancak yüksek yatırım maliyeti, yoğun su gereksinimi ve drenaj sularının çevresel yükü nedeniyle her koşulda uygulanabilir değildir (Shaygan ve Baumgartl, 2022; Tóth, 2022). Bu kısıtlar, biyolojik temelli ve daha düşük girdili alternatiflerin araştırılmasını gündeme getirmiştir. Bitkilerin ve onlarla ilişkili rizosfer mikroorganizmalarının kullanıldığı fitoremediasyon, tuzdan etkilenmiş toprakların iyileştirilmesinde bu alternatiflerin başında gelmektedir (Daba, 2025; Armaro ve ark., 2026).

Yem bitkilerinin bu çerçevedeki konumu özeldir. Bir yandan halofit türler tuzu bünyelerine alıp hasat edilebilir aksamda biriktirerek sistemden fiilen uzaklaştırmakta; diğer yandan, tuza toleranslı çok yıllık türler yoğun kök sistemleri ve organik madde girdileriyle toprağın fiziksel ve biyolojik işlevlerini onarmaktadır. Her iki mekanizmanın çıktısı da hasat edilebilir bir biyokütledir; yani ıslah süreci, üretimden vazgeçmeyi gerektirmemektedir. Bu özellik, yem bitkilerini diğer fitoremediasyon bitkilerinden ayıran ve yaklaşımın ekonomik uygulanabilirliğini belirleyen temel unsurdur.

Bu derlemenin amacı, tuzdan etkilenmiş alanların ıslahında yem bitkilerinin rolünü mekanizma, tür seçimi ve biyokütle yönetimi çerçevesinde bütünleşik biçimde değerlendirmektir.

2. Toprak Tuzluluğunun Boyutu ve Niteliği

2.1. Tuzlu, sodik ve tuzlu-sodik topraklar

Tuzdan etkilenmiş topraklar, tek bir sınıf oluşturmamaktadır; bu ayrım, ıslah stratejisinin seçiminde belirleyicidir. Tuzlu topraklarda temel sorun, kök bölgesindeki yüksek çözünebilir tuz derişiminin yarattığı ozmotik kısıt ve iyonik toksisitedir; toprağın fiziksel yapısı çoğunlukla bozulmamıştır ve yeterli drenaj koşulunda yıkama ile tuzlar uzaklaştırılabilmektedir. Sodik topraklarda ise sorun kimyasal değil, öncelikle fizikseldir: değişebilir sodyumun yüksek oranı kil kolloidlerinin dağılmasına, agregat yapısının çökmesine ve gözenek sisteminin tıkanmasına yol açmaktadır. Tuzlu-sodik topraklar her iki sorunu birlikte taşımaktadır (Shaygan ve Baumgartl, 2022; Tóth, 2022).

Bu ayrımın pratik karşılığı nettir. Sodik topraklarda yalnızca yıkama uygulanması, durumu iyileştirmek yerine kötüleştirebilmekte; tuz derişimi düştükçe kil dağılması artmakta ve hidrolik iletkenlik daha da azalmaktadır. Nitekim tuzluluk ve sodikliğin toprak hidrolik iletkenliği üzerinde histerezise yol açtığı, yani aynı elektriksel iletkenlik değerine artan ve azalan yönde ulaşıldığında farklı iletkenlik değerleri elde edildiği gösterilmiştir (Adeyemo ve ark., 2022). Bu nedenle sodik topraklarda önce değişebilir sodyumun kalsiyumla yer değiştirmesi, ardından yıkama yapılması gerekmektedir. Sodikliğin niceliksel olarak ölçülmeden uygun jips dozunun belirlenemeyeceği ve dozun eksik ya da fazla seçilmesinin ıslahı başarısız kıldığı vurgulanmaktadır (Mandal, 2023).

2.2. Tuzluluğun toprak işlevleri üzerindeki etkisi

Tuzluluk ve sodiklik, toprağın yalnızca kimyasal değil, fiziksel ve biyolojik işlevlerini de bozmaktadır. Yüksek sodyum oranı agregat stabilitesini düşürmekte, organik maddenin agregatlar içinde korunmasını zorlaştırmakta ve böylece toprak organik karbonunun ayrışmaya açık hâle gelmesine yol açmaktadır. Tuzluluk ve sodikliğin bu iki etkisinin birbirinden farklı işlediği; sodikliğin yapısal bozulmada, tuzluluğun ise organik madde stabilizasyonunda daha belirleyici olduğu bildirilmektedir (Singh ve ark., 2023). Agregat büyüklük fraksiyonları düzeyinde yapılan analizler, iyileştirme uygulamalarının organik maddeyi öncelikle makroagregatlarda biriktirdiğini göstermektedir (Xie ve ark., 2023).

Biyolojik işlevler bakımından tablo benzerdir. Terk edilmiş tuzlu-alkali toprakların yeniden ıslah edilmesinin mikrobiyal çeşitliliği ve ayrıştırma potansiyelini artırdığı (Yin ve Zhang, 2022), organik düzenleyici uygulamalarının ise tuzlu arazilerde mikrobiyal topluluk yapısını yeniden şekillendirdiği gösterilmiştir (Cong ve ark., 2025). Bu bulgular, ıslahın yalnızca elektriksel iletkenliğin düşürülmesi olarak tanımlanamayacağını; toprağın fiziksel yapısı, organik madde havuzu ve biyolojik etkinliğinin birlikte onarılması gerektiğini göstermektedir.

3. Tuzlu Alanların Islahında Geleneksel Yaklaşımlar ve Sınırları

Tuzdan etkilenmiş toprakların ıslahında üç temel geleneksel yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar, kimyasal iyileştiricilerin uygulanması, kaliteli su ile yıkama ve drenaj sistemlerinin kurulmasıdır. Bu yaklaşımlar birbirinin alternatifi değil, tamamlayıcısıdır; hiçbiri, tek başına kalıcı sonuç vermemektedir.

Kimyasal iyileştiriciler arasında jips en yaygın kullanılan üründür ve sodik topraklarda değişebilir sodyumun kalsiyumla yer değiştirmesini sağlamaktadır. Baca gazı desülfürizasyonu kaynaklı jipsin yüksek düzeyde tuzlu-sodik topraklarda etkili olduğu, ancak etkinliğinin toprak nem rejimine güçlü biçimde bağlı bulunduğu gösterilmiştir (Zhao ve ark., 2020; Zhang ve ark., 2022). Uygulamanın başarısı doğru doz hesabına, yeterli yıkamaya ve yıkama suyunun tahliye edilebilmesine bağlıdır; bu koşullardan biri sağlanmadığında, beklenen sonuç alınamamaktadır (Mandal, 2023).

Yıkama ve drenaj, ıslahın fiziksel omurgasını oluşturmaktadır. Toprak altı boru drenajında boru aralığının tuz hareketini doğrudan belirlediği (Han ve ark., 2023), hedeflenen tuzsuzlaşma düzeyine göre drenaj gereksiniminin öngörülebildiği bildirilmektedir (Chen ve ark., 2024). Sulama ve drenajın, ürünün tuz toleransı ve yıkama eşiği dikkate alınarak birlikte planlanmasının su kullanımını azaltırken ıslah etkinliğini koruduğu gösterilmiştir (Liu ve ark., 2024).

Bu yöntemlerin sınırları da açıktır. Yıkama için gereken kaliteli su, tuzluluğun en yaygın olduğu kurak bölgelerde en kıt kaynaktır; drenaj altyapısı yüksek yatırım gerektirmekte ve tahliye edilen tuzlu suyun bertarafı ayrı bir çevresel sorun oluşturmaktadır. Bu nedenle güncel değerlendirmeler, kimyasal ve fiziksel yöntemlerin bitkisel bileşenle birlikte kurgulanmasını önermektedir (Daba, 2025).

4. Fitoremediasyon ve Yem Bitkilerinin Islah Mekanizmaları

4.1. Kavramsal çerçeve

Fitoremediasyon, bitkiler ve onlarla ilişkili rizosfer mikroorganizmaları kullanılarak kirleticilerin yerinde uzaklaştırıldığı, hareketsizleştirildiği veya dönüştürüldüğü bir iyileştirme teknolojisidir. Tuzdan etkilenmiş topraklar bağlamında iki mekanizma öne çıkmaktadır: Tuzun bitki tarafından alınıp hasat edilebilir aksamda biriktirilmesi (fitoekstraksiyon) ve bitkinin toprak ortamını değiştirerek tuzların yıkanmasını kolaylaştırması (dolaylı iyileştirme). Halofit türlerde birinci mekanizma, tuza toleranslı glikofitlerde ise ikinci mekanizma baskındır (Armaro ve ark., 2026).

Yaklaşımın en güçlü yanı, ıslah süreciyle üretim sürecinin çakışabilmesidir. Urmiye Gölü yatağında yürütülen çalışmalar doğal halofit örtüsünün tuzdan etkilenmiş toprakların iyileştirilmesinde işlevsel rol oynadığını göstermiş (Ahmadi ve ark., 2022); farklı fitoremediasyon uygulamalarının mikrobiyal çeşitliliği de değiştirdiğinin belirlenmesi, etkinin toprak ekosisteminin bütününe yayıldığını ortaya koymuştur (Li ve ark., 2021).

4.2. Doğrudan mekanizma: Fitoekstraksiyon

Halofitler, topraktaki çözünebilir Na^+ ve Cl^- iyonlarını kökleri aracılığıyla alarak sürgün dokularında, özellikle sukkulent yaprak ve gövdelerde biriktirmektedir. Bu, biyokütlenin hasat edilerek alandan uzaklaştırılması, biriken tuzun sistemden fiilen çıkarılması anlamına gelmektedir. Fitoekstraksiyonun etkinliği; türün tuz alım kapasitesi, kökten sürgüne taşınım verimliliği ve birim alanda üretilen biyokütle miktarının çarpımına bağlıdır.

Bu üç bileşenden herhangi birinin düşük olması, yüksek tuz derişimine rağmen alandan uzaklaştırılan toplam tuz miktarını sınırlamaktadır (Kachout ve ark., 2025; Armaro ve ark., 2026).
Bu nedenle yüksek tuz derişimi tek başına iyi bir seçim ölçütü değildir. Yüksek biyokütle üretebilen türler, daha düşük doku tuz derişimine sahip olsalar bile toplam tuz uzaklaştırma bakımından üstün olabilmektedir. *Suaeda salsa* ile yürütülen çalışmalarda bitki gelişimi, tuz uzaklaştırma kapasitesi ve yem kalitesinin birlikte değerlendirilmesi, bu üç ölçütün her zaman aynı yönde hareket etmediğini göstermektedir (Wang ve ark., 2023).

4.3. Dolaylı mekanizmalar: Kök etkisi, organik madde ve rizosfer

Yem bitkilerinin tuzluluk ıslahına katkısı fitoekstraksiyonla sınırlı değildir; çoğu koşulda dolaylı mekanizmalar daha belirleyicidir. Yoğun ve derin kök sistemleri toprakta makro gözenekler oluşturmakta, kök kanalları su hareketi için tercihli akış yolları sağlamakta ve böylece tuzların profil dışına yıkanmasını kolaylaştırmaktadır. *Suaeda salsa* örneğinde kök gelişiminin tuz yıkanmasını ve toprak yapısını doğrudan iyileştirdiği gösterilmiştir (Wang ve ark., 2025). Yonca ekiminin toprak gözenek yapısını ve mikrobiyal toplulukları birlikte değiştirdiğinin belirlenmesi, çok yıllık yem bitkilerinin bu mekanizmadaki etkinliğini örneklemektedir (Zhu ve ark., 2025).
Köklerin ikinci katkısı organik madde girdisidir. Kök salgıları, kök dönüşümü ve hasat artıkları toprak organik karbon havuzunu beslemekte; artan organik madde agregat stabilitesini yükselterek sodikliğe bağlı yapısal bozulmayı geri çevirmektedir. Baklagil köklerinin karbon tutulumu, toprak sağlığı ve tuzluluğun hafifletilmesindeki rolü bu bağlamda özellikle vurgulanmaktadır (Srivastava ve ark., 2025).
Üçüncü katkı, rizosfer kimyasının değişmesidir; kök solunumu ve organik asit salgısı rizosferde kısmi asitleşmeye yol açarak toprakta bulunan kalsiyum karbonatın çözünmesini ve serbestleşen kalsiyumun değişebilir sodyumun yerini almasını kolaylaştırmaktadır. Bu süreç, dışarıdan jips uygulanmasının biyolojik karşılığı olarak değerlendirilmektedir (Tóth, 2022; Daba, 2025).

4.4. Mikrobiyal ortaklık

Fitoremediasyonun etkinliği, bitkinin tek başına performansından çok, bitki-mikroorganizma sisteminin performansına bağlıdır. Tuza toleranslı halofitlerin rizosferinde kök-toprak sürekliliği boyunca özgün mikrobiyal toplulukların oluştuğu gösterilmiştir (Tang ve ark., 2023). Doğal halofitlerden izole edilen rizobakterilerin yonca gelişimini ve toprak ıslahını birlikte iyileştirmesi (Ma ve ark., 2024), *Atriplex nummularia*'da bakteriyel inokülasyonun fitoremediasyon başarısını artırması (Fazolato ve ark., 2025), mikrobiyal desteğin uygulamaya dönüştürülebilir bir bileşen olduğuna işaret etmektedir. Bu bulgular, ıslah amaçlı bitkilendirmede tür seçimi kadar uygun mikrobiyal inokulantın seçilmesinin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

5. Tuzlu Alanların Islahında Kullanılan Yem Bitkileri

5.1. Halofit türler

Halofitler, yüksek tuz derişimlerinde yaşam döngüsünü tamamlayabilen ve çoğu durumda tuzu bir stres etmeni olmaktan çıkarıp ozmotik düzenleme aracı hâline getiren türlerdir. Islah amaçlı kullanımda öne çıkan gruplar Chenopodiaceae familyasında yoğunlaşmaktadır.
Atriplex türleri, derin kök sistemleri, yüksek biyokütle üretimi ve yaprak yüzeyindeki tuz keseciklerinde sodyum biriktirme yetenekleriyle en yaygın kullanılan halofit yem bitkileridir. *Atriplex hortensis* ile yürütülen saha çalışmaları, türün tuzdan etkilenmiş alanlarda hem tuz uzaklaştırma hem de örtü sağlama işlevini birlikte yerine getirdiğini göstermiştir (Kachout ve ark., 2025). *Atriplex nummularia*'da bakteriyel inokülasyonun fitoremediasyon performansını yükseltmesi, türün mikrobiyal destekle birlikte kullanılabileceğine işaret etmektedir (Fazolato ve ark., 2025). *Atriplex* türleri ile *Medicago* türlerinin karşılaştırıldığı çok yıllık izleme çalışmaları ise, toprak özelliklerindeki iyileşmenin zaman içinde nasıl geliştiğini ve türler arasında nasıl farklılaştığını ortaya koymaktadır (Panta ve ark., 2018).
Suaeda cinsi, sukkulent yapısı ve yüksek doku tuz derişimiyle fitoekstraksiyon açısından en etkili gruplardan biridir. *Suaeda salsa*'da bitki gelişimi, tuz uzaklaştırma kapasitesi ve yem kalitesinin birlikte değerlendirilmesi, türün ıslah ve yem üretimi hedeflerini aynı anda karşılayabildiğini göstermiştir (Wang ve ark., 2023). Kök gelişiminin tuz yıkanmasını ve toprak yapısını doğrudan iyileştirmesi ise türün dolaylı mekanizmaya da katkı sağladığını ortaya koymaktadır (Wang ve ark., 2025).

Türün rizosferinde kök–toprak sürekliliği boyunca oluşan özgün mikrobiyal topluluk yapısı da bu etkinliğin bir parçasıdır (Tang ve ark., 2023).
Salicornia ve *Sarcocornia* cinsleri, yüksek tuzluluk ve hatta deniz suyu düzeyindeki sulama koşullarında yetiştirilebilen türlerdir. *Salicornia bigelovii*'nin farklı tuzluluktaki sularla sulanması altında drenaj ve tuz yıkanması etkilerinin incelenmesi, türün su yönetimiyle birlikte kurgulandığında ıslaha katkı sağladığını göstermiştir (Al-Tamimi ve ark., 2023).
Kochia scoparia, hızlı gelişimi ve geniş adaptasyonuyla tuzlu alanlarda değerlendirilebilen bir türdür. Bununla birlikte tuzluluğun bu türün yem kalitesini düşürdüğünün gösterilmesi, tür seçiminde ıslah etkinliği ile yem değeri arasındaki dengenin göz ardı edilemeyeceğini ortaya koymaktadır (Waldron ve ark., 2020). *Distichlis spicata* gibi halofit buğdaygillerin ise dikotil halofitlerden farklı tuzluluk aralıklarında üstünlük gösterdiği bildirilmektedir (Sabzalian ve ark., 2018).

5.2. Tuza toleranslı buğdaygil yem bitkileri

Halofit olmayan ancak yüksek tuz toleransı gösteren buğdaygiller, ıslahın ikinci aşamasında ve orta düzeyde tuzlu topraklarda öne çıkmaktadır. Bu grubun ıslaha katkısı ağırlıklı olarak dolaylıdır: Yoğun saçak kök sistemi, yüksek organik madde girdisi ve sürekli toprak örtüsü.
Thinopyrum (*Agropyron*) cinsi bu grubun en dikkat çekici üyesidir; cinsin, buğday ve yem bitkilerinde tuz toleransını artırmaya yönelik genetik kaynak olarak değeri kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir (Li ve ark., 2025). *Festuca arundinacea* (kamışsı yumak), tuzlu sularla sulama koşullarında dayanıklılığını koruyabilen, derin köklü ve çok yıllık bir türdür (Ntoulas ve ark., 2024).
Sorgum, tek yıllık yem bitkileri içinde tuzlu koşullara en iyi uyum gösteren türlerden biridir. Bununla birlikte tuzlu su ile sulamanın yem sorgumunun hayatta kalma oranını artırırken, büyümeyi sınırladığı ve toksisite riskini yükselttiğinin bildirilmesi, türün sınırlarını da ortaya koymaktadır (Fu ve ark., 2025).
Tuza toleranslı *Echinochloa frumentacea*'nın hem toprak iyileşmesine hem de sonraki ürün verimine katkı sağladığının gösterilmesi ise, tek yıllık buğdaygillerin ıslah dizisinde ara halka olarak kullanılabileceğine işaret etmektedir (Cheng ve ark., 2023).

5.3. Baklagiller ve tür karışımları

Baklagil yem bitkileri, ıslah sürecine azot fiksasyonu ve yüksek kaliteli kaba yem katkısı sağlamaktadır. Yonca (*Medicago sativa* L.), derin kazık kök sistemi sayesinde toprağın alt katmanlarında biyolojik kanallar açarak tuzların yıkanmasını kolaylaştırmakta ve kök dönüşümüyle organik madde girdisi sağlamaktadır. Yonca ekiminin toprak gözenek yapısını ve mikrobiyal toplulukları birlikte iyileştirdiği gösterilmiştir (Zhu ve ark., 2025). Türün, tuzlu topraklardaki performansı çeşide güçlü biçimde bağlıdır; 51 yonca çeşidinin tuzlu toprak koşullarında değerlendirildiği çalışma, genetik çeşitliliğin seçim için yeterli olduğunu ortaya koymuştur (Fan ve ark., 2023). Toprak altı drenajı ile organik gübre uygulamasının birlikte kullanıldığı kıyı tuzlu topraklarında yoncanın verim ve kalitesinin korunabildiği bildirilmektedir (Zhang ve ark., 2024). Ayrıca, bazı baklagil yem bitkisi türlerinde tuzluluğun çimlenme ve erken fide gelişimini sınırladığı ve bu dönemin bitki gelişiminde kritik aşama olduğu birçok çalışmada belirlenmiştir (Açıkbaş ve Özyazıcı, 2021, 2022; Özyazıcı ve Açıkbaş, 2021; Açıkbaş ve ark., 2023; Beyaz ve Kazankaya, 2024).
Tür karışımları, tek türlü ekimlere göre birkaç bakımdan üstünlük göstermektedir. Çok yıllık yem bitkisi karışımlarının tuzlu arazilerin ıslahında kullanıldığı çalışmalar, karışımların tesis başarısını, ot verimini ve çevresel faydayı birlikte artırdığını ortaya koymuştur (Waldner ve ark., 2026). Yulaf ile yoncanın uygun oranlarda karıştırılmasının da, tuzlu-alkali koşullarda bitki gelişimi, ot verimi ve yem kalitesini birlikte iyileştirdiği bildirilmektedir (Zhu ve ark., 2024). Karışımların üstünlüğü, farklı kök derinliklerinin toprak profilini daha bütüncül biçimde kullanmasından ve buğdaygil-baklagil bileşiminin hem karbon hem azot girdisini birlikte sağlamasından kaynaklanmaktadır.

6. Tuz Yüklü Biyokütlenin Değerlendirilmesi

Fitoekstraksiyonun tanımı gereği, ıslah sürecinin çıktısı yüksek tuz içerikli bir biyokütledir. Bu biyokütle, alandan uzaklaştırılmadığı sürece tuz sisteme geri dönmekte; uzaklaştırıldığında ise nereye gideceği sorusu ortaya çıkmaktadır. Yaklaşımın, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği büyük ölçüde bu sorunun yanıtına bağlıdır.

6.1. Hayvan yemi olarak kullanım

Halofit ve tuza toleranslı yem bitkilerinin önemli bir bölümü kabul edilebilir düzeyde ham protein ve mineral içermektedir. Yakın Doğu bölgesinde halofitlerin ve tuza toleranslı bitkilerin ruminant beslemesinde potansiyel kaba yem kaynağı olarak değerlendirilmesi, bu kullanımın uzun bir uygulama geçmişi bulunduğunu göstermektedir (El Shaer, 2010). *Atriplex nummularia*'nın koyun ve keçi beslemesinde kullanım olanaklarına ilişkin kapsamlı değerlendirmeler, türün kısıtlı da olsa gerçek bir yem kaynağı oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Ben Salem ve ark., 2010).

Bununla birlikte kısıtlar açıktır. Yüksek sodyum ve klor içeriği yem tüketimini azaltmakta, su tüketimini artırmakta ve yönetilmediğinde hayvan sağlığı sorunlarına yol açabilmektedir. Melez Boer keçilerinde tuzlu çalı içeren rasyonların tüketim, sindirilebilirlik ve azot dengesi üzerindeki etkilerinin incelenmesi, katkı oranının belirleyici olduğunu göstermiştir (Tosto ve ark., 2021). Umman koyunlarında tuza toleranslı sorgum otu ile *Chloris gayana* otunun karşılaştırılması, tür seçiminin hayvan performansı üzerinde doğrudan etkili olduğunu ortaya koymuştur (Al Khalasi ve ark., 2010). İçme suyunun tuzluluk düzeyinin yem tüketimi, sindirim ve rumen sıvısı özellikleri üzerindeki etkisinin gösterilmesi ise, tuzlu yem ile tuzlu su birlikte bulunduğunda toplam tuz yükünün değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Yirga ve ark., 2018). Ayrıca tuzluluğun yem kalitesini doğrudan düşürebildiği de dikkate alınmalıdır (Waldron ve ark., 2020).

Uygulamada üç önlem öne çıkmaktadır: Tuzlu biyokütlenin tuzsuz kaba yemlerle seyreltilerek rasyona katılması, hayvanlara sınırsız ve düşük tuzlu içme suyu sağlanması ve rasyon tuz düzeyinin izlenmesi. Bu koşullar sağlandığında halofit biyokütlesi, özellikle kurak dönemlerde bir tampon yem kaynağı işlevi görebilmektedir.

6.2. Kompost ve toprak düzenleyici olarak değerlendirme

Yem olarak kullanılamayacak nitelikteki biyokütle için ikinci yol, kontrollü kompostlaştırma yoluyla organik düzenleyiciye dönüştürülmesidir. Ancak burada kritik bir kısıt bulunmaktadır: Tuz yüklü biyokütleden üretilen kompostun aynı alana geri verilmesi, uzaklaştırılan tuzun sisteme dönmesi anlamına gelmektedir. Bu nedenle kompostun tuzdan etkilenmemiş alanlarda kullanılması veya kompostlama sürecinde tuzun yıkanarak ayrılması gerekmektedir. Kompost uygulamasının tuzlu topraklarda hem glikofit hem halofit ürünlerin performansını iyileştirdiği gösterilmiştir (Castiglione ve ark., 2021). Biyokömürün tuzdan etkilenmiş topraklarda toprak özellikleri ve bitki üretkenliği üzerindeki etkilerini inceleyen küresel meta-analiz, organik kökenli düzenleyicilerin ortalama olarak olumlu etki yaptığını; ancak, etkinin toprak tipine ve uygulama dozuna güçlü biçimde bağlı olduğunu ortaya koymaktadır (Su ve ark., 2024).

6.3. Biyoenerji ve biyorafineri

Üçüncü yol, biyokütlenin enerji veya kimyasal hammadde olarak değerlendirilmesidir. Bu seçenek, tuz içeriğinin yem kullanımını engellediği durumlarda özellikle anlamlıdır. Halofit biyokütlesinden piroliz yoluyla biyoyağ ve biyokömür üretiminde ön işlem ve sıcaklığın ürün dağılımını belirlediği gösterilmiştir (Iaccarino ve ark., 2021). *Tripolium pannonicum* ve *Crithmum maritimum* biyokütlesinin bütünleşik biyorafineri yaklaşımıyla değerlendirilmesi ise, halofitlerden yalnızca enerji değil, yüksek katma değerli bileşenlerin de elde edilebileceğini göstermektedir (Hulkko ve ark., 2023). Piroliz sonrası elde edilen biyokömürün yeniden toprak düzenleyici olarak kullanılması, döngüyü kapatan bir seçenek sunmaktadır; ancak, bu kullanımda da külde yoğunlaşan tuzun akıbeti dikkate alınmalıdır.

7. Türkiye Açısından Değerlendirme

Türkiye, tuzluluk sorununun ve kaba yem açığının aynı anda görüldüğü ülkelerdendir; bu iki sorunun kesişimi, yem bitkilerine dayalı ıslahı Türkiye için özellikle anlamlı kılmaktadır. Yarı kurak koşullarda yürütülen uzun dönemli izleme çalışmaları, sulanan alanlarda toprak tuzluluğunun zaman içinde arttığını ve sürecin sulama yönetimiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Akça ve ark., 2020). Batı Anadolu'daki alüvyal ovalarda elektriksel iletkenliğin öngörülü haritalanması, sorunun mekânsal dağılımının belirlenebildiğini göstermektedir (Kaya ve ark., 2022).

Türkiye'nin doğal bitki örtüsü de bu çalışmalar için önemli bir kaynak sunmaktadır. İç Anadolu'nun tuzcul vejetasyonunda tür çeşitliliğinin mekânsal desenlerinin incelenmesi, ıslahta kullanılabilecek yerel halofit havuzunun genişliğine işaret etmektedir (Ambarlı, 2025).

Türkiye kökenli iki halofit türünde tuzluluğun anatomik özellikler üzerindeki etkisinin belirlenmesi, yerel materyalin tolerans mekanizmalarının çalışılmaya başlandığını göstermektedir (Akcin ve Yalçın, 2023).

Buna karşın Türkiye'de yem bitkilerine dayalı tuzluluk ıslahına ilişkin bilgi birikimi hâlâ dağınıktır. Yerel halofit türlerin tuz uzaklaştırma kapasitesi, yem değeri ve tarımsal yönetimi büyük ölçüde araştırılmamıştır; mevcut çalışmaların çoğu tuzluluğun haritalanması veya türlerin tolerans düzeyinin belirlenmesiyle sınırlı kalmakta, çok yıllık tarla ölçeğinde ıslah denemeleri seyrek kalmaktadır. Bu boşluk, Türkiye için en öncelikli araştırma alanını tanımlamaktadır.

8. Sonuç

Toprak tuzluluğu, kurak ve yarı kurak kuşakta tarımsal üretkenliği sınırlayan ve iklim değişikliğiyle birlikte yaygınlığı artan bir bozunum sürecidir. Geleneksel ıslah yöntemleri teknik olarak etkili olmakla birlikte yüksek maliyetleri, yoğun su gereksinimleri ve drenaj sularının çevresel yükü nedeniyle her koşulda uygulanabilir değildir. Bu noktada yem bitkilerine dayalı fitoremediasyon, geleneksel yöntemlerin yerine geçen değil, onları tamamlayan ve ekonomik olarak taşınabilir kılan bir bileşen olarak öne çıkmaktadır.

Yem bitkilerinin ıslaha katkısı iki mekanizma üzerinden yürümektedir. Halofit türler tuzu bünyelerine alıp hasat edilebilir aksamda biriktirerek sistemden fiilen uzaklaştırmakta; tuza toleranslı çok yıllık türler ise yoğun kök sistemleri, organik madde girdileri ve rizosfer kimyasını değiştirme kapasiteleriyle toprağın fiziksel ve biyolojik işlevlerini onarmaktadır. Uygulamada bu iki mekanizma birbirinin alternatifi değil, tuzluluk düzeyine göre sıralanan aşamalardır: Yüksek tuzlulukta halofitlerle başlayan süreç, koşullar iyileştikçe daha yüksek yem değerine sahip buğdaygil ve baklagil türlerine doğru ilerlemektedir.

Yaklaşımın kritik zayıf noktası, tuz yüklü biyokütlenin yönetimidir. Hasat edilen materyal alandan uzaklaştırılmadığında ıslah gerçekleşmemekte; uzaklaştırıldığında ise seyreltilerek hayvan yemi, kontrollü kompost veya biyoenerji hammaddesi olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu üç yolun hiçbiri kısıtsız değildir; ve seçim, biyokütlenin tuz içeriğine, işletmenin hayvan varlığına ve bölgesel altyapıya bağlıdır. Öncelikli ihtiyaç; yerel halofit germplazmının tuz uzaklaştırma kapasitesi ve yem değeri bakımından taranması, çok yıllık tarla denemeleriyle tuz bütçesinin niceliksel olarak kurulması ve ıslah süresince elde edilen yem gelirini de içeren ekonomik analizlerin yapılmasıdır. Bu üç adım tamamlanmadan, yem bitkilerine dayalı ıslahın Türkiye koşullarındaki gerçek potansiyeli tahminden öteye geçmeyecektir.

Kaynaklar

Açıkbaş, S., & Özyazıcı, M.A. (2021). Silisyum tohum ön uygulamasının tuz stresine maruz bırakılan yem bezelyesi [*Pisum sativum* ssp. *arvense* L. (Poir.)]'nin çimlenme gelişimine etkisi. *Middle East International Conference on Contemporary Scientific Studies-V,* March 27-28, Ankara, Turkey, Vol. III, s. 148-158.

Açıkbaş, S., & Özyazıcı, M.A. (2022). Tuz stresi altındaki burçak (*Vicia ervilia* L.) bitkisinin çimlenme ve fide gelişimi. *5. International Sciences and Innovation Congress,* 11-12 November, Ankara, Turkey, s. 190-197.

Açıkbaş, S., Özyazıcı, M.A., Bıçakçı, E., & Özyazıcı, G. (2023). Germination and seedling development performances of some soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] cultivars under salinity stress. *Turkish Journal of Range and Forage Science, 4*(2), 108-118.

Adeyemo, T., Kramer, I., Levy, G. J., & Mau, Y. (2022). Salinity and sodicity can cause hysteresis in soil hydraulic conductivity. *Geoderma, 413*, 115765.

Ahmadi, F., Mohammadkhani, N., & Servati, M. (2022). Halophytes play important role in phytoremediation of salt-affected soils in the bed of Urmia Lake, Iran. *Scientific Reports, 12*(1).

Akcin, A., & Yalçın, E. (2023). The effect of salinity on anatomical characteristics of two halophyte species from Turkey. *Botany Letters, 170*(4), 581-590.

Akça, E., Aydin, M., Kapur, S., Kume, T., Nagano, T., Watanabe, T., Çilek, A., & Zorlu, K. (2020). Long-term monitoring of soil salinity in a semi-arid environment of Turkey. *CATENA, 193*, 104614.

Al Khalasi, S. S., Mahgoub, O., Kadim, I. T., Al-Marzouqi, W., & Al-Rawahi, S. (2010). Health and performance of Omani sheep fed salt-tolerant sorghum (*Sorghum bicolor*) forage or Rhodes grass (*Chloris gayana*). *Small Ruminant Research, 91*(1), 93-102.

Al-Tamimi, M., Green, S., Dahr, W. A., Al-Muaini, A., Lyra, D., Ammar, K., Dawoud, M., Kenyon, P., Kemp, P., Kennedy, L., McLachlan, A., & Clothier, B. (2023). Drainage, salt-leaching impacts, and the growth of *Salicornia bigelovii* irrigated with different saline waters. *Agricultural Water Management*, *289*, 108512.

Ambarlı, D. (2025). Spatial patterns of species diversity in the saline vegetation of Central Anatolia, Türkiye. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, *14*(2), 259-269.

Armaro, C., Di Agosto, M., Mezzapica, G., Randazzo, N., Di Novo, S., Barbafieri, M., & Sergi, F. (2026). Phytoremediation in saline environments: The functional role of halophytes in soil recovery-A review. *Sustainability*, *18*(14), 7228.

Ben Salem, H., Norman, H. C., Nefzaoui, A., Mayberry, D. E., Pearce, K. L., & Revell, D. K. (2010). Potential use of oldman saltbush (*Atriplex nummularia* Lindl.) in sheep and goat feeding. *Small Ruminant Research*, *91*(1), 13-28.

Beyaz, R., & Kazankaya, A. (2024). Effect of NaCl-induced salt stress on germination and ınitial seedling growth of *Lotus corniculatus* L. cv. 'Leo'. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *21*(1), 24-34.

Castiglione, S., Oliva, G., Vigliotta, G., Novello, G., Gamalero, E., Lingua, G., Cicatelli, A., & Guarino, F. (2021). Effects of compost amendment on glycophyte and halophyte crops grown on saline soils: Isolation and characterization of rhizobacteria with plant growth promoting features and high salt resistance. *Applied Sciences*, *11*(5), 2125.

Chen, Y., Jia, Z., Wu, Y., Sha, Z., & Luo, W. (2024). Predicting subsurface drainage requirement for different soil desalinization goals in coastal reclamation areas. *Land Degradation & Development*, *36*(1), 39-48.

Cheng, Y., Xie, X., Wang, X., Zhu, L., Qiu, Q.-S., & Xu, X. (2023). Effects of the salt-tolerant gramineous forage echinochloa frumentacea on biological improvement and crop productivity in saline-alkali land on the hetao ningxia plain in China. *Sustainability*, *15*(6), 5319.

Cong, P., Huang, P., & Huang, Z. (2025). The response of soil microbial community to application of organic amendment to saline land. *Frontiers in Microbiology*, *15*.

Daba, A. W. (2025). Rehabilitation of soil salinity and sodicity using diverse amendments and plants: A critical review. *Discover Environment*, *3*(1).

El Shaer, H. M. (2010). Halophytes and salt-tolerant plants as potential forage for ruminants in the Near East region. *Small Ruminant Research*, *91*(1), 3-12.

Fan, S., Chen, J., Mu, J., & Zhang, M. (2023). Genetic diversity and salt tolerance assessment of 51 alfalfa (*Medicago sativa*) varieties under saline soil conditions. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *7*.

Fazolato, C. S. B., Araujo, M. S., Martins, L. F., Monteiro, D. A., & Rachid, C. T. C. da C. (2025). Bacterial boost: Improving Atriplex nummularia phytoremediation of saline soils through bacterial inoculation. *Plant and Soil*.

Fu, E., Myrans, H., & Gleadow, R. M. (2025). Saline irrigation improves survival of forage sorghum but limits growth and increases toxicity. *Plant Biology*, *27*(3), 401-409.

Han, D., Chen, C., Wang, F., Li, W., Peng, H., Jin, Q., Bi, B., Shaghaleh, H., & Hamoud, Y. A. (2023). Effects of subsurface pipe drainage spacing on soil salinity movement in Jiangsu coastal reclamation area. *Sustainability*, *15*(18), 13932.

Hulkko, L. S. S., Chaturvedi, T., Custódio, L., & Thomsen, M. H. (2023). Harnessing the value of *Tripolium pannonicum* and *Crithmum maritimum* halophyte biomass through integrated green biorefinery. *Marine Drugs*, *21*(7), 380.

Iaccarino, A., Gautam, R., & Sarathy, S. M. (2021). Bio-oil and biochar production from halophyte biomass: Effects of pre-treatment and temperature on *Salicornia bigelovii* pyrolysis. *Sustainable Energy & Fuels*, *5*(8), 2234-2248.

Kachout, S. S., Dhane, S., BenYoussef, S., Tlili, A., Douili, M., Guesmi, F., & Zoghlami, A. (2025). Sustainable phytoremediation of saline soils using *Atriplex hortensis* L.: A case study from Bizerte Lagoon, Northern Tunisia. *Frontiers in Plant Science*, *16*.

Kaya, F., Schillaci, C., Keshavarzi, A., & Başayiğit, L. (2022). Predictive mapping of electrical conductivity and assessment of soil salinity in a Western Türkiye alluvial plain. *Land*, *11*(12), 2148.

Kramer, I., Peleg, N., & Mau, Y. (2025). Climate change shifts risk of soil salinity and land degradation in water-scarce regions. *Agricultural Water Management*, *307*, 109223.

Li, F., Guo, Y., Wang, Z., & Mu, Y. (2021). Influence of different phytoremediation on soil microbial diversity and community composition in saline-alkaline land. *International Journal of Phytoremediation*, *24*(5), 507-517.

Li, W., Li, H., & Zheng, Q. (2025). Thinopyrum species as a genetic resource: Enhancing salt tolerance in wheat and forage crops for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *16*.

Liu, Y., Hu, Y., Wei, C., Zeng, W., Huang, J., & Ao, C. (2024). Synergistic regulation of irrigation and drainage based on crop salt tolerance and leaching threshold. *Agricultural Water Management*, 292, 108679.

Ma, X., Pan, J., Guo, Q., Huang, C., Zhang, J., Yang, H., & Xue, X. (2024). Mining rhizobacteria from indigenous halophytes to enhance alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth and soil reclamation in saline soils of Northwest China. *Research in Cold and Arid Regions*, *16*(5), 215-228.

Mandal, A. K. (2023). Necessity for quantified measurement of soil sodicity and selection of suitable gypsum amendment for proper reclamation of sodic soils. *Pedosphere*, *33*(1), 231-235.

Ntoulas, N., Papaioannou, G., Bertsouklis, K., & Nektarios, P. A. (2024). Tolerance of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) growing in extensive green roof systems to saline water irrigation with varying leaching fractions. *Land*, *13*(2), 167.

Özyazıcı, M.A., & Açıkbaş, S. (2021). Tuz stresinin koca fiğ (*Vicia narbonensis* L.) bitkisinde çimlenme üzerine etkileri. *2nd International Baku Conference on Scientific Research*, April 28-30, Baku, Azerbaijan, s. 310-317.

Panta, S., Flowers, T., Doyle, R., Lane, P., Haros, G., & Shabala, S. (2018). Temporal changes in soil properties and physiological characteristics of *Atriplex* species and *Medicago arborea* grown in different soil types under saline irrigation. *Plant and Soil*, *432*(1-2), 315-331.

Pérez-Reverón, R., Grattan, S. R., Perdomo-González, A., Pérez-Pérez, J. A., & Díaz-Peña, F. J. (2024). Marginal quality waters: Adequate resources for sustainable forage production in saline soils? *Agricultural Water Management*, *305*, 109142.

Sabzalian, M. R., Dayani, S., Torkian, M., & Leake, J. E. (2018). Comparison of *Distichlis spicata* and *Suaeda aegyptiaca* in response to water salinity: Candidate halophytic species for saline soils remediation. *International Journal of Phytoremediation*, *20*(10), 995-1006.

Shaygan, M., & Baumgartl, T. (2022). Reclamation of salt-affected land: A review. *Soil Systems*, *6*(3), 61.

Shokri, N., Hassani, A., & Sahimi, M. (2024). Multi-scale soil salinization dynamics from global to pore scale: A review. *Reviews of Geophysics*, *62*(4).

Singh, A. (2021). Soil salinization management for sustainable development: A review. *Journal of Environmental Management*, *277*, 111383.

Singh, P., Sharma, S., Nisar, S., & Choudhary, O. P. (2023). Structural stability and organic matter stabilization in soils: Differential impacts of soil salinity and sodicity. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *23*(2), 1751-1773.

Srivastava, R. K., Yetgin, A., & Srivastava, S. (2025). The role of legume roots in carbon sequestration, soil health enhancement, and salinity mitigation under climate change: A comprehensive review. *Soil and Tillage Research*, *253*, 106656.

Su, Z., Liu, X., Wang, Z., & Wang, J. (2024). Biochar effects on salt-affected soil properties and plant productivity: A global meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, *366*, 121653.

Tang, L., Zhan, L., Han, Y., Wang, Z., Dong, L., & Zhang, Z. (2023). Microbial community assembly and functional profiles along the soil-root continuum of salt-tolerant *Suaeda glauca* and *Suaeda salsa*. *Frontiers in Plant Science*, *14*.

Tosto, M. S. L., Araújo, G. G. L. de, Pereira, L. G. R., Carvalho, G. G. P. de, Di Mambro Ribeiro, C. V., & Cirne, L. G. A. (2021). Intake, digestibility, nitrogen balance and performance of crossbreed Boer goats fed with diets containing saltbush (*Atriplex nummularia* L.) and spineless cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Tropical Animal Health and Production*, *53*(3).

Tóth, T. (2022). Review of sodic soil reclamation with a snapshot of current research activity. *Chinese Geographical Science*, *32*(6), 1099-1109.

Waldner, A., Schoenau, J., Willenborg, C., Enns, J., Slind, K., Shaw, L., & Biligetu, B. (2026). Using perennial forage mixtures to reclaim saline land: Establishment success, forage yield, and environmental benefits. *Field Crops Research*, *342*, 110450.

Waldron, B. L., Sagers, J. K., Peel, M. D., Rigby, C. W., Bugbee, B., & Creech, J. E. (2020). Salinity reduces the forage quality of forage kochia: A halophytic Chenopodiaceae shrub. *Rangeland Ecology & Management*, *73*(3), 384-393.

Wang, N., Zhao, Z., Zhang, X., Liu, S., Zhang, K., & Hu, M. (2023). Plant growth, salt removal capacity, and forage nutritive value of the annual euhalophyte *Suaeda salsa* irrigated with saline water. *Frontiers in Plant Science*, *13*.

Wang, Y., Guo, T., Tian, C., Zhang, K., Zhao, Z., Mao, X., & Mai, W. (2025). Effects of root growth on salt leaching and soil structure improvement in saline soils: A case study of *Suaeda salsa*. *Agricultural Water Management*, *314*, 109533.

Xie, W., Shao, P., Zhang, Y., Wei, S., Li, J., Sun, Y., & Zhang, H. (2023). Saline soil organic matter characteristics of aggregate size fractions after amelioration through straw and nitrogen addition. *Land Degradation & Development*, *34*(7), 2098-2109.

Yin, F., & Zhang, F. (2022). Reclamation of abandoned saline-alkali soil increased soil microbial diversity and degradation potential. *Plant and Soil*, *477*(1-2), 521-538.

Yirga, H., Puchala, R., Tsukahara, Y., Tesfai, K., Sahlu, T., Mengistu, U. L., & Goetsch, A. L. (2018). Effects of level of brackish water and salinity on feed intake, digestion, heat energy, ruminal fluid characteristics, and blood constituent levels in growing Boer goat wethers and mature Boer goat and Katahdin sheep wethers. *Small Ruminant Research*, *164*, 70-81.

Zhang, S., Wang, J., Yang, Q., Zhang, E., Shaghaleh, H., AlhajHamoud, Y., & Jin, Q. (2024). Effects of subsurface drainage spacing and organic fertilizer application on alfalfa yield, quality, and coastal saline soil. *Water*, *16*(8), 1144.

Zhang, W., Zhang, W., Zhao, Y., Wang, S., Liu, J., & Li, Y. (2022). Water regime enhances the effects of flue gas desulfurization gypsum on the reclamation of highly saline-sodic soil. *Land Degradation & Development*, *34*(4), 981-991.

Zhao, Y., Zhang, W., Wang, S., Liu, J., Li, Y., & Zhuo, Y. (2020). Effects of soil moisture on the reclamation of sodic soil by flue gas desulfurization gypsum. *Geoderma*, *375*, 114485.

Zhu, D., Sun, L., Mao, L., Li, J., Yan, B., Li, B., & Li, X. (2025). Combined effects of cropping alfalfa (*Medicago sativa* L.) on the soil pore structure, microbial communities and organic carbon fractions in saline soils. *Applied Soil Ecology*, *208*, 105993.

Zhu, G., Liu, J., Wu, H., Zhu, Y., Nimir, N. E. A., & Zhou, G. (2024). The optimum mixed cropping ratio of oat and alfalfa enhanced plant growth, forage yield, and forage quality in saline soil. *Plants*, *13*(21), 3103.

TBMM'NİN 28. YASAMA DÖNEMİNDE GRUBU BULUNAN SİYASİ PARTİLERİN *KURUMSAL TARİHİ: AK PARTİ, CHP VE MHP ÖRNEĞİ*

INSTITUTIONAL HISTORY OF POLITICAL PARTIES WITH PARLIAMENTARY GROUPS IN THE 28th LEGISLATIVE TERM OF THE TBMM: THE CASES OF AK PARTY, CHP AND MHP

Lecturer Dr. Göktuğ ŞEKER
Tunceli Vocational School, Munzur University, Tunceli, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1798-5240

Özet

Modern temsili demokrasilerde toplumsal istek ve beklentileri siyasi sisteme aktaran ve vatandaşla devlet yönetimi arasında koordinasyonu sağlayan yapılar arasında siyasi partiler de bulunmaktadır. Türkiye özelinde farklı tarihsel süreçlerde kurulan partiler sadece seçimlere katılan teşkilatlanmalar olmanın ötesinde dönüşen siyasi ve toplumsal şartlara uyum sağlayarak kurumsal varlıklarını sürdürmektedirler. Parlamentoda grup kurabilmek siyasi partilerin yasama süreçlerindeki etkinliğini, temsil gücünü ve gündem belirleme kapasitesi açısından önemlidir. Siyasi partilerin Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde grup kurabilmesi için ise en az yirmi milletvekili bulunması gerekmektedir. Çalışmanın konusunu Türkiye'de 2023 yılı genel seçimlerinden sonra oluşan TBMM 28. Yasama Dönemi'nde mecliste grubu bulunan partilerden Adalet ve Kalkınma Partisi, Cumhuriyet Halk Partisi ve Milliyetçi Hareket Partisi'nin kurumsal tarihi oluşturmaktadır. Yöntem olarak ise nitel araştırma yöntemleri arasında bulunan doküman incelenmesi kullanılmıştır. Çalışmanın ana veri kaynaklarını YSK ve TBMM verileri, partilerin kurumsal kanalları ile akademik yayınlar oluşturmaktadır. İncelenen partiler kuruluş süreçleri, liderlik yapıları, kongre süreçleri ve incelenen yasama dönemindeki parlamenter konumları çerçevesinde değerlendirilmiştir. CHP Cumhuriyet'in kuruluşuna kadar giden tarihsel kökeni ve geçirdiği dönüşümlerle kurumsal süreklilik sergilemiştir. MHP kapatılma ve yeniden yapılanma süreçleri geçirdiği halde uzun süreli liderlik deneyimiyle kurumsal varlığını devam ettirmektedir. AK Parti ise kuruluşundan kısa süre sonra iktidar partisine dönüşmüştür. 2026 yılına kadar devam eden iktidar konumu siyasi koşullara kurumsal uyum sağlama kapasitesi göstermiştir. 28. Yasama döneminde ise AK Parti en büyük parlamento grubu olma konumunu sürdürmektedir. CHP liderlik değişimi ve 2024 yerel seçimlerindeki başarısıyla dönüşüm yaşamıştır. MHP ise liderlik ve parlamento grubu bakımından istikrarlı yapısını korumaktadır. Neticede elde edilen bulgular Türk siyasetinde kurumsal sürekliliğin tek biçimli süreç olmadığını göstermektedir. Siyasi partilerin tarihsel kökenleri, liderlik yapıları ve uyum kapasiteleri doğrultusunda farklı kurumsal gelişim çizgileri ortaya koyduklarını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: TBMM, Kurumsal Tarih, AK Parti, CHP, MHP

Abstract

In modern representative democracies political parties play a central role in channeling societal demands into the political system and linking citizens with government. In Turkey political parties established in different historical periods have sought to maintain their institutional existence by adapting to changing political and social conditions. The ability to form a parliamentary group is particularly important for parties in terms of legislative effectiveness, representation, and agenda-setting capacity. Under the Rules of Procedure of the Grand National Assembly of Turkey a political party must have at least twenty members of parliament to form a parliamentary group.

This study examines the institutional histories of the AK Party, CHP, MHP which held parliamentary groups during the 28th Legislative Term of the TBMM. Document analysis as a qualitative research method, the study draws on data from the Supreme YSK and the TBMM official party sources and academic literature. The parties are examined in terms of their historical development, leadership structures, party congresses, and parliamentary positions. The findings reveal distinct patterns of institutional development. The CHP has maintained institutional continuity through its historical roots and transformations while the MHP has sustained institutional existence despite periods of dissolution and reorganization supported by long-term leadership continuity. AK Party which became the ruling party shortly after its establishment has demonstrated institutional adaptability to changing political conditions.

During the 28th Legislative Term, the AK Party remained the largest parliamentary group the CHP experienced significant transformation following its leadership change and success in the 2024 local election while the MHP maintained relative stability in its leadership and parliamentary group. Overall, the findings demonstrate that institutional continuity in Turkish politics follows different trajectories shaped by parties historical legacies, leadership structures and capacities for adaptation.
Keywords: TBMM, Corporate History, AK Party, CHP, MHP

Giriş

Demokrasinin temel unsurları arasında yer alan siyasi partilerin Türkiye özelinde parlamentoda grup kurabilmesi için belirli şartları sağlaması gerekmektedir. TBMM İçtüzüğü'nün 18 ile 19. maddeleri göz önüne alındığında minimum yirmi milletvekili bulunan partilere grup statüsü tanımlanmaktadır. Danışma Kurulu'nda ve Başkanlık Divanı'nda temsil, grup önerisi verme ve haftalık grup kürsüsü gibi olanaklarıyla partinin parlamentodaki etkinliğini belirleyen temel kurumsal eşiktir (TBMM İçtüzüğü, md. 18-19). Bundan dolayı TBMM'de grubu bulunan partilerin değerlendirilmesi sadece tekil parti tarihlerinden ziyade Türk parlamento hayatının ve parti sisteminin güncel halinin de açıklanması manasına gelmektedir.

Bu çalışmanın konusunu 14 Mayıs 2023 milletvekili genel seçimleriyle oluşan TBMM'nin 28. Yasama Döneminde grubu bulunan siyasi partilerden Adalet ve Kalkınma Partisi (AK Parti), Cumhuriyet Halk Partisi (CHP) ve Milliyetçi Hareket Partisi (MHP) kurumsal tarihi oluşturmaktadır. İncelenen yasama döneminde parlamentoda grubu bulunan üç siyasi partinin kuruluş süreçleri, kurumsal yapıları ve parlamentodaki konumları bağlamında incelenen çalışmada amaç Türk siyasi parti sisteminin güncel yapısına çıkarımlarda bulunmaktır. AK Parti, CHP ve MHP'nin çalışma kapsamına alınmasında farklı tarihsel dönemlerde ve farklı siyasal gelenekler içerisinde ortaya çıkmalarına rağmen Türk siyasetinde kurumsal süreklilik gösteren ve 28. Yasama Döneminde güçlü parlamenter temsile sahip siyasi aktörler olmaları belirleyici olmuştur. Bu kapsamda çalışma bazı sorulara yanıt aramaktadır. İncelenen partiler hangi tarihsel bağlamlarda ve hangi doğuş örüntüleriyle ortaya çıkmıştır, parti tipolojileri içinde nasıl konumlandırılabilir ve örgütsel modelleri hangi özellikler göstermektedir, Partilerin kurumsallaşma düzeyleri kongre süreçleri, iç krizler ve grup hareketlilikleri karşısındaki dayanıklılıklarını nasıl açıklamaktadır? Çalışmanın yöntemi doküman incelemesine dayalı şekilde yapılmıştır. Veri kaynaklarını ise YSK verileri, TBMM sandalye verileri, parti yayınları, akademik literatür ve basılı haberler oluşturmaktadır. Yasama dönemi devam ettiğinden ötürü çalışmada aktarılan bilgiler Temmuz 2026 başı itibarıyla erişilebilen kaynaklarla oluşturulmuştur.

Akış şeması ise kuramsal arka planı sunan bölüm üç parti incelemesi ve sonuç kısmından oluşmaktadır. İlk kesimde Türkiye'de siyasi partilerin İkinci Meşrutiyet'ten 2026'ya uzanan tarihsel gelişimi özetlenmektedir. Diğer kesimlerde ise 28. Yasama Döneminde grubu bulunan partilerden çalışma kapsamına dahil edilenler incelenmektedir. Sonuç bölümünde de parti bölümlerinin bulguları, kuramsal çerçevede ortaya konan kurumsallaşma ölçütleri ekseninde değerlendirilmektedir.

Türkiye'de Siyasi Partilerin Tarihsel Gelişimi

Türkiye'de siyasi partilerin doğuşu Cumhuriyet'le başlayan olgu olmayıp Osmanlı Devleti'nden devralınan siyasal geleneğin oluşum süreçlerinde aranması gereken gelişmedir. Türkiye'de siyasal partilerin kökenini oluşturan ve ilk siyasal partiler olarak kabul edilen oluşumlar Tanzimat'ın ilanından sonra kurulmuştur. Bugünkü parlamenter düzenlerdeki karşılığıyla ilk siyasal partiler ise ilk seçimlerin yapıldığı Birinci Meşrutiyet'in ardından özellikle de İkinci Meşrutiyet'in ilanını izleyen hızlı cemiyetleşme sürecinde ortaya çıkmıştır (Cansever & Kiriş, 2019: 29).

Erken dönem siyasal hayatını açıklamada literatürde en yaygın kullanılan kuramsal şablon Mardin'in Osmanlı-Türk siyasal yapısını bürokratik merkez ile geleneksel çevre arasındaki gerilim üzerinden okuyan merkez-çevre yaklaşımıdır (Mardin, 2011: 35-77).

Türkiye'deki parti sisteminin temelleri İkinci Meşrutiyet'te atılmıştır. 1908 sonrası dönemin en önemli siyasal örgütü, 1908-1918 arasındaki on yıla damgasını vuran İttihat ve Terakki Cemiyeti'dir. Dönemin muhalefet partisi ise Hürriyet ve İtilâf Fırkası'dır. İttihat ve Terakki ile Hürriyet ve İtilâf arasındaki bölünme modernist-otoriter çizgi ile liberal-muhafazakâr çizgi arasında uzun süreli ve kalıcı politik çatışma hattı yaratmıştır.

Gizli cemiyet olarak kurulan İttihat ve Terakki'nin 1908 seçimleriyle iktidara uzanan dönüşümü Türkiye'de parti örgütlenmesinin ilk kapsamlı deneyimini oluşturmuştur
Milli Mücadele yıllarında partileşme kesintiye uğramış ama siyasal bölünme ortadan kalkmamıştır. Birinci Meclis'teki bölünme siyasal partiler arasında değil gruplar arasında gerçekleşmiştir. İkinci Grup üyeleri Meclis tartışmalarında daha çok bürokratik merkezin otoriter hakimiyetine karşı çevrenin şikayet ve taleplerini dile getirmiştir (Önder, 2019: 511). 1923'te Halk Fırkası'nın kurulmasıyla başlayan dönemde çok partili hayata geçiş yönünde iki deneme yaşanmıştır. Bunlardan ilki olan Terakkiperver Cumhuriyet Fırkası Cumhuriyet tarihinin ilk muhalefet partisi olarak 1924'te kurulmuş ancak kısa süre içinde kapatılmıştır. 1930'da kurulan Serbest Cumhuriyet Fırkası denemesinin de birkaç ay içinde sona ermesiyle birlikte 1945'e kadar sürecek olan tek parti dönemi kesinleşmiştir. Bu dönemde Cumhuriyet Halk Partisi siyasal hayatın belirleyici aktörü olmuştur.
İkinci Dünya Savaşı'nın ardından Türkiye'nin çok partili hayata geçişi iç ve dış dinamiklerin birlikte etkilediği süreç olarak gerçekleşmiştir. Savaş yıllarının ekonomik ve toplumsal koşullarının iktidar üzerinde yarattığı baskı geçişin iç dinamiğini oluştururken savaş sonrasında Sovyetler Birliği'nin Türkiye'den taleplerinin yarattığı güvenlik kaygısı ve Batı ittifakına yönelme ihtiyacı dış dinamiği oluşturmuştur (Dokuyan, 2013: 119-135).
27 Mayıs 1960 müdahalesi Türk parti tarihinde darbelerle kesintiye uğrama biçiminde tekrarlanacak örüntünün başlangıcı olmuştur. 1961 Anayasası'nın ortamında parti yelpazesi genişlemiştir. Türkiye'deki siyasal bölünmeleri 1960'ların ikinci yarısına kadar tek başına belirleyen merkez-çevre çatışması temasına 1960'larda ve özellikle 1970'lerde sınıf, din, etnik kimlik ve ideoloji gibi yeni çatışma unsurları eklenmiş siyasal çatışma temaları çoğullaşmıştır (Önder, 2019: 511). 1970'lerin parçalı parti sistemi, kısa ömürlü koalisyon hükûmetleri ve artan siyasal istikrarsızlıkla birleşerek 12 Eylül 1980 müdahalesine uzanan süreci hazırlamıştır.
12 Eylül 1980 müdahalesi, mevcut tüm siyasi partilerin kapatılması ve siyasal kadroların tasfiyesiyle Türk parti tarihindeki en köklü kesintiyi yaratmıştır. 1983'te yeniden başlayan çok partili hayat, büyük ölçüde yeni kurulan partiler ve yeni siyasal kadrolar üzerinden şekillenmiştir. 1980 sonrası parti sistemi ilk yıllardaki tek parti hükûmetlerinin ardından 1990'larda merkez sağ ve merkez soldaki parçalanmanın derinleşmesiyle yeniden koalisyonlar dönemine girmiştir. 2002 seçimleri parçalı yapıyı sona erdirmiş ve Türkiye kuruluşundan günümüze parti sistemlerinin dönemsel olarak farklılaştığı çizgide yeni evreye, tek partinin uzun süreli seçim üstünlüğüne dayalı olduğu döneme girmiştir. 2017 Anayasa değişikliğiyle kabul edilen ve 2018'de uygulamaya geçen Cumhurbaşkanlığı Hükümet Sistemi ise seçim ittifaklarını parti sisteminin kurucu unsuru haline getirerek partiler arası ilişkileri yeniden biçimlendirmiştir.

Adalet ve Kalkınma Partisi

28. Yasama Döneminde en büyük parlamento grubuna sahip olan Adalet ve Kalkınma Partisi Türk siyasal hayatının çok partili döneminde kesintisiz iktidar süresi bakımından önemli konuma sahiptir. 14 Ağustos 2001'de kurulan ve kuruluşundan yaklaşık on beş ay sonra tek başına iktidara gelen parti 2026 itibarıyla yirmi üç yılı aşkın süredir hükûmet sorumluluğunu taşımaktadır. Bu bölümde AK Parti'nin kuruluşu ve iktidara gelişi, 2023 seçimleriyle başlayan 28. Yasama Dönemindeki konumu, 2025'te gerçekleştirilen 8. Olağan Büyük Kongre ekseninde örgütsel yenilenme süreci ve dönemin ikinci yarısındaki temel siyasal gündemler kurumsal tarih perspektifinden incelenmektedir.
AK Parti, 14 Ağustos 2001 tarihinde Milli Görüş geleneğinden gelen yenilikçi kanadın öncülüğünde Recep Tayyip Erdoğan'ın kurucu genel başkanlığında kurulmuştur. Parti kendisini kuruluşundan itibaren muhafazakâr demokrat kimlikle merkez sağda konumlandırmıştır. Partiyi 3 Kasım 2002 genel seçimlerinde tek başına iktidara gelmiştir.
AK Parti'nin 2002 sonrası kurumsal tarihi, art arda kazanılan genel seçimlerle pekişen konumlanmasının tarihidir. Erdoğan'ın 2014'te halk oyuyla cumhurbaşkanı seçilmesi üzerine dönemin Anayasası'nın cumhurbaşkanının partisiyle ilişiğinin kesilmesini öngören hükmü gereği genel başkanlık önce Ahmet Davutoğlu'na (2014-2016), ardından Binali Yıldırım'a (2016-2017) geçmiştir. 16 Nisan 2017 referandumuyla kabul edilen anayasa değişikliğinin cumhurbaşkanının partili olabilmesine olanak tanımasıyla birlikte Erdoğan Mayıs 2017'de genel başkanlığa dönmüş ve parti ile devlet başkanlığını aynı kişide birleştiren yeni modelin ilk uygulayıcısı olmuştur. Bu dönüşüm, 2018'de fiilen yürürlüğe giren cumhurbaşkanlığı hükûmet sistemiyle kurumsallaşmıştır.

AK Parti, MHP ile kurduğu Cumhur İttifakı üzerinden yeni sistemin siyasal mimarisini şekillendirmiştir. Dikkat çekici olan, Davutoğlu dönemlerinin ardından eski genel başkanın da partiden ayrılması ve Davutoğlu'nun 2019'da Gelecek Partisi'ni kurarak 28. Yasama Döneminde muhalefet saflarında yer almasıdır. Bu durum AK Parti'den kopan kadroların Türk parti sistemindeki yeni oluşumların önemli kaynağı haline geldiğini göstermektedir.

AK Parti, 14 Mayıs 2023 milletvekili genel seçimlerine Cumhur İttifakı'nın merkez bileşeni olarak girmiş ve 268 milletvekili kazanarak TBMM'deki en büyük grup konumunu korumuştur (YSK, 2023). İttifakın toplam sandalye sayısının salt çoğunluğun üzerinde gerçekleşmesi, yasama düzleminde iktidar bloğunun hâkimiyetini sürdürmesini sağlamıştır. 28 Mayıs 2023'te ikinci tura kalan cumhurbaşkanlığı seçimini Genel Başkan Erdoğan'ın kazanması ise yürütme-yasama uyumunu yeniden tesis etmiştir. TBMM Başkanlığına AK Parti'nin adayı Numan Kurtulmuş seçilmiş ve dönem boyunca bu görevi sürdürmüştür. Böylece parti, 28. Yasama Döneminde yürütmeyi, Meclis Başkanlığını ve en büyük parlamento grubunu aynı anda elinde tutan aktör olarak dönemin kurumsal denklemini belirlemiştir. 2024 Yerel Seçimleri AK Parti'nin kuruluşundan itibaren katıldığı seçimlerden birinci parti olan AK Parti bu seçimlerde ülke geneli oy sıralamasında ilk sırayı CHP'ye vermiştir.

Ekim 2024'te belde ve ilçe kongreleriyle başlayan kongre süreci il kongrelerinin tamamlanmasının ardından 23 Şubat 2025'te 8. Olağan Büyük Kongre ile sonuçlanmıştır. Tek aday olarak seçime giren Erdoğan dokuzuncu kez genel başkanlığa seçilmiştir. Aynı oylamayla partinin 75 üyeli Merkez Karar ve Yönetim Kurulu ile Merkez Disiplin Kurulu, Parti İçi Demokrasi Hakem Kurulu ve Siyasi Erdem ve Etik Kurulu belirlenmiştir. Erdoğan kongre konuşmasında "Türkiye Yüzyılı Reform Programı"nı ilan etmiş ve "Terörsüz Türkiye" hedefini geniş tabanlı milli mutabakatın ifadesi olarak sunmuştur (AK Parti, 2025). AK Parti grubu, dönem boyunca yasama gündeminin belirleyicisi olmuştur. Dönemin ikinci yarısına damgasını vuran "Terörsüz Türkiye" sürecinde parti, TBMM bünyesinde kurulan Milli Dayanışma, Kardeşlik ve Demokrasi Komisyonu'nun çalışmalarını yürüten iktidar kanadını temsil etmiştir. Komisyon raporunda öngörülen yasal düzenlemelerin hayata geçirilmesi, TBMM Başkanı Kurtulmuş ile ilgili heyetler arasındaki temasların da konusunu oluşturmuştur.

Dönemin dikkat çekici olgusu muhalefet partilerinden AK Parti'ye yönelen milletvekili geçişleridir. Ocak 2026'da Gelecek Partisi kökenli İsa Mesih Şahin, CHP'den istifa eden Hasan Ufuk Çakır ve Yeni Yol'dan ayrılan İrfan Karatutlu, Haziran 2026'da ise İYİ Parti kökenli Ersin Beyaz ile CHP'den ayrılan Nimet Özdemir AK Parti'ye katılmıştır. AK Parti grubunun dönem içinde seçim sonucunda elde ettiği sandalye sayısının üzerine çıkmasını sağlamış ve partinin Meclis'teki açık ara en büyük grup konumunu tahkim etmiştir. Dış politika düzleminde ise Temmuz 2026'da 36. NATO Devlet ve Hükümet Başkanları Zirvesi'nin Ankara'da, Cumhurbaşkanlığı Külliyesi'nin ev sahipliğinde toplanması Türkiye'nin uluslararası konumunun güçlenmesi açısından önemlidir.

AK Parti'nin çeyrek asra yaklaşan kurumsal tarihi Türk siyasetinde parti-devlet-lider ilişkilerinin dönüşümünü okumak için en verimli gözlem alanını sunmaktadır. Parti 2001'de kuruluş, 2002'de iktidar, 2017 sonrasında ise sistem partisi olarak art arda üç farklı kurumsal evre yaşamıştır. Her evrede örgütsel yapısını yeni koşullara uyarlama kapasitesi göstermiştir. 28. Yasama Dönemi uyarlanma kapasitesinin güncel sınavı olmuştur. 2024 yerel seçimlerinde kurumsal tarihinin ilk ülke çapındaki ikinciliğini yaşayan parti buna teşkilat yenilenmesi ve 8. Olağan Büyük Kongre ile yanıt vermiştir. Eş zamanlı olarak "Terörsüz Türkiye" sürecini ve yeni anayasa gündemini sahiplenerek dönemin dönüştürücü siyasal projelerinin merkezinde konumlanmıştır. Muhalefet saflarındaki kurumsal krizler ve milletvekili geçişleriyle güçlenen parlamenter üstünlüğü partiye dönemin sonunda elverişli konum sağlamış görünmektedir.

Cumhuriyet Halk Partisi

Cumhuriyet Halk Partisi 9 Eylül 1923'te Mustafa Kemal Atatürk tarafından kurulan Cumhuriyet'in kurucu partisi olma vasfını taşıyan ve Türkiye'nin faaliyetteki en eski siyasi partisidir. 28. Yasama Döneminde CHP parti tarihinin en yoğun kurumsal dönüşüm evrelerinden birini yaşamıştır. 2023'te görevdeki genel başkanın kurultayda seçim kaybetmesiyle gerçekleşen liderlik değişimi, 2024'te 1977'den bu yana ilk kez ülke genelinde birinci parti olma başarısı ve 2025-2026'da parti içi seçimlerin yargı denetimine konu olmasıyla derinleşen literatüre "mutlak butlan krizi" olarak geçmeye aday kurumsal meşruiyet çatışması bu dönüşümler arasındadır. CHP'nin kurumsal kimliği birbirini izleyen üç tarihsel katman üzerine şekillenmektedir.

Birinci katman, 1923-1950 arasındaki kurucu ve tek parti dönemi mirasıdır. Cumhuriyet'in kuruluş devrimlerini gerçekleştiren kadro partisi kimliği partinin "altı ok" ile simgelenen ilkelerinde somutlaşmıştır. İkinci katman 1950'de çok partili hayata geçişle birlikte başlayan muhalefet deneyimi ve 1960'ların ikinci yarısından itibaren "ortanın solu" açılımıyla şekillenen 1970'lerde sosyal demokrat kimliğe evrilen ideolojik dönüşümdür. Üçüncü katman ise 12 Eylül 1980 askerî müdahalesiyle kapatılan partinin siyasi partilerin yeniden açılmasına olanak tanıyan yasal düzenlemenin ardından 1992'de tüzel kişiliğini ihya etmesiyle başlayan ve sosyal demokrat geleneğin CHP çatısı altında yeniden toplanmasıyla süren dönemdir.

Parti 14 Mayıs 2023 milletvekili genel seçimlerine altı partili Millet İttifakı'nın merkez bileşeni olarak girmiştir. İttifak gereği DEVA, Gelecek, Saadet ve Demokrat Parti adayları CHP listelerinden yarışmıştır. Sonuçlara göre Millet İttifakı 212 milletvekili kazanmıştır. Bunun 43'ü İYİ Parti listelerinden kalan 169'u CHP listelerinden seçilmiştir; CHP listelerinden seçilenlerin 38'i ise ortak partilerin mensuplarıdır (YSK, 2023). Bu emanet liste pratiği, dönemin ilerleyen aylarında söz konusu milletvekillerinin kendi partilerine dönmesiyle Meclis aritmetiğini yeniden şekillendirmiş ve 28. Yasama Dönemi boyunca sürecek yoğun parti değiştirme hareketliliğinin başlangıç koşulunu oluşturmuştur. Cumhurbaşkanlığı seçiminin 28 Mayıs 2023'teki ikinci turunda ittifakın adayı olan CHP Genel Başkanı Kemal Kılıçdaroğlu'nun kaybetmesi, parti içinde değişim fikirlerini öne çıkartmıştır. Seçimin ardından İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanı Ekrem İmamoğlu'nun öncülüğünde başlayan "değişim" hareketi, kurultay sürecinde TBMM Grup Başkanı ve Manisa Milletvekili Özgür Özel'in adaylığında somutlaşmıştır. 4-5 Kasım 2023 tarihlerinde Ankara Spor Salonu'nda toplanan 38. Olağan Kurultay'da, 1.368 delegenin oy kullandığı seçimi Özel kazanmıştır. Kılıçdaroğlu'nun 13 yıllık genel başkanlığı sona ermiş ve parti tarihinde ilk kez görevdeki genel başkan kurultayda aday olup seçimi kaybederek makamını devretmiştir. Bu sonuç CHP açısından değil lider değişiminin olağan kurultay yarışıyla gerçekleşmesinin az olduğu Türk parti sistemi açısından da kayda değer parti içi demokrasi vakasıdır.

Özel liderliğindeki CHP'nin girdiği ilk seçim olan 31 Mart 2024 mahalli idareler seçimleri, partiye başarı getirmiştir. CHP 81 il merkezinin 35'ini kazanmış ve 1977'den bu yana ilk kez ülke genelindeki oy sıralamasında birinci parti olmuştur. Ayrıca Bursa, Balıkesir, Manisa, Adıyaman, Kırıkkale, Kilis ve Denizli gibi uzun yıllardır iktidar partisinin yönetimindeki illerde de belediye başkanlıkları kazanmıştır. 2025 yılı, partinin kurumsal gündeminin yargı süreçleriyle iç içe geçtiği bir evre olmuştur. 2023 kurultayında delege iradesinin usulsüz biçimde etkilendiği iddialarıyla açılan soruşturma ve dava süreci partinin liderlik seçiminin hukuki geçerliliğini tartışmaya açmıştır. 28. Yasama Döneminin CHP açısından önemli bir kurumsal sınavı 2026 yılının Mayıs ayında mahkemenin 38. Olağan Kurultay'ı "mutlak butlan" ile hükümsüz saymasıyla başlamıştır. Karar uyarınca Özel'in genel başkanlığı yok hükmünde kabul edilmiş ve Kemal Kılıçdaroğlu mahkeme kararıyla genel başkanlık görevine getirilmiştir. Bu gelişme partiyi fiilen iki merkezli yapıya dönüştürmüştür. CHP'nin 28. Yasama Dönemindeki kurumsal tarihi, çarpıcı salınım sergilemektedir. Parti dönemin başında parti içi demokrasi örneği vererek liderliğini kurultay yarışıyla değiştirmiştir. Değişimin ardından seçmen desteğini arttırmıştır. Dönemin sonunda liderlik seçiminin yargı kararıyla hükümsüz sayılması sonucu yönetimin kim olduğu sorusunun tartışmalı duruma geldiği kurumsal yapı oluşmuştur.

Milliyetçi Hareket Partisi

28. Yasama Döneminde grubu bulunan siyasi partiler arasında Milliyetçi Hareket Partisi kesintiler ve isim değişiklikleriyle birlikte yarım asrı aşan geçmişiyle en köklü kurumsal geleneği temsil etmektedir. 1969'da kurulan 12 Eylül 1980 askeri müdahalesinin ardından kapatılan 1990'larda tüzel kişiliğini yeniden inşa eden ve 2018'den bu yana Cumhur İttifakı'nın kurucu ortağı olarak Türkiye'nin yönetim denkleminde yer alan parti muhalefetten koalisyon ortaklığına baraj altında kalmaktan iktidar bloğunun taşıyıcı unsuru olmaya uzanan kurumsal yörünge çizmiştir. Bu bölümde MHP'nin kuruluşu ve tarihsel evrimi, liderlik yapısı, seçim performansı ile 28. Yasama Dönemindeki parlamenter konumu ve "Terörsüz Türkiye" sürecindeki belirleyici rolü incelenmektedir.

MHP, 9 Şubat 1969 tarihinde Cumhuriyetçi Köylü Millet Partisi'nin 1965'ten beri genel başkanlığını yürüten emekli kurmay albay Alparslan Türkeş'in liderliğinde kurulmuştur. Parti fiilen CKMP'nin isim ve kimlik değişikliğiyle ortaya çıkmıştır. Üç hilal partinin simgesi olarak benimsenmiştir.

Türk milliyetçiliğini ve "Dokuz Işık" doktrinini ideolojik merkezine yerleştiren parti 1970'lerin koalisyon hükümetlerinde yer almıştır. Ülkücü hareketin siyasal temsilcisi olarak dönemin kutuplaşmış siyasetinin başat aktörlerinden olmuştur. 12 Eylül 1980 askeri müdahalesi MHP'nin de kapatılmasıyla sonuçlanmıştır. Gelenek, siyasi yasakların azalmasıyla Milliyetçi Çalışma Partisi çatısı altında yeniden teşkilatlanmıştır. 27 Aralık 1992'de toplanan MÇP Kurultayı'nın ardından 24 Ocak 1993 tarihli olağanüstü kongreyle partinin adı yeniden Milliyetçi Hareket Partisi olarak değiştirilmiştir.

Kurucu Genel Başkan Alparslan Türkeş'in 1997'deki vefatı parti tarihinin ilk ve bugüne kadarki tek liderlik geçişini gündeme getirmiştir. 18 Mayıs 1997'de toplanan kongrede altı adayın yarıştığı seçim sürecinin sonunda Gazi Üniversitesi kökenli iktisatçı akademisyen Devlet Bahçeli genel başkanlığa seçilmiştir. Bahçeli liderliğindeki MHP 1999 genel seçimlerinin ardından DSP ve ANAP ile kurulan koalisyon hükûmetinin ortağı olmuştur. Bahçeli 1999-2002 yılları arasında başbakan yardımcılığı görevini üstlenmiştir. Bahçeli'nin talebiyle Temmuz 2002'de alınan erken seçim kararının ardından yapılan 3 Kasım 2002 seçimlerinde parti %8,3 oyla baraj altında kalarak parlamento dışına düşmüştür. Bahçeli sorumluluğu üstlenerek istifa etmiş, ancak 2003'te toplanan olağanüstü kurultayda yeniden genel başkan seçilmiştir

Parti Haziran 2015 seçimlerinde 80, seçimlerin yenilendiği Kasım 2015'te ise 40 milletvekili çıkarmıştır (YSK, 2015). Kasım 2015 sonuçlarının ardından Meral Akşener, Sinan Oğan ve Koray Aydın'ın başını çektiği parti içi muhalefet olağanüstü kurultay talebiyle harekete geçmiştir. Yargı kararlarıyla toplanan tüzük kurultayında yapılan değişikliklere rağmen seçimli kongrenin Yüksek Seçim Kurulu tarafından iptal edilmesi ve muhalif isimlerin disiplin süreçleriyle partiden ihracı bu kanadın 2017'de İYİ Parti'yi kurmasıyla sonuçlanmıştır. Aynı dönemde MHP'nin 2017 anayasa değişikliği referandumunda "Evet" tutumu benimsemesi, partiyi cumhurbaşkanlığı hükümet sistemine geçişin belirleyici aktörlerinden biri haline getirmiştir.

2018 genel seçimlerine AK Parti ile kurduğu Cumhur İttifakı'nın ortağı olarak giren MHP 49 milletvekili kazanmış ve cumhurbaşkanlığı seçiminde aday çıkarmayarak Recep Tayyip Erdoğan'ı desteklemiştir (YSK, 2018). Bu tercih, partinin 2002 sonrasında izlediği muhalefet çizgisinden iktidar bloğu ortaklığına geçişini kalıcılaştırmıştır. 14 Mayıs 2023 seçimlerinde Cumhur İttifakı içinde kendi listeleriyle yarışan parti, 50 milletvekili çıkararak 28. Yasama Döneminde TBMM'nin dördüncü büyük grubunu oluşturmuştur (YSK, 2023). Seçim öncesinde açıklanan aday listesinde mevcut 48 milletvekilinden 43'ünün yeniden aday gösterilmesi, parlamenter kadroda yüksek bir süreklilik tercihine işaret etmektedir.

MHP'nin merkez teşkilatlanmasını Büyük Kurultay, Genel Başkan, Başkanlık Divanı, Merkez Yönetim Kurulu ve Merkez Disiplin Kurulu oluşturmaktadır (MHP, 2026). Bahçeli'nin 1997'den 2026'ya süren genel başkanlığı Türk parti sisteminde liderlik sürekliliğinin en uzun soluklu örneklerinden birini teşkil etmektedir.

28. Yasama Dönemine 50 milletvekiliyle başlayan parti dönem içindeki üyelik hareketleri yaşamıştır. Kocaeli Milletvekili Saffet Sancaklı 2023'te partisinden istifa etmiştir. Sonrasında 15 Nisan 2024'te tekrardan partisine dönmüştür. 20 Kasım 2024'te Isparta Milletvekili Hasan Basri Sönmez, Bolu Milletvekili İsmail Akgül ve Kilis Milletvekili Mustafa Demir'in istifaları kabul edilmiş, 12 Mart 2026'da ise Aksaray Milletvekili Ramazan Kaşlı istifa etmiştir. Temmuz 2026 itibarıyla 46 milletvekiliyle grubunu sürdürmektedir. Diğer muhalefet gruplarıyla mukayese edildiğinde MHP grubunun görece istikrarı partinin sıkı disiplin geleneğinin parlamenter düzeydeki yansıması olarak görülmektedir. Dönemdeki ayrılıkların bir kısmı da istifa değil istifaların istenmesi biçiminde gerçekleşmiştir.

Partinin kurumsal tarihi Türk sağının en köklü teşkilat geleneklerinden birinin uyarlanma kapasitesini ortaya koymaktadır. Parti kapatılma, baraj altında kalma ve iç ayrılıklar gibi önemli krizleri aşarak varlığını sürdürmüştür. 2017 sonrasında sistem değişikliğinin ve iktidar mimarisinin kurucu ortağı konumuna yükselmiştir. 28. Yasama Dönemi ise parti açısından çifte paradoksa sahne olmuştur. Parlamentodaki dördüncü büyük grup olan parti sayısal ağırlığının çok ötesinde politik etki üretmektedir.

Sonuç

Çalışma kapsamında 2023 genel seçimlerinin ardından kurulan 28. Yasama Döneminde grubu bulunan partilerden AK Parti, CHP ve MHP'nin kurumsal tarihi doküman incelemesine dayalı olarak değerlendirilmiştir. İncelenen siyasi partilerin kuruluş süreçleri, ideolojik ve teşkilat yapıları, liderlik tarzları, kongre ve kurultay pratikleriyle parlamento gruplarının dönem içindeki seyri birlikte ele alındığında ulaşılan bulgulardan biri Türk siyasetinde kurumsal sürekliliğin tek biçimli süreç olmadığıdır. Süreklilik her parti bakımından farklı kaynaklardan beslenmektedir buna bağlı olarak birbirinden farklı kırılganlıklar üretmektedir.

CHP milli mücadeleyi yürüten meclis çoğunluğunun partileşmesiyle ortaya çıkmış ve parlamento içi doğuşun yanı sıra devletin kurucu kadrosuyla özdeşleşen köken meşruiyeti edinmiştir. MHP 1969'da mevcut tüzel kişiliğin ad ve kimlik değişimiyle dönüşmesi yoluyla yani parlamento dışındaki ideolojik hareketin hazır örgütsel kabuk üzerinden siyasallaşmasıyla kurulmuştur. AK Parti ise Milli Görüş geleneği içindeki yenilikçi kanadın ayrışmasıyla bölünme yoluyla doğmuştur. Parti tipolojisi ve örgütsel model bakımından ise şu tablo ortaya çıkmaktadır. CHP tek parti döneminin kadro partisi kimliğinden çok partili hayatla birlikte kitle partisine 1960'ların ikinci yarısından itibaren de programatik olarak sosyal demokrat çizgiye evrilmiştir. Teşkilat işleyişi delege ve kurultay mekanizmalarının belirleyici olduğu yapıya oturmuştur. MHP kimlik ve ideoloji temelli hareket partisi niteliğini korumuştur. Teşkilat disiplininin ve lider otoritesinin yüksekliği partinin ayırt edici örgütsel özelliği haline gelmiştir. AK Parti muhafazakar demokrat kimlikle merkez sağda konumlanan geniş tabanlı seçmen partisi olarak kurulmuştur. 2017 sonrasında parti genel başkanlığıyla devlet başkanlığının aynı kişide birleşmesiyle birlikte sistemin kurucu partisi niteliği kazanmıştır. Farklı geleneklerden gelmelerine karşın üç partide de genel başkanlık makamının örgütsel ağırlığının belirleyici olması lider merkezli teşkilatlanmanın Türk siyasetinde örüntü olarak yeniden üretildiğini göstermektedir.

Bu bulgular liderlik sürekliliği ile kurumsallaşmanın örtüşen kavramlar olmadığını göstermektedir. MHP ve AK Parti örneklerinde uzun süreli liderlik teşkilat dayanıklılığı ve karar alma kapasitesini güçlendirmektedir. Kurumsallaşmanın partiyi kurucu ya da mevcut liderden bağımsızlaştıran boyutunu sınırlamaktadır. CHP kural temelli ve rekabetçi lider değişimi gerçekleşmiştir. Bu değişimin hukuki geçerliliğinin tartışmaya açılması partinin karar mekanizmalarının bağlayıcılığını zayıflatmıştır. Kurumsallaşma tek ölçüte değil kuralların istikrarı karar süreçlerinin öngörülebilirliği, örgütün liderden özerkliği ve kriz sonrası kendini yeniden üretebilme kapasitesi gibi birbirinden ayrışabilen boyutlara dayanan çok katmanlı olgu olarak değerlendirilmelidir. Dönemin diğer olgusu parlamento gruplarının seçim sonuçlarıyla sabitlenmeyip dönem içinde yeniden şekillenmesidir. Terörsüz Türkiye süreci ve yeni anayasa gündemi ise partileri yalnızca sandalye sayılarıyla değil uzlaşı üretme kapasiteleriyle de sınayan çerçeve oluşturmuştur. MHP örneği dördüncü büyük grup olmasına karşın sayısal ağırlığının ötesinde siyasal etki üretilebildiğini göstermektedir. Sonuç olarak incelenen üç parti Türk siyasetinde kurumsal sürekliliğin üç farklı yapısını temsil etmektedir. Türk parti sisteminin güncel yapısı bu üç yapının kesiştiği sürekliliğin kurumsal kurallardan çok liderlik ve ittifak ilişkileri üzerinden sağlandığı görünüm sunmaktadır. Çalışmanın bulguları yasama dönemi devam ettiğinden Temmuz 2026 başı itibarıyla erişilebilen kaynaklarla sınırlıdır ve doküman incelemesinin doğası gereği partilerin resmi ve kamuya açık kayıtlarına dayanmaktadır.

Kaynakça

Adalet ve Kalkınma Partisi. (2025, 23 Şubat). Cumhurbaşkanımız ve Genel Başkanımız Erdoğan, Partimizin 8. Olağan Büyük Kongresi'nde konuştu. https://www.akparti.org.tr/haberler/cumhurbaskanimiz-ve-genel-baskanimiz-erdogan-partimizin-8-olagan-buyuk-kongresi-nde-konustu-23-02-2025-13-21-43/

Cansever, N., & Kiriş, H. M. (2019). Osmanlı Devleti'nde son dönem siyasal hareketler, partileşme ve ideolojik arka plan. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 35*, 29–51.

Dokuyan, S. (2013). İkinci Dünya Savaşı sonrasında Sovyetler Birliği'nin Türkiye'den istekleri. *Cumhuriyet Tarihi Araştırmaları Dergisi, 9*(18), 119–135.

Mardin, Ş. (2011). Türk siyasasını açıklayabilecek bir anahtar: Merkez-çevre ilişkileri. İçinde M. Türköne & T. Önder (Der.), *Türkiye'de toplum ve siyaset: Makaleler 1* (18. bs., ss. 35–77). İletişim Yayınları.

Milliyetçi Hareket Partisi *Kadrolar*. Erişim tarihi: 13 Haziran 2026, https://www.mhp.org.tr

Önder, T. (2019). Türkiye'de parti sistemi: Tarihsel bir analiz. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 21*(3), 511–534.

Türkiye Büyük Millet Meclisi. (1973). *Türkiye Büyük Millet Meclisi İçtüzüğü* (md. 18–19).

Yüksek Seçim Kurulu. (2015). *1 Kasım 2015 tarihinde yapılan 26. Dönem Milletvekili Genel Seçimi kesin sonuçları*.

Yüksek Seçim Kurulu. (2018). *24 Haziran 2018 Cumhurbaşkanı Seçimi ve 27. Dönem Milletvekili Genel Seçimi kesin sonuçları*. *Resmî Gazete*, 4 Temmuz 2018.

Yüksek Seçim Kurulu. (2023). *14 Mayıs 2023 tarihinde yapılan 28. Dönem Milletvekili Genel Seçimi kesin sonuçları*. *Resmî Gazete*, 1 Haziran 2023.

TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ POLİTİKALARI BAĞLAMINDA DIŞA BAĞIMLILIK VE ARZ GÜVENLİĞİ: ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ ROLÜ

EXTERNAL DEPENDENCY AND SUPPLY SECURITY IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE ENERGY POLICIES IN TURKEY: THE ROLE OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

Prof. Dr. Burcu GÜVENEK
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7159-2555

Prof. Dr. Zeynep KARAÇOR
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2050-644X

Özet

Enerji, ekonomik büyümenin sürdürülebilmesi, sanayinin rekabet gücünün korunması ve toplumsal refahın sağlanması açısından gerekli araçlardan ve üretim faaliyetlerinin temel girdilerinden biridir. Bu nedenle artan nüfus ve ekonomik gelişmeye paralel olarak enerji gereksiniminin güvenilir, verimli ve düşük maliyetlerle sağlanması büyük önem taşımaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin enerjiye olan ihtiyacı oldukça yüksektir. Ancak gelişmekte olan ülkeler enerjiye doğal kaynak olarak sahip değillerse bu ihtiyaçlarını ithalat yoluyla gidermektedirler ve zamanla ihracatçı ülkeye bir bağımlılık hissetmeye başlarlar. Aynı zamanda bu bağımlılık sonucu gelişmekte olan ülkeler ekonomik olarak daha kırılgan bir yapıya sahip olmaktadırlar. Enerjide dışa bağımlılık beraberinde enerji arz güvenliği sorununu getirmektedir. Özellikle 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizleri sonucunda petrol fiyatlarının hızlı ve önlenemez yükselişi, enerji arz güvenliği kavramının önemini daha da artırmıştır. Bu yıllardan sonra ülkeler enerji arz güvenliğini elde etmek için enerji kaynaklarında çeşitlendirmeye yönelmiş ve enerji politikalarının sürdürülebilir olması yönünde eğilimler sergilemişlerdir. Enerji kaynaklarına doğal kaynak olarak sahip olmayan ülkelerde bu eğilim çok daha fazla olmuştur. Türkiye hem gelişmekte olan bir ekonomi olması hem de fosil kaynak rezervlerine sahip olmayan bir ülke olması sebebiyle enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan bir ülke konumundadır. Bu yüzden Türkiye'nin coğrafik olarak yüksek potansiyel barındırdığı alternatif enerji kaynaklarına yönelmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma, Türkiye'nin enerji dışa bağımlılığını ve arz güvenliği sorununu sürdürülebilir enerji politikaları bağlamında değerlendirmekte ve alternatif enerji kaynaklarının Türkiye'nin enerji güvenliğine katkısını analiz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji güvenliği, enerjide dışa bağımlılık, sürdürülebilirlik, enerji politikaları, Türkiye'de enerji politikaları uygulamaları.

Abstract

Energy is one of the necessary instruments for sustaining economic growth, maintaining the competitiveness of industry, and ensuring social welfare, as well as one of the fundamental inputs of production activities. Therefore, it is of great importance to meet energy needs in a reliable, efficient, and low-cost manner in parallel with increasing population and economic development. Developing countries, in particular, have a considerable need for energy. However, if developing countries do not possess energy resources as natural resources, they meet their energy needs through imports and gradually become dependent on exporting countries. At the same time, as a result of this dependence, developing countries become economically more vulnerable. External dependence on energy also brings about energy supply security problems. Particularly as a result of the oil crises experienced in the 1970s, the rapid and uncontrollable increase in oil prices further increased the importance of the concept of energy supply security. Following these years, countries turned toward diversifying their energy resources in order to ensure energy supply security and began to adopt policies aimed at making their energy policies more sustainable. This tendency has been much stronger in countries that do not possess energy resources as natural resources.

Turkey is a country with a high level of external energy dependence, both because it is a developing economy and because it does not possess significant fossil fuel reserves. Therefore, it is highly important for Turkey to turn toward alternative energy resources, for which the country has considerable geographical potential. This study evaluates Turkey's external energy dependence and energy supply security problem within the framework of sustainable energy policies and analyzes the contribution of alternative energy resources to Turkey's energy security.
Keywords: Energy security, energy dependence, sustainability, energy policy practices in Turkey.

Giriş

Ülkelerin sahip oldukları doğal kaynaklarına bağlı olarak çeşitlilik gösteren ve ekonomik gelişme seviyelerine göre bazı işlemden geçmiş biçimlerine rastlanan enerji kaynakları pek çok şekilde bölümlemelere konu olmaktadır. Bu bölümlemelerden en çok kullanılanı birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak yapılan ayrımdır (Berberoğlu, 1982). Birincil enerji kaynakları bir kez kullanılan ve tükenen tükendikçe de yenilenmesi mümkün olmayan kaynaklarken, ikincil enerji kaynakları birincil enerji kaynaklarından üretilen enerji kaynaklarıdır.

Ülkelerin enerji kaynaklarına doğal kaynak olarak sahip olup olmamaları ve gelişmişlik düzeylerine bağlı olarak enerjiyi elde ediş biçimleri çeşitlilik göstermektedir. Çoğunlukla Ortadoğu ülkeleri fosil kaynaklara doğal kaynak olarak sahip olduklarından dolayı enerji ihracatçısı konumundadırlar. Birçok gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler ise fosil kaynaklara doğal kaynak olarak sahip değildirler ve enerji ithalatçısı konumundadırlar. Enerji kaynaklarının belli bölgelerde toplanması burada bulunan ülkeleri uluslar arası düzeyde söz sahibi yapmaktadır. Dünyada ülkeler arası dengeler bile ağırlıklı olarak enerji kaynaklarına sahip olup olmama durumuna göre şekillenmektedir.

Ülkeler ekonomik büyümelerinde bir yavaşlama veya duraklama yaşamamak için üretim ve tüketim değerlerinde bir azalma meydana gelmeden kesintisiz enerji elde etmek isterler. Bu hususta enerji arz güvenliği kavramı dikkat çekmektedir. Enerji arz güvenliğini garanti altına almak ve uluslar arası enerji rekabetinde sürdürülebilir bir konuma sahip olmak ülkelerin başlıca hedefleri arasında yer almaktadır.

Türkiye fosil kaynaklara doğal kaynak olarak sahip olan bir coğrafyada yer almamaktadır. Dünya'da linyit rezervleri bakımından üst sıralarda yer alsa dahi, Türkiye yerli ve milli kaynaklarla enerji üretimi sağlayarak kendi kendine yetebilen bir ülke değildir. Türkiye son yıllarda yenilenebilir kaynaklara yönelerek özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımlarını artırmaktadır. Buna rağmen enerji tüketiminin yalnızca dörtte birini yerli kaynaklar ile karşılayabildiği gerçeği dikkatlerden kaçmamalıdır. Bu bağlamda Türkiye, enerji bakımından büyük ölçüde dışa bağımlılığı olan bir ülke konumunda bulunmaktadır. Bu bağımlılık ülkenin enerji talebi ve üretimi arasındaki farka bağlı olarak artış göstermektedir. Bu sebeple dışardan sağlanan enerjinin güvenliğini sağlamak ülkemiz açısından büyük önem taşımaktadır.

Türkiye coğrafi konumu itibariyle dünyadaki petrol ve doğalgaz rezervlerinin yaklaşık üçte ikisine sahip olan Orta Doğu ve Eski Sovyetler Birliği ülkeleri ile enerji ihtiyacının üçte ikisini bu kaynaklardan sağlamayı planlamış olan Avrupa ülkeleri arasında bulunmaktadır. Bu konumun Türkiye açısından hem avantajları hem de dezavantajları bulunmaktadır. Ülkenin doğusunda bulunan ülkelerin kaynak bakımından zengin olmaları bu ülkelerin ekonomik ve politik bakımdan istikrarsız olmalarına sebep olmakta bu da ülke güvenliği açısından bir risk unsuru yaratmaktadır. Ancak diğer taraftan Avrupa ülkelerinin bu kaynaklara duyduğu ihtiyaç ülkemizi konumu itibariyle güçlü hale getirmekte, bu kaynakların geçişini sağlayacak transit hatlardan biri olmamız kaynakların güvenliğini sağlamak zorunda olan Avrupa ülkelerinin ülkemiz ile olan ilişkilerini güçlendirmekte bu konuda ülkemize avantaj sağlamaktadır (Selçuk, 2006).

Türkiye'de Enerjide Dışa Bağımlılık Sorunu

Enerjiye erişim olmaması veya yeterli erişim olmaması ya da enerjiye ulaşılmasına karşın enerji kaynaklarından yeterince faydalanılamaması durumunda "Enerji Yoksulluğundan" söz edilmektedir. Gelişmiş ekonomilerde enerjiye ulaşım sorunu yok denecek kadar az olduğundan dolayı enerji yoksulluğu ise az gelişmiş veya gelişmekte olan ekonomilerde tanımlanan bir kavramdır. Enerjinin ekonomik olmaması durumunda da enerji yoksulluğundan söz edilebilmektedir.

Artan büyüme oranlarına bağlı olarak özellikle gelişmekte olan ülkelerde enerjiye olan ihtiyaçta artmaktadır.

Bu ihtiyacı yerli ve milli kaynakları ile karşılayamayan veya yetersiz kalan ülkeler diğer ülkelerden enerji ithal etmeye başlarlar. Bu şekilde diğer ülke kaynaklarına bağlı olarak enerji talebinin karşılanması durumu enerjide dışa bağımlılık kavramına karşılık gelmektedir.
Türkiye pek çok gelişmekte olan ülkede olduğu gibi yıllardır enerji kaynaklarında ürettiğinden daha çok tüketen bir ülke olmasıyla dikkat çekmektedir. Türkiye'nin enerji kaynakları açısından en önemli yapısal sorunlarından biri, petrol ve doğal gaz başta olmak üzere fosil yakıt ithalatına olan yüksek bağımlılıktır. Enerji talebini yerli enerji üretimi ile karşılayamamakta ve bu farkı dışarıdan ithalat yardımıyla gidermektedir.
Türkiye'de özellikle 1980 sonrası dönemde tarıma dayalı ekonomik yapı terk edilerek daha çok sanayi ve hizmet sektörü ağırlıklı bir ekonomik yapıya geçilmiş, bunun etkisiyle ekonomik ve sosyal kalkınma oranında artış görülürken enerji talebinin de artması söz konusu olmuştur. Enerji ihtiyacının artış göstermesine rağmen fosil enerji kaynakları açısından zengin olunmamasından dolayı bu talebin büyük kısmını dışarıdan karşılayan ülkemiz enerjide dışa bağımlılığı oldukça yüksek olan bir ülke konumuna gelmiştir. Günümüzde Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılık oranı %60-70'lerde seyretmektedir. 2024 yılında Türkiye'nin toplam birincil enerji arzı 165,2 milyon TEP olurken, yerli kaynakların toplam enerji arzındaki payı yaklaşık %33 düzeyinde kalmıştır. Aynı yıl petrol arzı 48,2 milyon TEP, doğal gaz arzı ise 43,9 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Yenilenebilir enerji arzı ise 30,8 milyon TEP düzeyine ulaşmıştır. (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı).
Türkiye artan nüfusunun yanı sıra gelişmekte olan bir ülke olması sebebiyle artan enerji talebini yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılama konusunda yetersiz kalmaktadır. Türkiye'nin %60-70'lerde olan enerjide dışa bağımlılığı göz önüne alındığında alternatif kaynaklara yönelmenin önemi daha da dikkat çekici olmaktadır. Son yıllarda bu hususa daha fazla dikkat etmeye başlayan Türkiye uzun yıllarda sadece yenilenebilir kaynak olarak yararlandığı hidroelektriğin yanı sıra jeotermal, güneş, rüzgâr gibi kaynaklara olan yatırımlarını da artırarak kaynak çeşitliliğine gitmeye başlamıştır. Ancak şu an için bu kaynaklar enerji talebinin yaklaşık olarak %30'luk kısmını karşılayabilmektedir.

Enerji Arz Güvenliği ve Türkiye

Enerji arz güvenliği, dışarıdan temin edilen enerjinin söz konusu olduğu durumda, güvenilir yani bir başka ifade ile kesintisiz, temiz, uygun fiyatlı olarak enerji talebinin uygun miktarda devamlı karşılanabilmesidir. İthalat yolu ile enerjinin karşılanması sonucu ortaya çıkan enerji arz güvenliği kavramı devlet ekonomilerinin ödemeler dengesi üzerinde de oldukça baskı yaratmaktadır.
Soğuk Savaş dönemi sonrasına denk gelen süreçte meydana çıkan yeni güvenlik tehditleri olarak enerji güvenliği, uluslar arası ilişkilerde yaşanan değişime paralel olarak, enerji sektöründe olumlu yönde yaşanan yapısal değişiklikler ile beraber devletlerin ve uluslar arası örgütlerin dış politika kararlarında önemli bir konu olmuştur (Şöhret, 2015).
1960 yılında kurulan OPEC enerji arz güvenliği kavramıyla birebir ilişki içindedir. OPEC petrol şirketlerinin fiyatlarını sabit tutarak fiyat dalgalanmalarının ve üretici ülkeye danışmadan fiyat değişikliği yapmanın önüne geçmeyi amaçlayarak enerji arz güvenliğini sağlamayı amaçlayan bir örgüttür.
1970'li yıllara denk gelen petrol krizi ile beraber enerjide güvensizlik dönemi başlamış ve enerji güvenliği kavramı daha da önemli bir konu haline gelmiştir. Enerji arz güvenliğinin günümüzde ki kullanımı ise 2001 yılında Avrupa Birliği'nin ilgili komisyonu tarafından hazırlanmış olan "Enerji Arz Güvenliği İçin Bir Avrupa Stratejisine Doğru" isimli çalışma ile ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada enerji arz güvenliği, tüm toplumun iyi olması, ekonomik alanda istikrarın sağlanabilmesi adına devam eden kalkınma hedefleri doğrultusunda tüm son kullanıcılar için fiyat değişikliklerine bağlı kalmadan enerji pazarına aralıksız olarak fiziki erişim sağlayabilmek şeklinde tanımlanmıştır (Çetinkaya, 2019).
Yaşanan petrol krizleri dolayısıyla enerji arz güvenliği kavramının gündeme gelmesi sonucu bazı önlemler alınması ihtiyacı duyulmuştur. Bu önlemler kapsamında 1974 yılında Uluslararası Enerji Ajanası (IEA)'nın kurulması yer almaktadır. Aynı zamanda devletler enerji verimliliğini artırmak, enerji kaynaklarını çeşitlendirmek, enerjiyi depolamak, enerji tasarruf teşvikleri, enerji yatırımlarını artırmak gibi önlemlerde almaktadırlar.
Ülkelerde temiz, güvenilir, kesintisiz ve uygun fiyatlı enerji sunmak elbette ki yönetimde söz sahibi olan kişilerin sorumluluğundadır.

Ülke yönetimindeki kişiler değiştikçe uygulanan politikalarda değişiklik gösterebilmektedir. Enerji politikaları belirlenirken dikkat edilen en önemli unsurlar ekonominin genel durumu, ithalat, ihracat, nüfus, teknolojik gelişmeler ve tüketicilerin tercihleri şeklinde sayılabilir.
Türkiye enerji politikalarını belirlerken yetersiz rezerv miktarını göz önünde bulundurarak stratejik konumu üzerinden politika belirleme yoluna gitmektedir. Türkiye doğusunda enerji ihracatçısı ülkeler, batısında ise enerji ithalatçısı ülkeler bulunan önemli bir konumda yer almaktadır. Ülkeler aralarında enerji ticaretini gerçekleştirebilmek için Türkiye üzerinden bir geçiş yolu çizmektedirler. Bu şekilde Türkiye'de enerji kaynaklarının çeşitliliği artarken aynı zamanda belli anlaşmalar ile bu ticaret gerçekleştiği için fiyat avantajları da elde edebilmektedir.

Sonuç

Enerji, üretim faaliyetlerinin temel girdilerinden biridir. Günümüzde gelişmekte olan ülkelerin kalkınma hamlelerini gerçekleştirebilmeleri ve gelişmiş ülkelerin büyümelerini sürdürebilmeleri için gerekli en önemli araçlardan biri haline gelmiştir. Bu nedenle artan nüfus ve ekonomik gelişmeye paralel olarak enerji gereksiniminin güvenilir, verimli ve düşük maliyetlerle sağlanması büyük önem taşımaktadır. Enerji arz güvenliğini sağlayabilen bir ülke enerjiye yeterli, ekonomik, kaliteli ve kesintisiz bir şekilde ulaşabilmelidir. Ancak enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan bir ülke için enerji arz güvenliği kavramı önemli bir tehdit unsuru olacaktır.
Enerjide dışa bağımlılığı yüksek olan ülkeler, sosyal, siyasal ve ekonomik açıdan da bir bağımlılık taşımaktadır. Enerjiyi devamlı surette dışarıdan ithal etmek ülkeler açısından makroekonomik istikrarsızlıklara sebep olmaktadır. Bu ülkelerin dış ticaret dengesi de daha kırılgan bir hal almaktadır. Enerjide bir veya birkaç kaynak ülkeye bağımlı olmanın sonucunda, enerji kaynaklarına sahip olan ülke ithalatçı ülke üzerinde siyasi baskı kurabilmektedirler. Enerjinin bir silah gibi kullanılmasının sonucunda herhangi bir kesinti yaşamak istemeyen ithalatçı ülkeler, bazı siyasal zayıflıklar yaşamak zorunda kalabilmektedirler.
Türkiye de enerji bakımından %60-70 oranında dışa bağımlı, özellikle petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtları büyük oranda ithal eden bir ülke konumunda bulunmaktadır. Bu ise ülkemizi uluslararası alanda yaşanan gelişmelere ve dolayısıyla enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı duyarlı hale getirmektedir. Bu bakımdan enerji arz güvenliğinin sağlanması ve yeterli enerjiye çeşitlendirilmiş, kesintisiz ve çevresel bakımdan sürdürülebilir olarak erişmek büyük önem arz etmektedir. Alternatif enerji kaynaklarının üretimine yönelmek ülkemiz açısından dışa bağımlılığın azaltılabilmesi için önemli bir çözüm önerisi olmaktadır. Türkiye'nin güneş ve rüzgar enerjisi başta olmak üzere önemli jeotermal, hidroelektrik kaynakları bulunmaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara olan ihtiyacı azaltırken enerji çeşitliliğinin artmasını sağlamaktadır.
Ancak sürdürülebilir enerji politikaları sadece yenilenebilir enerji kaynaklarının desteklenmesi ile sınırlı kalmamalıdır. Mevcut ve erişilebilir enerji kaynaklarının iyi belirlenmesi, dışa bağımlılığa sebep olan enerji kaynaklarının dengeli bir şekilde kullanılmaya çalışılması, geleceğe yönelik üretim ve tüketim senaryolarının gerçekçi olarak yapılması ve bu bağlamda çeşitlilik ilkesine önem verilmesi gerekmektedir. Enerji verimliliğinin güçlendirilmesi, enerji talebinin ve arzının etkin bir şekilde yönetilmesi, sanayi ve ulaştırma sektöründe dönüşümün desteklenmesi ve enerji teknolojilerinde yerli üretim kapasitesinin arttırılması büyük önem taşımaktadır.
Sonuç olarak Türkiye'de enerji arz güvenliğinin arttırılması ve enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, bir taraftan yenilenebilir enerji kaynaklarının verimliliğinin arttırılması ve yaygınlaştırılması gibi hususları dikkate alırken, diğer taraftan enerji politikalarında önemli dönüşümleri de gerçekleştirmelidir. Bu doğrultuda gerçekleştirilecek politikalar sadece daha fazla enerji üretimi sağlamak hedefini içermemeli; bunun yanısıra güvenilir, sürekli, rekabetçi ve çevreye duyarlı bir yapı da sergilemelidir. Enerji politikalarında yaşanan bu gelişmeler, Türkiye'nin uzun vadeli ekonomik ve sosyal gelişim stratejilerini destekleyecek önemli bir araç olacaktır.

Kaynakça

Berberoğlu, C. N. (1982). *Türkiye'nin Ekonomik Gelişmesinde Elektrik Enerjisi Sorunu*. Eskişehir: Eskişehir İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi Yayınları No.245/165.

Çetinkaya, Ş. (2019). Enerji Arz Güvenliği Üzerinde Rusya-Batı Gerilimi ve Türkiye. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı .

Selçuk. Nevin (2006, 26-27 Ocak). *Türkiye'nin Enerji Kaynakları ve Enerji İhtiyacı Açısından İzleyeceği Politika Ne Olmalıdır?*. Türkiye'nin Enerji Stratejisi Ne Olmalıdır? Sempozyumu.

Genelkurmay Başkanlığı Harp Akademileri Komutanlığı Stratejik Araştırmalar Enstitüsü (SAREN).

Şöhret, M. (2015). Enerji Güvenliğinin Ekonomi Politiği ve Uluslararası Çatışmalara Etkisi. Beta Yayınları.

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA VE YEŞİL EKONOMİ

SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND GREEN ECONOMY

Prof. Dr. Burcu GÜVENEK
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7159-2555

Prof. Dr. Zeynep KARAÇOR
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2050-644X

Özet

Sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi, günümüzde ekonomik büyüme ile çevresel sürdürülebilirlik arasındaki ilişkinin yeniden değerlendirilmesini gerektiren temel politika alanları arasında yer almaktadır. Dünya üzerinde üretim tüketim dengesinin sağlanması oldukça güçleşmeye bölüşüm etkinliğinin zorlaşmaya başladığı günümüzde, üretim imkanlarının sürdürülebilirliği açısından Yeşil Ekonomik hareketlerin mevcudiyeti elzem nitelik taşımaktadır. Üretilen mal süreçlerinin başlangıç aşamasından nihai niteliğe ulaşma sürecine kadar, yalnız mevcut dönem değil gelecek döneme de dikkat edilmesi gerekmektedir. Gerçekleşen sosyal ve ekonomik planlamaların eksik olması ya da olmaması durumda gündeme gelebilecek sorunlarla mücadele imkanı en aza indirgenecektir. Susuzluk, kıtlık vb. toplumsal sorunların çözümü için sürdürülebilir politika ve uygulamalarla mevcut ve gelecek dönemlere olumlu etkileri söz konusu olacaktır. Yeşil Ekonomik hareketin ülke bazında değerlendirildiğinde ise, Büyüme ve Kalkınma başlıklarından ayırmak pek mümkün değildir. Üretilen ürünün aşamalarına direkt katkıda bulunan fiyat bağlamı Büyümeye, fiyat ve fiyat dışı sosyal, kültürel, siyasal ve çevresel etkenler ve bu etkenlerin sürdürülmesi ile Kalkınmayla bağdaştırılmaktadır. Bu çalışmada ekonomik müdahaleler ile toplumsal sorunların en aza indirgenmesi görev edinilmiş Yeşil ekonomi kavramının Büyüme ve Kalkınma içerindeki yerine, geçmiş ve mevcut politika ve uygulamaları üzerine açıklamalara son olarak ise, sektörel bazda yapılan faaliyetler ve getiriler incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir kalkınma, yeşil ekonomi, yeşil dönüşüm, döngüsel ekonomi, iklim değişikliği, Türkiye.

Abstract

Sustainable development and the green economy are among the key policy areas that require a re-evaluation of the relationship between economic growth and environmental sustainability. In today's world, where maintaining a balance between production and consumption and ensuring efficient distribution are becoming increasingly difficult, the existence of Green Economy initiatives is essential for the sustainability of productive capacities. From the initial stages of the production process to the transformation of a product into its final form, attention should be paid not only to the present period but also to future periods. In the absence of adequate social and economic planning, or where such planning is lacking, the capacity to address potential problems that may arise will be significantly reduced. Sustainable policies and practices can have positive effects on both the present and future by contributing to solutions to social problems such as water scarcity and shortages. When the Green Economy movement is evaluated at the country level, it is difficult to consider it separately from the concepts of Growth and Development. The price dimension, which directly contributes to the various stages of production, is associated with economic Growth, while price and non-price social, cultural, political, and environmental factors, together with the sustainability of these factors, are associated with Development. This study examines the position of the concept of the Green Economy—which aims to minimize social problems through economic interventions—within the framework of Growth and Development, as well as past and current policies and practices. Finally, sector-based activities and their outcomes are analyzed.

Keywords: Sustainable development, green economy, green transformation, circular economy, climate change, Türkiye.

GİRİŞ

Globalleşen dünya sürecinde ve küreselleşme süreci içerisindeki ülkelerin iç dinamiklerinin sürekliliği ya da sürdürülebilirliği açısından "Yeşil Ekonomi" kavramı önem arz etmektedir. Ülkelerarası ticaretin sıkılaşması, devamlılığı için üretim yapmak, yapılan üretim neticesinde gelişmekte ve gelişmiş ayırt etmeksizin ülkelerin ekonomik büyümelerini dinamik hale getirmektedir. Ancak ekonomik büyümenin yanı sıra ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ve bu gelişmişliğin devamlılığı için ekonomik artışla beraber sosyal ve beşeri farklar da göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Söz konusu faktörlerin de büyüme sürecine eklenmesi ile ekonomik kalkınma süreci gündeme gelir. Ekonomik kalkınmanın sosyal ve çevresel etkileri içerisinde önemli bir yer edinen yeşil ekonomi kavramı, yaklaşan dönemde büyük sorunları gündeme getirebilecek kıtlık kavramını, üretim sürecinde bulunan mal evrelerinin sahip olduğu riskleri, küresel ısınmanın etkin rol oynadığı susuzluk sorununu vd. düzenlemelerle iyileştirilebilecek problemlerin üstesinden gelmek sorunları ortadan kaldırmak adına politikalar geliştirilmek adına literatüre eklenmiştir. Yeşil Ekonomi söz konusu sorunlar için çözüm önerileri sunmasının yanında sosyal eşitliği ve refahı arttırmaktadır. Bu ekonomi anlayışının geçerli olduğu ülkelerde sektörel yatırımlar artacak, yatırımlara paralel olarak ülke içerisinde bulunan demografik unsurun işsizlik sorununa büyük ölçüde çözüm olacak ve ekonomik büyümenin tetikleyicisi olacaktır. Büyüme olgusuna ek olarak çevresel, estetik, sosyal ve psikolojik faydaların da gündeme getirilmesi ile refah seviyesindeki artış kalkınma sürecine pozitif etkileri olacaktır. Ülkelerin, içlerinde Yeşil ekonomi süreçlerini ilerletmek için uygulama alanı bulan kuruluşların yanında uluslararası kuruluşlarda mevcuttur. Bu kuruluşların amaçlarını geleceğe dokunmak şeklinde tanımlamak doğru olacaktır. Yeşil ekonomiyi uygulama alanına alabilen "geleceğe dokunabilen" gelecek ile düşünülen pozitif düşünce ve faaliyetler, insanın mevcut zamanındaki ve gelecekteki ekonomik, sosyal, çevresel ve siyasi konularda ellerini güçlendirecektir.

SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA

Ekonomik kalkınma, Ekonomik Büyümenin yanında insanların sosyal, siyasal ve kültürel faaliyet alanını geliştiği şeklinde tanımlanmaktadır. Diğer bir söyleyiş ile bir ülkenin ekonomik gelişiminin yanı sıra temel nitelik taşıyan diğer sosyo-kültürel faaliyetlerindeki pozitif yönlü değişimdir (Tolunay ve Akyol, 2006).

Kalkınma kavramı, sürdürülebilirlikle önem kazanmaktadır. Sürdürülebilirlik ise, bugünün kazanımlarını gelecek nesillere aktarımı şeklinde tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir Kalkınmanın tanımı ise, insan ile yaşam alanı olan doğal kaynakları ve doğayı tüketmeden gelecek nesillere aktarıp, bu nesillerin yaşam faaliyetlerindeki etki alanlarını, olumlu yönde etkileme plan ve programlarının sürekliliği şeklinde olacaktır (Kaypak, 2011).

Sürdürülebilir kalkınma üç temel boyuta dayanmaktadır: ekonomik sürdürülebilirlik, sosyal sürdürülebilirlik ve çevresel sürdürülebilirlik. Ekonomik boyut istikrarlı ve kapsayıcı büyümeyi; sosyal boyut gelir dağılımının iyileştirilmesini, yoksulluğun azaltılmasını ve insana yakışır çalışma koşullarını; çevresel boyut ise doğal kaynakların korunmasını ve ekosistemlerin devamlılığını ifade etmektedir.

Birleşmiş Milletler'in 2030 Gündemi kapsamında belirlenen 17 Sürdürülebilir Kalkınma Amacı; yoksulluğun ortadan kaldırılması, nitelikli eğitim, toplumsal eşitlik, temiz enerji, insana yakışır iş, sürdürülebilir şehirler, sorumlu üretim ve tüketim ile iklim eylemi gibi çok sayıda alanı kapsamaktadır. Bu amaçların birbirleriyle bağlantılı olması, sürdürülebilir kalkınmanın tek bir politika alanına indirgenemeyeceğini göstermektedir.

YEŞİL EKONOMİ VE YEŞİL DÖNÜŞÜM

Günümüzde doğa ile ilgili oluşan ve geleceğe taşınacağı düşünen sorunların artışıyla beraber bu sorunların önüne geçmek için planlanan hatta uygulanmaya başlanılan politikalar söz konusu olmuştur. Sürdürülebilir Kalkınma süreci içerisinde yer alan doğal yaşam alanları ve standartlarının artışı ile ilgili politikalar doğal felaketler ülkelerin ortak kullanım alanlarındaki dikkatsiz davranışları ile artış göstermektedir.

20. yy 'da gerçekleşen savaş durumları, küreselleşen ekonomik hareketlilik ve ayakta kalabilmek için geleceğin yaşam alanına müdahale eden uygulamaların yalnız büyüme ve kalkınma politikaları ile mücadele edilemeyeceği bunlarla beraber doğal yaşam alanını ve doğal kaynakların korunması gündeme gelmiştir.

Kısacası yeşil çevre ile berber büyüme ve kalkınma politikalarının uygulanması gerektiği durumu meydana gelmektedir (Kuşat, 2013). Bu bağlamda yeşil ekonomik kapsamındaki temel politikalar beş temel unsurdan oluşmaktadır. Bunlar: yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, döngüsel ekonomi, yeşil finansman ve yeşil istihdamdır. Yenilenebilir enerji, fosil yakıtlara dayalı enerji sistemi, sera gazı emisyonlarının temel kaynaklarından biridir. Güneş, rüzgâr, hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi hem karbon emisyonlarının azaltılması hem de enerji arz güvenliğinin güçlendirilmesi açısından önem taşırken enerji verimliliği aynı ekonomik çıktının daha az enerji kullanılarak elde edilmesini sağlamaktadır. Sanayi, binalar ve ulaştırma sektörlerinde enerji verimliliğinin artırılması hem üretim maliyetlerini azaltmakta hem de çevresel baskıyı düşürmektedir. Geleneksel ekonomik model büyük ölçüde "üret-tüket-at" yaklaşımına dayanmaktadır. Döngüsel ekonomi ise ürünlerin, malzemelerin ve kaynakların ekonomik sistem içerisinde mümkün olduğunca uzun süre kullanılmasını hedeflemektedir. Böylece doğal kaynak kullanımı ve atık miktarı azaltılabilmektedir. Yeşil dönüşümün gerçekleştirilebilmesi yüksek miktarda yatırım gerektirmektedir. Yeşil tahviller, sürdürülebilir finansman araçları, iklim fonları ve çevresel kriterleri dikkate alan yatırımlar bu dönüşümün finansmanında önemli bir rol üstlenmektedir. Yeşil ekonomi, yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, geri dönüşüm, sürdürülebilir ulaşım ve çevre teknolojileri gibi alanlarda yeni istihdam olanakları yaratabilir. Bununla birlikte dönüşüm sürecinde bazı geleneksel sektörlerde iş kayıpları ortaya çıkabileceğinden, eğitim ve yeniden beceri kazandırma politikaları önem kazanmaktadır.

Türkiye Ekonomisi Açısından Sürdürülebilir Kalkınma Ve Yeşil Ekonomi

Türkiye Cumhuriyeti'nde 5 Ekim 1960 tarihinde devlet planlama teşkilatının kurulmasıyla kalkınma planlamalarının ilk adımını atılmıştır. Bu dönemde de ilk 5 Yıllık Planlı Kalkınma döneminin başlaması gündeme gelmiştir. Planlı Kalkınma Dönemlerinde kalkınma planlarının içinde finansal, siyasal, sosyal ve kültürel planlamaların yanında genel yoğunluğunu içeren yeşile ve geleceğe dair planlamaların resmi başlangıcı söz konusu olmuştur.

Tarihler 26 Nisan 2006'yı gösterdiğinde ise 2872 sayılı Çevre Kanunu'nda yenileme düzenlemeleri ile çevre yönetimiyle ilgili önemli ayrıntılı planlamalara yer verilmiştir. Bunlar; sulak alanları gözetmek, nesli tükenmekte ya da ramak kala döneminde olan bitki ve hayvanların himaye altına alınması ve çevre karşılama bedelleri şeklindedir. Ayrıca çevre ile ilgili yatırımlar ve düzenlemeler için isteklendirme projeleri meydana gelmiş, ancak söz konusu düzenlemeler tam hedefe ulaşma konusunda eksiklikler meydana gelmiştir (Yıkmaz, 2011, s. 34).

Birleşmiş Milletlerin, çevresel düzenlemelerinden etkilenen Türkiye'de uygulanan politika ve programlar açısından tek etkilendiği Program olmamış Birleşmiş Milletlerin yanı sıra etkilenen teşkilatlanma programı içerisinde Avrupa birliği de yer almaktadır. Türkiye'nin Avrupa Birliğine girmesi için uyguladığı reform politikaları ile Türkiye'nin etkilenme durumu oldukça azami seviyeye ulaştığı bir teşkilatlanma olmuştur (Ertürk, 2011).

Türkiye açısından yeşil dönüşümün ekonomik boyutu özellikle önemlidir. Türkiye'nin Avrupa Birliği ile yoğun ticari ve ekonomik ilişkileri bulunmaktadır. Avrupa Yeşil Mutabakatı'nın üretim ve ticaret standartlarında meydana getirdiği değişiklikler Türkiye'nin ihracatçı sektörlerini doğrudan etkilemektedir.

Türkiye Ticaret Bakanlığı tarafından hazırlanan Yeşil Mutabakat Eylem Planı, Türkiye'nin sürdürülebilir ve kaynak-etkin bir ekonomiye geçişini desteklemeyi amaçlamaktadır. Eylem Planı dokuz ana başlık altında 32 hedef ve 81 eylem içermektedir. Bu başlıklar arasında sınırda karbon düzenlemeleri, yeşil ve döngüsel ekonomi, yeşil finansman, temiz enerji, sürdürülebilir tarım, sürdürülebilir ulaşım ve iklim değişikliğiyle mücadele bulunmaktadır.

Bu durum Türkiye açısından yeşil dönüşümün yalnızca çevre politikası olarak değil, ihracat rekabetçiliği ve sanayi politikasının temel unsurlarından biri olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Ticaret Bakanlığı da yeşil dönüşümün Türkiye'nin AB başta olmak üzere uluslararası pazarlardaki rekabet gücünün korunması ve güçlendirilmesi açısından önem taşıdığını belirtmektedir.

2026 yılında Türkiye'nin Yeşil Mutabakat Eylem Planının sürdürülebilir ürünler ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması ekseninde uygulanmasını destekleyen yeni çalışmaların da yürütülmesi, yeşil dönüşümün Türkiye'nin ekonomik gündemindeki öneminin devam ettiğini göstermektedir.

SONUÇ ve POLİTİKA ÖNERİLERİ

Sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi, 21. yüzyılın ekonomik kalkınma anlayışını yeniden şekillendiren iki temel kavramdır. Ekonomik büyümenin çevresel sınırlar ve sosyal ihtiyaçlarla birlikte değerlendirilmesi, uzun vadeli refahın korunması açısından zorunlu hale gelmiştir.

Yeşil ekonomi, çevresel sorunları ekonomik sistemin dışında değerlendirmek yerine üretim, tüketim, yatırım ve finans kararlarının merkezine yerleştirmektedir. Bu yaklaşım yalnızca karbon emisyonlarının azaltılmasını değil, aynı zamanda kaynak verimliliğinin artırılmasını, yeni teknolojilerin geliştirilmesini, yeşil istihdamın oluşturulmasını ve sosyal refahın geliştirilmesini hedeflemektedir.

Türkiye açısından yeşil dönüşüm, çevresel sorumluluğun yanında önemli bir ekonomik fırsat olarak değerlendirilmelidir. Özellikle Avrupa Birliği ile ticari ilişkiler dikkate alındığında düşük karbonlu üretim kapasitesinin geliştirilmesi, Türkiye'nin uluslararası rekabet gücünün korunması bakımından kritik önem taşımaktadır. Türkiye'nin Yeşil Mutabakat Eylem Planı bu dönüşüm açısından önemli bir politika çerçevesi oluşturmaktadır.

Türkiye'nin sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi hedeflerine ulaşabilmesi için bir takım politika alanlarının güçlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu politikalar, yenilenebilir enerji yatırımları hızlandırılması, sanayide enerji ve kaynak verimliliğinin artırılması, döngüsel ekonomi ve atıkların ekonomik değere dönüştürülmesi konusunun desteklenmesi. yeşil yatırımlar için uzun vadeli ve erişilebilir finansman mekanizmalarının geliştirilmesi, küçük ve orta ölçekli işletmelerde yeşil dönüşüm maliyetlerinin desteklenmesi, Ar-Ge yatırımlarının teşvik edilmesi olarak sayılabilir.

Sonuç olarak sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomi, birbirinden bağımsız iki politika alanı olarak değil; ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirlik ve toplumsal refahı aynı çerçevede ele alan bütüncül bir kalkınma modeli olarak görülmelidir. Türkiye'nin gelecekteki kalkınma performansı, bu dönüşümün ne ölçüde teknolojik yenilik, enerji dönüşümü, yeşil finansman ve sosyal politikalarla bütünleştirilebildiğine bağlı olacaktır.

KAYNAKÇA

Ertürk, H. (2011). *Çevre Politikası.* Bursa: Ekin Basın Yayım Dağıtım.

Kaypak, Ş. (2011). Küreselleşme Sürecinde Sürdürülebilir Bir Kalkınma İçin Sürdürülebilir Bir Çevre. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 22.

Kuşat, N. (2013). Yeşil Sürdürülebilirlik İçin Yeşil Ekonomi: Avantaj ve Dezavantajları - Türkiye İncelemesi. *Journal of Yasar University,* 4896 - 4916.

Tolunay, A., & Akyol, A. (2006). Kalkınma ve Kırsal Kalkınma: Temel Kavramlar ve Tanımlar. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 118.

Yıkmaz, R. (2011). Sürdürülebilir Kalkınmanın Ölçülmesi ve Türkiye İçin Yöntem Geliştirilmesi (Uzmanlık Tezi). *TC Başbakanlık DPT Müsteşarlığı, Sosyal Sektörler ve Ek Koordinasyon Genel*.

TÜRKİYE EKONOMİSİNDE ENFLASYONLA MÜCADELEDE PARA POLİTİKASI UYGULAMALARI VE SONUÇLARI

MONETARY POLICY PRACTICES AND THEIR RESULTS IN COMBATING INFLATION IN THE TURKISH ECONOMY

Prof. Dr. Burcu GÜVENEK
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7159-2555

Prof. Dr. Zeynep KARAÇOR
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2050-644X

Özet
Ülkemizin çeyrek yüzyıla yakın bir süredir yaşadığı en önemli ekonomik sorunların başında, enflasyon gelmektedir. Öyle ki; Türkiye'nin yaşadığı bu sorun süre, oran ve sonuçlar itibariyle neredeyse ulusal ekonomimizin temel niteliği, hatta bir bakıma ulusal ekonomik kimliğini temsil eder hale gelmiştir. Ayrıca bu sorun, yalnızca ekonomik bir olgu olmaktan çıkarak, pek çok sosyal hatta siyasal sorunun veya istikrarsızlıkların kaynağını oluşturmuştur. Bu süreç ve sürecin etkilerini aşmak değişen iktidarların değişmez politikası olmasının yanında bütün toplumun da üzerinde konuştuğu bir olgu olmuştur. Gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlayacak kapasitenin tehlikeye atılmaksızın bugünün ihtiyaçlarını giderecek bir süreç olarak ele alınan sürdürülebilirliğin kurumsal, sosyal, ekonomik ve çevresel boyutu vardır. Dolayısıyla sürdürülebilir büyüme adalet, paylaşım, demokrasi, koruma, katılım, insani gelişme indeksi ve ekonomik etkinliği beraberinde getirmektedir.
Program döneminde mali disiplinin ve enflasyonu düşürmeye odaklı para politikasının sürdürülmesi temel hedef olmuştur. Bu hedefe ulaşılmasında yönetilen/ yönlendirilen fiyatlar ile vergi ayarlamalarının enflasyon hedefleri ile uyumunun gözetileceği ve para politikasındaki temkinli duruşun devam etmesi gerektiği kabul edilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Enflasyon, para politikası, ekonomik istikrar, ekonomi politikaları, Türkiye ekonomisi.

Abstract
Inflation has been one of the most significant economic problems experienced by our country for nearly a quarter of a century. Indeed, in terms of its duration, magnitude, and consequences, this problem has almost become a defining characteristic of the Turkish national economy and, in a sense, has come to represent its economic identity. Moreover, the problem has extended beyond being merely an economic phenomenon and has become a source of numerous social and even political problems and instabilities. Overcoming this process and its effects has not only been a consistent policy objective of successive governments but has also become an issue of widespread public concern. Sustainability, defined as a process that meets the needs of the present without compromising the capacity of future generations to meet their own needs, has institutional, social, economic, and environmental dimensions. Accordingly, sustainable growth encompasses justice, distribution, democracy, conservation, participation, human development, and economic efficiency.
During the program period, maintaining fiscal discipline and pursuing a monetary policy focused on reducing inflation were established as the primary objectives. To achieve these objectives, it was recognized that administered and guided prices, as well as tax adjustments, should be aligned with inflation targets and that a cautious stance in monetary policy should be maintained.
Keywords: Inflation, monetary policy, economic stability, economic policies, Turkish economy.

GİRİŞ

Türkiye ekonomisinde 1970'li yılların başından itibaren adeta enflasyon bir yaşam tarzına dönüşmüştür. Bu da toplumda bir anlamda "enflasyon kültür ve geleneği" meydana getirip enflasyonla mücadele için ulusal uzlaşma ortamı hazırlanmasını zorunlu kılmıştır. Bu zorunluluk dezenflasyon sürecinde birlikte hareket etmeyi, uzlaşma ortamını gerektirmektedir. Dezenflasyon belli bir zaman dilimini işgal eden bir süreçtir. Başarı, süreç boyunca rehavete kapılmadan politikalara uyulmasını zorunlu kılmaktadır. Unutulmamalıdır ki, enflasyon oranının düşürülmesi kadar, belirli bir istikrarın sağlanabilmesi, yani bir anlamda gelinen noktadan geri dönülmemesi, tekrar enflasyonun beslenmemesi de gerekmektedir.

"Bir ekonomide yüksek enflasyon olduğunda bir dizi nedenden dolayı, fiyat artırmak kolaydır. Enflasyon ortamında olduğu gibi kolay şartlarda öğrenilen fiyat artış tekniği, ekonomide yüksek enflasyon sona erdiği zamanda uygulanmaya devam edebilir. Dolayısıyla, enflasyon enflasyona sebep olur." (Slawson, 1982). W.D. Slawson tarafından ortaya konulan bu tespit Türkiye ekonomisindeki enflasyon olgusunun geçirdiği süreci en iyi şekilde açıklamaktadır.

ENFLASYONLA MÜCADELEDE ORTA VADELİ PROGRAMLAR Ve PARA POLİTİKASI

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde enflasyon hedeflemesi rejiminin başarılı olması için döviz kuru-fiyat düzeyi ilişkisi önem taşımaktadır. Bunun için merkez bankasının fiyat istikrarı ile finansal istikrarı da gözetmesi gerekmektedir. Küreselleşme ile karmaşıklaşan etkileşimler, para politikasında tek ve en iyi bir yolun bulunmadığını, merkez bankacılığının zorlaştığını ve her ülkenin kendisine has bir somut olarak işsizlik ve büyüme gibi gerçeklikleri de dikkate alması gerektiğini ortaya koymaktadır (Buluş: 2009, 129).

Türkiye ekonomisinde son yıllarda görülen enflasyonist süreç karşısında karşısında, enflasyonu kontrol altına almak isteyen Merkez Bankası para politikası araçlarıyla ekonomiye müdahale ederek sıkı para politikası uygulamaktadır. Ayrıca Orta Vadeli Programlarda da oldukça geniş yer bulan enflasyon olgusu karşısında sıkı duruşun sürdürüleceği sinyalleri verilmektedir.

Merkez Bankası ABD'de yaşanan kriz sonrası yaşanan gelişmelerin temel enflasyon üzerinde kalıcı etki yaratmasını sınırlandırmak için para politikasında önemli bir sıkılaştırmaya gitmiştir. Bu çerçevede, faiz koridoru yukarı doğru genişletilmiş, ortalama fonlama maliyeti belirgin şekilde artırılmış ve esnek para politikası çerçevesinde ortalama fonlama maliyetinin politika faizinin üzerinde seyretmesine izin verilmiştir. Enflasyonist risklerin görece azalmasıyla birlikte Merkez Bankası, son 3 aylık dönemde ortalama fonlama maliyetini düşürmüş ve Eylül ayındaki Para Politikası Kurulunda faiz koridorunun üst sınırında indirime gidilmiştir.

Para politikasının temel amacının fiyat istikrarını sağlamak ve sürdürmek olduğu belirtilerek destekleyici bir amaç olarak finansal istikrar da gözetilmeye devam edileceği kabul edilmiştir. Bu kapsamda enflasyon hedeflemesi çerçevesinde yürütülecek olan para politikasının temel aracı olarak kısa vadeli faiz oranları kullanılması kararına varılmış, bunun yanı sıra zorunlu karşılık oranları ve faiz koridoru gibi birbirini tamamlayıcı nitelikteki araçlar ile Türk Lirası ve döviz cinsi likidite uygulamaları birlikte kullanılmaya devam edileceği belirtilmiştir. Enflasyon hedeflerinin ise Hükümet ve Merkez Bankası tarafından belirlenen üç yıllık vade ile belirlenmesine karar verilmiştir.

Orta Vadeli Program kapsamında önemli bir husus da para politikasının hesap verebilirliğini ve şeffaflığı ile ilgilidir. Bu iki önemli özelliğin temin edilmesi amacıyla, enflasyonun yıl sonu hedefinden belirgin olarak sapması ya da sapma olasılığının ortaya çıkması halinde, Merkez Bankası'nın hedeften sapmanın nedenlerini ve enflasyonun tekrar hedefe yakınsaması için alınması gereken önlemleri Hükümete yazılı olarak bildireceği ve kamuoyuna duyuracağı belirtilmiştir.

Dalgalı döviz kuru rejimi uygulamasına bu dönemde de devam edileceği kabul edilse de piyasa derinliğinin kaybolmasına bağlı olarak kurlarda sağlıksız fiyat oluşumlarının gözlenmesi veya aşırı oynaklık durumunda döviz satım ihaleleri yapılabileceği gibi spekülatif davranışlar gözlenmesi durumunda piyasaya doğrudan müdahale edilebileceği de belirtilmiştir.

Merkez Bankası, 2012 yılında bankaların likidite yönetimini daha az maliyetli ve daha esnek bir yapıya kavuşturmayı, döviz kurunda oynaklığı azaltmayı ve döviz rezervlerini güçlendirmeyi amaçlayan adımlar atmıştır. Bu doğrultuda, Türk Lirası yükümlülükler için tesis edilmesi gereken zorunlu karşılıkların döviz veya altın olarak tutulabilecek kısmına ilişkin üst sınırlar kademeli olarak yükseltilmiştir.

Bu döneme yansıyan önemli bir gelişme ilk olarak 2019 yılında Çin'in Wuhan Kentinde görülmeye başlayan ve sonrasında dünyaya yayılan Covid-19 (Koronavirüs) salgınıdır. Bu salgın öncelikle Asya ülkelerini etkisi altına almış ve kısa sürede tüm dünyaya yayılmıştır. Salgının tüm dünyayı etkisi altına alması başta sağlık olmak üzere, ekonomik, sosyal ve toplumsal pek çok etkiye sebep olmuştur. Pandemi krizi sırasında ülkeler, gelir kayıplarını hafifletmek, istihdamı korumak ve şirket iflaslarını önlemek amacıyla çeşitli mali önlemler uygulamıştır. Bu önlemler arasında istihdam teşvikleri, sosyal yardım genişletmeleri, kredi garantileri ve şirketlere öz sermaye desteği yer almıştır. Alınan tedbirler, işsizlik oranlarında göreceli bir düşüş eğilimi sağlarken, istihdam ve işgücüne katılım seviyeleri pandemi öncesine göre hala düşük kalmıştır. Krizin devam eden etkileri nedeniyle işlerin büyük bir kısmı risk altında olmaya devam etmektedir. Bu bağlamda, istihdamın korunması ve geliştirilmesi amacıyla hükümetlerin daralan ve büyüyen sektörlere uygun yeniden eğitim ve beceri kazandırma programları uygulaması, çalışanlara ihtiyaca göre gelir transferleri sağlaması gerekmektedir.

Dünya ekonomilerinde yaşanan olumsuz koşullar, aynı şekilde Türkiye ekonomisinde de yaşanmış, dünya konjonktüründe daralmalar meydana gelmiştir. Yaşanan bu negatif gelişmeler enflasyon, büyüme, işsizlik ve dış ticaret dengesini olumsuz yönde etkilemiştir. Pandeminin ekonomi üzerindeki etkilerinin azaltılması amacıyla 18 Mart 2020 tarihinde "Ekonomik İstikrar Kalkınma Paketi" devreye sokulmuştur. Üretim, ihracat ve istihdamın devamlılığı amacıyla başlatılan istikrar paketi ile esnaf, işçi, emekli işveren gibi tüm kesimlere destek verilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda kısaca, kamu bankaları aracılığı ile kredi kullanımlarının arttırılması ve borç ödemelerinin ertelenmesi gibi birçok yenilik getirilmiştir. Ayrıca özellikle pandemiyle birlikte gerçekleşen dijital dönüşüm sebebiyle işçilerin işten çıkarılmasını önlemek amacıyla kısa çalışma ödeneği getirilmiş, ihtiyaç sahibi olan haneler tespit edilerek para yardımı gerçekleştirilmiştir.

2020 yılında Covid-19 salgınının olumsuz etkilerine rağmen, Türkiye ekonomisi uygulanan parasal ve mali politikalar, güçlü kredi ivmesi ve tüketim ile yatırım harcamalarındaki artış sayesinde yılın ikinci yarısında toparlanarak %1,8 oranında büyümüştür. 2021 yılına da salgının etkileriyle giren Türkiye, aşılama çalışmalarının yaygınlaşması, kısıtlamaların hafifletilmesi ve küresel ekonomik toparlanma ile büyüme eğilimini sürdürmüştür. İlk çeyrekte sanayi ve inşaat sektörlerinin öncülüğünde %7,3 büyüme kaydedilmiş, ikinci çeyrekte ise düşük baz etkisi ve toparlanmanın hızlanmasıyla büyüme oranı %21,9 gibi yüksek bir seviyeye ulaşmıştır. Üçüncü çeyrekte aşılamanın hız kazanması, turizm sektöründeki canlanma ve ihracattaki artışın etkisiyle %7,5 büyüme sağlanmıştır.

Yılın son çeyreğinde ise döviz kurlarındaki yükseliş, tüketici güvenindeki azalma ve enflasyondaki artışa rağmen güçlü iç ve dış talep sayesinde %9,1 büyüme gerçekleştirilmiştir. Böylece 2021 yılında Türkiye ekonomisi, düşük baz etkisi ve talepteki artışla %11,0 büyüyerek son 10 yılın en yüksek büyüme performansını göstermiştir. Bu büyüme, Covid-19 salgınının ekonomik etkilerinin hafiflemesi ve ekonomik aktivitedeki toparlanmanın hızlanmasıyla gerçekleşmiştir.

2021 yılında Covid-19 salgınıyla ilgili kısıtlamaların hafifletilmesi ve aşılama çalışmalarının hızlanmasıyla Türkiye ekonomisi toparlanarak %11,4 oranında büyüme kaydetmiş ve bu güçlü büyüme 2022'nin ilk çeyreğinde de devam etmiştir. Ancak, Şubat 2022'de başlayan Rusya-Ukrayna savaşı, tedarik zincirlerinde aksamalara ve enerji maliyetlerinde artışlara yol açmasına rağmen, Türkiye ekonomisi üzerindeki etkileri sınırlı kalmıştır. 2022'nin ilk çeyreğinde artan iç ve dış talep sayesinde %7,6 büyüme sağlanmış, ikinci çeyrekte özel tüketim ve ihracatın katkısıyla büyüme %7,8'e yükselmiştir. Yılın ikinci yarısında ise iç talepteki yavaşlama ve dış talepteki azalmaya bağlı olarak büyüme hızla düşmüş, üçüncü çeyrekte %4 ve son çeyrekte %3,5 olarak gerçekleşmiştir.

2022 yılı genelinde, özel tüketim harcamalarının etkisiyle Türkiye ekonomisi %5,6 büyüme kaydederken, bu oran 2021 yılına kıyasla 5,8 puanlık bir düşüşe işaret etmiştir. 2022-2024 Orta Vadeli Program'da öngörülen %5 büyüme tahmini 0,6 puan aşılmıştır. Sektörel olarak tarım %0,6, sanayi %3,3, hizmetler %11,7 oranında büyürken, inşaat sektörü %8,4 küçülmüştür. Üretim yöntemiyle GSYH cari fiyatlarla %107 büyüyerek 15.006,6 milyar TL'ye ulaşmıştır. GSYH içinde tarım, sanayi ve hizmetler sektörlerinin payı artarken, inşaat ve diğer faaliyetlerin payı azalmıştır.

2023 yılında Türkiye ekonomisi, deprem gibi olumsuz etkiler ve sıkılaştırıcı politikalar uygulanmasına rağmen, iç talebin öne çekilmesi, artan hanehalkı tüketim harcamaları ve yatırımlar ile hizmetler, inşaat ve sanayi sektörlerinin katkısıyla %4,5 oranında büyümüştür. Yılın ilk çeyreğinde hizmetler sektörünün güçlü performansı ve yurtiçi talebin desteğiyle %4 büyüme kaydedilmiş, ikinci çeyrekte özel tüketim harcamalarının etkisiyle büyüme %3,9 olarak gerçekleşmiştir.

Üçüncü çeyrekte inşaat ve makine-teçhizat yatırımlarındaki artış ile sanayi sektöründeki toparlanma sayesinde büyüme %6,1'e yükselmiştir. Son çeyrekte ise sanayi ve hizmetler sektörlerindeki yavaşlama nedeniyle büyüme %4 seviyesinde kalmıştır. Böylece, 2020 yılının ikinci çeyreğindeki küçülmenin ardından başlayan büyüme süreci kesintisiz 14 çeyrek boyunca devam etmiştir.
2023 yılı için planlanan %5 büyüme hedefinin 0,5 puan altında kalınmış, ancak revize edilen %4,4 büyüme tahmini %0,1 aşılmıştır. Sektörel olarak, tarım sektörü %0,2 küçülürken, sanayi sektörü %0,8, inşaat sektörü %7,8 ve hizmetler sektörü %6,4 oranında büyümüştür. Üretim yöntemiyle GSYH cari fiyatlarla %75 oranında artarak 26.276 milyar TL'ye ulaşmıştır. GSYH'nin sektörel dağılımında en yüksek katkıyı hizmetler sektörü sağlamış, bunu sanayi ve diğer sektörler takip etmiştir. 2023 yılı, zorlu küresel ve yerel koşullara rağmen büyümenin sürdürüldüğü bir yıl olmuştur.
2020-2023 yılları arasında Türkiye ekonomisindeki enflasyon süreci ele alındığında enflasyon rakamlarında yükseliş olduğu görülmektedir. Bu süreçte 2020 yılında pandemi döneminde küresel arz zincirinde yaşanan sorunlar, Türk lirasında görülen değer kaybı ve ithal malların maliyetlerindeki artış enflasyonist baskıyı arttırmıştır. TCMB enflasyondaki artışı baskılamak için faiz politikası uygulamış, faiz oranlarındaki artışla enflasyonu kontrol etmeye çalışmıştır. Ancak 2021 yılında uygulanan "faiz sebep, enflasyon sonuç yaklaşımı" nedeniyle faiz oranlarında indirime gidilmiştir. Bir önceki dönemden farklı olarak uygulan faiz politikası Türk lirasında görülen değer kaybını arttırmış, döviz kuru geçişkenliğinin fiyatlara yansımasına neden olmuştur. Bu politika uygulamalarıyla birlikte gıda ve enerji fiyatlarındaki artış da enflasyon rakamlarının daha da yükselmesine sebep olmuştur. Bu süreç Türkiye ekonomisinde enflasyonun yeniden atalet kazanmasına neden olmuş ve enflasyon rakamları 2022 yılında da artış göstermiştir. 2022 yılında enflasyon rakamlarında görülen artışın nedenlerine bakıldığında Rusya ve Ukrayna arasında ortaya çıkan savaşın küresel enerji ve gıda fiyatlarını yükseltmesi Türkiye ekonomisinde ithalat maliyetlerinde artış olarak yansımıştır. Bu durumun yarattığı döviz talebi baskısını azaltmak için politika faizi düşürülmüş ve kur korumalı mevduat uygulaması devreye sokulmuştur. Ancak kur geçişkenliği, yüksek maliyetler ve ücret artışları uygulanan politikaları başarısız kılmış ve 2023 yılında da enflasyon yükselme trendini sürdürmüştür. 2021-2023 yılları arası enflasyon rakamlarındaki yükselişin temel nedenleri olarak düşük faiz politikası, Türk lirasında görülen değer kaybı, döviz kuru geçişkenliği, küresel enerji ve gıda fiyatları şokları ve enflasyon beklentilerindeki negatif etkinin olduğu ön plana çıkmıştır. Bu olumsuzluklardan dolayı 2024 yılından itibaren yeniden rasyonel politikalara yönelinmiş, sıkı para politikası ve yüksek faiz uygulamaları temel politikalar olmuştur. Bu uygulamalar talep daralması ve baz etkisi ile önceki yıllara göre enflasyon rakamlarında görece olumlu sonuçların ortaya çıkmasına neden olmuştur.
2024 yılında Türkiye'de tüketici fiyatları yıllık enflasyonu, özellikle hizmet enflasyonundaki yüksek seyir ve talepteki direnç nedeniyle belirgin şekilde yüksek seviyelerde gerçekleşmiştir. Yılın ilk çeyreğinde, asgari ücret güncellemeleri ve geçmiş enflasyona endeksleme davranışları hizmet fiyatlarında önemli artışlara yol açarken, Türk Lirasındaki değer kaybı ve gıda fiyatlarındaki yükseliş de enflasyon görünümünü olumsuz etkilemiştir. Şubat ayında ücret artışlarının birikimli etkisiyle TÜFE yıllık enflasyonu %67,07'ye, Mart ayında ise %68,50'ye yükselmiştir. Nisan ayında gıda fiyatlarındaki gerilemeye rağmen, enerji grubundaki baz etkisi ve hizmet fiyatlarındaki katılık nedeniyle yıllık enflasyon %69,80'e çıkmıştır. Mayıs ayında doğal gaz sübvansiyonunun etkisiyle enflasyon %75,5 ile zirve yapmış, ancak Haziran itibarıyla dezenflasyon süreci başlamış ve yıllık enflasyon %71,60'a gerilemiştir. Üçüncü çeyrekte, hizmet sektöründeki dönemsel fiyat ayarlamaları ve geçmiş enflasyona endeksleme davranışlarının güçlü seyri devam etmiş, ancak döviz kuru gelişmeleri temel mal fiyatlarında ılımlı bir görünüm sağlamıştır. Yıllık enflasyon Temmuz'da %61,78, Ağustos'ta %51,97, Eylül'de ise %49,38 seviyesine gerilemiştir.
Üretici fiyatları tarafında ise yılın ilk çeyreğinde jeopolitik riskler, kur gelişmeleri ve ücret artışlarının maliyet baskıları nedeniyle yıllık enflasyon %51,47 olarak gerçekleşmiştir. İkinci çeyrekte uluslararası ham petrol fiyatlarının ılımlı seyri ve enerji sektörü görünümüne rağmen, geleneksel sektörlerde maliyet artışları devam etmiş ve yıllık üretici enflasyonu %50,09 olmuştur. Üçüncü çeyrekte emtia fiyatlarının ılımlı seyri ve yüksek baz etkisiyle üretici fiyatları yıllık enflasyonu %33,09 seviyesine gerilemiştir. Bu dönem, üretici ve tüketici fiyatlarındaki baskıların azalmasıyla ekonomide dezenflasyon sürecinin güçlendiği bir dönem olmuştur.

SONUÇ

Orta vadeli istikrar programları kapsamında bu programlarla birlikte yapısal düzenlemelere de makro iktisadi istikrarın sağlanması için yer verilmiştir. Küresel sistemde olduğu gibi Türkiye ekonomisinde de yeşil dönüşüm, büyüme ve kalkınma sürecinin temel hedeflerinden biri olarak belirlenmiştir.

Merkez Bankası tarafından uygulanan geniş faiz koridoru küresel belirsizliklerin yoğun olduğu dönemde, sermaye hareketlerindeki oynaklığın etkisini azaltmak doğrultusunda önemli bir katkı sağlamakla birlikte, para politikasının anlaşılması konusunda bazı olumsuzlukları da beraberinde getirmiştir. Özellikle uygulamadaki bu olumsuzluk para politikasının etkinliğini ve hedeflenen amaçlara ulaşmasını zorlaştırmıştır. Bunun nedeni de Türkiye Ekonomisinde yaşanan Merkez Bankası iletişim kanallarında yaşanan sorundur.

Özellikle enflasyon rakamlarında görülen artışla birlikte 2024 ve sonrası için orta vadeli istikrar programı fiyat istikrarının kalıcı olarak tesis edilmesi amacıyla enflasyon hedeflemesi rejimine devam edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, Merkez Bankası tarafından para politikası araçları enflasyon görünümüne göre fiyat istikrarı hedefi gözetilerek kullanılacaktır. Fiyat İstikrarı Komitesi, arz yönlü ve yapısal sorun alanlarına odaklanacak ve uygulanacak politikaların koordinasyonunu sağlayarak etkinliğini artıracaktır. Yönetilen ve yönlendirilen fiyatlar, ilgili yılın enflasyon tahminiyle uyumlu olarak belirlenerek enflasyon ataleti azaltılacaktır. Enerji piyasaları başta olmak üzere şeffaflık ve rekabet odaklı uygulamalar yaygınlaştırılacaktır. Piyasada sağlıklı fiyat oluşumuna katkı sağlamak amacıyla başta gıda fiyatlarına yönelik Erken Uyarı Sistemi olmak üzere büyük veri ve veri analiz sistemleri oluşturularak etkin bir şekilde kullanılacaktır. Gıda arz güvenliğini sağlayarak fiyat istikrarını korumak amacıyla, tarım arazilerinin korunması ve etkin kullanımı çalışmalarına devam edilecek, ekilebilir ve sulanabilir alanların artırılması için yatırımlar artırılarak sürdürülecek, tohum, gübre, yem, ilaç ve mazot gibi girdi maliyetlerinin yanı sıra finansman yükünü hafifletici, teknoloji odaklı dönüşümü sağlayıcı programlar uygulamaya konulacaktır. Gıda ürünlerinin tarladan sofraya soğuk zincir sistemiyle güvenli bir biçimde, en az fireyle ve makul fiyatlarla ulaşmasını sağlamak amacıyla bütüncül bir yaklaşımla hal ve kooperatifçilikte iyileştirmeler yapılarak dağıtımın kayıtlı ve en az lojistik maliyetli olmasına yönelik düzenlemeler yapılacaktır. Tarımsal üretim planlamasına katkı sağlanması, üretimde öngörülebilirliğin artırılması, fiyat dalgalanmalarının önüne geçilmesi, çiftçinin ürettiği ürünü değer fiyattan satabilmesi, sanayinin ihtiyaç duyduğu kalitede ürünü tedarik edebilmesi için tarım-sanayi entegrasyonunu sağlamaya yönelik çiftçi ve sanayicinin uyacağı ve güven ortamını sağlayacak sözleşmeli tarım mekanizmalarının geliştirilmesi öngörülmüştür.

1940'lı yıllardan bu yana enflasyon olgusu ile iç içe yaşamaya alışmış Türkiye ekonomisi açısından enflasyonu belirli seviyelere indirebilmek hiç şüphe yok ki önemli fakat geç kalınmış bir başarıdır. Bu başarının korunması, enflasyondaki düşüşün yeniden atalet kazanmaması, belirli bir istikrarın sağlanması gerekmektedir. Çünkü Türkiye ekonomisinde enflasyon hem en büyük istikrarsızlık göstergesi olmuş hem de yeni istikrarsızlıklara neden olarak kısır bir döngü yaratmıştır. Hem istikrasızlıkların nedeni hem de sonucu olan enflasyonla kalıcı bir şekilde mücadele edilmelidir. Fakat bu süreç yani anti enflasyonist uygulamalar belirli bir süreç gerektirir. Dünyada benzer ülke uygulamalarında yaşanan en önemli handikapların başında enflasyon oranının kısa sürede büyük düşüşler gösterip tek haneli rakamlara ulaşan ülkelerde erken zafer havasına girilmesi ve rehavet başlamasıdır. Anti-enflasyonist politika uygulayan ekonomilerde enflasyonda belli bir düşüş süreci yakalansa da yukarı doğru hareketlenmelerin de olabileceği kabul edilmelidir. Fakat bu hareketlilik programın uygulayıcısına ve programa karşı güven sorununa neden olmamalıdır. Çünkü böyle bir durumda karar birimlerinin bekleyiş ve uygulamalarını yeniden artış trendine göre şekillendirmeleri enflasyonist ataleti yeniden oluşturabilecektir.

Türkiye ekonomisinde enflasyonun kalıcı bir şekilde düşürülebilmesi, bağımsız ve güçlü bir Merkez Bankası'nın etkin bir para politikası uygulamasıyla gerçekleşecektir. Bunun için kısa vadede sıkı bir para politikası, mali disiplin ve şeffaf bir şekilde fiyat ve ücret politikalarının açıklanması gerekmektedir. Orta vadede Türk lirasının değerini korumaya yönelik politikalar, uluslararası politika değişimlerini göz önünde bulunduracak ve anında uyum sağlayacak gıda/enerji verimliliği düzenlemeleri ve rekabet şartları oluşturulmalıdır. Uzun vadede ise kurumsal güvenilirlik, üretim olanaklarının arttırılarak dışa bağımlılığın azaltılması, verimlilik artışı ve mali ve finansal derinliğin oluşturulması gerekmektedir. Bu politikalarını kalıcı ve sürekli bir şekilde uygulanması karar birimlerinin desteğini alacak ve enflasyon Türkiye ekonomisinin kaderi olmaktan çıkacaktır.

KAYNAKÇA

Buluş, A. (2009). Türk İktisat Politikalarının Tarihi Temelleri, 2. Baskı, Konya: Tablet Kitabevi.

Slawson, W. D. (1982). *The new inflation: The collapse of free markets*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

EKONOMİ POLİTİKASI ETKİNLİĞİNDE MALİYE POLİTİKASI UYGULAMALARI: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

FISCAL POLICY PRACTICES IN ECONOMIC POLICY IMPLEMENTATION: THE CASE OF TÜRKIYE

Prof. Dr. Burcu GÜVENEK
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-7159-2555

Prof. Dr. Zeynep KARAÇOR
Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-2050-644X

Özet

İnsan ihtiyaçları sürekli artmakta, yinelenmekte, değişmektedir. İhtiyaçlar sınırsızdır. Buna karşılık, ihtiyaçları karşılamak için kullanılan kaynaklar ise kıttır. Ortada bir sorun vardır ve bu sorunun sonucu dengesizliktir. Nasıl çözülecektir bu sorun?

Ekonomi biliminin temel konusu kıt kaynakların en fazla tatmini sağlayacak şekilde insan ihtiyaçlarına tahsis edilmesi oluşturur. Tahsis sorunu iki farklı biçimde karşımıza çıkar. İlk olarak, bireylerin ellerindeki sınırlı kaynaklarla hangi ihtiyaçlarını karşılayacaklarını belirlemeleri başka bir ifadeyle tercih oluşturmalarıdır. İkinci olarak da üreticilerin, mevcut bulunan üretim faktörleri ile hangi üretimin yapılacağına karar vermek suretiyle kaynak tahsisinin yapılmasıdır. Bu anlamda ekonomi, karar birimlerinin ekonomik davranışlarını ve ekonomik yapının incelenmesini amaç edinmektedir. Karar birimleri arasında sürekli bir iş birliği ve işbölümü mevcuttur. Günümüz toplumlarının temel özelliklerinden birisi, insan ihtiyaçlarını karşılayan mal ve hizmetlerden çok büyük bir miktarının kendileri tarafından üretilememesi fakat değişim yoluyla kişi ve firmalardan yani ekonomiler arasından karşılanmasıdır. Bunun sonucu olarak ekonomiler arasındaki değişim niteliğindeki işlemler ve etkileşim çok büyük boyutlara ulaşmıştır. Bu etkileşim beraberinde istikrarsızlıkları ve hatta krizleri getirmiştir. İstikrarsızlıkların aşılması, ekonomik olayların çözümlenebilmesi, ekonomi politikasının saptanabilmesi ya da izlenen politikaların değerlendirilebilmesi ekonomilerin öncelikleri olmuştur. Bu önceliklerin belirlenebilmesi için de ekonomi kuramını makro ve mikro ekonomi ile pozitif ve normatif ekonomi kavramlarıyla çözümlemek yaygın bir gelenek olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ekonomi politikası, etkinlik, maliye politikası, Türkiye ekonomisi, istikrar.

Abstract

Human needs are continuously increasing, recurring, and changing. Needs are unlimited, whereas the resources used to satisfy these needs are scarce. This creates a fundamental problem, the consequence of which is disequilibrium. How, then, can this problem be resolved?

The fundamental subject of economics is the allocation of scarce resources among human needs in a way that provides the greatest possible level of satisfaction. The allocation problem arises in two different forms. First, individuals must determine which needs to satisfy with the limited resources at their disposal; in other words, they must form preferences. Second, producers must allocate resources by deciding what to produce with the available factors of production. In this sense, economics aims to examine the economic behavior of decision-making units and the economic structure. There is continuous cooperation and division of labor among decision-making units. One of the fundamental characteristics of modern societies is that a very large proportion of the goods and services that satisfy human needs cannot be produced by individuals themselves but are obtained through exchange from other individuals and firms, that is, among economies. As a result, transactions and interactions involving exchange among economies have reached considerable dimensions. This interaction has brought about instability and even crises. Overcoming instabilities, analyzing economic phenomena, formulating economic policy, and evaluating implemented policies have become among the primary concerns of economics.

In order to determine these priorities, it has become a common practice to analyze economic theory through the concepts of macroeconomics and microeconomics, as well as positive and normative economics.
Keywords: Economic policy, efficiency, fiscal policy, Turkish economy, stability.

GİRİŞ

Temel ekonomik sorunlar açısından ekonomi kavramının kullandığı makro (makros=büyük) ve mikro (mikros=küçük) kavramları eski Yunanca'dan ekonomi yazınına girmiştir. Makro ekonomi denildiğinde "geniş boyutlu ekonomi" bir başka ifadeyle "global büyüklüklerle uğraşan ekonomi" vurgulanırken, Mikro Ekonomi denildiğinde ise bunun tam tersi "dar boyutlu ekonomi", tek tek birey ve firmaların ekonomik sorunlarıyla uğraşan bir alt bilim dalı ifade edilmiştir.

Pozitif ekonomi kavramı, ekonomi biliminin teoriye dönük bölümüdür. Pozitif ekonomide tercihler ve inançlar söz konusu değildir. Söz konusu olan bir olgunun bilimsel olarak ortaya konulup analize tabi tutulmasıdır. Normatif ekonomi, ekonomi politikasını kapsayan bir alt daldır. Burada tercihler, bir başka deyişle sübjektif hedefler söz konusudur. Örneğin enflasyon nedir, nasıl ortaya çıkar sorusunun cevabını aramak ve bunu bir teori çerçevesinde açıklamak pozitif ekonominin, gelir dağılımının adil olup olmadığını değerlendirmeye tabi tutmak ve buradan bazı sonuçlara ulaşmak normatif ekonominin (Eğilmez ve Kumcu, 2002) yani ekonomi politikasının konusunu oluşturur.

EKONOMİ POLİTİKASINDA MALİYE POLİTİKASI UYGULAMALARI

Maliye politikası, ekonomide ulaşılmış bulunan dengeyi korumak veya daha iyi bir dengeye geçmek ya da ortaya çıkan dengesizlik hallerini gidermek amacıyla kamu kesimi gelir, gider ve borçlanmalarını kullanarak uygulanan politikalar bütünüdür. Tanımda ortaya konulduğu gibi maliye politikası ekonomiler açısından, önemli bir uyarıcı politikadır. Çünkü maliye politikasının etkinliği, ekonomilerin kalkınma gücü ile doğru orantılıdır. Kalkınma sürecinin gerçekleştirilmiş olan ekonomilerde maliye politikasının en önemli gelir kaynağı olan vergi, oran olarak düşüktür. İyi işleyen vergi sistemi, etkin mali sistem demektir. Oysa kalkınma sürecini gerçekleştirememiş ekonomilerde süreç tam tersidir. Vergi oranı yüksektir, kayıt dışı ekonomi oranı yüksektir. Gelirin az, giderin çok olduğu bir mali sistem vardır. Kamu açığı ve kamu borçlanma gereksinimi yüksektir. Bu durum ekonomide güvensizliğe neden olarak maliye politikasının amaç fonksiyonuna ulaşmasını engellemektedir.

Maliye politikasının alt politikaları şunlardır;

1. Vergi politikası,
2. Harcama politikası,
3. Borçlanma politikası,
4. Destekleme politikası,
5. Teşvik politikası,

Vergi politikası uygulamasını vergi çeşitleri açısından irdeleyeceğim. Eğer hükümet kurumlar vergisi oranlarını düşürür ise, kurumlar daha az vergi ödeyecekler ve ellerinde kalan fazla fonları yatırıma yönlendireceklerdir. Bu durum yatırım harcamalarının artmasına ancak kurumlar vergisi azaldığı için kamu gelirleri azalacak dolayısıyla harcama kapasitesi düşecektir. Bu durumda ya kamu harcamasını azaltarak ya da borçlanarak aynı harcama düzeyi devam edecektir.

Eğer gelir vergisi oranı enflasyonla mücadeleye yönelik olarak artırılırsa tüketim azalacak, buna karşın kamu geliri artacaktır. Devlet daha fazla gelir toplayarak daha fazla harcama yapacaktır.

Maliye politikası deflasyonist baskıları çözmeye yönelik olarak harcama politikası izler ise önce kamu harcamaları artacak, daha sonra da o harcamayı gelir olarak elde edenlerin yeni tüketim ve yatırım harcamalarını artıracaktır. Ekonomide enflasyonist bir ortam var ise, harcama politikası tam ters şekilde uygulanacaktır. Kamu harcamaları azaltılacak, harcamadan gelir elde edenlerin yeni tüketim ve yatırım harcamaları azalacaktır.

Gelir ve harcama politikalarına benzer etki oluşturan bir diğer politika borçlanma politikasıdır. Devlet talebi azaltmak için tahvil ve bono arz ederek ödünç fon elde edecektir. Çıkarılan tahvil ve bono bireylerin ellerindeki likidite fazlasını çekecektir ve tüketim azalacaktır.

Harcamalar politikasının özel bir biçimi destekleme politikalarıdır. Özellikle tarım alanında yapılan sübvansiyonlar destekleme politikasını oluşturur. Örneğin hükümet buğday üretimini desteklemek için dünya fiyatlarının üzerinde bir fiyat versin.

Bu durumda kamu harcamaları artacak gelir etkisiyle tüketim ve yatırım harcamaları da artacaktır. Bu durum çiftçiler üzerinde beklenti oluşturacak bu politikanın gelecek yılda uygulanacağı düşünülecektir. Beklenti tarımsal üretimde de artışa yol açacaktır. Benzer etkiler teşvik uygulamaları için de geçerli olacaktır. Örneğin bazı bölgelerde yatırımı artırmak için vergi indirimine gidilmesi teşvik politikasını oluşturacaktır. Vergi indirimi yatırımı artıracak, vergi oranı indiriminden dolayı kamu harcamaları azalacaktır.

Hükümetin kamu harcamalarını destekleme ve teşvik politikalarını artırması ve vergi oranlarını azaltmasına genişletici maliye politikaları denir. Tersi ise daraltıcı (sıkı) maliye politikasıdır. Yani hükümetin, kamu harcamalarını ve transfer ödemelerini azaltması ve vergi oranlarını yükseltmesi daraltıcı (sıkı) maliye politikasıdır. Genişletici ve daraltıcı maliye politikası uygulanarak ekonominin etkilenme mekanizması toplam talebe doğru ve sonrasında ise üretim ve istihdama doğru gerçekleşmektedir.

Hükümetin uyguladığı maliye politikası ilk olarak toplam talebi, toplam talep ise üretim ve istihdam seviyesini etkiler. Demek ki maliye politikası, hükümetin maliye politikası araçları yardımıyla ekonomideki toplam talebi kontrol etme politikasıdır (Bocutoğlu, 2011:173).

ORTA VADELİ İSTİKRAR POLİTİKALARI ÇERÇEVESİNDE MALİYE POLİTİKASI UYGULAMALARI

Finansal krizler etkileri bakımından çok yönlü olduğundan ekonomi politikalarının da çok yönlü olması ve aynı anda pek çok aracı birlikte kullanması gerekir. Bunun yanında finansal krizin etkileri sadece finans sektöründe değil reel sektörde de görülür. Bu etkilerden en önemlisi talep daralmasıdır. Talep daralması işsizliğin artmasına ve gelirlerin düşmesine neden olur. Bu durumda ilk akla gelen, ekonomi politikaları, geleneksel para ve maliye politikalarıdır. Para politikası uygulamaları olarak para arzının arttırılması ve faiz oranlarının düşürülmesi, maliye politikaları olarak kamu harcamalarının arttırılması ve faiz oranlarının düşürülmesi bu politikalara örnek olarak gösterilebilir.

Makro ekonomik sorunlar etkileri bakımından istikrarsızlıklara neden olduğundan izlenen ekonomi politikalarının çok yönlü olması ve pek çok aracı eşzamanlı olarak kullanması gerekmektedir. Uygulamada ilk akla gelen geleneksel para ve maliye politikalarıdır. Para arzının arttırılması ve faiz oranlarının düşürülmesi seçenekleri para politikaları, kamu harcamalarının arttırılması ve faiz oranlarının düşürülmesi ise maliye politikaları olarak uygulama alanı bulmaktadır.

Ancak izlenen para ve maliye politikalarının da sınırları olduğu unutulmamalıdır. Örneğin Türkiye ekonomi politikalarının para politikası ayağında para arzının bir artış sınırı bulunmaktadır aynı şekilde faiz oranının da indirilebileceği belirli seviyeler bulunmaktadır. Maliye politikası bakımından da benzer kısıtlar bulunmaktadır. Özellikle ekonomik istikrarsızlık dönemlerinde teşvik ödemeleri, işsizlik sigortası ödemeleri vb. bütçeye yük getiren harcamalara pay ayırmak zor hale gelmektedir.

Sözü edilen bu politikaların krizin etkilerini telafi etmeye çalışan politikalar olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Ancak asıl yapılması gereken istikrarsızlık-kriz durumunun ortaya çıkmasına neden olan sorunları ortadan kaldırmaya yönelik politikaların da beraberinde izlenmesidir. Türkiye ekonomisi de uyguladığı ve uygulayacağı ekonomi politikalarında bu durumu göz önünde bulundurmalıdır. Kalıcı ve sürdürülebilir makro iktisadi denge için uygulanacak ekonomi politikaları sorunun doğru tespiti, güven ortamının sağlanması, risk ve belirsizliğin azaltılması, şeffaflık, rasyonel para ve maliye politikalarının uygulanması amaçlarına uygun olarak belirlenmelidir.

Orta vadeli programın temel amacı istikrar içinde büyüyen, gelirin adil paylaşıldığı, küresel rekabet gücüne sahip, bilgi toplumuna dönüşen, AB'ye üyelik için uyum sürecini tanımlamış bir Türkiye hedefi, olarak belirlenmiştir. Bu belirlenen hedefe ulaşmak için ekonomik ve siyasi istikrarın sağlandığı bir ortamda, ülkenin beşeri ve iktisadi varlıkları etkin bir şekilde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda fiyat istikrarının sağlanması, istihdamın arttırılması, bölgesel gelişmenin sağlanması, kamu hizmetlerinde etkinliğin ve verimliliğin arttırılması ve ekonomik rekabet gücünün arttırılması temel hedef olarak belirlenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda 2006 yılından itibaren orta vadeli programlarla makro ekonomik istikrar sağlanmaya çalışılmıştır. Maliye, para ve gelirler politikaları ile güven, istikrar ve öngörülebilirliği güçlendirmek ve ekonominin dış şoklara karşı dayanıklılığını artırmak hedeflenmiştir.

Bu tedbirlerin yansıra cari açığın orta-uzun vadede kalıcı olarak azaltılması yolunda bir takım yapısal düzenlemelere ve sektörel bazda tedbirlerin alınmasına da çalışılmıştır. İstihdamı artırılmasına yönelik politikaların yanı sıra işgücünün niteliğini, işgücü piyasasının esnekliğini ve işgücüne katılım oranını arttıracak tedbirlere de yer verilmiştir.

Ayrıca makroekonomik istikrarın güçlendirildiği, özel sektörün öncü olduğu bir büyüme sürecinin desteklendiği, cari açıkla ve enflasyonla mücadeleye yardımcı olan yaklaşımlarla izlenen maliye politikaları da aktif rol oynamıştır. Bu kapsamda öngörülen gelir, harcama ve borçlanma dengelerinin sağlanmasına da özellikle dikkat edilmiştir. Kalıcı ve sürdürülebilir makro ekonomik istikrar için hem iç dengenin hem de dış dengenin sağlanmasına yönelik politikalar orta vadeli istikrar programlarında yer almıştır.

İstikrarlı büyümeyi sağlamak amacıyla cari açığın sürdürülebilir bir seviyeye indirilmesi ve finansmanının mümkün olduğunca doğrudan yatırımlar ve uzun vadeli kaynaklarla karşılanması ödemeler bilançosu dengesi için temel alınmıştır.

Yurtiçi tasarrufların artırılması, mali disiplinin korunması, yatırım ortamının iyileştirilmesi, işgücü piyasasının esneklik ve etkinliğinin artırılması, kayıt dışı ekonomi ile etkin mücadele edilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef kapsamında enerjide yerli ve yenilenebilir kaynakların payı artırılacak, enerji verimliliğini sağlayıcı çalışmalar desteklenerek ithalata olan bağımlılık azaltılacaktır.

Firmaların küresel rekabet gücünün artırılması amacıyla yenilikçiliğe dayalı, markalı, katma değeri yüksek ürün ve hizmetlerin üretim ve pazarlama süreçlerinin desteklenmesine devam edilmiştir. Girdi Tedarik Stratejisi kapsamında; ihracata dönük üretimde daha etkin ve düşük maliyetli girdi tedarikine, üretim ve ihracatın ara malı ithalatına bağımlılığının azaltılmasına ve bu suretle ihracatta sürdürülebilir rekabet gücüne katkı sağlanmasına yönelik eylemler hayata geçirilmiş ve uygulanmaya devam edilmiştir.

Yurtiçinde üretim yapan uluslararası firmaların tedarik zincirlerinde yurtiçi üretimin payının artırılmasına yönelik politikalar geliştirilmiştir.

Dış ticaret bakımından değerlendirildiğinde ise ithalatta piyasa gözetimi ve denetimi sisteminin etkinliğinin arttırılması hedeflenmiş, ihracata yönelik politikalarda ise pazar çeşitliliğinin artırılması ve pazara girişin kolaylaştırılması desteklenme politikalarına ilişkin uygulamalar sürdürülmüştür. Ödemeler bilançosu dengesi için yurtiçi finansal piyasalardaki istikrar temel şarttır. Bu bağlamda orta vadeli istikrar programlarında fiyat istikrarını ve finansal istikrarı sağlamak ve sürdürmek para politikasının temel amacı olarak belirlenmiştir.

Finansal istikrar için finansal sistemde tasarrufların artırılması, kaynak dağılımında etkinliğin sağlanması, sermaye piyasaları geliştirilerek finansmana erişimin kolaylaştırılması ve finansal okuryazarlığın yaygınlaştırılması suretiyle finansal istikrarın desteklenmesi amaçlanmaktadır. Program döneminde ekonominin dışsal ve geçici oynaklıklara karşı direncinin artırılmasına yönelik olarak düzenleyici tedbirlerle finansal istikrarın güçlendirilmesi, finansal sektörün aracılık faaliyetinin yüksek katma değerli ve ihracata katkı sunan sektörleri desteklemesi sağlanarak dış finansmana bağımlılıktan kaynaklanan kırılganlıkların en aza indirilmesi hedeflenmektedir.

Para politikası, enflasyon hedeflemesi çerçevesinde yürütülmüş, kısa vadeli faiz oranları kullanılarak zorunlu karşılık oranları ve faiz koridoru gibi birbirini tamamlayıcı nitelikteki araçlar ile Türk Lirası ve döviz cinsi likidite düzenlemelerinin birlikte uygulanması hedeflenmiştir.

Program döneminde mali disiplinin ve enflasyonu düşürmeye odaklı para politikasının sürdürülmesi temel hedef olmuştur. Bu hedefe ulaşılmasında yönetilen/ yönlendirilen fiyatlar ile vergi ayarlamalarının enflasyon hedefleri ile uyumunun gözetileceği ve para politikasındaki temkinli duruşun devam etmesi gerektiği kabul edilmiştir.

Özellikle enflasyon rakamlarında görülen artışla birlikte 2024 ve sonrası için orta vadeli istikrar programı fiyat istikrarının kalıcı olarak tesis edilmesi amacıyla enflasyon hedeflemesi rejimine devam edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu bağlamda, Merkez Bankası tarafından para politikası araçları enflasyon görünümüne göre fiyat istikrarı hedefi gözetilerek kullanılacaktır. Fiyat İstikrarı Komitesi, arz yönlü ve yapısal sorun alanlarına odaklanacak ve uygulanacak politikaların koordinasyonunu sağlayarak etkinliğini artıracaktır. Yönetilen ve yönlendirilen fiyatlar, ilgili yılın enflasyon tahminiyle uyumlu olarak belirlenerek enflasyon ataleti azaltılacaktır. Enerji piyasaları başta olmak üzere şeffaflık ve rekabet odaklı uygulamalar yaygınlaştırılacaktır. Piyasada sağlıklı fiyat oluşumuna katkı sağlamak amacıyla başta gıda fiyatlarına yönelik

Erken Uyarı Sistemi olmak üzere büyük veri ve veri analiz sistemleri oluşturularak etkin bir şekilde kullanılacaktır. Gıda arz güvenliğini sağlayarak fiyat istikrarını korumak amacıyla, tarım arazilerinin korunması ve etkin kullanımı çalışmalarına devam edilecek, ekilebilir ve sulanabilir alanların artırılması için yatırımlar artırılarak sürdürülecek, tohum, gübre, yem, ilaç ve mazot gibi girdi maliyetlerinin yanı sıra finansman yükünü hafifletici, teknoloji odaklı dönüşümü sağlayıcı programlar uygulamaya konulacaktır. Gıda ürünlerinin tarladan sofraya soğuk zincir sistemiyle güvenli bir biçimde, en az fireyle ve makul fiyatlarla ulaşmasını sağlamak amacıyla bütüncül bir yaklaşımla hal ve kooperatifçilikte iyileştirmeler yapılarak dağıtımın kayıtlı ve en az lojistik maliyetli olmasına yönelik düzenlemeler yapılacaktır. Tarımsal üretim planlamasına katkı sağlanması, üretimde öngörülebilirliğin artırılması, fiyat dalgalanmalarının önüne geçilmesi, çiftçinin ürettiği ürünü değer fiyattan satabilmesi, sanayinin ihtiyaç duyduğu kalitede ürünü tedarik edebilmesi için tarım-sanayi entegrasyonunu sağlamaya yönelik çiftçi ve sanayicinin uyacağı ve güven ortamını sağlayacak sözleşmeli tarım mekanizmalarının geliştirilmesi öngörülmüştür.

Orta vadeli istikrar programları kapsamında bu programlarla birlikte yapısal düzenlemelere de makro iktisadi istikrarın sağlanması için yer verilmiştir. Küresel sistemde olduğu gibi Türkiye ekonomisinde de yeşil dönüşüm, büyüme ve kalkınma sürecinin temel hedeflerinden biri olarak belirlenmiştir.

2008 küresel finansal krizi, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülke ekonomilerinde istikrarsızlıklara neden olmuştur. Finansal kriz bütün ekonomileri etkisi altına alarak makroekonomik istikrarsızlıklara özellikle fiyat istikrarsızlığına neden olmuştur. Bu durum merkez bankalarını alternatif para politikası arayışlarına yönlendirmiştir. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası da; 2010 yılı sonlarından itibaren krizin olumsuz etkilerini sınırlandırmak için geleneksel para politikaları uygulamaları dışında, şoklara karşı tepki verebileceğini düşündüğü yeni bir para politikası tasarlamıştır. Yeni para politikası birden fazla faizin araç olarak kullanıldığı asimetrik ve geniş bir koridor sistemi ile aktif bir likidite politikasına dayalı esnek bir çerçeve getirmiştir. Bu çerçevede Rezerv Opsiyon Mekanizması ve zorunlu karşılık oranları araçları daha aktif olarak kullanılması hedeflenmiştir.

Merkez Bankası tarafından uygulanan geniş faiz koridoru küresel belirsizliklerin yoğun olduğu dönemde, sermaye hareketlerindeki oynaklığın etkisini azaltmak doğrultusunda önemli bir katkı sağlamakla birlikte, para politikasının anlaşılması konusunda bazı olumsuzlukları da beraberinde getirmiştir. Özellikle uygulamadaki bu olumsuzluk para politikasının etkinliğini ve hedeflenen amaçlara ulaşmasını zorlaştırmıştır. Bunun nedeni de Türkiye Ekonomisinde yaşanan Merkez Bankası iletişim kanallarında yaşanan sorundur.

Merkez Bankacılığında son yıllardaki eğilim geçmişte uygulanan “gizlilik” geleneğinden farklı olarak “şeffaflık” geleneği ön plana çıkmıştır. Bu bağlamda merkez bankaları iletişim politikalarına artan oranda önem vermeye başlamıştır. Özellikle kurumsal tasarımda merkez bankalarının bağımsızlığının öneminin kabul görmesi iletişim politikalarının rolünü arttırmıştır.

İletişim politikaları neden önemlidir? Bu sorunun cevabı iletişim politikalarının içeriğinde bulunmaktadır. Merkez Bankasının bağımsızlığı hesap verilebilir olmayı gerektirmektedir. Hesap verilebilir olmayı sağlayan araçlardan biri de iletişim politikalarıdır. Etkin bir iletişim politikasıyla uygulanan politikaların kamuoyuna aktarılması, bu politikaların toplum tarafından kabul görmesine ve anlaşılır olmasını sağlayarak güvenilirliği arttıracaktır. Uygulanan politikaların güvenilirlik ölçüsünde, bekleyişlerin politika hedefleri doğrultusunda oluşmasına katkıda bulunmakta, enflasyon ataletinin azalmasına yardımcı olmakta dolayısıyla para politikasının etkinliğini arttırmaktadır. İletişim kanallarında yaşanan sorun ise güvenilirliği negatif bir şekilde etkileyerek, beklentilerin negatif olmasına, enflasyonun atalet kazanmasına, risk ve belirsizliğin artmasına ve dolayısıyla para politikasının başarısız olmasına neden olacaktır. Türkiye ekonomisinde enflasyonun tekrar atalet kazanmasındaki temel neden budur.

SONUÇ

Politika, toplumsal yaşamın ve onu oluşturan unsurlar arası ilişkilerin düzenlenmesi, yönlenmesi ve şekillenmesine ilişkin çabalardan oluşmaktadır. Ekonomi ise karar birimlerinin karar ve davranışlarını, tüketim ve tasarruf eğilimlerinin toplumlar arasında nasıl farklılık gösterdiği ve bir toplumda bu eğilimlerin değiştirilmesi için neler yapılması gerektiği üzerinde çalışır. Bu anlamda ekonomi objektif ve sübjektif yaklaşımları birleştirir.Geleneksel ekonomi politikası süreçlerin rasyonel işlediği ve kararların optimal olduğu varsayımı üzerinde odaklanmaktadır.

Ekonominin dışsal olduğu kabul edilen alternatif politikalara veya kurallara nasıl tepki verdiği şeklindeki pozitif soruya yanıt aranmaya çalışılmaktadır. Politika yapımcıları, ekonominin vereceği tepkiyi bildikleri takdirde bir sonraki aşama olan normatif politika önermelerine geçebileceklerini belirtmektedirler. Geleneksel ekonomi politikası, spesifik bir amaç fonksiyonu veri iken, en iyi politika ve kural seçimine dayanan politika olmaktadır

Geleneksel ekonomi politikası "enstrüman-hedef" ilişkisini uygulamaktadır. Politika otoritesinin "enstrüman-hedef" tercih fonksiyonları ekonomi politikasının normatif standartlara uyduğu varsayılmaktadır. Makro iktisat alanında kaynak tahsisinde etkinliğe öncelik verilmektedir

Geleneksel ekonomi politikası tam rekabete dayalı bir piyasa yapısını esas almaktadır. Politika hedefleri veri olarak kabul edilmektedir. Geleneksel ekonomi politikası karar birimlerinin davranış ve tutumlarını modellerinde dışlamaktadır. Politika süreçlerin istikrar, büyüme, regülasyon ve kamu yatırımlarının sektörler arasındaki dağılımı konusundaki etkiler dikkate alınmamaktadır.

Özellikle geleneksel ekonomi politikaları yirminci yüzyılın sonlarına doğru batılı ülkelerin gerek mikro gerekse makro sorunlarına yanıt verememiştir. Bunun yanı sıra ekonomilerin özellikle üçüncü dünya ülkelerinin başarı ve başarısızlıklarının tam açıklanamaması yeni politika arayışlarını daha belirgin hale getirmiştir. Bu durum yeni ekonomi politikaları arayışını beraberinde getirmiş ve "yeni ekonomi politikaları" oluşmuştur. Yeni ekonomi politikası gerek ülkeler arasında gerekse bir ülkede zaman içinde ortaya çıkan farklılıkların nasıl açıklanabileceği, ortak desenlerin nedenleri, makroekonomik değişkenlerin ekonomi politikaları etkileşimi, ekonomik ve sosyal ortam ile sistematik bir ilişki içinde olup olmadığı sorgulanmaktadır.

Yeni ekonomi politikası kapsamında maliye politikası gerek pozitif gerekse normatif unsurları içermektedir. Pozitif bakış açısından teori, karar birimlerinin alternatif güçlü kısıtları altındaki davranışlarını tanımlarken, normatif bakış açısından mevcut politik ve ekonomik kurumlarda uygun reformlar yoluyla isteklerin güdü kısıtlarının analize nasıl getirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Karar birimlerinin zevkleri, beceri yarışı (yetenekleri) ve beklentileri heterojenliği oluşturmaktadır. Çıkar heterojenliği, karar birimlerinin amaç fonksiyonlarındaki çatışmayı "kurumsal değişimin" (kalkınma-rekabet) gerçekleşmesine yöneltmektedir.

Klasiklerde para etkisizken; Keynesyen ekonomide, para politikası, likidite tuzağı olmadığı durumlarda etkindir. (Keynes'e göre para arzı artışı likidite tuzağı olmadığı takdirde yatırımları ve tüketimi artıracaktır. Likidite tuzağının olduğu durumda ise, para arzı artışı faiz haddini düşüremeyeceğinden, harcamalarda da bir artış söz konusu olmayacaktır). Keynes maliye politikasını ekonominin olmazsa olmaz aracı olarak kabul etmektedir. Keynes'in varsayımları Büyük Buhran'a çözüm üretmeye yöneliktir. Özellikle talebin ön plana çıkmasının nedeni, ilgili devirde yaşanan işsizlik ve fakirlik nedeniyle daralan talebi canlandırma amacından kaynaklanmaktadır. Bunun için de genişletici kamu politikaları dolayısıyla müdahaleci bir yaklaşım çıkar yol olarak görülmüştür.

KAYNAKÇA

Bocutoğlu, E., (2011). *Makro İktisat Teoriler ve Politikalar*. 8. Baskı, Trabzon: Murathan Yayınları.

Eğilmez, M. Ve Kumcu, E., (2002), *Ekonomi Politikası, Teori ve Türkiye Uygulaması*, İstanbul: Om Yayınevi.

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF SLPR1.9 (SOLYC08G068990) ORTHOLOGS IN THE POTATO GENOME

Prof. Dr. M. Aydın AKBUDAK
Department of Agricultural Biotechnology, Akdeniz University, Antalya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1397-4678

Özet
Patogenezle ilişkili protein 1 (PR-1) proteinleri temel olarak bitkilerin patojenlere karşı savunmasında rol almakla birlikte, son yıllarda bazı PR-1 ailesi üyelerinin abiyotik stres yanıtlarında da görev aldığı gösterilmiştir. Domateste (*Solanum lycopersicum*) SlPR-1.9 (Solyc08g068990) geninin kuraklık stresine yanıt verdiği ve heterolog aşırı ekspresyonunun *Arabidopsis thaliana*'da tuz stresi toleransını artırdığı daha önce belirlenmiştir. Bu çalışmada, SlPR-1.9'un patatesteki (*Solanum tuberosum*) en yakın ortoloğunun belirlenmesi ve biyoinformatik yöntemlerle karakterize edilmesi amaçlanmıştır. *S. tuberosum* v6.1 (DM v6.1) proteomunda gerçekleştirilen BLASTP analizi sonucunda SlPR-1.9 ile ≥%50 amino asit dizi benzerliği gösteren üç aday protein belirlenmiştir. Bu adaylardan Soltu.DM.08G018350.1, SlPR-1.9 ile %97 dizi benzerliği göstermiş ve filogenetik analizde SlPR-1.9 ile %100 bootstrap desteğine sahip bir grup oluşturmuştur. Korunmuş domain analizi, incelenen tüm PR-1 proteinlerinin karakteristik CAP domainini (PF00188) taşıdığını; SlPR-1.9 (51–169 aa) ve Soltu.DM.08G018350.1'in (52–169 aa) ise neredeyse aynı domain sınırlarına sahip olduğunu göstermiştir. SignalP 6.0 analizi tüm proteinlerde Sec/SPI tipi sinyal peptidi öngörürken, SlPR-1.9 ve Soltu.DM.08G018350.1 için aynı kesim bölgesi (26/27. amino asitler) belirlenmiştir. Hücre içi lokalizasyon analizinde CELLO her iki proteinin de hücre dışında lokalize olduğunu öngörürken, WoLF PSORT Soltu.DM.08G018350.1 için kloroplast lokalizasyonu tahmin etmiştir. Yüksek dizi benzerliği, güçlü filogenetik ilişki ve korunmuş yapısal özellikler birlikte değerlendirildiğinde, Soltu.DM.08G018350.1 SlPR-1.9'un patatesteki en yakın olası ortoloğu olarak belirlenmiştir. SlPR-1.9'un kuraklık ve tuz stresi yanıtlarındaki bilinen rolü göz önüne alındığında, belirlenen ortoloğun patateste abiyotik stres yanıtlarının araştırılması açısından önemli bir aday gen olduğu düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Abiyotik stres, CAP domaini, patates, SlPR-1.9, *Solanum tuberosum*, stres toleransı

Abstract
Pathogenesis-related protein 1 (PR-1) proteins are primarily associated with plant defense against pathogens; however, increasing evidence suggests that individual PR-1 family members also contribute to abiotic stress responses. In tomato (*Solanum lycopersicum*), SlPR-1.9 (Solyc08g068990) was previously shown to respond to drought stress, while its heterologous overexpression enhanced salt-stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. In the present study, the closest potato (*Solanum tuberosum*) ortholog of SlPR-1.9 was identified and comparatively characterized using bioinformatic approaches. BLASTP analysis against the *S. tuberosum* v6.1 (DM v6.1) proteome identified three candidate proteins showing ≥50% amino acid sequence identity to SlPR-1.9. Among these, Soltu.DM.08G018350.1 exhibited 97% sequence identity and formed a strongly supported sister group with SlPR-1.9 in phylogenetic analysis (bootstrap = 100), supporting its identification as the closest putative potato ortholog. Conserved domain analysis confirmed the characteristic CAP domain (PF00188) in all analyzed PR-1 proteins, with nearly identical domain boundaries in SlPR-1.9 (51–169 aa) and Soltu.DM.08G018350.1 (52–169 aa). SignalP 6.0 predicted Sec/SPI-type signal peptides in all proteins, with SlPR-1.9 and Soltu.DM.08G018350.1 sharing an identical cleavage site at residues 26/27. CELLO predicted both proteins to be extracellular, although WoLF PSORT predicted chloroplast localization for the potato protein. Collectively, the high sequence identity, strongly supported phylogenetic relationship, and conserved structural features identify Soltu.DM.08G018350.1 as the closest putative potato ortholog of SlPR-1.9. Given the previously demonstrated involvement of SlPR-1.9 in drought and salt-stress responses, this potato ortholog represents a promising candidate for future functional studies of abiotic stress responses.
Keywords: Abiotic stress, CAP domain, potato, SlPR-1.9, *Solanum tuberosum*, stress tolerance

Introduction

Pathogenesis-related (PR) proteins constitute an important component of plant defense mechanisms and are classified into several families according to their structural and functional characteristics. Among these, pathogenesis-related protein 1 (PR-1) proteins are well-known components of plant immune responses and are commonly associated with salicylic acid-mediated defense signaling and systemic acquired resistance (van Loon et al., 2006; Breen et al., 2017). PR-1 proteins belong to the conserved CAP superfamily and are widely distributed across plant species (Breen et al., 2017).

Despite their classical association with pathogen defense, accumulating evidence indicates that PR-1 genes are also involved in responses to abiotic stresses. Individual members of PR-1 multigene families may exhibit distinct responses to environmental conditions, suggesting functional diversification beyond their traditional roles in plant–pathogen interactions. In tomato (*Solanum lycopersicum*), our previous genome-wide analysis of the PR-1 family demonstrated differential responses of several members to drought stress. In particular, SlPR-1.9 (Solyc08g068990) showed a pronounced response to drought, suggesting its involvement in abiotic stress adaptation (Akbudak et al., 2020). Subsequently, heterologous overexpression of SlPR-1.9 in *Arabidopsis thaliana* enhanced tolerance to salt stress, providing functional evidence for its role in abiotic stress tolerance (Yildiz and Akbudak, 2024).

Potato (*Solanum tuberosum*) is a close relative of tomato and contains multiple members of the PR-1 family (Zaynab et al., 2021). However, the evolutionary relationship between the stress-responsive tomato SlPR-1.9 and its corresponding PR-1 protein(s) in potato has not been specifically investigated. Identification of its closest potato counterpart may provide a basis for further investigation of the conservation and potential functional diversification of this stress-associated PR-1 protein in Solanaceae.

Therefore, this study aimed to identify the closest potato ortholog of SlPR-1.9 and comparatively characterize its evolutionary and structural features using bioinformatic approaches. Candidate proteins were evaluated based on sequence similarity, phylogenetic relationships, conserved domains, signal peptide characteristics, and predicted subcellular localization.

Materials and Methods

Identification of SlPR1.9 Orthologs in Potato

The amino acid sequence of tomato SlPR1.9 (Solyc08g068990.2.1) was used as a query to identify homologous PR-1 proteins in potato (*Solanum tuberosum*). BLASTP searches were performed against the *Solanum tuberosum* v6.1 (DM v6.1) proteome. Candidate proteins were evaluated based on amino acid sequence identity, E-value, and alignment coverage. Proteins showing ≥50% amino acid sequence identity, together with significant E-values and substantial alignment coverage, were retained for further comparative analyses. The evolutionary relationships of the selected proteins with SlPR1.9 were subsequently assessed by phylogenetic analysis.

Conserved domain analysis

Conserved protein domains in SlPR1-9 and the selected PR-1 proteins were analyzed using the KEGG MOTIF Search tool, with Pfam as the domain database. Protein sequences were screened for conserved domains, and domain positions and independent E-values were recorded. Only statistically well-supported domains relevant to the PR-1 protein family were considered for further interpretation.

Subcellular localization and signal peptide prediction

The subcellular localization of SlPR1-9 and the selected PR-1 proteins was predicted using WoLF PSORT and CELLO v2.5. WoLF PSORT predictions were performed using the plant organism setting, while CELLO v2.5 was used as an independent sequence-based subcellular localization prediction tool. In addition, the presence and cleavage positions of N-terminal signal peptides were analyzed using SignalP 6.0 with the Eukarya organism group. Predictions obtained from the three tools were comparatively evaluated to assess the putative cellular targeting of the proteins.

Results

Phylogenetic Relationships

Phylogenetic analysis revealed a clear separation of the analyzed PR-1 proteins (Figure 1). SlPR1.9 (Solyc08g068990.2.1) and Soltu.DM.08G018350.1 formed a strongly supported sister group with a bootstrap value of 100, indicating a very close evolutionary relationship between these two proteins. In contrast, the other potato candidates, Soltu.DM.07G001990.1 and Soltu.DM.07G001980.1, clustered separately, with moderate bootstrap support (69). The tomato paralog SlPR1-11 (Solyc09g007010.1.1) clustered with Arabidopsis AtPR1 (AT2G14610.1) with strong bootstrap support (99), further distinguishing this group from the SlPR1.9–Soltu.DM.08G018350.1 pair. Together with the exceptionally high amino acid sequence identity (97%) observed between SlPR1.9 and Soltu.DM.08G018350.1, the phylogenetic analysis supports Soltu.DM.08G018350.1 as the closest putative potato ortholog of SlPR1.9.

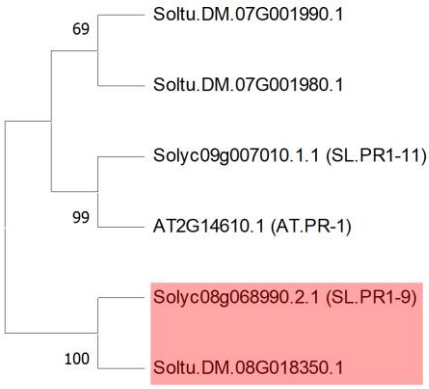


Figure 1. Phylogenetic relationships of SlPR1-9 and selected PR-1 proteins. Bootstrap values are indicated at the corresponding nodes. The highlighted region indicates the clade containing SlPR1-9 and its closest potato homolog, Soltu.DM.08G018350.1.

Conservation of the CAP domain in PR-1 proteins

KEGG MOTIF Search using the Pfam database identified the characteristic CAP domain (PF00188; cysteine-rich secretory protein family) in all analyzed PR-1 proteins. The CAP domain of SlPR1-9 extended from residues 51 to 169 (E-value = 7.1×10^{-20}), whereas its closest potato homolog, Soltu.DM.08G018350.1, exhibited an almost identical domain position spanning residues 52 to 169 (E-value = 1.6×10^{-19}). The other potato proteins, Soltu.DM.07G001990.1 and Soltu.DM.07G001980.1, contained CAP domains at residues 51–168 and 67–187, respectively. CAP domains were also detected in SlPR1-11 (32–147) and AtPR1 (34–149). Overall, conservation of the CAP domain across all analyzed proteins supports their classification within the PR-1/CAP protein family, while the nearly identical CAP domain boundaries of SlPR1-9 and Soltu.DM.08G018350.1 further demonstrate their close structural similarity.

Subcellular localization and signal peptide characteristics

CELLO predicted extracellular localization for all analyzed PR-1 proteins, including SlPR1-9 and its closest potato homolog, Soltu.DM.08G018350.1. In contrast, WoLF PSORT predicted SlPR1-9 as extracellular but assigned Soltu.DM.08G018350.1 and Soltu.DM.07G001990.1 predominantly to the chloroplast. SignalP 6.0 identified a Sec/SPI-type N-terminal signal peptide in all analyzed proteins, with high prediction probabilities (>0.997). Notably, SlPR1-9 and Soltu.DM.08G018350.1 shared an identical predicted cleavage site between residues 26 and 27, whereas cleavage sites of Soltu.DM.07G001990.1 and Soltu.DM.07G001980.1 were predicted between residues 22 and 23. The combined predictions, particularly the agreement between CELLO and SignalP, support secretory pathway targeting of the analyzed PR-1 proteins.

The identical signal peptide cleavage position of SlPR1-9 and Soltu.DM.08G018350.1 further supports their close structural relationship (Table 1).

Table 1. Predicted subcellular localization and signal peptide characteristics of SlPR1-9 and selected PR-1 proteins

Protein	WoLF PSORT	CELLO	SignalP 6.0	Cleavage site
SL.PR1-9 (Solyc08g068990.2.1)	Extracellular	Extracellular	Sec/SPI (0.9997)	26/27
Soltu.DM.08G018350.1	Chloroplast	Extracellular	Sec/SPI (0.9974)	26/27
Soltu.DM.07G001990.1	Chloroplast	Extracellular	Sec/SPI (0.9998)	22/23
Soltu.DM.07G001980.1	Extracellular	Extracellular	Sec/SPI (0.9996)	22/23
SL.PR1-11 (Solyc09g007010.1.1)	Extracellular	Extracellular	Sec/SPI (0.9997)	24/25
AT.PR1 (AT2G14610.1)	Vacuolar[1]	Extracellular	Sec/SPI (0.9997)	26/27

WoLF PSORT and CELLO were used for subcellular localization prediction, while SignalP 6.0 was used for signal peptide and cleavage-site prediction. Sec/SPI indicates a signal peptide processed by signal peptidase I. Colors represent the three phylogenetic groups shown in Figure 1. [1]AtPR1 was predominantly predicted as vacuolar by WoLF PSORT, with extracellular localization as the second-highest prediction.

Discussion

PR-1 proteins are classically associated with pathogen defense; however, increasing evidence indicates that individual members of this family also participate in plant responses to abiotic stresses. Our previous genome-wide analysis of the tomato PR-1 family demonstrated that SlPR-1 genes are responsive to drought stress, with SlPR-1.9 among the stress-responsive family members (Akbudak et al., 2020). More importantly, the subsequent functional characterization of SlPR-1.9 showed that its heterologous overexpression enhanced salt-stress tolerance in *Arabidopsis thaliana* (Yildiz and Akbudak, 2024). These findings suggest that SlPR-1.9, despite belonging to a protein family traditionally associated with pathogen responses, may have a broader function in adaptation to abiotic stress.

The present comparative analysis identified three potato proteins showing ≥50% amino acid identity to SlPR-1.9. Among these, Soltu.DM.08G018350.1 exhibited 97% amino acid identity with SlPR-1.9, substantially higher than the identities observed for the other candidate proteins. This exceptionally high sequence conservation was further supported by phylogenetic analysis, in which SlPR-1.9 and Soltu.DM.08G018350.1 formed a strongly supported sister group with a bootstrap value of 100. In contrast, Soltu.DM.07G001990.1 and Soltu.DM.07G001980.1 clustered separately. Taken together, the sequence similarity and phylogenetic evidence strongly support Soltu.DM.08G018350.1 as the closest putative potato ortholog of SlPR-1.9.

Structural analyses provided additional evidence of conservation between the two proteins. All analyzed proteins contained the characteristic CAP domain (PF00188), consistent with their classification within the PR-1/CAP family. Notably, the CAP domain occupied almost identical positions in SlPR-1.9 (51–169 aa) and Soltu.DM.08G018350.1 (52–169 aa), indicating strong conservation of their core domain architecture. Previous genome-wide analysis of potato identified 22 PR-1 genes encoding proteins containing the conserved CAP superfamily domain (Zaynab et al., 2021), consistent with the CAP domains identified in the potato PR-1 proteins analyzed in the present study.

Signal peptide analysis also revealed considerable conservation. SignalP 6.0 predicted a Sec/SPI-type N-terminal signal peptide in all proteins analyzed in the present study. SlPR-1.9 and Soltu.DM.08G018350.1 shared an identical predicted cleavage position between residues 26 and 27.

The same cleavage position was also observed for AtPR1, indicating that this feature is not unique to the SlPR-1.9–Soltu.DM.08G018350.1 pair but may represent a conserved N-terminal processing characteristic among some PR-1 proteins. CELLO predicted extracellular localization for all analyzed proteins, consistent with their predicted signal peptides. Although WoLF PSORT predicted chloroplast localization for Soltu.DM.08G018350.1, the agreement between SignalP and CELLO supports its targeting through the secretory pathway. Nevertheless, these predictions should be interpreted cautiously, and experimental localization studies will be required to establish its final subcellular destination.

Overall, the combined sequence, phylogenetic, domain, and signal peptide analyses reveal a high degree of conservation between tomato SlPR-1.9 and potato Soltu.DM.08G018350.1. Given the previously demonstrated involvement of SlPR-1.9 in drought response and salt-stress tolerance, the strong evolutionary and structural conservation observed here makes Soltu.DM.08G018350.1 an interesting candidate for future functional studies of abiotic stress responses in potato. However, the present bioinformatic evidence does not itself establish a role for Soltu.DM.08G018350.1 in stress tolerance, and this hypothesis should be tested through expression and functional analyses.

Conclusions and Recommendations

The present study identified Soltu.DM.08G018350.1 as the closest putative potato ortholog of the tomato stress-responsive SlPR-1.9 protein. Its 97% amino acid identity with SlPR-1.9, strongly supported phylogenetic relationship (bootstrap = 100), nearly identical CAP domain organization, and conserved N-terminal signal peptide characteristics demonstrate a high degree of evolutionary and structural conservation between the two proteins. Considering the previously demonstrated association of SlPR-1.9 with drought response and salt-stress tolerance, Soltu.DM.08G018350.1 represents a promising candidate for investigating whether this stress-associated function has also been conserved in potato. Future expression and functional analyses under abiotic stress conditions will be required to test this possibility.

References

Akbudak, M. A., Yildiz, S., & Filiz, E. (2020). Pathogenesis related protein-1 (PR-1) genes in tomato (*Solanum lycopersicum* L.): Bioinformatics analyses and expression profiles in response to drought stress. *Genomics, 112*(6), 4089–4099. https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2020.07.004

Breen, S., Williams, S. J., Outram, M., Kobe, B., & Solomon, P. S. (2017). Emerging insights into the functions of pathogenesis-related protein 1. *Trends in Plant Science, 22*(10), 871–879. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.013

Luo, X., Tian, T., Feng, L., Yang, X., Li, L., Tan, X., Wu, W., Li, Z., Treves, H., Serneels, F., Ng, I.-S., Tanaka, K., & Ren, M. (2023). Pathogenesis-related protein 1 suppresses oomycete pathogen by targeting against AMPK kinase complex. *Journal of Advanced Research, 43*, 13–26. https://doi.org/10.1016/j.jare.2022.02.002

van Loon, L. C., Rep, M., & Pieterse, C. M. J. (2006). Significance of inducible defense-related proteins in infected plants. *Annual Review of Phytopathology, 44*, 135–162. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.44.070505.143425

Yildiz, K., & Akbudak, M. A. (2024). Overexpression of the tomato pathogenesis-related gene SlPR-1.9 confers increased tolerance to salt stress in *Arabidopsis thaliana*. *Mediterranean Agricultural Sciences, 37*(3), 147–154. https://doi.org/10.29136/mediterranean.1556782

Zaynab, M., Peng, J., Sharif, Y., Al-Yahyai, R., Jamil, A., Hussain, A., Khan, K. A., Alotaibi, S. S., & Li, S. (2021). Expression profiling of pathogenesis-related Protein-1 (PR-1) genes from *Solanum tuberosum* reveals its critical role in *Phytophthora infestans* infection. *Microbial Pathogenesis, 161*, 105290. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2021.105290

IDENTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF ATBOR1 ORTHOLOGS IN BARLEY (HORDEUM VULGARE)

Prof. Dr. M. Aydın AKBUDAK
Department of Agricultural Biotechnology, Akdeniz University, Antalya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1397-4678

Özet
Bor (B), bitkilerin büyüme ve gelişmesi için gerekli temel bir mikro besin elementi olup, B homeostazının sürdürülebilmesi için alımı ve bitki içerisindeki dağılımının sıkı bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. *Arabidopsis thaliana*'da BORON TRANSPORTER 1 (AtBOR1), özellikle B'nin sınırlı olduğu koşullarda, B'nin stele doğru taşınmasında ve ardından kökten sürgüne translokasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Ancak AtBOR1 ile ilişkili taşıyıcılar arpada (*Hordeum vulgare*) henüz yeterince karakterize edilmemiştir. Bu çalışmada, Morex arpa genomunda olası AtBOR1 ortologları belirlenmiş ve biyoinformatik yaklaşımlar kullanılarak karakterize edilmiştir. Dört aday protein belirlenerek korunmuş domain analizi, filogenetik analiz, hücre içi lokalizasyon tahmini ve dijital ifade profillemesine tabi tutulmuştur. Dört proteinin tamamının BOR ailesi taşıyıcılarının karakteristik özelliği olan korunmuş PF00955 HCO3− taşıyıcı integral membran domainini içerdiği ve ağırlıklı olarak plazma membranında lokalize olduğu tahmin edilmiştir. Filogenetik analiz, HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1'in AtBOR1 ile en yakın ilişkili protein olduğunu göstermiş ve bu gruplanma %100 bootstrap değeriyle desteklenmiştir. İfade analizi ise HORVU.MOREX.r3.5HG0442770'in kök apikal meristeminde diğer üç adaya kıyasla belirgin şekilde daha yüksek transkript düzeyine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Filogenetik, yapısal, hücresel lokalizasyon ve ifade analizlerinden elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 arpadaki en güçlü olası AtBOR1 ortoloğu adayı olarak belirlenmiştir. Bu bulgular, söz konusu genin gelecekte fonksiyonel olarak karakterize edilmesi ve arpada B taşınımı ile homeostazındaki olası rolünün araştırılması için bir temel oluşturmaktadır.
Anahtar Kelimeler: *Hordeum vulgare*; AtBOR1; bor taşınımı; bor homeostazı; kök apikal meristemi

Abstract
Boron (B) is an essential micronutrient required for plant growth and development, and its uptake and distribution must be tightly regulated to maintain B homeostasis. In *Arabidopsis thaliana*, BORON TRANSPORTER 1 (AtBOR1) plays an important role in B transport toward the stele and subsequent root-to-shoot translocation, particularly under B-limiting conditions. However, AtBOR1-related transporters remain poorly characterized in barley (*Hordeum vulgare*). In this study, putative AtBOR1 orthologs were identified in the barley cv. Morex genome and characterized using a bioinformatics-based approach. Four candidate proteins were identified and subjected to conserved domain analysis, phylogenetic analysis, subcellular localization prediction, and digital expression profiling. All four proteins contained the conserved PF00955 HCO3− transporter integral membrane domain characteristic of BOR-family transporters and were predominantly predicted to localize to the plasma membrane. Phylogenetic analysis identified HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1 as the protein most closely related to AtBOR1, with their clustering supported by a bootstrap value of 100%. Expression analysis further revealed that HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 exhibited markedly higher transcript abundance in the root apical meristem than the other three candidates. The convergence of phylogenetic, structural, localization, and expression evidence identifies HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 as the most promising putative AtBOR1 ortholog in barley. These findings provide a basis for future functional characterization of this gene and its potential role in B transport and homeostasis in barley.
Keywords: *Hordeum vulgare*; AtBOR1; boron transport; boron homeostasis; root apical meristem

Introduction

Boron (B) is an essential micronutrient required for normal plant growth and development. One of its major functions is the stabilization of the cell wall through borate-mediated cross-linking of rhamnogalacturonan II in the pectic polysaccharide network (O'Neill et al., 2004).

Because the concentration range between B deficiency and toxicity is relatively narrow, plants require tightly regulated mechanisms for B uptake, transport, and distribution (Miwa & Fujiwara, 2010). These mechanisms are particularly important under B-limiting conditions, when efficient acquisition and subsequent transport to actively growing tissues are necessary to maintain normal plant development.
In *Arabidopsis thaliana*, BORON TRANSPORTER 1 (AtBOR1) plays a central role in B acquisition and distribution, particularly under B-deficient conditions. AtBOR1 is localized to the plasma membrane of root cells and facilitates directional B transport toward the stele, thereby promoting xylem loading and root-to-shoot translocation (Takano et al., 2002). Its polar localization and abundance are regulated in response to B availability, further emphasizing its importance in maintaining B homeostasis under limited B supply (Takano et al., 2010; Miwa & Fujiwara, 2010).
Efficient B transport is particularly important in actively growing tissues. The root apical meristem (RAM) is of special relevance because continuous cell division and differentiation in this region depend on an adequate B supply. B deficiency rapidly reduces cell proliferation in the root meristem and subsequently leads to meristem disorganization and inhibition of root growth (Poza-Viejo et al., 2018). Therefore, expression of B transport-related genes in the RAM may provide important information about their potential involvement in B distribution during root growth.
Although the molecular function and regulation of AtBOR1 have been extensively characterized in *Arabidopsis*, the corresponding BOR1 orthologs and their potential roles in barley (*Hordeum vulgare*) remain less well characterized. Identification of AtBOR1 orthologs in barley and comparison of their phylogenetic relationships, conserved protein domains, predicted subcellular localization, and expression patterns may therefore provide insights into the conservation and possible functional diversification of BOR1-mediated B transport in this important cereal crop.
In the present study, putative AtBOR1 orthologs were identified in the barley genome using a bioinformatics-based approach. The identified candidates were characterized through conserved domain and phylogenetic analyses, predicted subcellular localization, and expression profiling in the root apical meristem to identify the candidate most likely to perform an AtBOR1-like function in barley.

Materials and Methods

Identification of AtBOR1 Orthologs in Barley

The *Arabidopsis thaliana* BORON TRANSPORTER 1 (AtBOR1; AT2G47160) protein sequence was retrieved and used as a query for BLASTP searches against the *Hordeum vulgare* cv. Morex reference genome (Morex v3). Putative AtBOR1 orthologs were selected based on sequence similarity to AtBOR1 and subsequently subjected to conserved domain, phylogenetic, subcellular localization, and expression analyses.

Protein Domain Analysis

To characterize the conserved domain architecture of the identified barley proteins, full-length amino acid sequences were analyzed using the Motif Search tool available through the GenomeNet platform. Pfam domain annotations and their positions within the protein sequences were recorded and compared with those of AtBOR1.

Phylogenetic Analysis

Phylogenetic relationships between the identified barley proteins and AtBOR1 were investigated using MEGA v11.0.13. Full-length amino acid sequences were aligned using the ClustalW algorithm. A phylogenetic tree was constructed using the Neighbor-Joining method. Bootstrap analysis was performed to assess the reliability of the inferred phylogenetic relationships.

Prediction of Subcellular Localization

Subcellular localization of the identified barley proteins was predicted using WoLF PSORT. Full-length amino acid sequences were analyzed using the plant prediction setting. AtBOR1 was included as a reference protein, and the predicted cellular compartments and corresponding localization scores were recorded for comparative analysis.

Digital Expression Profiling

Publicly available RNA-seq datasets were used to investigate the tissue-specific expression profiles of the identified barley genes. Expression data corresponding to the Morex v3 gene models were obtained from BarleyExpDB. Transcript abundance across different tissues and developmental stages was examined, and the expression profiles were visualized as a heatmap using TBtools.

Results

Phylogenetic Relationships

Phylogenetic analysis of AtBOR1 and the four putative barley homologs revealed two distinct groups (Figure 1). HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1 clustered with AtBOR1, and this grouping was supported by a bootstrap value of 100%. In contrast, HORVU.MOREX.r3.3HG0240710.1, HORVU.MOREX.r3.4HG0409380.1, and HORVU.MOREX.r3.1HG0027400.1 formed a separate group. Within this group, HORVU.MOREX.r3.3HG0240710.1 and HORVU.MOREX.r3.4HG0409380.1 clustered together with 100% bootstrap support. These results identified HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1 as the barley protein showing the closest phylogenetic relationship with AtBOR1.

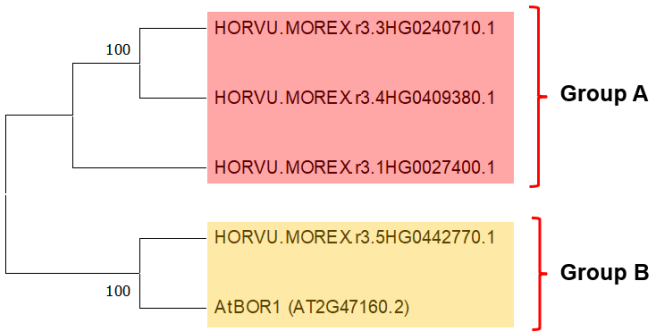


Figure 1. Phylogenetic relationships between AtBOR1 and its putative orthologs identified in *Hordeum vulgare*. Numbers at the nodes indicate bootstrap support values (%).

Domain Architecture Analysis

Conserved domain analysis showed that all four barley proteins contained the PF00955 HCO3− transporter integral membrane domain, which was also present in AtBOR1. Multiple highly significant PF00955 matches were identified across the barley protein sequences, with independent E-values ranging from approximately 10^{-21} to 10^{-38}. The presence of the conserved PF00955 domain in all candidates demonstrated conservation of the characteristic domain architecture of BOR-family transporters.

Expression Profiling of Barley AtBOR1 Homologs

Expression profiling revealed a marked difference in transcript abundance among the identified genes in the root apical meristem (Figure 2). HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 showed substantially higher expression than the other three barley homologs. HORVU.MOREX.r3.3HG0240710 showed lower transcript abundance, whereas expression of HORVU.MOREX.r3.1HG0027400 and HORVU.MOREX.r3.4HG0409380 was comparatively low. Therefore, among the identified AtBOR1 homologs, HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 was the predominantly expressed gene in the root apical meristem.

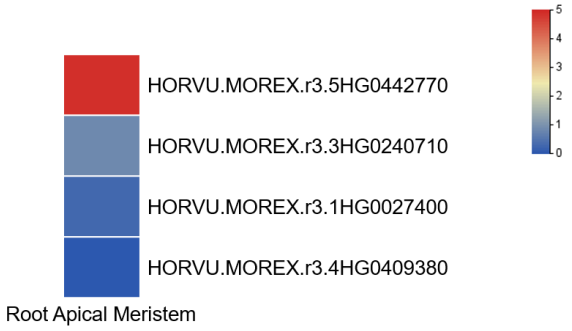


Figure 2. Expression profiles of putative AtBOR1 orthologs in the root apical meristem of Hordeum vulgare.

Predicted Subcellular Localization

WoLF PSORT predicted predominant plasma membrane localization for all four barley proteins (Table 1). HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1 showed the highest plasma membrane score (13), followed by HORVU.MOREX.r3.1HG0027400.1 (12), HORVU.MOREX.r3.4HG0409380.1 (11), and HORVU.MOREX.r3.3HG0240710.1 (9). AtBOR1, included as the reference protein, similarly showed predominant plasma membrane localization, with a score of 12. Predictions for alternative cellular compartments were considerably lower. Thus, the predicted localization patterns of the barley candidates were consistent with the membrane-associated characteristics of BOR-family transporters.

Table 1. Predicted subcellular localization of putative AtBOR1 orthologs in *Hordeum vulgare*.

Protein	Plasma membrane	Vacuole	Cytoplasm	ER	Golgi	Predicted localization
HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1	13	–	–	1	–	Plasma membrane
HORVU.MOREX.r3.3HG0240710.1	9	3	1	1	–	Plasma membrane
HORVU.MOREX.r3.4HG0409380.1	11	1	–	1	1	Plasma membrane
HORVU.MOREX.r3.1HG0027400.1	12	1	1	–	–	Plasma membrane
AtBOR1	12	1	–	1	–	Plasma membrane

Discussion

The identification of four AtBOR1-related proteins in barley indicates that the BOR transporter family has undergone diversification in the barley genome. BOR proteins constitute a conserved family of membrane transporters involved in boron translocation and homeostasis, but individual family members may differ considerably in their physiological roles. In *Arabidopsis thaliana*, AtBOR1 functions in the directional transport of boron toward the stele and subsequent xylem loading, particularly under conditions of limited B availability (Takano et al., 2002). Evolutionary analyses have further shown that AtBOR1 belongs to a BOR clade associated with efficient B transport under low-B conditions (Wakuta et al., 2015).

All four barley candidates contained the conserved HCO3− transporter family domain (PF00955), supporting their classification as BOR-family proteins. This finding is consistent with the comparative analysis of Ozyigit et al. (2020), in which 80 BOR1 homologs identified across 18 plant species were characterized by the presence of the PF00955 domain. However, conservation of this domain alone is insufficient to distinguish proteins performing an AtBOR1-like function from other BOR-family members. The phylogenetic analysis therefore provides an important additional level of evidence.

Among the four barley candidates, HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1 showed the closest phylogenetic relationship with AtBOR1, clustering directly with the Arabidopsis protein with 100% bootstrap support, whereas the remaining three barley proteins formed a separate group.

The predicted subcellular localization of the barley proteins was also consistent with their classification as BOR transporters. All four candidates were predominantly predicted to localize to the plasma membrane, with HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1 receiving the highest plasma membrane score. This is particularly relevant because AtBOR1 has been experimentally demonstrated to localize to the plasma membrane (Takano et al., 2002). Furthermore, the polar localization of AtBOR1 in root cells is essential for directional B transport toward the stele, while its intracellular trafficking and degradation are regulated according to B availability (Takano et al., 2010). Although computational localization cannot demonstrate an identical transport mechanism, the predicted plasma membrane localization of HORVU.MOREX.r3.5HG0442770.1 is consistent with an AtBOR1-like function.

The expression pattern of HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 provides further support for its potential biological importance. Among the four candidates, this gene showed by far the highest transcript abundance in the root apical meristem. This observation is particularly interesting because B availability is closely associated with root meristem maintenance. B deficiency causes an early reduction in cell proliferation in the root apical meristem, followed by meristem disorganization and root growth arrest (Poza-Viejo et al., 2018). Consequently, the predominant expression of HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 in this actively growing root region is compatible with a role in maintaining B supply and distribution in tissues with a high requirement for this micronutrient.

Taken together, the different levels of in-silico evidence consistently distinguish HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 from the other three barley candidates. Its close phylogenetic relationship with AtBOR1, conserved BOR-family domain architecture, strong prediction for plasma membrane localization, and predominant expression in the root apical meristem collectively support its identification as the most promising putative AtBOR1 ortholog in barley.

Conclusions and Recommendations

Four putative AtBOR1 orthologs were identified and characterized in the barley genome. Although all four proteins contained the conserved PF00955 HCO3− transporter domain and were predominantly predicted to localize to the plasma membrane, HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 emerged as the strongest AtBOR1 candidate. This gene showed the closest phylogenetic relationship with AtBOR1 and markedly higher expression in the root apical meristem than the other candidates. The convergence of phylogenetic, structural, localization, and expression evidence suggests that HORVU.MOREX.r3.5HG0442770 may perform an AtBOR1-like role in boron transport and homeostasis in barley. Experimental characterization of its transport activity and subcellular localization will be required to confirm its physiological function.

References

Miwa, K., & Fujiwara, T. (2010). Boron transport in plants: Co-ordinated regulation of transporters. *Annals of Botany, 105*, 1103–1108. https://doi.org/10.1093/aob/mcq044

O'Neill, M. A., Ishii, T., Albersheim, P., & Darvill, A. G. (2004). Rhamnogalacturonan II: Structure and function of a borate cross-linked cell wall pectic polysaccharide. *Annual Review of Plant Biology, 55*, 109–139. https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.55.031903.141750

Ozyigit, I. I., Filiz, E., Saracoglu, I. A., & Karadeniz, S. (2020). Exploration of two major boron transport genes BOR1 and NIP5;1 in the genomes of different plants. *Biotechnology & Biotechnological Equipment, 34*, 455–466. https://doi.org/10.1080/13102818.2020.1773311

Poza-Viejo, L., Abreu, I., González-García, M. P., Allauca, P., Bonilla, I., Bolaños, L., & Reguera, M. (2018). Boron deficiency inhibits root growth by controlling meristem activity under cytokinin regulation. *Plant Science, 270*, 176–189. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.02.005

Sutton, T., Baumann, U., Hayes, J., Collins, N. C., Shi, B. J., Schnurbusch, T., Hay, A., Mayo, G., Pallotta, M., Tester, M., & Langridge, P. (2007). Boron-toxicity tolerance in barley arising from efflux transporter amplification. *Science, 318*, 1446–1449. https://doi.org/10.1126/science.1146853

Takano, J., Noguchi, K., Yasumori, M., Kobayashi, M., Gajdos, Z., Miwa, K., Hayashi, H., Yoneyama, T., & Fujiwara, T. (2002). Arabidopsis boron transporter for xylem loading. *Nature, 420*, 337–340. https://doi.org/10.1038/nature01139

Takano, J., Tanaka, M., Toyoda, A., Miwa, K., Kasai, K., Fuji, K., Onouchi, H., Naito, S., & Fujiwara, T. (2010). Polar localization and degradation of Arabidopsis boron transporters through distinct trafficking pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107*, 5220–5225. https://doi.org/10.1073/pnas.0910744107

Wakuta, S., Mineta, K., Amano, T., Toyoda, A., Fujiwara, T., Naito, S., & Takano, J. (2015). Evolutionary divergence of plant borate exporters and critical amino acid residues for the polar localization and boron-dependent vacuolar sorting of AtBOR1. *Plant and Cell Physiology, 56*, 852–862. https://doi.org/10.1093/pcp/pcv011

MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF METAKAOLIN-BASED GEOPOLYMERS FOR

Fatima Zahra FALAH
Laboratory of Analytical and Molecular Chemistry, Faculty of Sciences Ben M'Sik, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco; National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Maamora Nuclear Research Center (CENM), Morocco.

Hasna HAMDANE
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Maamora Nuclear Research Center (CENM), Morocco.

Touria EL GHAILASSI
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Maamora Nuclear Research Center (CENM), Morocco.

Abstract
The increasing use of ionizing radiation in medical, industrial, and nuclear fields has stimulated the development of sustainable materials for radiation protection. Among emerging inorganic binders, metakaolin-based geopolymers have attracted considerable attention due to their low environmental impact, excellent chemical stability, and favorable mechanical properties. This study investigates the physical, mechanical, and microstructural characteristics of metakaolin-based geopolymer composites for potential applications in radiation protection. Geopolymer specimens were synthesized from metakaolin activated with an alkaline solution. Their physical and mechanical performance was evaluated through density, water absorption, apparent porosity, compressive strength, and flexural strength measurements at different curing ages. The geopolymerization process and structural evolution were characterized using scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and thermogravimetric analysis (TGA). The results demonstrate the successful formation of a compact geopolymeric matrix with enhanced mechanical performance and reduced porosity. Microstructural analyses confirmed the development of stable aluminosilicate networks, indicating effective geopolymerization and good structural integrity. These findings highlight the potential of metakaolin-based geopolymers as sustainable materials for future radiation protection applications.
Keywords: Metakaolin; Geopolymer; Radiation protection

EFFECT OF GENDER ON THE OUTCOME OF ACUTE CORONARY SYNDROME IN TYPE 2

Assoc. Prof. Afsheen MAHMOOD
Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan.

ABSTRACT

Objectives

To determine the frequency of acute coronary syndrome presentations among diabetic patients and in-hospital outcomes based on gender variance.

Methodology

This observational cross-sectional study was conducted at the cardiology department of Hayatabad Medical complex Peshawar, Pakistan. After taking ethical approval from the hospital's ethical board. Nonprobability consecutive sampling was used for data collection. 106 consecutive diabetic patients with acute coronary syndrome were enrolled. Patients were assessed for in-hospital outcomes like congestive heart failure, recurrent angina, and mortality. The outcomes were evaluated based on gender. The Chi-Square test was used for Signiant differences keeping the P -Value <0.05.

Results

Numerical variables were presented as mean and standard deviation. Categorical variables were presented as frequencies and percentages. The chi-Square test was used to compare the outcomes between genders. Statistical significance was determined using P value < 0.05. The mean age of the patients was 57.75±8.16 years. Males were 57 (53.8%), and females were 49 (46.2%). Congestive heart failure, re-angina, and mortality were Signiant in both genders yielding a P value of <0.05.

Conclusion

It was concluded that diabetes is a critical predictor of acute coronary disease. The complications of Acute Coronary syndrome in terms of congestive heart failure and mortality have higher frequencies in male patients than female patients.

Keywords: Acute Coronary Syndrome, Type 2 Diabetes, Diabetes Mellitus.

STRUCTURAL AND DYNAMIC IMPACT OF THE G190A MUTATION ON ETRAVIRINE BINDING TO HIV-1 REVERSE TRANSCRIPTASE: AN IN SILICO STUDY

A. Nashika FATHIMA
School of Life Sciences, BSA Crescent Institute of Science and Technology, Chennai, India.

A. Nusrath UNISSA
School of Life Sciences, BSA Crescent Institute of Science and Technology, Chennai, India.

ABSTRACT
Human immunodeficiency virus type 1 (HIV-1) reverse transcriptase (RT) is an important target for antiretroviral drugs, where non-nucleoside RT inhibitors (NNRTIs) bind to a hydrophobic NNRTI-binding pocket (NNIBP) to induce allosteric inactivation. However, drug-resistant mutations like G190A reduce NNRTI efficacy by changing the conformation and physicochemical properties of the NNIBP, resulting in reduced affinity toward the inhibitor. This particularly affects a commonly used first-line NNRTI, Etravirine (ETR). In this study, the structural and functional effect of G190A on ETR binding was studied using in silico approaches. The G190A mutant RT was built by homology modelling in MODELLER 10.7 from PDB 3MEC as a template, and validated by structural superimposition (RMSD ≈ 0.8 Å) and Ramachandran analysis (~98% of residues favoured). Molecular docking with CCDC GOLD showed decreased ETR affinity in the mutant (~42) compared to wild-type (WT; ~55), with interaction analysis revealing stronger hydrophobic and halogen contacts in WT NNIBP, while the mutant had altered Ala190-region interactions. Subsequent 100 ns molecular dynamics simulations in Desmond (TIP3P, OPLS3e, NPT, 300 K, 1 bar) showed a redistribution of interactions and a decrease in complex stability in the mutant. The pre-simulation profile revealed a higher number of contacts in WT (16) than in the mutant (11). After the simulation, the mutant showed 12 interactions, while WT showed 11, with new contacts appearing near Ala190. G190A altered the fluorine-mediated and hydrophobic interaction patterns in the NNIBP, consistent with reduced ETR affinity. These results indicate that G190A induces a local NNIBP remodelling that reduces ETR binding and disrupts the interaction network, providing mechanistic insight into NNRTI resistance and highlighting the significance of accounting for resistance-induced pocket changes in the development of next-generation RT inhibitors.
Keywords: HIV-1, Etravirine, G190A, Molecular docking, Molecular dynamics, Non-Nucleoside Inhibitor Binding Pocket

ENVIRONMENTAL TAXATION AS A TOOL FOR ACHIEVING SUSTAINABILITY IN NIGERIA: BETWEEN FISCAL REALITIES AND GREEN AMBITIONS

Dr. Umar BELLO
Department of Accounting, Federal University of Kashere, Gombe State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0003-0529-0310

Abstract
Purpose: This study examines the efficacy of environmental taxation as a policy instrument for advancing sustainability objectives in Nigeria, with particular focus on evaluating whether existing fiscal mechanisms, including the recently implemented Green Tax on motor vehicles function as genuine behavioural transformation tools or operate primarily as revenue-generating mechanisms within Nigeria's evolving green economy framework.

Methodology: The study adopts a doctrinal legal research methodology complemented by comparative policy analysis. It will examine Nigeria's environmental tax framework through the lens of international best practices and developing country experiences, drawing on legal instruments including the Petroleum Industry Act 2021, the Nigeria Revenue Service (Establishment) Act, and relevant international frameworks such as SDG 14. Secondary data will be synthesized from OECD and World Bank databases covering the period 2010-2020 to assess relationships between green taxation and sustainable development indicators.

Findings: Preliminary evidence suggests that Nigeria's environmental taxation regime faces significant implementation challenges. The Green Tax risks functioning primarily as a fiscal instrument rather than a behaviour-changing mechanism due to: (1) absence of viable low-emission alternatives across key sectors; (2) weak institutional capacity for enforcement and revenue recycling; and (3) limited integration of environmental concerns within broader fiscal policy design. Empirical studies indicate that environmental taxes in developing economies generally demonstrate limited effectiveness until complemented by parallel investments in infrastructure, renewable alternatives, and institutional strengthening.

Originality/Value: This research will contribute to the emerging body of scholarship on environmental fiscal policy in Sub-Saharan Africa by providing a critical, context-sensitive assessment of Nigeria's environmental tax initiatives. It will engage directly with the policy discourse evident at recent national platforms which have framed green taxation as central to unlocking Nigeria's estimated £20 billion green economy potential. The study will offer policy-relevant insights on designing environmentally effective and socially equitable fiscal instruments that align with Nigeria's broader sustainability and economic transformation objectives, recognizing that environmental sustainability must be pursued "not merely as an environmental concern but as a national development imperative".
Keywords: Environmental taxation, Green Tax, sustainability, Nigeria, fiscal policy, green economy, carbon pricing, just transition

MULTI-PARAMETER COMPUTATIONAL DISCOVERY OF NOVEL CAFFEINE-DERIVED LEAD COMPOUNDS TARGETING PDE4D FOR ANTI-INFLAMMATORY AND ANTITUMOR DRUG DEVELOPMENT

Amit DHAR
Department of Chemistry, National University, Gazipur, Bangladesh.
ORCID ID: 0009-0004-1473-5398

Abstract
Caffeine is a widely investigated xanthine scaffold for drug discovery; however, structural optimization may improve its target-binding potential and pharmacological profile. This study employed an integrated computational workflow to evaluate caffeine and sixteen structurally modified analogues as prospective phosphodiesterase 4D, PDE4D, targeting lead compounds. Density functional theory calculations were conducted at the B3LYP/6-311+G(d,p) level to examine the thermochemical, electronic, and charge-distribution properties of the compounds. Gibbs free energy, enthalpy, dipole moment, frontier molecular orbital parameters and molecular electrostatic potential maps were analyzed to assess molecular stability, reactivity and potential interaction sites. Simulated FTIR and UV-Visible spectra were generated to support structural characterization. Molecular docking was performed against PDE4D, PDB ID: 1MKD, a cyclic adenosine monophosphate-regulating enzyme implicated in inflammatory, respiratory, and tumor-associated signaling pathways. Caffeine exhibited a docking score of −5.9 kcal/mol. Five derivatives, Caffeine-3, Caffeine-7, Caffeine-8, Caffeine-12, and Caffeine-14, showed improved predicted binding affinities with scores below −7.0 kcal/mol. Caffeine-14 demonstrated the most favorable predicted binding score of −7.5 kcal/mol. ADMET profiling suggested acceptable intestinal absorption, possible blood-brain barrier permeability and no major predicted toxicity alerts among prioritized compounds. PASS analysis further indicated probable cyclic AMP phosphodiesterase-inhibitory activity. Collectively, these findings identify selected caffeine analogues, particularly Caffeine-14, as promising computational PDE4D-directed leads. Molecular-dynamics simulations, biochemical assays, cell-based studies and in vivo experiments are required to validate their therapeutic relevance.
Keywords: Caffeine analogues; Phosphodiesterase 4D; Molecular docking; Density functional theory; ADMET profiling; Anti-inflammatory agents; Anticancer drug discovery

THE EFFECT OF FERMENTATION PROCESS ON THE ANTI-NUTRITIONAL FACTORS IN THE SUGARCANE TOPS

Ibrahim Aisha LABARAN
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Sakinatu ALMUSTAPHA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Aliyu Ibrahim YAR'ADUA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Muhammad ISMA'IL
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Khadija ISMA'IL
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

ABSTRACT
Sugarcane tops are abundant agricultural by-product. It is made up of leaves and the tops of cane plants and can be studied for possible use as feedstock to produce poultry feed because of the high amount of fiber and nutrition. They contain nutrients that allow them to be used as animal feed. However, the presence of anti-nutritional factors may limit their nutritional utilization. Fermentation is a process that enhances the nutritional value of food by enhancing the quality of proteins, improving the absorption of fiber, and increasing the synthesis of essential amino acids, vitamins, and proteins. It also facilitates micronutrient availability while reducing anti-nutritional compound levels. This study evaluated the effect of solid-state fermentation on selected anti-nutritional factors in sugarcane tops. Sugarcane tops were subjected to solid-state fermentation using lactobacillus spp. The level of selected anti-nutritional factors, including phytate, tannin, and oxalate, were determined before and after fermentation, using standard analytical methods. Results were expressed as mg/100g. Solid state fermentation resulted in a marked reduction in all the anti-nutritional factors evaluated. The findings demonstrate that solid state fermentation effectively reduced phytate, oxalate and tannin content in sugarcane tops. This reduction in anti-nutritional factors suggests that fermentation may improve the nutritional quality and potential utilization of sugarcane tops as an alternative feed ingredient.
Keywords: Sugarcane tops, Solid state fermentation, anti-nutritional factors, *Lactobacillus*.

ENHANCING BLOOD TRANSFUSION SAFETY THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DIGITAL MONITORING SYSTEMS

Mrs. A. RAJESWARI
G. Venkataswamy Naidu College, Kovilpatti, Tamil Nadu, India.
ORCID ID: 0009-0005-7906-5089

ABSTRACT

Blood transfusion is an essential medical intervention used to save patients experiencing severe blood loss, anemia, trauma, surgical complications, pregnancy-related haemorrhage, and various blood disorders. Although blood transfusion can be lifesaving, errors and unsafe practices may result in serious complications, including transfusion reactions, incorrect blood administration, and transfusion-transmitted infections. Ensuring blood safety requires continuous monitoring throughout the transfusion chain, including donor selection, blood collection, screening, processing, storage, transportation, compatibility testing, and administration. This research paper explores the potential of Artificial Intelligence (AI) and digital monitoring systems to enhance blood transfusion safety. AI-based approaches can support blood compatibility assessment, risk prediction, error detection, and early identification of potential transfusion reactions. Digital technologies such as barcode systems, RFID, electronic health records, real-time monitoring, and automated alert systems can improve patient identification, blood bag tracking, storage conditions, and transfusion documentation. The study also discusses haemovigilance, patient blood management, quality assurance, and the role of trained healthcare personnel. Integrating AI with digital monitoring technologies can reduce human errors, improve traceability, support timely decision-making, and enhance patient safety. The research highlights the potential benefits, implementation challenges, and future opportunities of intelligent digital technologies in modern blood transfusion services.

Keywords: Artificial Intelligence, Blood Transfusion Safety, Digital Monitoring, Haemovigilance, Blood Compatibility, Patient Blood Management, RFID, Barcode Technology, Transfusion Reactions.

PERCEIVED SOCIAL SUPPORT FROM SIGNIFICANT OTHERS, FAMILY, AND FRIENDS AND BREASTFEEDING DIFFICULTY AMONG MOTHERS: A CROSS-SECTIONAL STUDY

Sulaimon Kayode OWOSENI
Olabisi Onabanjo University, Ago-Iwoye, Ogun State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0003-9924-555X

ABSTRACT

Sustaining breastfeeding can be challenging for mothers, and perceived social support may influence how mothers experience and cope with breastfeeding-related difficulties. Social support may originate from different sources, including significant others, family members, and friends; however, the relative contribution of these sources to breastfeeding difficulty remains unclear.

his study examined the associations between perceived support from significant others, family, and friends and breastfeeding difficulty among mothers.

A quantitative cross-sectional survey was conducted among 727 mothers who were currently breastfeeding or had previously breastfed. Data were collected using a structured online questionnaire. Perceived social support was assessed using the 12-item Multidimensional Scale of Perceived Social Support, comprising four-item subscales for significant-other, family, and friend support. Breastfeeding difficulty was assessed using a measure of mothers' perceived difficulty in continuing breastfeeding. Internal consistency, Pearson correlation, and multiple linear regression analyses were conducted.

The three MSPSS subscales demonstrated excellent internal consistency, with Cronbach's alpha coefficients of .914 for significant-other support, .899 for family support, and .925 for friend support. Significant-other support was negatively associated with breastfeeding difficulty ($r = -.082$, $p = .027$), indicating that greater perceived support was associated with slightly lower difficulty. However, family support ($r = -.064$, $p = .084$) and friend support ($r = -.019$, $p = .605$) were not significantly associated with breastfeeding difficulty. When the three sources of support were entered simultaneously into a multiple regression model, the overall model was not statistically significant, $F(3, 723) = 2.05$, $p = .105$, explaining approximately 0.8% of the variance in breastfeeding difficulty. None of the three sources made a statistically significant unique contribution to breastfeeding difficulty.

Although perceived support from a significant other was associated with lower breastfeeding difficulty at the bivariate level, no source of social support demonstrated a significant independent contribution when significant-other, family, and friend support were considered simultaneously. The findings suggest that social support alone may have limited explanatory power for breastfeeding difficulty and that other individual, interpersonal, workplace, healthcare, and structural factors may play a more substantial role in mothers' ability to sustain breastfeeding.

Keywords: Breastfeeding; breastfeeding difficulty; perceived social support; significant other support; family support; friend support; mothers.

AN EMERGING DIMENSION OF OCCUPATIONAL SAFETY: REGULATING PSYCHOSOCIAL RISKS AND EMPLOYEE MENTAL HEALTH IN INDIA - A COMPARATIVE STUDY OF AUSTRALIA AND THE UK

Asst. Prof. Dr. Nituja SINGH
Symbiosis Law School, Noida, Symbiosis International (Deemed University), Pune, India.
Medha MALAY
Faculty of Law, University of Delhi, Delhi, India.

ABSTRACT

Background

Mental health of workers/employees is one of the well-recognised occupational safety concerns. The contemporary employment-environment has increased mental health risks on account of excessive workloads, long working hours, work intensity, lack of autonomy, job insecurity, workplace bullying, harassment, violence and organisational practices, etc. While Indian labour and industrial legislations have historically addressed occupational safety, health and working conditions primarily through a framework concerned with physical and conventional workplace hazards, the new legislation namely 'The Occupational Safety, Health and Working Conditions Code, 2020' provides an important basis for examining whether mental health and related risks receive sufficient legal recognition. The central concern is, therefore, not merely whether Indian law protects worker/employee health, rather whether it appropriately recognises work-related mental risks as occupational hazards requiring preventive legal regulation.

Purpose

This study examines the adequacy of India's occupational health and safety framework in addressing mental health and related risks and protecting them. It endeavours to analyse whether the existing Indian legal framework provides sufficiently clear standards for identifying, assessing, preventing and addressing workplace conditions capable of causing mental illness. For that matter, the research draws comparative lessons from Australia and the United Kingdom, where psychosocial risks and job-related stress have received more explicit attention.

Methodology

This study adopts a doctrinal and comparative legal research methodology employing qualitative legal analysis. From Indian perspective, this study focuses primarily on the Occupational Safety, Health and Working Conditions Code, 2020, along with other relevant and related laws, rules and precedent. The study examines the Indian framework against five analytical dimensions: (i) recognition and definition of mental/psychosocial risks; (ii) recognition of mental health within occupational safety framework; (iii) employer duties to identify and assess workplace risks; (iv) preventive and risk-management obligations; and (v) mechanisms of accountability and redress for work-related psychological harm. A functional comparative analysis is then undertaken with Australia and the United Kingdom, selected because their occupational-safety frameworks provide more explicit approaches to psychosocial risks and work-related stress. Australia's framework specifically regulates psychosocial hazards, while the UK's health-and-safety framework requires employers to assess and act upon risks arising from work-related stress. The comparative findings are used to identify specific legal and regulatory gaps in India's framework and formulate context-sensitive recommendations for strengthening psychosocial-risk regulation within occupational safety law.The limitation of this study is that it is mainly discussing and analysing the issues from organised sectors' workers/employees.

Objectives: The study seeks to examine the extent to which Indian occupational safety law recognises psychological health and psychosocial risks as components of occupational safety and health and to identify the definitional, regulatory and preventive gaps in India's legal framework concerning the identification, assessment and control of workplace psychosocial risks and work-related psychological harm. It also aims to analyse the legal duties imposed upon employers in Australia and the United Kingdom concerning psychosocial risks, workplace stress and psychological health and safety.

Thereafter, it comparatively evaluates the Indian, Australian and UK approaches to determine the regulatory principles that may be appropriately adapted to the Indian labour-law context. Finally, it proposes a context-sensitive framework for strengthening psychosocial-risk regulation and employee mental-health protection within India's occupational safety regime.

Findings

The study finds that India's occupational safety framework, whether its previous legislation or the current i.e. the Occupational Safety, Health and Working Conditions Code, 2020', provides a statutory foundation for protecting employee health, safety and working conditions but does not expressly enshrines any holistic regulatory framework precisely addressing mental risks and work-related psychological illness under the labour and industrial law framework. The main regulatory gap is not a complete absence of legal protection for employee health, but the lack of sufficiently specific and particularly expressed mechanisms for identifying, assessing and controlling mental risks, together with clearly defined preventive responsibilities concerning work-related mental illness. In comparison, Australia specifically defines and regulates psychosocial hazards and psychosocial risks within its work health and safety framework, while the UK framework requires employers to assess and act upon risks arising from work-related stress. The comparative assessment suggests that incorporating mental health and-risk assessment and preventive duties within India's occupational-safety framework could strengthen a more comprehensive, preventive and risk-based approach to employee/worker mental health at work.

Literature Gaps

Existing scholarship has examined employee mental health, occupational stress and workplace well-being in India, while Indian labour-law literature has extensively addressed occupational safety, health and working conditions. International scholarship has increasingly developed psychosocial risks as a distinct category of occupational hazards arising from the design, organisation and management of work. Comparative regulatory literature and official materials demonstrate more explicit approaches in Australia, where psychosocial hazards are subject to statutory risk-management duties, and in the United Kingdom, where work-related stress is addressed through occupational health and safety risk assessment. However, there remains scope for a focused doctrinal-comparative examination of the intersection between India's occupational-safety framework and the legal regulation of psychosocial risks. In particular, insufficient attention has been given to whether Indian labour law adequately defines or recognises psychosocial hazards, imposes specific preventive and risk-assessment obligations on employers, and provides an appropriate legal response to psychological harm arising from workplace conditions. This study addresses this gap by comparatively examining India, Australia and the United Kingdom, focusing on the transition from conventional occupational safety towards a preventive psychosocial-safety framework.

Research Implication/Limitation

The study contributes to the development of a broader conception of occupational safety in which employee protection extends beyond physical injury to foreseeable psychological harm arising from workplace conditions. It proposes psychosocial-risk regulation as an analytical framework for evaluating the adequacy of Indian labour legislation. The study is primarily doctrinal and comparative and does not independently generate empirical evidence concerning employees' experiences, workplace prevalence of psychosocial hazards or State-wise implementation. Consequently, empirical research involving employees, employers, labour inspectors and occupational-health professionals would be required to validate and supplement the legal findings.

Practical Implication

The findings have implications for legislators, labour policymakers, employers, occupational-safety authorities and adjudicatory bodies. India could consider strengthening its occupational-safety framework by expressly recognising psychosocial hazards, developing workplace psychosocial-risk assessment mechanisms, clarifying employer responsibilities for prevention and intervention, and establishing appropriate monitoring and accountability mechanisms. Comparative experience may assist in adapting-not simply transplanting-regulatory mechanisms suitable to India's diverse labour-market and institutional conditions.

Social Implications
Recognition of psychosocial risks within occupational safety can contribute to healthier, safer and more dignified workplaces. Effective regulation may help address workplace conditions associated with chronic stress, psychological distress, exclusion, bullying and harassment while promoting employee dignity, equality and participation. A preventive approach may also help shift workplace mental health from an individualised "employee wellness" concern to a shared occupational-health and regulatory responsibility.

Originality/Value
The study's originality lies in reconceptualising employee mental health as an occupational safety issue rather than solely a healthcare, welfare or individual employee concern. It develops a psychosocial-risk perspective through which Indian labour law can be assessed against comparative regulatory approaches in Australia and the UK. Rather than assuming that every instance of mental ill-health is attributable to employment, the study focuses on the legal regulation of reasonably foreseeable workplace psychosocial hazards and the preventive responsibilities associated with them. The study thereby contributes to the emerging discourse on expanding occupational safety from protection against physical hazards towards integrated physical and psychological safety at work.
Keywords: Occupational Safety, Psychosocial Risks, Employee Mental Health, Workplace Stress, Risk Assessment, Comparative Labour Law.

ECO-FRIENDLY ROLE OF PLANT GROWTH-PROMOTING ENDOPHYTIC BACTERIA TO ALLEVIATE DROUGHT STRESS IN ZEA MAYS

Mahwish SALMAN
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Abstract
Climate change and projected global population growth have compelled academics and agro-industries to explore natural resources in search of a unique and sustainable alternative to current agricultural practices. Drought stress is considered one of the most significant abiotic stresses limiting plant growth and grain production worldwide. Conventional chemical practices to mitigate the negative impact of drought on plant growth often raise concerns about environmental safety and sustainability. However, plant endophytic bacteria have emerged as a sustainable and promising solution to strengthen the plant defense system under stress conditions. These bacteria poduce a broad array of unique metabolites, including phytohormones, exopolysaccharides, osmoprotectants, enzymatic and non-enzymatic antioxidants, which play vital roles in cellular protection and stress adaptation. In this study, the regulatory role of endophyte-derived metabolites is highlighted by examining signaling pathways that regulate osmotic balance, maintain membrane stability, enhance nutrient uptake, and boost the antioxidant defense system. Moreover, their influence on root architecture and water uptake under drought stress has also been observed. Application of plant growth-promoting endophytes offers a promising solution in plant stress biology and sustainable agricultural practice, proposing innovative ways to advance plant growth and crop productivity under drought conditions.
Keywords: Endophytes, plant growth-promotion, abiotic stress, climate change, drought stress.

CORRELATION OF SLEEP QUALITY AND LEVEL OF PHYSICAL ACTIVITY AMONG POSTMENOPAUSAL WOMEN: AN ONLINE CROSS-SECTIONAL SURVEY

Arya GUPTA
MPT (Cardiopulmonary) Student, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, India.

Akriti MISHRA
MPT (Cardiopulmonary) Student, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, India.
Assoc. Prof. Hina VAISH
School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, India.

Abstract
Menopause is a natural biological transition in a woman's life, marked by permanent cessation of menstruation due to loss of ovarian follicular activity that often disturbs sleep patterns and reduces physical activity. Although both these issues are well documented individually, the relationship between sleep quality and physical activity in postmenopausal women remains underexplored, particularly within the Indian population. Therefore, this study aimed to assess physical activity and sleep quality among postmenopausal women and determine the association between these variables.

Methodology:
A cross-sectional online survey was conducted among 52 postmenopausal women aged 45–60 years. Data was collected from 15th July to 10th August 2026 using a self-administered Hindi questionnaire circulated through Google Forms. The questionnaire included demographic details, physical activity assessment using the Hindi short-form International Physical Activity Questionnaire (IPAQ-SF), and sleep quality assessment using the Hindi version of the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI). Data were analyzed using descriptive statistics and correlation tests to determine the relationship between physical activity levels and sleep quality.

Result:
Among the 52 survey participants (mean age 49.3 ± 7.7 years; mean BMI 26.1 ± 3.7 kg/m²), 65.4% ($n = 34$) suffered from poor sleep quality, recording an elevated mean Global PSQI score of 7.63 ± 3.65 primarily driven by frequent night awakenings and delayed sleep onset. According to IPAQ short-form scoring, physical activity was categorized into low/sedentary (46.2%), moderate (30.8%), and high (23.1%) activity levels, A Spearman rank correlation revealed a weak-to-moderate positive relationship between total physical activity and PSQI scores ($\rho = 0.298, p = 0.032$), whereas linear Pearson correlation was non-significant ($r = 0.212, p = 0.132$).

Conclusion:
This indicates that higher total physical activity expenditure did not linearly improve sleep quality. Overall, the survey highlights a severe burden of sleep disruption in this cohort that persists regardless of routine physical activity levels.
Keywords Climacteric Health, Menopause, PSQI

INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN RHEUMATOID FACTOR AND ANTI-CYCLIC CITRULLINATED PEPTIDE WITH FOXP3 GENE EXPRESSION IN PATIENTS WITH RHEUMATOID ARTHRITIS

Parisa ZAFARI
Department of Immunology, Faculty of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
ORCID ID: 0000-0002-7826-1185

Nasrin IRANSHAHI
Department of Immunology, Faculty of Medicine, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran.

Abstract

Background: Rheumatoid arthritis (RA) is a chronic autoimmune disorder that affect 1-2% of people worldwide. Inflammation is an important factor in the pathogenesis of RA. Anti- Cyclic Citrullinated Peptid (Anti-CCP) antibody and Rheumatoid Factor (RF) are autoantibodies that promotes inflammatory reactions and have a crucial role in RA pathogenesis. Treg cells are necessary for the maintenance of immune homeostasis and prevention of autoimmunity. FoxP3 is essential transcription factor for development of these regulatory cells. In this study, we surveyed the effects of FoxP3 gene expression in peripheral blood on plasma levels of Anti-CCP and RF.

Material and methods: Peripheral blood samples were collected from 47 patients and 44 healthy subjects. Then plasma levels of Anti-CCP have been evaluated using ELISA method. Also, RF was detected with latex agglutination test, and gene expression of FoxP3 analyzed by real time PCR.

Results: The amount of Anti-CCP and RF were significantly higher in our patients in comparison with healthy subjects ($P<0.001$) and ($P<0.001$) respectively. Also, significant reverse correlation between RF and Anti-CCP with gene expression of FoxP3 have been shown in our study (r: -0.630, r: -0.584) respectively. The sensitivity and specificity of Anti-CCP and RF was (89.1%, 86.95%) and (91.3%, 91.1%) respectively for the diagnosis of RA.

Conclusion: Our data illustrated that FoxP3 gene expression has reverse significant correlation with plasma concentration of anti-CCP and RF.

DECREASED GENE EXPRESSION OF EPSTEIN–BARR VIRUS-INDUCED GENE 3 (EBI-3) MAY CONTRIBUTE TO THE PATHOGENESIS OF RHEUMATOID ARTHRITIS

Parisa ZAFARI
Department of Immunology, Faculty of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
ORCID ID: 0000-0002-7826-1185

Nasrin IRANSHAHI
Department of Immunology, Faculty of Medicine, Kermanshah University of Medical Sciences, Kermanshah, Iran.

ABSTRACT

Background and Aim: Interleukin-35 (IL-35) is a member of the IL-12 family of heterodimeric cytokines produced by regulatory T (Treg) cells. This immunosuppressive cytokine can prevent exaggerated inflammatory responses like those responsible for the development of rheumatoid arthritis (RA). This study aims to determine the correlation between the gene expression of Epstein–Barr virus-induced gene 3 (EBI-3) and IL-12A (p35) subunits of IL-35 in peripheral blood leukocytes with immunological and clinical parameters in RA patients.

Methods: We recruited 47 patients with RA and 44 healthy subjects. The disease activity score-28 (DAS-28) was assessed by an expert rheumatologist and the plasma levels of neopterin and anti-cyclic citrullinated peptide (anti-CCP) was measured using ELISA method also Serum rheumatoid factor (RF) was assessed by the agglutination test. For the evaluation of IL-12A and EBI-3 gene expression, we used qPCR.

Results: We did not find any significant correlation between the gene expression of IL-35 subunits and DAS-28. There was a negative correlation between the plasma levels of neopterin and the gene expression of EBI-3 ($p = 0.004$). Inversely, we found a positive correlation between plasma level of anti-CCP and neopterin ($p < 0.001$) also between RF and DAS-28 ($p = 0.001$).

Conclusion: Regarding the significant negative correlation between EBI-3 gene expression and plasma levels of neopterin, it can be concluded that the altered gene expression of EBI-3 may play a role in the pathogenesis of RA.

FOOD SECURITY UNDER CLIMATE AND RESOURCE PRESSURES: A SYSTEMS APPROACH TO RESILIENCE AND SUSTAINABILITY

Rabab ALLILI
Laboratory of Energy, Materials, and Sustainable Development (EMDD), Higher School of Technology, Mohammed V University in Rabat, Salé, Morocco.

Jamal MABROUKI
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERNE2D, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Miloudia SLAOUI
Laboratory of Energy, Materials, and Sustainable Development (EMDD), Higher School of Technology, Mohammed V University in Rabat, Salé, Morocco.

Abstract
Food security is facing unprecedented challenges due to climate change, resource scarcity, and socio-economic inequalities. With food demand projected to rise by 70% by 2050, global food systems must adapt rapidly to ensure sustainable and resilient production. Agriculture is highly dependent on water and energy resources, which are themselves under increasing pressure from environmental degradation, extreme weather, and growing population needs. The Water-Energy-Food (WEF) nexus illustrates the critical interconnections among these sectors and the need for integrated management strategies.
This paper highlights key threats to food security, including soil degradation, water shortages, energy dependency, market volatility, and geopolitical tensions. It explores climate-smart agricultural practices such as precision farming, regenerative agriculture, and smart irrigation as effective approaches to enhance productivity while preserving resources. Digital technologies and policy reforms also play a central role in supporting more efficient and adaptive food systems.
To build long-term resilience, the study advocates for a systems approach that combines innovation, sustainability, and equity. Strengthening governance, investing in local food infrastructure, and enhancing regional cooperation are vital to achieving sustainable food security in a rapidly changing world.
Keywords: food security, climate-smart agriculture, WEF nexus, sustainability, resource management

BIOCHEMICAL EVALUATION OF SACCHAROMYCES CEREVICEA FERMENTED MILLET (PENNISETUM GLAUCUM) STALK AS MAIZE REPLACEMENT IN FISH MEAL FORMULATION ON GROWTH PERFORMANCE OF AFRICAN CATFISH

Rufai NASIR
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Aliyu Ibrahim YARADUA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Amina Yahaya SANI
Department of Basic and Applied Sciences, Hassan Usman Katsina Polytechnic, Katsina, Nigeria.

ABSTRACT
The aim of the present study is to evaluate the potential of Saccharomyces Serevecea fermented millet stalk as maize replacement in a fish feed formulation on growth performance namely WG(%), SR(%), SGR(%), Hepatosomatic(%),Visceral somatic(%), C.F, PER, and FCR of African catfish. Optimization of Temperature and pH was conducted in order to select the bbest conditions to be used in the fermentation, in which pH5, pH7,Ph9 and Ph11 as well as T25, T30, T35, T40 ware set up during the fermentation of millet stalk. Four (4) isonitrogenous diets was formulated using the fermented millet stalk as maize replacement, viz A 25% FMS, B 50%FMS, C 75% FMS and D 100% FMS, with commercial feed (Blue crown) as control. A 56 day (8 weeks) feeding trial was done with 150 African catfish (Figelings) randomly divided in to 5 groups (A to D) was feded with the formulated feed at 5% rate of their body weight and E control fed with bluecrown. Weigh and length of the fish was recorded weekly, At the end of feeding trial fish was sacrifice for oher growth perfomnce parameters analysis. The result of the optimization shows that pH11 and 35^0C has shawn to contain higest Proximal composition and lowest antinutritional composition (Table 1and 2) and such has been used in the feed formulation. And the result of grwth performance analysis shows that B has significantly ($P>0.05$) higher Values when compare to A, C and D. Its now conclude that FMS can partially replace maize in a fish feed formulation up 50%.

STUDENT-LED MICROGREEN CULTIVATION AS A LOW-COST STRATEGY FOR NUTRITION EDUCATION AND COMMUNITY HEALTH PROMOTION

Asst. Prof. Dr. S. Gnaana SARASWATHI
Department of Botany, The Madura College, Madurai, Tamil Nadu, India.

Aim
To develop and implement a student-centred, experiential learning programme on microgreen cultivation and to explore its potential as an accessible strategy for nutrition literacy, dietary diversification and preventive health promotion, particularly among young adults and resource-constrained communities.

MaterialsandMethods
A 30-hour certificate course in microgreen cultivation was designed and implemented for undergraduate and postgraduate students of Botany. The programme consisted of 10 hours of theoretical instruction through educational video modules and 20 hours of face-to-face practical training conducted beyond regular academic hours. Students were introduced to the nutritional significance of microgreens, cultivation practices, seed selection, germination, growth requirements, harvesting and potential dietary applications. Mustard (*Brassica* spp.), fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and green and red amaranth (*Amaranthus* spp.) were cultivated as practical components of the programme. Relevant scientific literature on the nutritional composition and health-promoting properties of microgreens was incorporated into the learning process.

Findings
The programme demonstrated the feasibility of producing fresh microgreens using simple cultivation techniques and limited resources. Students successfully acquired practical cultivation skills and developed greater awareness of microgreens as nutrient-dense functional foods containing vitamins, minerals, carotenoids, phenolic compounds and other bioactive phytochemicals. The activity also provided a potential pathway for household food production, nutrition education and small-scale entrepreneurship.

Conclusion
Microgreen cultivation can serve as an interdisciplinary bridge between plant sciences, nutrition education and community health promotion. Rather than replacing medical treatment, this approach emphasizes preventive health, nutrition literacy and empowerment through accessible food production. Student-led dissemination of evidence-based knowledge may help extend healthy food practices from educational institutions to households and communities, particularly in economically vulnerable settings.
Keywords: Microgreens; Nutrition literacy; Health promotion; Preventive nutrition; Functional foods; Bioactive phytochemicals; Community health; Dietary diversification.

CLIMATE CHANGE AND FOOD SECURITY: EMERGING CHALLENGES FOR FOOD QUALITY, SAFETY, AND SUSTAINABLE FOOD SYSTEMS

Ahmad RAZA
Food Science, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Muhammad Tajammal HUSSAIN
National Institute of Food Science and Technology, University of Agriculture Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

ABSTRACT
Climate change is having a growing impact on food production, food quality, food safety and food system stability especially in developing countries where climate-sensitive agriculture is a major source of livelihood. An increase in temperatures, variation in precipitation, floods, droughts and other extreme weather events may have an impact on crop productivity, food nutritional quality, post-harvest losses, food safety and food availability. This research explores the new risks of climate change on food quality, food safety and sustainable food systems, focusing on food systems in vulnerable agricultural economies. The study combines scientific studies from the literature and international food and agriculture databases and points out significant climate-related risks in the food production and post-harvest phases. Special focus is addressed on changes in crop quality, problems of contamination, problems with storage and preservation, food loss and waste, and food security implications. The results suggest that the effects of climate change can go beyond food availability to the quality of the food in terms of nutritional and safety characteristics, thereby adding to the vulnerabilities of those who are already vulnerable. Hence, enhancing climate resilient food processing and storage technologies, strengthening postharvest management, encouraging environmentally friendly farming methods and incorporating climate related aspects into food safety policy is necessary. The study underscores the importance of multi-sectoral collaborations between food science, agricultural economics, food policy and climate adaptation to develop more resilient and sustainable food systems.
Keywords: Climate change; Food safety; Food quality; Food security; Food processing; Post-harvest losses; Sustainable food systems.

POTENTIAL ROLE OF THYROXINE (T4)-INTEGRIN AVB3 SIGNALING IN PLATELET TRANSCRIPTOMIC REPROGRAMMING AND THYROID CANCER PROGRESSION

Imane OUMLIL
LMNE Laboratory, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.
Younes ZAID
LMNE Laboratory, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Abstract
Platelets are increasingly recognized as active regulators of cancer progression beyond their classical role in hemostasis. In the tumor microenvironment, bidirectional interactions between platelets and cancer cells promote immune evasion, angiogenesis, metastasis, and cancer-associated thrombosis. Tumor cells can also induce molecular and functional changes in circulating platelets, giving rise to tumor-educated platelets (TEPs), which exhibit altered secretomes, vesicular release, and transcriptomic profiles.
Recent advances highlight platelet-derived extracellular vesicles (PEVs) as key mediators of intercellular communication, carrying bioactive molecules including proteins, mRNAs, and miRNAs that contribute to tumor progression. In parallel, thyroid hormones—particularly thyroxine (T4)—have been identified as non-genomic regulators of cancer biology through binding to the membrane integrin αvβ3, activating downstream signaling pathways such as MAPK/ERK and PI3K/AKT.
While integrin αvβ3 signaling is well established in tumor and endothelial cells, its role in platelet biology remains poorly characterized. Considering the emerging concept of platelet plasticity and transcriptomic responsiveness, it is plausible that T4-mediated activation of platelet integrin αvβ3 may contribute to platelet reprogramming and influence their interaction with thyroid cancer cells.
This review explores current evidence on platelet–tumor interactions, platelet-derived extracellular vesicles, and tumor-educated platelets, with a specific focus on thyroid cancer. It further proposes a potential mechanistic axis linking T4–integrin αvβ3 signaling to platelet transcriptomic remodeling and tumor progression, highlighting emerging diagnostic and therapeutic perspectives.
Keywords: Platelets; Tumor-educated platelets; Thyroxine (T4); Integrin αvβ3; Thyroid cancer; Extracellular vesicles.

FROM SOCIAL INFLUENCE TO IMPULSIVE BUYING: EXAMINING THE ROLE OF BUY NOW, PAY LATER USAGE AMONG INDONESIAN CONSUMERS

Jean Richard JOKHU
President University, Cikarang, West Java, Indonesia.

Abstract
The expansion of digital financial services has reshaped consumer purchasing and payment practices, particularly through the increasing adoption of *Buy Now, Pay Later* (BNPL) platforms. In Indonesia, Kredivo has emerged as one of the widely used BNPL providers, offering consumers immediate access to credit for online transactions. This study investigates the determinants of Kredivo PayLater usage and assesses whether its use is associated with impulsive purchasing behavior among consumers in Bekasi Regency. Specifically, the study evaluates the roles of social influence, lifestyle, and promotional exposure as antecedents of PayLater usage. A quantitative approach was employed using survey data collected from 215 Kredivo PayLater users selected through purposive sampling. The hypothesized relationships among the constructs were examined using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). The empirical results reveal that social influence significantly encourages the use of Kredivo PayLater, while lifestyle and promotional activities do not demonstrate statistically significant positive effects. The analysis also confirms that greater use of Kredivo PayLater is significantly associated with stronger impulsive buying tendencies. These findings suggest that interpersonal and social pressures play a more substantial role in shaping BNPL usage than personal lifestyle orientation or promotional incentives. Moreover, the results indicate that convenient access to deferred-payment facilities may facilitate spontaneous purchasing decisions. This study extends the literature on digital consumer finance by providing empirical evidence on the behavioral drivers and consequences of BNPL usage within the Indonesian consumer market.
Keywords: *Buy Now, Pay Later; Kredivo; digital credit; social influence; lifestyle; promotion; impulsive buying*

AN EXTERNALLY TRIGGERED DRUG DELIVERY PLATFORM FOR LOCAL IMMUNOMODULATION IN ISLET TRANSPLANTATION

Kosala D. WADUTHANTHRI
Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Purushothaman KUPPAN
Department of Surgery, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Gregory S. KORBUTT
Department of Surgery, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Andrew R. PEPPER
Department of Surgery, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Larry D. UNSWORTH
Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Background and purpose
Although clinical islet transplantation can restore insulin independence in individuals with type 1 diabetes, patient inclusion and long-term graft survival remain limited by immune-mediated destruction and the adverse effects associated with systemic immunosuppressive therapy (American Diabetes Association Professional Practice, 2021). The prevascularized subcutaneous transplantation site provides a unique opportunity for localized therapeutic administration because it remains readily accessible following transplantation (Pepper et al., 2015). Unlike conventional sustained-release systems, an externally triggered delivery platform enables precise temporal control over therapeutic administration while minimizing systemic drug exposure. This study developed a thermoresponsive elastin-like polypeptide (ELP)-based nanoparticle platform capable of retaining dexamethasone (Dex) at the islet transplant site and releasing it on demand through localized hypothermia.

Methods
A recombinant library of thermoresponsive ELP constructs with varying hydrophobic and hydrophilic compositions was engineered and screened to identify nanoparticles exhibiting reversible temperature-dependent assembly. The selected construct was characterized for particle size, thermal responsiveness, Dex encapsulation efficiency, stability, and biocompatibility with human islets. The delivery platform was subsequently evaluated in a mouse model to determine nanoparticle retention, hypothermia-triggered Dex release, local immunomodulation, and islet graft function.

Results and conclusions
The optimized $(AG)_{40}L_{80}$ construct formed stable nanoparticles (~70 nm) above 20 °C and reproducibly disassembled below this temperature, enabling externally controlled release of encapsulated Dex. The nanoparticles remained stable for at least 10 days and demonstrated biocompatibility with human islets. Following transplantation, localized hypothermia successfully triggered Dex release, resulting in prolonged local drug retention and increased IL-10 levels while maintaining transplanted islet function. This proof-of-concept study establishes an externally controlled, on-demand drug delivery platform that combines prolonged local drug retention with user-defined release timing. Beyond Dex, this versatile strategy provides a foundation for localized delivery of a broad range of hydrophobic therapeutics for cell transplantation while minimizing systemic drug exposure.
Keywords: Islet transplantation; Thermoresponsive nanoparticles; Elastin-like polypeptides; Localized drug delivery; Immunomodulation; Dexamethasone

References

American Diabetes Association Professional Practice, C. (2021). 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes-2022. *Diabetes Care, 45*(Supplement_1), S17-S38. doi:10.2337/dc22-S002

Pepper, A. R., Gala-Lopez, B., Pawlick, R., Merani, S., Kin, T., & Shapiro, A. M. J. (2015). A prevascularized subcutaneous device-less site for islet and cellular transplantation. *Nature Biotechnology, 33*(5), 518-523. doi:10.1038/nbt.3211

ECO-FRIENDLY SULPHUR-DOPED ALGINATE–SILICA–BIOCHAR COMPOSITE FOR SAFER WATER RECLAMATION: CRYSTAL VIOLET ADSORPTION AND MECHANISTIC STUDY

Resha Kasim VELLATTU CHOLA
Department of Chemistry, Pocker Sahib Memorial Orphanage College (Autonomous), affiliated with the University of Calicut, Tirurangadi, Malappuram, Kerala, India.

Sirajudheen PALLIYALIL
Department of Chemistry, Pocker Sahib Memorial Orphanage College (Autonomous), affiliated with the University of Calicut, Tirurangadi, Malappuram, Kerala, India.

Basheer MEETHALE CHELAVEETTIL
Department of Chemistry, Pocker Sahib Memorial Orphanage College (Autonomous), affiliated with the University of Calicut, Tirurangadi, Malappuram, Kerala, India.

Abstract
The continuous release of toxic, non-biodegradable dyes such as crystal violet (CV) into aquatic environments poses a serious threat to public health, since contaminated water may increase exposure to harmful compounds through drinking, food chains, and occupational contact. Thus, sustainable water purification strategies are essential for health-protective water quality management. This study developed a green sulphur-doped alginate–silica–biochar composite from mangosteen peel biochar, sodium alginate, and rice husk-derived silica for efficient CV removal from wastewater. Sulphur functionalization significantly increased surface affinity toward the cationic CV molecules. Comprehensive characterization by FTIR, XRD, XPS, SEM, TEM, BET, zeta potential, and thermogravimetric analysis confirmed successful composite formation, a mesoporous structure, and enhanced thermal stability. The material exhibited a high specific surface area of 302.51 m^2/g and retaining 20% residual mass at 800 °C. Batch adsorption experiments identified optimal performance at pH 9, 80 min contact time, an initial CV concentration of 40 mg/L, and an adsorbent dose of 100 mg, achieving a maximum adsorption capacity of 46.51 mg/g. The adsorption behaviour fitted well with the pseudo-second-order kinetic model ($R^2 > 0.99$) and the Langmuir isotherm model ($R^2 > 0.99$). Thermodynamic evaluation indicated a spontaneous and exothermic adsorption process. The composite exhibited a high negative surface charge, supporting strong electrostatic interactions with cationic CV. Dye adsorption mechanism involves electrostatic attraction, hydrogen bonding, π–π interactions, and surface complexation. The composite retained 70.88% removal efficiency after five adsorption–desorption cycles, demonstrating promising reusability and practical applicability. Overall, the findings highlight this sulphur-doped biochar-based composite as an effective green water treatment material, contributing to safer environmental conditions and supporting health-focused wastewater remediation efforts.

Keywords: Green adsorbent, water purification, Mechanism, sustainability**.**

RADIOGICAL SAFETY OF DRINKING WATER IN NIGERIA: AN ASSESSMENT OF RADIOLOGICAL CONTAMINANTS AND RISK TO POPULATIONS

B. SAMAILA
Department of Physics with Electronics, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0001-8428-0502

S. U. WALI
Department of Geography, Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria.

S. ABDULLAHI
Department of Radiology, Federal Medical Centre Gusau, Zamfara State, Nigeria.

Abstract
Drinking water radiological safety is a serious public health issue, especially in areas where environmental contamination from both natural and man-made sources is common.
The detection of radiological contaminants in drinking water across various regions of Nigeria has emerged as a significant public health concern. This study synthesizes findings from multiple investigations into the radiological safety of water sources in Nigeria, focusing on sachet water, borehole water, and river water. Analysis techniques included gamma-ray spectroscopy and NaI (Tl) detectors to measure radionuclide concentrations of uranium-238 (238U), thorium-232 (232Th), potassium-40 (40K), and gross alpha and beta radiation. Results revealed significant variations in activity concentrations, with many samples exceeding World Health Organization (WHO) and International Commission on Radiological Protection (ICRP) recommended limits, particularly for sachet water and certain borehole samples. The calculated annual effective doses for different age groups indicated potential health risks, especially for children, due to higher radionuclide intake.
Excess Lifetime Cancer Risk (ELCR) assessments corroborated these findings, signaling a heightened cancer risk from several water sources. Recommendations emphasize the need for continuous monitoring, public awareness campaigns regarding radiation risks, and remediation efforts for contaminated water sources.
Keywords: radiological safety, drinking water, Nigeria, radioactive contaminants, radon, radium, uranium, and radiation exposure

Introduction

Radiological contamination of water sources in Nigeria is a growing public health concern, especially in areas with natural radioactive material (NORM) deposits or those affected by industrial activities. These contaminants, such as uranium, thorium, and radon, can enter water systems through the erosion of rocks and soil, as well as from mining, oil extraction, and improper waste disposal (Ayara et al., 2020). Groundwater, which is a primary source of drinking water in many Nigerian communities, is particularly susceptible to such contamination. Prolonged exposure to radiological contaminants in drinking water can result in adverse health outcomes, including cancer, genetic mutations, and organ damage, depending on the levels and types of radionuclides present (Awodele et al., 2019).
In Nigeria, radiological contamination of water can stem from various sources. Natural sources include uranium and radon from uranium-rich geological formations, particularly in regions like the Jos Plateau, where there is significant natural radioactivity (Akinloye et al., 2020). Additionally, mining activities, especially uranium mining, contribute to elevated levels of radioactivity in local water sources (Fagbenie et al., 2023). Anthropogenic sources include improper disposal of radioactive waste and industrial effluents that may contain radioactive substances (Ibrahim et al., 2022).
The health impacts of radiological contamination in drinking water are severe. Prolonged exposure to high levels of radon and uranium can lead to various types of cancers, including lung and bone cancer (World Health Organization [WHO], 2021). Radon, a naturally occurring radioactive gas, has been linked to lung cancer when inhaled over extended periods (EPA, 2023; (Samaila et al., 2023).
Uranium exposure is associated with kidney damage and increased cancer risk (Nigerian Nuclear Regulatory Authority [NNRA], 2022).

Children and pregnant women are particularly vulnerable to the adverse effects of radiation, with potential impacts on development and long-term health outcomes.
In Nigeria, various studies have been conducted to assess the radiological safety of water, especially in regions with industrial activities, such as the Niger Delta and northern Nigeria where mining is prevalent. However, there are still significant gaps in the comprehensive monitoring of radiological contaminants and their long-term health impacts on the population (Ademola et al., 2018). The research question of this review is at "what extent is drinking water in Nigeria radiologically safe, and what are the potential health risks associated with long-term exposure to radionuclides in the water?". The major research objective to answer the question is to assess the current levels of radiological contamination in drinking water sources across Nigeria, with a focus on regions prone to higher radioactive material deposits or industrial activities.

Methodology
A systematic review was conducted to assess the radiological safety of drinking water in Nigeria. The methodology followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines.

Research Design and Objective
This systematic literature review aims to assess the radiological safety of drinking water in Nigeria by synthesizing findings from existing studies. The objective is to evaluate the levels of radioactive contaminants, their sources, and their potential health impacts on the Nigerian population.

Literature Search Strategy
A comprehensive literature search was conducted to identify relevant studies published up to September 2024. The following databases were used: PubMed, Google Scholar, Research gate Web of Science and Journal web site. Search terms included "radiological safety," "drinking water," "Nigeria," "radioactive contaminants," "radon," "radium," "uranium," and "radiation exposure." Boolean operators (AND, OR) were utilized to refine searches and include a broad range of relevant articles. Additionally, reference lists of selected studies and review articles were hand-searched for further relevant publications.

Inclusion and exclusion criteria
Studies that evaluated the radiological content of drinking water in Nigeria were included. The selection criteria were based on: Measurement of radionuclides such as uranium, thorium, radium, and potassium-40, Studies reporting radiation dose, contamination levels, or compliance with international standards. The studies unrelated to drinking water or those focused on industrial wastewater were included.

Study Selection
Two independent reviewers screened titles and abstracts of the identified articles to determine their relevance. Full-text reviews were then conducted to further assess eligibility based on the inclusion and exclusion criteria. Discrepancies between reviewers were resolved through discussion or consultation with a third reviewer (Samaila and Tampul, 2021; Samaila, et al., 2021).

Data Extraction and Synthesis
Data from eligible studies were extracted, including details on the Study title, study objective, Methodology, findings of the study and conclusion. A standardized data extraction form was used to ensure consistency as shown in table 1. A narrative synthesis was conducted to summarize the findings. Radiological data, including measured activity concentrations (Bq/L) of radionuclides and calculated annual effective doses (mSv/year), and health risks were compared with international safety thresholds (WHO guidelines of 0.1 mSv/year). Trends, regional differences, and potential risk factors for elevated radionuclide levels were discussed (Samaila et al., 2021; Samaila et al., 2023a).

Ethical Considerations
As this review involved secondary data analysis of published studies, no primary data collection was performed, and therefore no ethical approval was required. All included studies were assumed to have obtained necessary ethical approvals.

Result and Discussion

The literature reflects a broad national effort to evaluate **radiological safety, heavy metal contamination, and potential health risks** associated with various water sources in Nigeria. Several studies focus on **sachet drinking water** (e.g., Aladeniyi et al., 2022; Olaniyi et al., 2023; Nwankwo & Balogun, 2014), while others investigate **groundwater, wells, rivers, and special environments** such as crude-oil–contaminated areas (Joseph et al., 2023), breweries (Nwodo et al., 2024), and earth dams (Okeoghene et al., 2024). Broadly, the objectives center on **determining radionuclide concentrations**, **assessing heavy metals**, **evaluating annual effective doses**, and determining **radiological health implications** for different populations. The radiological safety of drinking water in Nigeria varies significantly across different regions, with some areas showing acceptable levels of radioactivity while others present potential health risks. Studies indicate that while many sources of groundwater are safe, certain locations require caution due to elevated radionuclide concentrations. A study in Ondo State found activity concentrations of 40K, 226Ra, and 228Ra in sachet water, with annual effective doses surpassing WHO limits of 0.1 mSv y^-1, indicating a carcinogenic risk, especially for vulnerable populations like infants and teenagers (Aladeniyi et al., 2022). In Ibadan, sachet water showed 238U and 232Th levels that also exceeded WHO guidelines, with mean annual effective doses reaching concerning levels. The cumulative effective doses from radionuclides in sachet water often exceed the International Commission on Radiological Protection (ICRP) threshold of 1 mSv y^-1, highlighting the need for stricter regulatory measures (Nwankwo & Balogun, 2014) (Nwankwo & Balogun, 2014). Recommendations include enhanced monitoring and the establishment of comprehensive guidelines to mitigate health risks associated with sachet water consumption in Nigeria (Aladeniyi et al., 2022; Nwankwo & Balogun, 2014).

Table 1: An overview of findings across the country

Paper Title	Objective	Method	Results	Conclusion	Reference
Evaluation of Radiological Health Risks in Popularly Consumed Brands of Sachet Water in Nigeria	To evaluate Radiological health risks in satchet Water	Spectrometric method for radionuclide evaluation and Comparative method for activity concentrations of radionuclides	Radionuclide concentrations exceeded WHO limits in sachet water. Annual effective doses and cancer risks were found to be high.	Radiological health risks exceed WHO limits in sachet water. Consumers should avoid specific brands due to health hazards.	Aladeniyi et al., 2022
Assessment of potential radiological risk of borehole water and snails from a crude oil contaminated area, Ikot Ada Udo, South-South Nigeria	To assess the potential risk of borehole and snails from crude oil soil contaminated area	Collection and analysis of borehole water and snail tissues were done using spectrometry approach.	Borehole water and snails from Ikot Ada Udo are unsafe for consumption. Ingestion of 238U from water and snails may lead to cancer.	Radionuclides in water and snails exceeded safety limits. Uranium (238U) posed highest health risk in consumption. Ingestion of 238U from borehole water and snails poses cancer risk.	**Joseph et al. (2023)**
Natural Radioactivity in Sachet Drinking Water Produced in Ibadan, Oyo State, Nigeria	To determine radioactivity in satchet Water	NaI(Tl) gamma spectroscopy for radioactivity analysis Canberra vertical coaxial NaI(Tl)	Sachet water in Ibadan has varying natural radioactivity concentrations. Consumption may exceed	Some sachet water samples exceed recommended annual effective dose values.	**Olaniyi et al. (2023)**

		75mm crystal detector used	recommended annual effective dose values, posing health risks.	Radiological risks may arise from consuming analyzed sachet water.	
Assessment of natural radioactivity in sachet drinking-water samples in nigeria, west africa	To assess natural radioactivity in satchet Water	Gamma-ray spectroscopic analysis High-purity germanium detector coupled with Multichannel Analyzer	High levels of 226 Ra and 228 Ra in water samples. Effective dose from 226 Ra and 228 Ra exceeds safety levels.	Sachet drinking-water in Nigeria exceeds health standards for radioactivity. Consumption poses significant health hazards due to high radionuclide levels.	**Nwankwo & Balogun (2014)**
Radioactivity level of drilled well water across selected cities in Ondo and Ekiti states, Southwestern Nigeria and its radiological implications	To assess the level drilled well water across selected cities in Ondo and Ekiti	Water samples analyzed using n-type co-axial HPGe detector Activity concentrations used to calculate annual effective dose equivalents	Activity concentrations of gamma-emitting radiations in well water samples Total annual effective dose equivalents exceeded ICRP and WHO limits	Drilled wells need water screening to remove radionuclides. Total annual effective dose exceeds ICRP and WHO limits.	**Ayodele et al. (2020)**
Radiological Safety of Water from Hadejia River	To assess water safety	Water samples collected, acidified, stored, and analyzed. Radioactive measurements done using lead shielded sodium iodide detector.	Water from Hadejia River is radiologically safe for adults. Infants may face radiation hazard from consuming the water.	The water is radiologically safe for adults but may pose risk to infants. Hence Activities enhancing river's radiological content should be avoided.	**Orosun et al. (2018)**
Heavy metal hazards of sachet water in Nigeria.	To assess heavy metal hazards in satchet water	Atomic absorption spectrophotometer used for heavy metal analysis And Various methods for analyzing water chemical properties mentioned	Lead levels ranged from 0.002 to 0.036 mg/L. Cadmium levels ranged from 0.002 to 0.036 mg/L.	Sachet water in Nigeria may contain hazardous heavy metals. More stringent standardization and control of packaging industry is needed.	**Orisakwe et al. (2006)**
Radioisotopes Burden in Ground Water of Ogun State,	To determine radioisotope in ground water	Gamma spectroscopy techniques and Chemical analysis	Radioisotope concentrations in ground water	Activity concentrations of radioisotopes	**Achuka, & Usikalu (2017)**

South-West, Nigeria		using standard techniques	sources of Ogun State. Some samples exceeded WHO guidance levels for radioisotopes.	were below WHO guidance levels. Mean total annual effective dose exceeded WHO guidance for adults.	
Assessment of Radiological Hazard Risks Due to Gross Alpha and Beta Radioactivity in Groundwater from Damaturu, North-Eastern Nigeria	Evaluate radiological hazard risks in groundwater from Damaturu Provide baseline radiological survey of potable water in the area	Evaluation of radiological hazard indices Analysis of gross alpha and beta radioactivity in groundwater	Groundwater in Damaturu, Nigeria, is radiologically safe for drinking, with low levels of gross alpha and beta radioactivity posing minimal health risks, below UNSCEAR limits	Groundwater in Damaturu is safe for drinking purposes. Radiological hazard indices are below recommended limits set by UNSCEAR.	Ahmadu et al., 2024
Radiotoxicity and groundwater quality for drinking in a multi-layered saline sedimentary terrain of Keana, Central Benue trough, Nigeria		Evaluation of uranium concentrations in groundwater Assessment of radiological and chemical toxicity of uranium	The study highlights elevated uranium levels in groundwater in Keana, Nigeria, posing a potential health risk due to radiotoxicity, exceeding acceptable cancer risk values, Lifetime However, average Daily Dose of 238U in groundwater is below threshold.	High uranium concentrations in groundwater pose cancer risk. Treatment needed before consumption to reduce health risks.	Iyakwari, 2024
Radiation Doses and Risk Assessment Due to Water Intake at Oyo Town, Southwestern Nigeria	Evaluate natural radionuclide activity in groundwaterAssess radiation doses and cancer risk from water intake	Gamma-ray spectrometric analysis Cancer risk assessment	Radionuclide concentrations exceeded safe limits in water. Cancer risk assessment showed stochastic chance of occurrence.	No health concern from water consumption in Oyo town. Cancer risk from water intake is stochastic.	Ajibade et al., 2024

Gross alpha and beta activity concentrations in beers and ground water samples from selected breweries in nigeria and their potential radiological hazards	Determine alpha and beta activity concentrations in beers and water. Assess potential radiological hazards for consumers.	Acid added to preserve ground water samples and Method 900 of US EPA applied for analysis.	Water samples from Nigerian breweries showed elevated gross alpha and beta activity concentrations, potentially posing radiological health hazards due to exceeding WHO recommendations, unlike beer samples which were within safe limits.	Beer samples met WHO recommendations. Water samples may pose radiological health hazards.	Nwodo et al., 2024
Examining the Radiological Health Risks Associated with Water Sourced from the Ogwashi-Uku Earth Dam in Ogwashi-Uku, Delta State, Nigeria	Assess radiological health risks of water from Ogwashi-Uku Earth dam. Analyze gross alpha and beta activity concentrations in water samples.	Analysis of gross alpha and gross beta activity concentrations Calculation of average annual effective dose equivalent	The study on water from Ogwashi-Uku Earth dam in Nigeria indicates low radiological health risks, with alpha and beta levels below limits, suggesting the water is safe for consumption	Water from dam is safe for consumption due to its Low life cancer risk associated with it consumption.	Okeoghene et al., 2024
Assessment of potential radiological risk of borehole water and snails from a crude oil contaminated area, Ikot Ada Udo, South-South Nigeria	Assess radiological risk of borehole water and snails. Determine potential harm from radionuclide ingestion in Ikot Ada Udo.	Collection and analysis of borehole water and snail tissues. Assessment of radionuclides activity concentrations in water and snails.	Radionuclides in water and snails exceeded safety limits. Uranium (238U) posed highest health risk in consumption.	Borehole water and snails from Ikot Ada Udo are unsafe for consumption. Ingestion of 238U from water and snails may lead to cancer.	Joseph et al., 2023
Evaluation of Chemical and Impacts of Radionuclides in Borehole Waters in Igbajo Town, Osun State, Nigeria	Assess radionuclide activity concentrations in borehole water. Determine radiological impact parameters for environmental and human health risks.	Gamma-ray spectroscopy used for radionuclide assessment Calculation of radiological impact parameters from activity concentrations	Results indicate high radiological risks, with elevated cancer risk and significant health hazards, emphasizing the need for urgent attention.	High radiological risk to environment and inhabitants due to radionuclides. Urgent attention needed to prevent potential health hazards in area.	OS et al., 2023
Measurement of Radionuclides Concentration and	Measure radionuclides concentration in	Gamma spectroscopy with thallium activated NaI detector	The radiological safety of drinking water in Nigeria was assessed,	VW water poses highest radiation exposure risk.	Orosun et al., 2022

Radiological Health Assessment of Some Selected Table Waters in Ilorin	selected table waters. Assess radiological risks associated with consuming the table waters.	Calculation of annual effective dose for radiological health assessment	indicating potential risks from certain table waters due to elevated radionuclide levels, emphasizing the need for monitoring and public awareness.	Public water systems should be monitored for radiation levels.	
Natural Radioactivity in Sachet Drinking Water Produced in Ibadan, Oyo State, Nigeria	Analyze natural radioactivity in sachet water samples in Ibadan. Determine annual effective dose from consumption of the water samples.	NaI(Tl) gamma spectroscopy for radioactivity analysis Canberra vertical coaxial NaI(Tl) 75mm crystal detector used	Sachet water in Ibadan has varying natural radioactivity concentrations. Consumption may exceed recommended annual effective dose values, posing health risks.	Some sachet water samples exceed recommended annual effective dose values. Radiological risks may arise from consuming analyzed sachet water. Save	Olaniyi et al., 2023

Radiological Contamination in Drinking Water

The presence of radiological contaminants in Nigeria's drinking water has raised concerns about public health risks, particularly from naturally occurring radioactive materials (NORMs) like uranium, thorium, and radon (Samaila et al., 2021; Samaila et al., 2023). Studies have shown that water sources, especially groundwater, in certain regions of Nigeria, exhibit levels of radionuclides exceeding recommended safety limits by the World Health Organization (WHO) (Ajayi et al., 2020; Olatunji et al., 2022)

Sachet Water

Sachet water remains a major source of drinking water in Nigeria, yet multiple studies have revealed substantial variation in its radiological safety. Olaniyi et al. (2023) reported activity concentrations of ^238U (0.89–11.65 Bq/L), ^232Th (0.41–8.78 Bq/L), and ^40K (4.29–37.48 Bq/L) in sachet water brands from Ibadan, with some annual effective dose (AED) estimates exceeding WHO and ICRP recommended limits. In a broader investigation across Ondo State, Aladeniyi et al. (2022) found mean concentrations of 66.22 Bq/L for ^40K, 6.88 Bq/L for ^226Ra, and 9.49 Bq/L for ^228Ra, resulting in excess lifetime cancer risks (ELCR) for several brands above WHO's acceptable threshold of 10^{-3}. These findings indicate that consumers of certain sachet water products may face significant radiological exposure, especially vulnerable groups such as infants and teenagers. Historic studies further highlight persistent contamination concerns. Nwankwo and Balogun (2014) documented high radionuclide levels in sachet water in Ilorin, with ^40K concentrations reaching up to 376 Bq/L and radium isotopes exceeding WHO guidelines. Beyond radionuclides, sachet water quality is further compromised by heavy metal contamination; Orisakwe et al. (2006) observed elevated levels of lead, cadmium, and nickel in Eastern Nigeria. Collectively, evidence suggests that sachet water, despite its widespread consumption, requires strengthened regulatory monitoring, improved manufacturing oversight, and more rigorous enforcement of radiological safety standards.

Surface Water Systems

Surface waters including rivers and streams serve as essential domestic sources for many Nigerian communities, yet their radiological profiles are influenced by geological substrates and human activities. Orosun et al. (2018) found that while water from the Hadejia River did not pose significant radiological hazards for adults, absorbed dose rates indicated potential risks for infants who consume proportionately larger water volumes. Similar observations by Samaila et al. (2021, 2023) suggest that surface waters in certain regions exhibit elevated concentrations of ^226Ra, ^232Th, and ^40K due to erosion and runoff from radionuclide-rich formations. These findings highlight the influence of natural geological processes on the radioactive content of surface waters. Industrial, urban, and agricultural activities further exacerbate surface water contamination. Elevated radon and uranium concentrations have been reported in water bodies within the Niger Delta, sometimes exceeding WHO limits (Oloyede et al., 2023), likely linked to artisanal mining, oil exploration, and soil disturbances. Thus, communities reliant on untreated rivers and streams face heightened risks of internal exposure, potentially increasing the long-term incidence of cancer, kidney damage, and other radiogenic health outcomes.

Radiological Characteristics of River and Dam Water

Rivers and dams constitute major water supply systems in many semi-urban and rural settlements in Nigeria. Okeoghene et al. (2024) assessed dam water from the Ogwashi-Uku Earth Dam and recorded gross alpha and beta activities below WHO permissible limits, suggesting that the water remains radiologically safe despite increasing human activities. These findings demonstrate that some dam systems may maintain low radiological signatures when adequately protected from geological leaching and external contamination sources. However, other studies show contrasting patterns. Elevated radionuclide concentrations in river-fed reservoirs are common in regions underlain by uranium- and thorium-rich geological formations. In parts of the Niger Delta, for instance, surface and reservoir waters have exhibited elevated radon and uranium concentrations (Oloyede et al., 2023; Ojo et al., 2024). These levels may increase internal dose exposure for populations dependent on untreated river and dam water. The observed variability underscores the need for routine radiological surveillance, especially in regions with known mineralization or heavy industrial activities.

Groundwater and Borehole Water as Pathways for Radiological Exposure

Groundwater remains the most widely used drinking water source in Nigeria, yet multiple studies indicate that it often contains naturally occurring radionuclides at levels above international safety thresholds. Ajayi et al. (2020) and Olatunji et al. (2022) recorded groundwater radionuclide concentrations surpassing WHO limits across several regions. In North-Western Nigeria, Abubakar and Musa (2021) attributed elevated uranium levels to underlying uranium-bearing lithologies. Iyakwari (2024) further documented uranium concentrations ranging from 372 to 19,964 µg/L in groundwater, with corresponding AED values up to 0.991 mSv/year—particularly affecting children aged 7–12. Borehole water contamination has been similarly documented. Joseph et al. (2023) reported radionuclide concentrations in Ikot Ada Udo that exceeded WHO and IAEA safety standards, including ^40K (176 ± 52 Bq/L), ^238U (22.2 ± 7.2 Bq/L), and ^232Th (7.1 ± 1.6 Bq/L). These exposures corresponded to increased lifetime cancer risks, with uranium identified as the dominant contributor. In contrast, Ahmadu et al. (2024) observed that borehole water in Damaturu remained within UNSCEAR safety limits, illustrating that radiological risk varies substantially by region. Nonetheless, the evidence highlights the need for systematic groundwater monitoring, improved borehole construction practices, and targeted public health interventions.

Special Exposure Environments: Industrial, Agricultural, and Food-Chain Pathways

Certain environments present unique exposure pathways that amplify radiological health risks. Industrial zones, for example, may inadvertently introduce radionuclides into water sources used for food and beverage production. Nwodo et al. (2024) found that while beer samples from Nigerian breweries generally complied with WHO radiological safety standards, groundwater used by some factories exhibited elevated gross alpha and beta activity levels, particularly in Imo and Onitsha. This indicates that although final products may be safe, the industrial water supply chain may serve as an overlooked exposure pathway.

In addition to industrial environments, radionuclide contamination extends into food-web pathways. Joseph et al. (2023) demonstrated significant accumulation of ^40K, ^238U, and ^232Th in *Archachatina marginata* (African giant snail), with levels exceeding WHO and IAEA reference standards. Children aged 0–7 were found to be the most vulnerable population group due to higher committed effective doses from ingestion. Such findings emphasize the complexity of environmental radiological exposure, extending beyond water to soil, biota, and agricultural systems. This highlights the need for integrated environmental monitoring that considers multiple exposure pathways beyond drinking water alone.

Health Implications and Radiological Risk Assessment

The presence of radionuclides in drinking water poses considerable health risks due to internal exposure pathways associated with ingestion. Several studies have linked long-term consumption of radionuclide-contaminated water to increased risks of cancer, kidney damage, and other radiation-induced diseases (Adediran & Ogunleye, 2022; WHO, 2017). Samaila et al. (2021, 2023) reported radionuclide concentrations in groundwater that frequently exceeded WHO limits, indicating widespread vulnerability among Nigerian populations. Elevated radon and uranium levels reported in regions such as the Niger Delta (Oloyede et al., 2023) further reinforce concerns about chronic exposure in high-risk communities. Risk assessment findings consistently show that AED and ELCR values exceed international safety thresholds in many Nigerian water sources. Orosun et al. (2022) observed that several table water samples produced AED values above global averages, while ELCR estimates indicated substantial carcinogenic risks for consumers. Aladeniyi et al. (2022) similarly reported that ^226Ra and ^228Ra concentrations in sachet water brands resulted in ELCR values surpassing WHO recommendations, particularly for infants and children. These findings underscore the urgent need for coordinated radiological monitoring programs, strengthened regulatory enforcement, and public health interventions aimed at safeguarding drinking water quality across Nigeria.

Conclusion

The synthesis of recent studies indicates that the radiological quality of drinking water in Nigeria, particularly in the North-Western and other geologically sensitive regions, presents significant public health concerns. Elevated levels of natural radionuclides, including uranium-238 (^238U), thorium-232 (^232Th), and potassium-40 (^40K), have been consistently reported across various water sources, such as groundwater, boreholes, and sachet water. In several studies, the measured activity concentrations exceeded international safety guidelines, including those recommended by the World Health Organization (WHO), International Atomic Energy Agency (IAEA), and International Commission on Radiological Protection (ICRP), signaling potential radiological hazards for both adults and children. Notably, children and infants are more vulnerable due to higher annual effective doses and cumulative lifetime exposure, which increases the likelihood of radiation-induced health effects such as cancer, kidney damage, and other non-carcinogenic outcomes. The ingestion of uranium in particular has been highlighted as a critical contributor to both carcinogenic and non-carcinogenic risks, emphasizing the importance of site-specific remediation and monitoring. While some water sources, such as certain dams and select boreholes, were found to have activity concentrations below permissible limits, a substantial portion of groundwater and packaged water exceeded recommended thresholds, indicating the urgent need for continuous radiological monitoring. The evidence emphasizes the necessity for a robust regulatory framework to ensure safe drinking water, including routine screening of water sources, public education on radiological risks, and mitigation strategies such as treatment technologies to remove radionuclides. Furthermore, the findings suggest that radiological assessments should extend beyond water to include locally consumed food items, such as mollusks, which can bioaccumulate radionuclides and amplify exposure risks. Overall, the studies collectively highlight a pressing need for a national surveillance program for radionuclides in drinking water, coupled with targeted interventions to protect vulnerable populations and minimize long-term health risks associated with natural radioactivity.

References

Achuka, J. A., & Usikalu, M. R. (2017). Radioisotopes Burden in Ground Water of Ogun State, South-West, Nigeria. *Journal of Informatics & Mathematical Sciences*, *9*(2).

Aladeniyi, K., Olowookere, C. J., Khandaker, M. U., & Alsufyani, S. J. (2022). Evaluation of radiological health risks in popularly consumed brands of sachet water in Nigeria. *Frontiers in Public Health*, *10*, 917422.

Ahmadu, M., Gimba, M. S., Abba, H. T., Mohammed, Y., Dankawu, U. M., Lariski, F. M., & Uzair, M. (2024). Assessment of Radiological Hazard Risks Due to Gross Alpha and Beta Radioactivity in Groundwater from Damaturu, North-Eastern Nigeria. Dutse Journal of Pure and Applied Sciences (DUJOPAS), 10(2), pp.153-163

Abubakar, M., & Musa, I. (2021). Uranium concentration in groundwater: A case study in North-West Nigeria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 120, 45-52.

Ajayi, O. S., Fasasi, M. K., & Bello, B. (2020). Assessment of radiological contamination in Nigerian groundwater sources. *Nigerian Journal of Science*, 54(3), 109-117.

Ayodele, A. E., Ife-Adediran, O. O., & Arogunjo, A. M. (2020). Radioactivity level of drilled well water across selected Cities in Ondo and Ekiti States, Southwestern Nigeria and its radiological implications. *Int J Radiat Res*, *18*, 1-7.

Adediran, I. A., & Ogunleye, A. O. (2022). Radiological Risk Assessment of Groundwater in Nigeria: A Review. *Journal of Environmental Radioactivity*, *250*, 106889. doi: 10.1016/j.jenvrad.2022.106889.

Ajibade, O. M., Olisa, O. G., Olabamiji, A. O., & Adesiyan, A. A. (2024). Radiation Doses and Risk Assessment Due to Water Intake at Oyo Town, Southwestern Nigeria. *Nigerian Journal of Physics*, *33*(2), 52-60.

Iyakwari, S. (2024). Radiotoxicity and groundwater quality for drinking in a multi-layered saline sedimentary terrain of Keana, Central Benue trough, Nigeria. *African Scientific Reports*, 169-169.

Joseph, A., Yuan, X., Okoro, F., Etinosa-Okankan, O., Akindele, A. F. I., & Adetunji-Popoola, W. (2023). Assessment of potential radiological risk of borehole water and snails from a crude oil contaminated area, Ikot Ada Udo, South-South Nigeria. *Journal of Food Composition and Analysis*, *123*, 105594.

Nwankwo, L., & Balogun, A. (2014). Assessment of natural radioactivity in sachet drinking-water samples in Nigeria, West Africa. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 43-51.

Nwodo, V. K., Luntsi, G., Dambele, M., Joseph, D. Z., Abubakar, U., Egbe, N. O., ... & Abubakar, M. (2024). Gross alpha and beta activity concentrations in beers and ground water samples from selected breweries in Nigeria and their potential radiological hazards. *SCT Proceedings in Interdisciplinary Insights and Innovations*, *2*, 321-321.

Orisakwe, O. E., Igwilo, I. O., Afonne, O. J., Maduabuchi, J. M. U., Obi, E., & Nduka, J. C. (2006). Heavy metal hazards of sachet water in Nigeria. *Archives of environmental & occupational health*, *61*(5), 209-213.

Orosun, M. M., Alabi, A. B., Olawepo, A. O., Orosun, R. O., Lawal, T. O., & Ige, S. O. (2018, July). Radiological safety of water from Hadejia River. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 173, p. 012036). IOP Publishing.

Olaniyi, D., Nwankwo, C., Oyeyemi, S. M., Akerele, O. O., & Owoade, L. R. (2023). Natural Radioactivity in Sachet Drinking Water Produced in Ibadan, Oyo State, Nigeria.

Olaniyi, D., Nwankwo, C., Oyeyemi, S. M., Akerele, O. O., & Owoade, L. R. (2023). Natural Radioactivity in Sachet Drinking Water Produced in Ibadan, Oyo State, Nigeria. ***Research Square: Preprint***, 1, DOI: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2741289/v1

Okeoghene, I. B., Onyema, N. A., Charles, O. E., & Favour, O. (2024). Examining the Radiological Health Risks Associated with Water Sourced from the Ogwashi-Uku Earth Dam in Ogwashi-Uku, Delta State, Nigeria. *Physical Science International Journal*, 28(4), PP. 21-28

OS, F., AA, G., AE, A., AI, A., & AG, O. (2023). Evaluation of Chemical and Impacts of Radionuclides in Borehole Waters in Igbajo Town, Osun State, Nigeria. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, *24*(6), 34-42.

Orosun, M. M., Fabowale, P. A., Akinyose, F. C., Oluyide, S. O., Mark, U., Olaniyan, T. A., & Oduh, V. O. (2022). Measurement of Radionuclides Concentration and Radiological Health Assessment of Some Selected Table Waters in Ilorin. *Momona Ethiopian Journal of Science*, *14*(1), 81-94.

Ojo, J. A., Akintola, S. M., & Olaniran, O. A. (2024). Assessment of Radon Levels in Drinking Water from Niger Delta Region of Nigeria. *Radiation Protection Dosimetry, 194*(3), 340-349. doi:10.1093/rpd/ncaa073.

Oloyede, S. A., Oyekola, O. O., & Alabi, J. O. (2023). Natural Radioactivity in Groundwater Sources in Nigeria: Implications for Public Health. *Health Physics, 125*(1), 77-86. doi:10.1097/HP.0000000000001527.

Olatunji, S. T., Babalola, M. A., & Adeniyi, K. (2022). Radionuclide levels in water resources of Nigeria. *Journal of Water and Health*, 19(1), 101-115.

Samaila B. and Tampul H.M. (2021). Determination of Soil Radioactivity and Radiological Hazard Indices in Nigeria: A Review. *Savanna Journal of Basic and Applied Sciences,* 3(1): 71-80

Samaila, B., Aisha, I.J., Shehu, A.A. and Bako, A. (2021). Evaluation of Chronic Daily Intake, Pollution Index and Incremental Life Cancer Risk to Adults Due to Exposures to Heavy Metals in Surface and Ground water. *Int. J. Sci. Res. in Physics and Applied Sciences*, 9(6):72-80

Samaila, B., Muhammad, S., and Garba, I.I. (2023a). Radiological Hazards Assessment of 226Ra, 228Ra, 228Th, 232Th, 238U and 40K in Nigeria. American Journal of Planetary and Space Science
1(1): 104, DOI: https://doi.org/10.36266/AJPSS/104

Samaila, B., Maidamma, B., Usman, B., Jega, A.I., and Alhaji, S.A (2021). Assessment of Hazard Index and Incremental Life Cancer Risk Associated with Heavy Metals in the Soils, *SPR*, 1(4): 298 – 319, DOI: https://doi.org/10. 52152/spr/2021.148

Samaila, B., Bello, A., Wali, S.U., Yahaya, M.N., and Abubakar., N. (2023b). Radiological Implications of Radon Levels on Human Health: Systematic Review in Nigeria. Biomed J Sci & Tech Res 52(4)-2023.

World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for drinking-water quality*: Fourth edition incorporating the first addendum.* WHO Press.

World Health Organization (WHO). (2023). Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva: World Health Organization.

REJUVENATION OF SOIL USING PHYTOCHEMICAL METHOD VIA ENHANCING ITS PROPERTY BY ADDITION OF CHELATING AGENT

S. MADHUPRIYA
PG and Research Department of Chemistry, N. M. S. S. Vellaichamy Nadar College, Madurai, Tamil Nadu, India.

Abstract

Soil contamination by heavy metals (HMs) has become a major worldwide issue. In this work, a new method for improving HM-contaminated hexavalent chromium Cr(VI) into the ground with low nutrient levels and weak alkalinity is presented. This approach seeks to improve the remediation of heavy metal-contaminated Cr(VI) while concurrently boosting the production of economically significant crops. Most of the soil was contaminated with chromium, which is present in an insoluble form and leads to several human health problems. Recently, phytoremediation has become an effective and affordable technological solution to extract chromium from contaminated soil. We chose *Ocimum sanctum (*OS*)* because it is readily available at a low cost, grows quickly, and has a high absorption capacity for heavy metal ions. Furthermore, the uptake of chromium by *Ocimum sanctum* is enhanced by adding 2,6 diaminonapthaquinone (DNQ) containing organic compounds.

Using a pot experiment, we investigated the effect of an organic chelating compound on the phytoremediation of chromium-contaminated soil using OS. The study evaluated three experimental sets: DNQ and contaminated soil with *OS (A)*. Plant with contaminated soil (B), and (C) contaminated soil alone (control). The pH of the hexavalent chromium was clearly lowered by 0.8 -2.56 % when these organic compounds were applied. Applications of organic compound considerably raised the cation exchange capacity (CEC) and soil organic matter (SOM) content by 5.17 to 10.24% and 15.76 to 174.46%, respectively. After one month, Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) analysis revealed that Treatment A was significantly more effective at removing chromium ions than Treatments B and C. Additionally, the soil pH in Treatment A increased slightly compared to B and C. Moving forward, we plan to cultivate OS in the chromium-contaminated soil of the Dindigul, Tamil Nadu region and convert the harvested plant into biochar for use as a soil organic fertilizer.

Keywords: 2,6 diaminonapthaquinone, *Ocimum sanctum*, ICP-MS

ALTERATIONS IN INTESTINAL MICROBIAL DIVERSITY AND COMPOSITION IN PATIENTS WITH PLAQUE PSORIASIS

Dr. Hafiz Muhammad ISHAQ
Department of Pathobiology and Biomedical Sciences, Faculty of Veterinary and Animal Sciences, Muhammad Nawaz Shareef University of Agriculture, Multan, Pakistan.

Abstract
Plaque Psoriasis is a human immune mediated non contagious disease which results in raised, dry, red patches with itching and painful skin in the following areas: elbows, knees, scalp and lower back. The gut microbiota is vital to human health and disease. This research was aimed to characterize the composition of intestinal bacteria in Plaque Psoriasis patients. A total of 20 fecal samples were collected: 10 from patients with Plaque Psoriasis (5 male +5 female) and 10 samples from healthy control (5 male +5 female). The V3 region of the 16S rRNA gene was targeted by PCR-DGGE. qPCR was also done to quantify the important bacteria. In addition, all samples from two groups were sequenced using the HIseq2500 Illumina based high throughput sequencing. The significant dysbiosis between the experimental and control subjects was illustrated by the intestinal microbial diversity by PCR-DGGE and Highthrough-put. There was a significant raised abundance of phylum Proteobacteria, while Firmicutes decreased significantly in patients. The families Prevotellacea, Enterobacteriaceae and Bacteroidaceae were found to be significantly elevated in the Family Stat on Plaque Psoriasis patients, while the profusion of Ruminococcaceae, Streptococcaceae, Veillonellaceae, and was significantly decreased in Plaque Psoriasis group. Compared to the control, significantly higher abundant genera Bacteroides, Prevotella-9 and Escherichia-Shigella, and lower abundance of, Streptococcus, and Ruminococcus_2 were found in the experimentation group. Moreover, there was a significant increase of Bacteroides vulgatus and Escherichia coli in the species findings in Plaque Psoriasis group. The findings from studies on the intestinal microbial dysbiosis in Plaque Psoriasis patients may offer novel insights for the understanding of probiotic development, pathogenesis, and treatment for Plaque Psoriasis.
Keywords: Plaque Psoriasis; DGGE; Microbiota; Highthrough-put sequencing; Dysbiosis

GENOME EDITING IN DENGUE VECTOR, AEDES AEGYPTI USING CRISPR-CAS9 SYSTEM TO REPLACE BLOOD SUCKING FEMALES TO NECTAR FEEDING MALES

Muhammad ZULHUSSNAIN
Department of Zoology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Kanwal RANIAN
Department of Zoology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Aftab AHMAD
Natural and Medical Sciences Research Center (NMSRC), University of Nizwa, Nizwa, Oman.

Muhammad Kashif ZAHOOR
Department of Zoology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Abstract
Aedes aegypti is considered as a serious pest due to its vector role for dengue. Various control measures have been devised to date but the disease has not been still properly managed. Chemical control through insecticide results in mosquito resistance and environmental as well as human respiratory concerns. In addition, due to the prevalence of multiple serotypes, plus a single *Aedes* mosquito harbors more than one serotype make the dengue disease more serious. A patient with dengue disease can be a victim for another dengue attack due to this behavior, thus, hinders for vaccine manifestation. Very recently, genetically modified mosquitoes are being engineered with the goal to liberate them in environment to counter the mosquito-borne diseases. Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR-associated sequence 9 (CRISPR/Cas9) system has recently been discovered as a genome editing tool in *Ae. aegypti*. As only the female mosquitoes bites and sucks the blood, because of its requirement of blood to produce eggs. The production of only males would permit *Ae. aegypti* to feed only on nectar rather to feed on human blood by females under normal conditions. The current study is proposed to focus on genetic modification of *Ae. aegypti* targeting specific genes involved in sex differentiation pathway such as *Nix*, *dsx* , *Sxl* and *fru* through using CRISPR/Cas-9 system. The results revealed that knockout produced low survival and high mortality. A significant percentage of eggs (38.33%) did not hatch as compared to control groups (p value 0.00). Highest larval mortality (11.66%) was found in knockout of *Aaedsx* female isoform, whereas, the emergence of only male adults also showed that the knockout of *Aaedsx* (female isoform) does not produce male lethality. The survival (3.33%) of knockout for *AaeSxl* eggs to the normal adults suggested further study to investigate *AaeSxl* as an efficient upstream of *Aaedsx* to target for sex transformation in *Ae. aegypti* mosquitoes. Overall results showed that the knockout of *dsx* produced high mortality in females but not in males, as compared to other genes. Therefore another experiment was designed for ectopic expression of *Nix* along with knockout of dsx^F, and multiplexed knockout of Nix and dsx^F to determine the impact of presence or absence of *Nix* on the dsx^F knockout mosquito. Results revealed that the multiplexed knockout of *Nix* and dsx^F produced significant higher mortality as compared to control and the other dsx^F knockout group with the ectopic expression of *Nix*. Phonotypical analysis showed that *dsx* knockout did not produce complete sex conversion but caused higher mortality in females, low egg percentage and decreased ovary size. Results concluded that the mutant males for dsx^F knockout can be used to reduce the female mosquito's population.
Keywords: *Aedes aegypti*, CRISPR/Cas9, *doublesex*, *sex-lethal*, sex-determination pathway

CRISPR-CAS9 MEDIATED SEX-RATIO DISTORTION FOR THE GENETIC CONTROL OF DENGUE VECTOR, AEDES AEGYPTI

Kanwal RANIAN
Department of Zoology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Muhammad ZULHUSSNAIN
Department of Zoology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Aftab AHMAD
Natural and Medical Sciences Research Center (NMSRC), University of Nizwa, Nizwa, Oman.

Muhammad Kashif ZAHOOR
Department of Zoology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Abstract
Aedes aegypti is considered as a principal threat due to its vector role for transmitting devastating Dengue virus, Zika virus and Chikungunya virus. Economic load of mosquito borne diseases, the relative ineffectiveness of conventional control methods, emergence of chemical-resistance imposes towards the genetic manipulation *Aedes aegypti*. Additionally, prevalence of multiple serotypes and that a single Aedes mosquito can carry numerous serotypes makes dengue disease a more significant problem. Only female mosquito bites human being and transmit diseases hence it is crucial to manage the females, a reliable sexing system was needed in all release strategies. For that purpose, a very effectual way to vector control is to bias the male-female sex-ratios in favor in favor of male. Therefore, Clustered regularly interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR/Cas9) approach was employed to genetically modify the *Ae. aegypti* and to suppress females' population. The major key regulator genes involved in sex determination cascade; *Ae. transformer2* was characterized and its physically linked partners *Ae. doublesex* and *Ae. fruitless* were searched through (BioGRID) database and characterized for their isoforms. The retrieved DNA sequences were used as a reference to design the gRNAs targeting the sex-specific isoforms; *Ae. tra2-alpha, Ae. tra2-beta (homolog1-3), Aedsx^{F1}, Aedsx^{F2}*, and *Ae. fru*. *piggyBac*-backbone plasmid having the CDS of Cas9 along with the fluorescent marker gene DsRed1 was obtained from Addgene, was used. The microinjected eggs were allowed to hatch and reared to adult stage. The genetically edited males were allowed to mate with wild-type females (G_0), next generation was monitored for hatching rate, mutation phenotypes and male sex-ratios, (G_1) and out crossed up to five successive generations. Results of *transformer2* disrupted groups significantly showed male biased ratios in all successive generations from G1- G5. Overall, all five generations showed a male ratio in range of 62% - 90.04% and 48- 100% DsRed positive individuals. Results of *dsx^F* targeting showed phenotypic anomalies including; rate of mutation phenotype *Aedsx^{F1}*=36.59%, *Aedsx^{F2}*=29.36%, wing size (*Aedsx^{F1}*=16.4%, *Aedsx^{F2}*=18% reduction), proboscis length (*AedsxF^1*=19.9%, *AedsxF^2*=16.4%) and ovary size reduction rate before blood-meal (25.96, 25.28%) and after blood meal (42.6%, 40%) in *dsx^{F1}* and *dsx^{F2}* transgenic groups, respectively, that was correlated with reduced fecundity rate of G_o female, *Aedsx^{F1}*=30.95% and *Aedsx^{F2}*=23.80%. The current findings demonstrated that *AedsxF* mutation has a profound disruptive effect on female's associated traits that may directly or indirectly related to reproductive and disease transmitting capabilities. In this way by following sex-ratio distortion system based on *Ae. tra-2* and *Ae. dsx* knockdown, a progressive decrease in the female population can be predictable to make a remarkable reduction of the population and eventually its elimination. This could provide a useful basis for the genetic control management strategy for the vector, *Ae. aegypti*.

Keywords: *Aedes aegypti*, CRISPR/Cas9, *doublesex*, *fruitless*, *transformer2*, sex-ratio distortion, sex-determination pathway

INFLUENCE OF FEEDING MANAGEMENT ON THE BLOOD BIOCHEMICAL PROFILE OF DAIRY COWS IN SÉTIF AREA, ALGERIA

Mohamed Sif Islam CHERIF
Laboratory of Soft Technology Research, Physicochemical Valorization of Biological Materials and Biodiversity; Department of Agronomy, Faculty of Sciences, M'Hamed Bougara University, Boumerdes, Algeria.

Soumeya KAOUCHE
Department of Agronomy, Faculty of Sciences, M'Hamed Bougara University, Boumerdes, Algeria.

ABSTRACT
Feeding management is a major determinant of the metabolic status of dairy cows, particularly during periods of high physiological demand. An imbalanced diet can alter blood biochemical parameters and predispose animals to various metabolic disorders.
This study aimed to assess the effect of feeding management on the blood biochemical profile of dairy cows and to identify metabolic variations associated with different dietary regimens.
The study included 30 clinically healthy multiparous dairy cows, predominantly of the Prim'Holstein breed, at the postpartum stage, from the Sétif region in northeastern Algeria. The animals were reared under a semi-intensive production system and allocated to three experimental groups (G1, G2, and G3) according to their respective dietary regimens. Blood samples were collected to determine several biochemical parameters, including glucose, triglycerides, calcium, and magnesium. Statistical analyses were performed to compare the biochemical profiles of the animals according to feeding management. The statistical significance level was set at $p < 0.05$.
The results revealed variations in the blood biochemical profile according to the proximate composition of the diets administered to the three groups. Animals in G3, which received a diet with a higher crude protein content, exhibited the highest mean concentrations of glucose (0.510 g/L), calcium (0.425 g/L), and magnesium (0.174 g/L). Conversely, G2, characterized by a high crude fiber content and a low crude protein content, showed the lowest concentrations of calcium (0.373 g/L) and magnesium (0.134 g/L), as well as a slightly lower glucose concentration than G3. Group G1 exhibited intermediate values for all measured parameters. Triglyceride concentrations remained relatively stable among the three groups. These findings suggest that dietary composition, particularly crude fiber and crude protein contents, may influence energy and mineral homeostasis in dairy cows.
Feeding management appears to be an important factor influencing the blood biochemical profile of dairy cows. Monitoring biochemical parameters could therefore constitute a useful tool for the early assessment of metabolic status and the optimization of nutritional management in dairy cattle.
Keywords: dairy cows; feeding management; blood biochemical profile; metabolic status; nutritional management.

OLIVE MILL WASTEWATER: PHYSICOCHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION AND IMPLICATIONS FOR ENVIRONMENTAL AND PUBLIC HEALTH

Maria EL OUAZZANI
Laboratory of Agro-Industrial and Medical Biotechnology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Abdelmajid HADDIOUI
Laboratory of Agro-Industrial and Medical Biotechnology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco**.**

Naaila OUAZZANI
Laboratory of Water Sciences, Microbial Biotechnologies and Natural Resources Sustainability, Faculty of Sciences Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakesh, Morocco.

Mustapha AFDALI
Water Treatment Department, National Office of Drinking Water, Beni Mellal, Morocco.

ABSTRACT
Olive mill wastewater (OMW) is a highly concentrated agro-industrial effluent that represents an important environmental and public health concern in olive-producing regions. In Morocco, the widespread use of traditional olive oil extraction systems generates substantial quantities of untreated OMW, which may contaminate soil and water resources and potentially affect environmental health. OMW is characterized by high organic and phenolic loads, acidic pH, salinity, and complex physicochemical properties that may contribute to its phytotoxic, antimicrobial, and potentially hazardous effects. This study aimed to characterize the physicochemical and microbiological properties of raw OMW generated by traditional olive mills in central Morocco, with particular emphasis on parameters relevant to environmental and health risk assessment. Samples collected during two olive harvesting seasons showed extremely high pollutant concentrations, with mean values of COD (246.90 g/L), BOD_5 (50.71 g/L), total suspended solids (38.54 g/L), and total phenolic compounds (15.42 g/L), along with an acidic pH (4.91). Microbiological analyses revealed substantial populations of aerobic mesophilic microorganisms, yeasts, and molds. The combination of high organic and phenolic loads, acidity, and microbial contamination highlights the potential environmental health risks associated with uncontrolled OMW discharge. The findings highlight the critical need for appropriate management and pretreatment strategies to mitigate the environmental risks associated with OMW discharge.
Keywords: Olive Mill Wastewater, phenolic compounds, Physicochemical properties, microbiological quality.

MEDICINAL PLANTS AND TRADITIONAL HEALTHCARE PRACTICES IN TAZNAKHT, MOROCCO

Younesse EL-OUAZZANI
Laboratory of Microbial Biotechnology and Plant Protection, Faculty of Sciences, Agadir, Morocco.

Fouad MSANDA
Laboratory of Microbial Biotechnology and Plant Protection, Faculty of Sciences, Agadir, Morocco.

Khalil CHERIFI
Laboratory of Microbial Biotechnology and Plant Protection, Faculty of Sciences, Agadir, Morocco.

Abstract
Medicinal plants have historically formed an integral part of traditional healthcare systems and continue to contribute substantially to primary healthcare in many regions. Despite major advances in modern pharmacotherapy, herbal remedies remain widely used because of their availability, cultural acceptance, affordability, and perceived therapeutic benefits.
This study aimed to conduct a preliminary ethnobotanical assessment of medicinal plant use in Taznakht, Ouarzazate Province, a region characterized by considerable floristic diversity and a longstanding ethnomedicinal heritage. Field investigations were carried out over a ten-month period using 1.000 structured questionnaires administered in 74 villages across Taznakht municipality and neighboring communities. Information was obtained from traditional healers, herbalists, and local inhabitants familiar with medicinal plant practices. The survey addressed plant species used, therapeutic indications, and traditional modes of preparation and administration.
The survey documented 30 endemic medicinal plant species traditionally used to treat various health disorders. It also identified several traditional preparation methods and therapeutic uses that are poorly documented in the literature. These findings highlight the ethnopharmacological importance of the Taznakht region and support further phytochemical, pharmacological, and conservation studies of its medicinal flora.
Keywords: Phytotherapy, Ethnobotany, Medicinal flora, Taznakht.

APPLICATION OF THE THEORY OF PLANNED BEHAVIOUR IN FOOD WASTE BEHAVIOUR RESEARCH: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Dang Hoang Thai HIEN
Faculty of Economics and Management, Victoria Thai Binh Duong University, Khanh Hoa, Vietnam.
ORCID ID: 0009-0001-0223-8886

Abstract
Food waste (FW) represents a critical issue in sustainable consumption research due to its significant economic, environmental, social, and food security implications. Consequently, understanding the psychological and behavioural determinants underlying FW reduction intentions and actions has become increasingly necessary. This study conducts a systematic literature review that examines FW-related behaviour through the lens of the Theory of Planned Behaviour (TPB). Data were retrieved from the Scopus database, and the article screening and selection process followed the PRISMA guidelines. Additionally, a bibliometric analysis using VOSviewer was employed to map research trends, intellectual structures, and existing academic gaps. Following the screening process, 107 scientific articles were included in the final analysis. The findings indicate that the TPB has been widely adopted as a robust theoretical framework for explaining FW reduction intentions and behaviours, particularly through its three core constructs: attitude, subjective norms, and perceived behavioural control. The reviewed studies demonstrate that this model offers an appropriate foundation for predicting intentions to reduce FW. This review contributes to the existing literature by systematically synthesising TPB-based studies on FW and elucidating how this framework has been applied across diverse research contexts. Building on this synthesis, future research directions are proposed, particularly the integration of additional factors such as habits, emotions, moral norms, food management skills, and cultural contexts to extend the model's explanatory power. Ultimately, this study clarifies current applications of the TPB in FW research and outlines pathways for advancing the understanding of sustainable consumption behaviour in contemporary settings.
Keywords: Food waste; Theory of Planned Behaviour; Systematic review; Sustainable consumption.

1.Introduction
Resource depletion, climate change, and pressure on food security have intensified concern about food waste as a major sustainable-development challenge. Food that is discarded unnecessarily embodies wasted land, water, energy, labour, and financial resources, while also increasing greenhouse gas emissions and pressure on waste-management systems (Papargyropoulou et al., 2016). Although food waste occurs throughout the supply chain, waste at the consumption stage is especially important because it is closely connected to everyday purchasing, storage, preparation, serving, and disposal decisions (FAO, 2021; Chalak et al., 2016).

The Theory of Planned Behaviour (TPB) is one of the most frequently applied frameworks for examining these decisions. According to Ajzen (1991), behavioural intention is shaped by attitude, subjective norms, and perceived behavioural control, while intention and perceived control contribute to actual behaviour. In food waste research, the TPB has been used across households, restaurants, hospitality establishments, food-service settings, and waste-separation contexts to explain why individuals intend or fail, to prevent avoidable waste (Aktas et al., 2018; Lin & Guan, 2021; Oehman et al., 2022). Researchers have also extended the model with habits, emotions, moral norms, environmental awareness, personal responsibility, and food-management practices.

Despite this growing body of work, the literature is fragmented across geographical settings, consumption contexts, behavioural outcomes, and model extensions. Individual empirical studies clarify particular relationships, but they do not readily reveal how the field is organised, which publications have shaped it, how research priorities have changed, or which topics remain comparatively underdeveloped. Consequently, an integrated mapping of TPB-based food waste research is required to complement conventional narrative synthesis.

Previous reviews of food waste have commonly summarised determinants, interventions, or empirical findings. In contrast, fewer studies have systematically mapped the intellectual structure and temporal evolution of research that specifically applies the TPB to food waste behaviour.

This distinction is important because bibliometric analysis can identify influential publications, relationships among concepts, thematic clusters, and shifts in scholarly attention, while systematic screening improves transparency and reproducibility. Keyword-density results may also indicate emerging or less frequently examined themes, although low density should not be interpreted as definitive evidence of a research gap.

Accordingly, this study combines a systematic literature review with bibliometric analysis of Scopus-indexed journal articles published between 2015 and 2025.

Its novelty lies in moving beyond a summary of TPB relationships to provide an integrated knowledge map of the field. Specifically, the study (1) traces publication growth and identifies influential studies, (2) reveals the conceptual structure and major thematic areas, (3) examines the evolution of research priorities over time, and (4) identifies comparatively low-density themes that may inform future theoretical development. By linking the structure, evolution, and density of the literature, the study offers a consolidated research agenda for extending the TPB and designing more context-sensitive food waste -reduction research.

Accordingly, the study addresses the following research questions:

RQ1: What are the publication trends and the most influential studies in TPB-based research on food waste behaviour during the 2015–2025 period?

RQ2: What are the conceptual structure and the main thematic clusters in TPB-based research on food waste behaviour?

RQ3: How have the research themes in this field developed and shifted over time?

RQ4: Which themes exhibit relatively low keyword density and may indicate potential directions for future research?

The remainder of the article is organised as follows. Section 2 outlines the TPB as the conceptual basis of the review. Section 3 describes the data source, search strategy, screening procedure, and bibliometric methods. Section 4 presents publication trends, influential studies, keyword networks, thematic evolution, and research density. Section 5 discusses the findings, contributions, implications, limitations, and future research directions.

1. Conceptual framework

2.1. Theoretical Basis

The TPB, developed by Ajzen (1991), is a widely used socio-psychological framework for explaining human behaviour. The model proposes that behaviour is primarily predicted by behavioural intention, which is shaped by attitude, subjective norms, and perceived behavioural control (Fami et al., 2019; Lin & Guan, 2021).

In food waste research, these constructs help explain how beliefs about behavioural outcomes, perceived social expectations, and facilitating or constraining conditions influence food-related decisions (Bosnjak et al., 2020). The TPB has therefore been widely applied to examine food waste behaviour across different demographic, normative, and socioeconomic contexts (Akhter et al., 2024; Aydin & Aydin, 2022; Lourenco et al., 2022; Oehman et al., 2022; Coskun & Ozbuk, 2020; Ghani et al., 2013).

2.2. Attitude

Attitude refers to an individual's positive or negative evaluation of a particular behaviour. In the food waste context, it reflects consumers' assessments of practices such as reducing waste, recycling, composting, or discarding edible food (Jabeen et al., 2023; Snelling et al., 2023).

Positive attitudes may arise from perceived environmental, economic, or ethical benefits, whereas inconvenience, limited knowledge, and cultural disposal practices may lead to less favourable evaluations (Fami et al., 2019; Lin & Guan, 2021). Environmental awareness and knowledge of sustainable food management can also influence attitudes towards food waste reduction (Castro et al., 2023).

2.3. Subjective Norms

Subjective norms represent perceived social pressure from family, friends, communities, and wider cultural groups regarding food waste behaviour (Lin & Guan, 2021).

Social approval may encourage individuals to plan meals, purchase appropriate quantities, and reuse leftovers, whereas unsupportive social expectations may weaken such behaviours (Batool et al., 2024; Tonini et al., 2018; Rastegari et al., 2023). Community programmes, food banks, and composting initiatives may also reinforce social expectations concerning responsible food consumption (GOV.UK, 2021).

2.4. Perceived Behavioural Control

Perceived behavioural control refers to individuals' confidence in their ability to perform food waste reduction behaviours (Fami et al., 2019; Lin & Guan, 2021). It is influenced by practical factors such as meal-planning ability, cooking skills, food storage facilities, preservation knowledge, financial resources, time constraints, and household routines. Cultural practices and social expectations regarding food consumption may also affect whether individuals believe they can control their food waste behaviour (Oria et al., 2020; Russell et al., 2017).

2.5. Extensions of the TPB

Although the original TPB provides a useful foundation for explaining food waste behaviour, later studies have incorporated additional variables to reflect its complexity more fully. These extensions include habits, emotions, moral norms, personal responsibility, environmental awareness, motivations, and food management skills (Aktas et al., 2018; Lin & Guan, 2021; Oehman et al., 2022). Their inclusion recognises that food waste is influenced not only by rational intentions but also by habitual, emotional, ethical, cultural, and situational factors.

2. Research Methodology

2.1. Research Design

This study employs a systematic literature review combined with bibliometric analysis to examine the knowledge structure, research trends, and future directions in the field of food waste behaviour based on the TPB. This approach is well suited to the objectives of the study because it not only enables the systematic synthesis of published research but also facilitates the identification of relationships among research themes, keywords, research clusters, and existing knowledge gaps within the field.

2.2. Data Source

The research data were collected from the Scopus database. Scopus is one of the most widely used academic databases, offering broad coverage across disciplines, and is frequently employed in systematic literature reviews and bibliometric studies. Most documents indexed in Scopus have undergone a peer-review process, ensuring a level of reliability and academic quality that is appropriate for bibliometric analysis.

2.3. Inclusion and Exclusion Criteria

To ensure the relevance and quality of the research data, inclusion and exclusion criteria were established prior to the literature search and screening process.

The inclusion criteria were as follows. First, the document had to be a journal article. Second, the article had to be published in English. Third, it had to be published between 2015 and 2025. Fourth, the article had to focus on food waste behaviour and apply the TPB or its core constructs, including attitude, subjective norms, perceived behavioural control, behavioural intention, and behaviour. Fifth, the article had to provide complete bibliographic information to support the bibliometric analysis, including the authors, title, publication year, journal, keywords, and abstract.

The exclusion criteria were as follows: Documents other than scientific journal articles, such as conference papers, proceedings papers, book chapters, books, reports, or grey literature, were excluded from the analysis. Documents not written in English, published outside the 2015–2025 period, or not directly related to food waste behaviour and the TPB were also excluded. In addition, articles that addressed food loss solely from technical, production, logistics, or waste-treatment technology perspectives without examining human behaviour, intention, attitude, or decision-making were not included in the final research sample.

2.4.Search Strategy

The search string was developed based on three main conceptual groups: food waste, behaviour/attitude/intention, and the TPB. The keywords were applied to article titles, abstracts, and keywords. The search string used in the Scopus database was as follows: TITLE-ABS-KEY ("food waste" AND (attitude* OR behavior* OR behaviour* OR intention*) AND ("theory of planned behavior" OR "theory of planned behaviour" OR TPB))

In the search string, the phrase "food waste" was used to identify studies related to food waste. The keywords attitude*, behavior*, behaviour*, and intention* were used to cover studies on attitudes, behaviours, and intentions. The simultaneous use of "behavior" and "behaviour" ensured coverage of both American and British English spellings. In addition, the phrases "theory of planned behavior", "theory of planned behaviour", and "TPB" were used to identify studies applying the Theory of Planned Behaviour.

Following the initial search, the following filters were applied: publication years from 2015 to 2025, document type limited to scientific articles, source type limited to journals, and language limited to English. The search syntax can be described as follows: TITLE-ABS-KEY ("food waste" AND (attitude* OR behavior* OR behaviour* OR intention*) AND ("theory of planned behavior" OR "theory of planned behaviour" OR TPB)) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2026 AND LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") AND LIMIT-TO (SRCTYPE, "j") AND LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")

3.5. Literature Selection Process

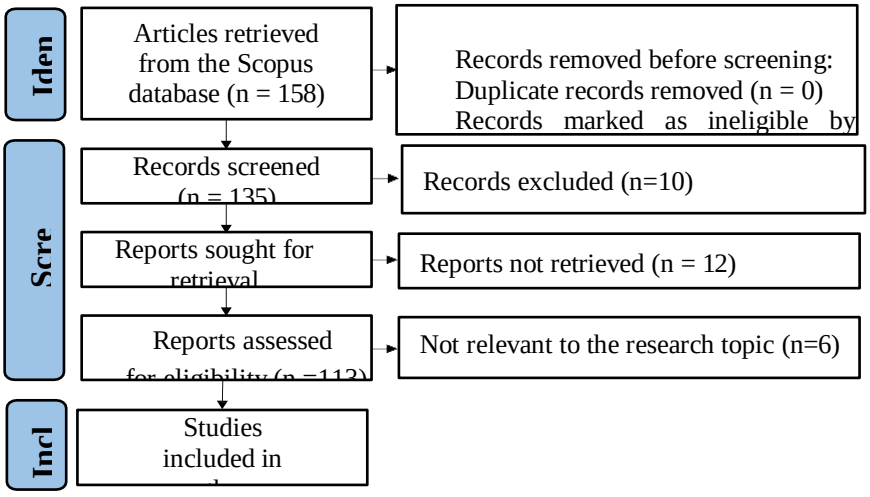


Figure 3.1. PRISMA 2020 flow diagram of the literature selection process.

The document selection process in this study was conducted based on the PRISMA flow diagram to ensure transparency and systematicity in identifying, screening, and selecting relevant articles. The initial data were retrieved from the Scopus database, with a total of 158 articles identified.

At the identification stage, the records were examined before being included in the screening process. The results showed that no articles were removed due to duplication (n = 0). However, 23 articles were removed because they were identified as ineligible by automation tools. No articles were removed for other reasons (n = 0). Following this step, the remaining 135 articles were included in the screening stage.

At the screening stage, the titles and abstracts of the 135 articles were reviewed to assess their relevance to the research topic. Following this process, 10 articles were excluded because they did not meet the research criteria, while the remaining 125 articles were sought for full-text retrieval.

Subsequently, of the 125 articles sought for full-text retrieval, 12 articles could not be retrieved. Therefore, the remaining 113 articles were included in the full-text review and detailed content analysis stage. During the full-text assessment, a further six articles were excluded because they were not directly relevant to the research topic. Finally, 107 scientific articles that fully met the selection criteria were included in the bibliometric analysis. The document selection process is illustrated in Figure 3.1.

3.6. Data and Analysis Methods

The data retrieved from Scopus were saved in CSV format for processing and analysis. The information collected included authors' names, article titles, publication years, journal titles, abstracts, keywords, citation counts, and other relevant bibliographic information. These data were used to describe the general characteristics of the research sample and to support the bibliometric analysis.

VOSviewer software was used to conduct keyword co-occurrence analysis to identify the main research themes and the relationships among concepts in TPB-based research on food waste behaviour. The main analyses included keyword network visualisation, keyword overlay visualisation, and keyword density visualisation. The keyword network map was used to identify prominent thematic clusters within the research field. The keyword overlay map illustrated the development and changes in research themes over time. Meanwhile, the keyword density map reflected the level of concentration of themes that had received considerable attention in previous studies.

3. Results

3.1. Publication Trends and Influential Studies

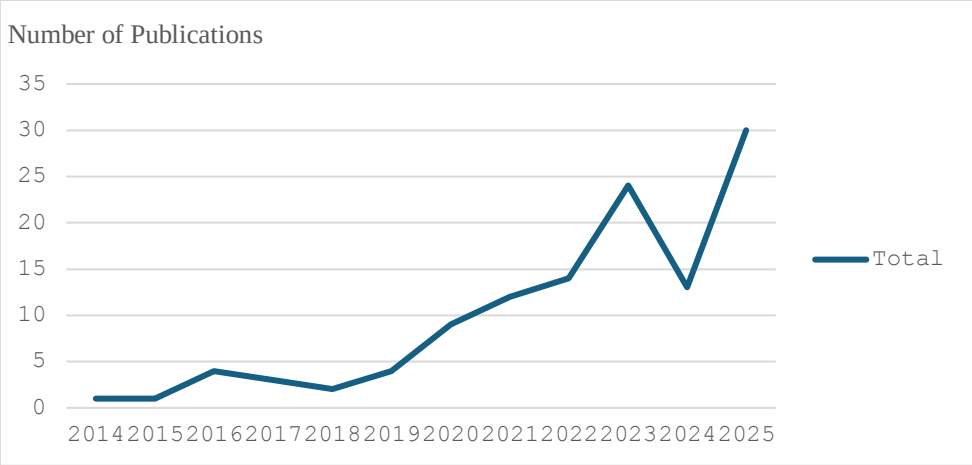


Figure 4.1. Annual publication trends from 2015 to 2025.

As shown in Figure 4.1, the annual number of publications on TPB-based food waste research increased substantially between 2015 and 2025. Publication output remained relatively limited during the initial period (2015–2019), with fewer than five articles published annually. From 2020 onwards, the field experienced continuous growth, with publication counts increasing from 9 articles in 2020 to 14 articles in 2022. The upward trend became more pronounced in 2023, when 24 articles were published. Although the number of publications temporarily declined to 13 in 2024, it increased markedly to 30 articles in 2025, representing the highest publication output recorded during the study period. These results suggest that research applying the Theory of Planned Behaviour to food waste behaviour has attracted increasing scholarly attention and has developed into a rapidly expanding research area.

Figure 4.2. The Most Influential Scientific Publications on Food Waste, 2015–2025

No.	Authors	Year	Article Title	Citations
1	Stancu, V.; Haugaard, P.; Lähteenmäki, L.	2016	Determinants of consumer food waste behaviour: Two routes to food waste	866
2	Visschers, V.H.M.; Wickli, N.; Siegrist, M.	2016	Sorting out food waste behaviour: A survey on the motivators and barriers of self-reported amounts of food waste in households	652
3	Russell, S.V.; Young, C.W.; Unsworth, K.L.; Robinson, C.	2017	Bringing habits and emotions into food waste behaviour	476

No.	Authors	Year	Article Title	Citations
4	Graham-Rowe, E.; Jessop, D.C.; Sparks, P.	2015	Predicting household food waste reduction using an extended theory of planned behaviour	418
5	Mondéjar-Jiménez, J.-A.; Ferrari, G.; Secondi, L.; Principato, L.	2016	From the table to waste: An exploratory study on behaviour towards food waste of Spanish and Italian youths	243
6	Aktas, E.; Sahin, H.; Topaloglu, Z.; Oledinma, A.; Huda, A.K.S.; Irani, Z.; Sharif, A.M.; van 't Wout, T.; Kamrava, M.	2018	A consumer behavioural approach to food waste	215
7	Soorani, F.; Ahmadvand, M.	2019	Determinants of consumers' food management behavior: Applying and extending the theory of planned behavior	183
8	Coşkun, A.; Yetkin Özbük, R.M.	2020	What influences consumer food waste behavior in restaurants? An application of the extended theory of planned behavior	169
9	Barone, A.M.; Grappi, S.; Romani, S.	2019	"The road to food waste is paved with good intentions": When consumers' goals inhibit the minimization of household food waste	106
10	van der Werf, P.; Seabrook, J.A.; Gilliland, J.A.	2020	Food for thought: Comparing self-reported versus curbside measurements of household food wasting behavior and the predictive capacity of behavioral determinants	105

3.2. Major Research Themes

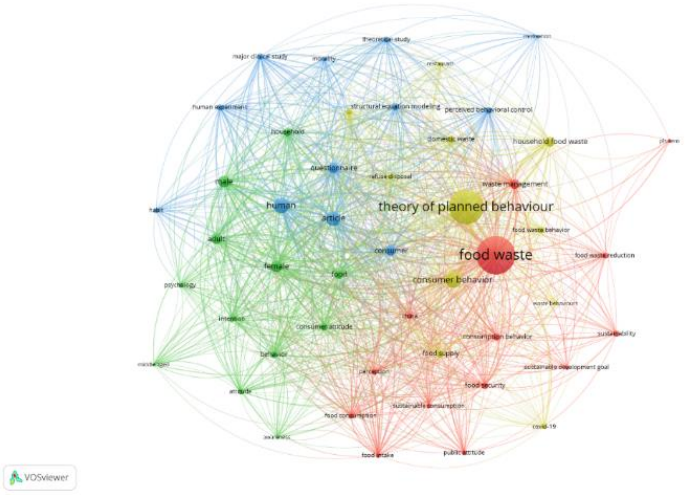


Figure 4.2. Keyword Co-occurrence Network Visualization

The keyword co-occurrence analysis conducted using VOSviewer showed that research on food waste based on the TPB is structured around two central nodes, namely "food waste" and "theory of planned behaviour".

In the network visualization, the large size of these two nodes indicates that they are the most frequently occurring keywords and occupy central positions within the knowledge structure of the field. Moreover, the dense network of links among keywords reflects the close relationships between food waste research, consumer behaviour, and the core components of the TPB.

The keyword co-occurrence map further revealed that the keywords are grouped into four major thematic clusters, each representing a prominent research direction in the field of food waste and consumer behaviour.

Cluster 1: Food Waste, Waste Management, and Sustainable Consumption. This cluster is centred on the keyword "food waste" and is closely connected with keywords such as "waste management," "food waste reduction," "sustainability," "sustainable consumption," "sustainable development goal," "food security," and "food supply." The content of this cluster indicates that food waste is examined not only as an individual behaviour but also as an issue closely associated with waste management, food security, sustainable development, and the Sustainable Development Goals. Studies within this cluster generally emphasise the economic, social, and environmental consequences of food waste while highlighting the need to reduce food waste throughout the food consumption system.

Cluster 2: Application of the TPB in Food Waste Research. This cluster revolves around the keyword "theory of planned behaviour" and is associated with keywords such as "household food waste," "domestic waste," "perceived behavioural control," "structural equation modeling," "questionnaire," and "consumer." These findings indicate that the TPB has been widely applied as an important theoretical framework for explaining intentions and behaviours related to food waste, particularly in the context of household consumption. Studies within this cluster primarily employ quantitative survey methods and structural equation modelling to examine the relationships among attitude, subjective norms, perceived behavioural control, behavioural intention, and food waste reduction behaviour.

Cluster 3: Consumer Characteristics and Psychological Factors. This cluster includes keywords such as "human," "adult," "female," "male," "middle aged," "psychology," "intention," "behavior," "attitude," "awareness," and "consumer attitude." The presence of these keywords indicates an important research stream focusing on consumers' demographic characteristics and psychological factors in explaining food waste behaviour. Studies in this cluster emphasise that food waste behaviour is influenced by consumers' perceptions, attitudes, intentions, levels of awareness, and individual characteristics.

Cluster 4: Extending the Behavioural Model through Habits, Morality, and Personal Motivation. This cluster is characterised by the connections among keywords such as "habit," "morality," "motivation," "theoretical study," "refuse disposal," and several other keywords related to food consumption behaviour. These findings suggest that recent studies have extended the basic TPB framework by incorporating additional factors, including habits, moral norms, personal motivation, and food disposal behaviour. This reflects the evolving direction of the field, in which food waste behaviour is increasingly recognised as a complex behaviour shaped simultaneously by rational cognition, moral considerations, and habitual consumption practices.

Overall, the keyword cluster analysis demonstrates that TPB-based food waste research exhibits a relatively well-defined knowledge structure. On the one hand, existing studies primarily examine food waste as an issue related to sustainable consumption and waste management. On the other hand, the TPB serves as the central theoretical framework for explaining consumers' intentions and behaviours. Furthermore, the emergence of keywords related to habits, morality, and personal motivation indicates a growing trend towards extending the TPB to better explain the gap between behavioural intention and actual food waste reduction behaviour.

3.3. Evolution of Research Themes Over Time

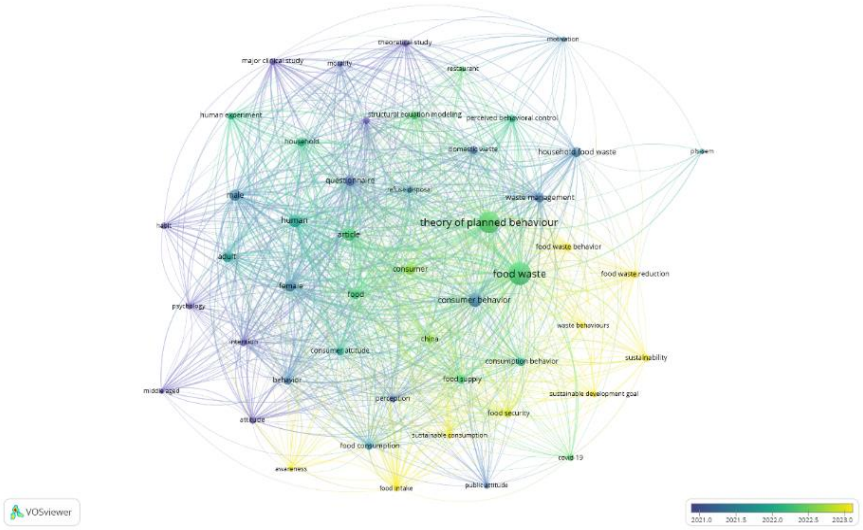


Figure 4.3 Keyword Overlay Visualization

The keyword overlay visualization presented in Figure 4.3 indicates that TPB-based food waste research underwent a noticeable evolution during the 2021–2023 period. In the visualization, colours represent the average publication year of each keyword. Keywords shown in blue and purple appeared earlier, whereas those displayed in yellow represent research topics that have emerged more recently.

During the initial stage, studies primarily focused on consumers' psychological factors and individual characteristics, as reflected by keywords such as "attitude," "behavior," "intention," "psychology," "habit," "human," "adult," "female," and "male." This suggests that early research mainly approached food waste from the perspective of individual behaviour. During this period, the TPB was primarily applied to explain the roles of attitude, behavioural intention, and consumer perceptions in food waste behaviour.

In the subsequent stage, keywords such as "theory of planned behaviour," "questionnaire," "consumer," "consumer behavior," "structural equation modeling," "perceived behavioral control," "domestic waste," and "household food waste" became more prominent. This reflects the increasing use of the TPB as a central theoretical framework, combined with quantitative methods such as questionnaire surveys and structural equation modelling to examine the factors influencing intentions and behaviours related to food waste reduction.

Notably, the yellow-coloured keywords, including "food waste," "food waste reduction," "sustainability," "sustainable development goal," "food security," "sustainable consumption," "public attitude," and "COVID-19," indicate that recent research has expanded towards issues related to sustainable development, food security, and broader social contexts. This shift suggests that the research field has moved beyond examining the core constructs of the TPB and has increasingly incorporated social, environmental, and policy-related dimensions associated with food waste reduction.

Overall, Figure 4.3 demonstrates that the development of this research field has shifted from focusing primarily on individual psychological factors towards a broader perspective in which food waste behaviour is examined in relation to sustainable consumption, food security, and the Sustainable Development Goals. This trend reflects the evolution of the field from testing the traditional TPB framework to developing extended models that are better suited to explaining the complexity of food consumption behaviour.

3.4. Research Density and Future Research Directions

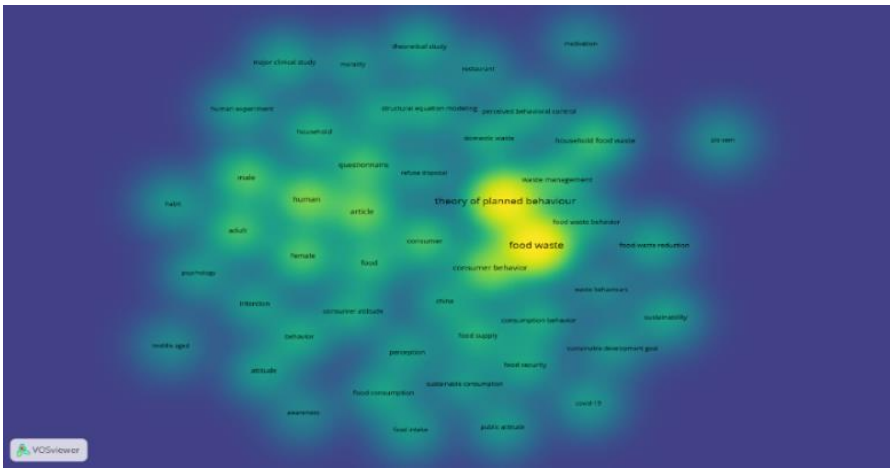


Figure 4.4. Keyword Density Visualization

The keyword density visualization presented in Figure 4.4 shows that the yellow areas represent regions with a high research density, whereas the dark blue areas indicate topics with relatively lower research density. The two most prominent keywords on the map are “food waste” and “theory of planned behaviour.” This indicates that these two concepts constitute the central research axes of the field and further confirms the TPB as a key theoretical framework for explaining food waste behaviour.

In addition, keywords such as “consumer behavior,” “consumer,” “human,” “article,” “questionnaire,” “food,” “attitude,” “intention,” and “behavior” also exhibit relatively high density. These findings suggest that the majority of existing studies focus on consumer behaviour, particularly the individual psychological factors influencing intentions and behaviours related to food waste. Most studies employ quantitative survey methods to examine the relationships among attitude, behavioural intention, perceived behavioural control, and food waste behaviour.

However, the density map also reveals several groups of keywords located in lower-density regions, including “habit,” “morality,” “motivation,” “food security,” “sustainable consumption,” “sustainable development goal,” “food waste reduction,” and “COVID-19.” This suggests that research topics related to habits, moral motivation, sustainable consumption, food security, and broader social contexts remain underexplored and offer considerable potential for future research.

Overall, these findings indicate that TPB-based food waste research continues to focus primarily on individual psychological mechanisms. In contrast, factors such as consumption habits, moral norms, personal motivation, family context, cultural influences, and social conditions require greater scholarly attention. These represent important research directions for improving the understanding of the gap between consumers' intentions to reduce food waste and their actual behaviour.

Particularly in developing countries, food waste behaviour may be influenced by economic conditions, shopping habits, food storage practices, family culture, and social norms. Therefore, future research should expand the application of the TPB across different cultural and economic contexts while incorporating additional variables such as habits, personal responsibility, responsible consumption, environmental awareness, and moral norms. Such an approach may provide a more comprehensive explanation of food waste reduction behaviour, particularly in the household context.

4.5. Overall Bibliometric Findings

The combined findings from the keyword co-occurrence network, keyword overlay visualization, and keyword density visualization indicate that TPB-based food waste research has evolved towards an increasingly multidimensional perspective. “Food waste” and “theory of planned behaviour” emerged as the two central keywords, highlighting the close relationship between food waste and the TPB as the primary theoretical framework. Early studies primarily focused on individual psychological factors, including attitudes, behavioural intentions, and behaviour.

However, more recent research has expanded to encompass broader topics such as sustainable development, food security, food waste reduction, habits, morality, and personal motivation.
These findings suggest that the TPB continues to serve as an important theoretical foundation for investigating food waste behaviour. Nevertheless, the traditional TPB framework requires further extension to better capture the complexity of actual consumer behaviour. In particular, factors such as habits, moral norms, personal responsibility, and cultural context may play important roles in explaining why consumers intend to reduce food waste but do not necessarily translate these intentions into actual behaviour. This represents an important research gap that warrants further investigation in future studies.

5. Discussion and Conclusion

5.1. Interpretation of the Main Findings

The results show that TPB-based FW research developed from a relatively small stream of studies into a rapidly expanding field, particularly after 2020. This growth is consistent with the increasing policy and scholarly attention given to sustainable consumption and food-system resilience. More importantly, the bibliometric structure indicates that the field is no longer limited to testing the three original TPB constructs. The centrality of “food waste” and “theory of planned behaviour” confirms the model's organising role, whereas the surrounding themes demonstrate increasing integration with waste management, food security, sustainability, demographic characteristics, habits, morality, and personal motivation.
The four thematic areas should not be interpreted as isolated research streams. Rather, they illustrate the gradual broadening of TPB-based inquiry. Studies centred on household food waste and structural equation modelling represent the dominant empirical tradition, while the emergence of habit, morality, motivation, and sustainable-consumption concepts reflects attempts to explain behaviour that is not fully deliberate. This development is theoretically meaningful because FW frequently occurs through routines, unplanned circumstances, household interactions, and emotionally or culturally shaped practices. Consequently, extensions of the TPB are increasingly being used to address the intention–behaviour gap identified in food-management contexts.The overlay analysis further suggests a transition from early attention to individual psychological variables towards broader sustainability and societal concerns. The more recent prominence of food security, sustainable consumption, food waste reduction, and the Sustainable Development Goals indicates that behavioural research is being connected to system-level outcomes. This shift does not diminish the importance of attitude, subjective norms, or perceived behavioural control; instead, it places these constructs within wider environmental, institutional, and cultural conditions. The density analysis reinforces this interpretation: core TPB and consumer-behaviour terms are well established, whereas habits, morality, personal motivation, and contextual factors remain less densely represented and therefore merit more targeted investigation.

5.2. Theoretical Contribution and Novelty

This study contributes to the literature in three ways. First, unlike reviews that primarily summarise determinants or effect relationships, it combines systematic screening with bibliometric mapping to explain how TPB-based FW research is structured and how it has evolved over time. Second, it connects network, overlay, and density analyses in a single interpretive framework. This enables the review to move from identifying dominant themes to showing their temporal development and relative maturity. Third, the findings clarify the theoretical direction of the field: the TPB remains the central explanatory foundation, but its future value depends increasingly on integration with habitual, moral, emotional, situational, and cultural mechanisms.The review therefore refines understanding of TPB application in FW research. Rather than treating additional variables as isolated extensions, future models should distinguish between deliberate mechanisms captured by the traditional TPB and non-deliberate or contextual mechanisms that influence whether intentions become behaviour. Habits and routines may bypass conscious intention; moral norms and emotions may strengthen personal obligation; food-management skills and infrastructure may determine actual control; and cultural or household expectations may reshape subjective norms. This integrated perspective offers a stronger basis for explaining variation across households, restaurants, hospitality settings, and developing-country contexts.

5.3. Practical Implications

The findings indicate that FW-reduction programmes should extend beyond general awareness campaigns. Positive attitudes may be insufficient when consumers lack planning skills, appropriate storage, time, household cooperation, or convenient systems for reusing and separating food. Interventions should therefore combine motivational and capability-building measures. Practical actions may include shopping-list and meal-planning tools, guidance on date labels and storage, portion-control strategies, leftover-reuse education, feedback on discarded food, and household or community norms that make waste prevention socially desirable.

Policy design should also recognise contextual differences. In developing countries, economic conditions, informal shopping practices, food-storage capacity, household size, family culture, and social expectations may alter both perceived control and actual behaviour. Universities, restaurants, retailers, municipalities, and food-service organisations should therefore adapt interventions to the behavioural setting rather than applying a uniform consumer-awareness approach.

5.4. Limitations and Future Research

Several limitations should be acknowledged. The dataset was restricted to English-language journal articles indexed in Scopus between 2015 and 2025; relevant research in other databases, languages, publication types, or periods may therefore have been omitted. Bibliometric results also depend on author-supplied titles, abstracts, and keywords, and keyword density indicates relative concentration rather than the substantive quality or importance of a topic. In addition, bibliometric mapping cannot replace detailed evaluation of research designs, measurement approaches, effect sizes, or contextual differences across individual studies.

Future reviews should combine multiple databases with systematic content coding or meta-analysis. Empirical studies should test integrated models that connect the TPB with habits, moral norms, emotions, personal responsibility, food-management capabilities, and objective situational constraints. Greater attention is also needed to cross-cultural comparison, longitudinal designs, observed or measured waste rather than self-reports, and interventions that evaluate whether changes in intention produce sustained behavioural outcomes. Such work would help distinguish universal behavioural mechanisms from context-specific influences.

5.5. Conclusion

This study provides a systematic and bibliometric synthesis of 107 TPB-based food waste studies published between 2015 and 2025. The findings demonstrate sustained growth, a clearly identifiable intellectual structure, and a gradual transition from a predominantly individual psychological perspective towards a multidimensional agenda involving sustainability, food security, habits, morality, and social context. The TPB remains a valuable foundation for understanding food waste behaviour, but its explanatory potential is strengthened when deliberate intentions are examined together with routines, capabilities, emotions, and contextual constraints. By mapping the structure, evolution, and relative density of this literature, the review offers a clearer theoretical agenda and a practical foundation for developing more effective and context-sensitive food-waste reduction strategies.

References

Akhter, S., Rather, M. I. & Zargar, U. R. 2024. Understanding the food waste behaviour in university students: An application of the theory of planned behaviour. *Journal of Cleaner Production*, 437: 140632.

Aktas, E., Sahin, H., Topaloglu, Z., Oledinma, A., Huda, A. K. S., Irani, Z. & Kamrava, M. 2018. A consumer behavioural approach to food waste. *Journal of Enterprise Information Management*, 31(5): 658–673.

Aydin, H. & Aydin, C. 2022. Investigating consumers' food waste behaviors: An extended theory of planned behavior of Turkey sample. *Cleaner Waste Systems*, 3: 100036.

Batool, F., Kurniawan, T. A., Mohyuddin, A., Othman, M. H. D., Aziz, F., Al-Hazmi, H. E., ... & Anouzla, A. 2024. Environmental impacts of food waste management technologies: A critical review of life cycle assessment (LCA) studies. *Trends in Food Science & Technology*, 143: 104287.

Bhatia, A. & Sharma, S. 2023. Identifying determinants of household food waste behavior in urban India. *Cleaner Waste Systems*, 6: 100105.

Bosnjak, M., Ajzen, I. & Schmidt, P. 2020. The theory of planned behavior: Selected recent advances and applications. *Europe's Journal of Psychology*, 16: 352.

Castro, C., Chitikova, E., Magnani, G., Merkle, J. & Heitmayer, M. 2023. Less is more: Preventing household food waste through an integrated mobile application. *Sustainability*, 15(13): 10597.

Chalak, A., Abou-Daher, C., Chaaban, J. & Abiad, M. G. 2016. The global economic and regulatory determinants of household food waste generation: A cross-country analysis. *Waste Management*, 48: 418–422.

Coşkun, A. & Özbük, R. M. Y. 2020. What influences consumer food waste behavior in restaurants? An application of the extended theory of planned behavior. *Waste Management*, 117: 170–178.

Fami, H. S., Aramyan, L. H., Sijtsema, S. J. & Alambaigi, A. 2019. Determinants of household food waste behavior in Tehran city: A structural model. *Resources, Conservation and Recycling*, 143: 154–166.

Ghani, W. A. W. A. K., Rusli, I. F., Biak, D. R. A. & Idris, A. 2013. An application of the theory of planned behaviour to study the influencing factors of participation in source separation of food waste. *Waste Management*, 33(5): 1276–1281.

GOV.UK. 2021. *Best practice examples on reducing household food waste*.

Jabeen, F., Dhir, A., Islam, N., Talwar, S. & Papa, A. 2023. Emotions and food waste behavior: Do habit and facilitating conditions matter? *Journal of Business Research*, 155: 113356.

Lin, B. & Guan, C. 2021. Determinants of household food waste reduction intention in China: The role of perceived government control. *Journal of Environmental Management*, 299: 113577.

Lourenco, C. E., Porpino, G., Araujo, C. M. L., Vieira, L. M. & Matzembacher, D. E. 2022. We need to talk about infrequent high volume household food waste: A theory of planned behaviour perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 33: 38–48.

Oehman, J. M., Babbitt, C. W. & Flynn, C. 2022. What predicts and prevents source separation of household food waste? An application of the theory of planned behavior. *Resources, Conservation and Recycling*, 186: 106492.

Oria, M. & Schneeman, B. O. (Eds.). 2020. *A national strategy to reduce food waste at the consumer level*. National Academies Press.

Papargyropoulou, E., Wright, N., Lozano, R., Steinberger, J., Padfield, R. & Ujang, Z. 2016. Conceptual framework for the study of food waste generation and prevention in the hospitality sector. *Waste Management*, 49: 326–336.

Rastegari, H., Petrescu, D. C. & Petrescu-Mag, R. M. 2023. Factors affecting retailers' fruit waste management: Behavior analysis using the theory of planned behavior and norm activation model. *Environmental Development*, 47: 100913.

Russell, S. V., Young, C. W., Unsworth, K. L. & Robinson, C. 2017. Bringing habits and emotions into food waste behaviour. *Resources, Conservation and Recycling*, 125: 107–114.

Snelling, A., McClave, R., Miller, E. & Rukab, R. 2023. Wasted Food Listening Sessions: Understanding Citizens' Attitudes And Behaviors. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 55(7): 6–7.

PHARMACOGENOMICS IN PERSONALIZED MEDICINE

Prachi GAIKWAD
Department of Pharmacology, JES's SND College of Pharmacy, Babhulgaon, Nashik, Maharashtra, India.

Prof. Pooja RASAL
Department of Pharmacology, JES's SND College of Pharmacy, Babhulgaon, Nashik, Maharashtra, India.

Dr. Amol GAYKE
Department of Pharmacology, JES's SND College of Pharmacy, Babhulgaon, Nashik, Maharashtra, India.

Prof. Vikas SHINDE
Department of Pharmacology, JES's SND College of Pharmacy, Babhulgaon, Nashik, Maharashtra, India.

ABSTRACT
Pharmacogenomics is the study of genetic differences between individuals and their relation to varying response to drugs (Gale Encyclopedia of Medicine, 2018). In other words, pharmacogenomics is the study of how drugs affect people. Pharmacogenomics helps healthcare providers determine which medication and its dose is best fitted for a particular patient. Taking into account patients' unique genetic makeup, pharmacogenomics increase drugs' efficiency by minimizing their adverse effects and ensuring the patients' adherence to the treatment course. I think that pharmacogenomics is regarded as one of the hot areas of personalized medicine for a good reason. Pharmacogenomics has a vast range of applications in clinical settings. For example, it can be integrated while treating different kinds of cancer, cardiovascular diseases, mental illnesses, neurological conditions, infections, etc. Pharmacogenomics enables clinicians to provide individualized treatment for patients with genetic predispositions to certain illnesses. Additionally, pharmacogenomics can facilitate drug discovery and development while improving healthcare providers' practices and patients' outcomes. With the recent advancements in genomic science and bioinformatics, pharmacogenomics is rapidly emerging. Even though pharmacogenomics provides an excellent opportunity for personalized medicine, its integration into practice is limited due to several barriers. These include the complexity of the genetic testing procedure and its high cost, a lack of genetic counseling knowledge among patients, and ethical concerns. In my opinion, pharmacogenomics is a vital area of medicine that needs more attention to make the healthcare service more personalized and patient-centered.
Keywords: Pharmacogenomic, Personalized medicine, Genetic testing, Drug response, Precision medicine.

ANALYSIS OF THE LEVELS OF CARDIOVASCULAR-RELATED BIOMARKERS IN UNTREATED AND TREATED HIV INFECTION

S. VARSHINI
School of Life Sciences, BSA Crescent Institute of Science and Technology, Chennai, India.

A. INBANATHAN
Department of Virology and Biotechnology, National Institute for Research in Tuberculosis (NIRT), Indian Council of Medical Research (ICMR), Chennai, India.

A. MALATHI
Affiliation not specified.

A. Nusrath UNISSA
School of Life Sciences, BSA Crescent Institute of Science and Technology, Chennai, India.

Hanna L. E.
Department of Virology and Biotechnology, National Institute for Research in Tuberculosis (NIRT), Indian Council of Medical Research (ICMR), Chennai, India.

ABSTRACT
Human Immunodeficiency Virus (HIV) infection is characterized by persistent immune activation and chronic inflammation, which contribute to disease progression and long-term comorbidities. Although antiretroviral therapy (ART) effectively suppresses viral replication, inflammatory abnormalities may persist despite successful virological control. Biomarkers such as Intercellular Adhesion Molecule-1 (ICAM-1), soluble CD14 (sCD14), and soluble CD163 (sCD163) serve as indicators of endothelial dysfunction, monocyte activation, and macrophage-mediated inflammation, respectively. This study assessed abnormalities in these inflammatory biomarkers among 30 participants, comprising HIV+ART− (n=10), HIV+ART+ (n=10), and healthy controls (n=10). The observed abnormalities in ICAM-1 were 66.6%, 24%, and 8.3%; sCD163 were 60.2%, 22%, and 4%; and sCD14 were 83%, 41%, and 4.2% in the respective groups. Mann–Whitney U analysis showed no significant differences in ICAM-1 and sCD14 levels, whereas sCD163 levels were significantly elevated in both HIV+ART− (P=0.0433) and HIV+ART+ (P=0.0133) groups compared with healthy controls. Correlation analysis revealed a negative association between CD4 count and all three biomarkers, while viral load demonstrated a positive correlation with ICAM-1, sCD14, and sCD163 in both ART-treated and untreated individuals. These findings suggest that ART may partially reduce immune activation, but macrophage-associated inflammation can persist despite treatment. Therefore, combined assessment of inflammatory biomarkers and virological parameters may provide improved evaluation of immune recovery and help predict long-term complications associated with HIV infection.
Keyword: HIV infection, ART, ICAM-1, sCD163, sCD14

RESISTANCE-BASED CARDIAC REHABILITATION IMPROVES HEALTH-RELATED QUALITY OF LIFE AFTER CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING: A FOCUSED COMPARISON WITH CONVENTIONAL CARE

Muhammad Riaz Baig CHUGHTAI
Lincoln University College, Malaysia.

Satheesh Babu NATARAJAN
Lincoln University College, Malaysia.

Mazhar ALI
Department of Physiotherapy, Khairpur Medical College Hospital, Khairpur, Sindh, Pakistan.

ABSTRACT

Background
Recovery after coronary artery bypass grafting (CABG) must be judged not only by clinical stability but also by the patient's return to physical, emotional, and social wellbeing. Although exercise-based cardiac rehabilitation is guideline-recommended, evidence from South Asia comparing specific exercise modes after CABG remains limited.

Objective
To present a focused comparison of resistance-based cardiac rehabilitation (Group A) versus conventional post-CABG care (Group B) on health-related quality of life measured with the SF-36.

Methods
This paper reports a targeted two-group analysis drawn from a two-arm randomized controlled trial of 30 clinically stable post-CABG patients allocated equally to resistance-based rehabilitation, aerobic-based rehabilitation, or conventional care. The present comparison includes Group A and Group B. Interventions were delivered over 10 weeks. Quality of life was assessed before and after treatment using SF-36 domains. Statistical interpretation emphasizes repeated-measures patterns and between-Group contrasts reported in the parent trial.

Results
Resistance-based rehabilitation showed consistently greater gains than conventional care across multiple SF-36 domains. Time-averaged between-group differences favored Group A for physical functioning (mean difference 9.83, $p<0.001$), role emotional (6.50, $p=0.017$), bodily pain (7.17, $p=0.004$), general health (8.83, $p<0.001$), energy/fatigue (7.93, $p=0.002$), and social functioning (7.77, $p=0.002$). Post-intervention scores were also markedly higher in Group A than Group B across these domains.

Conclusion
In this post-CABG cohort, a structured resistance-based cardiac rehabilitation program produced broader and stronger quality-of-life recovery than conventional care alone. The findings support the inclusion of resistance training as a meaningful component of outpatient cardiac rehabilitation in resource-constrained settings.
Keywords: cardiac rehabilitation; CABG; resistance training; SF-36; quality of life; physiotherapy; coronary artery bypass grafting

EVALUATION OF MALARIA PARASITES INFECTION IN RELATION TO PLATELETS (THROMBOCYTES) AND LYMPHOCYTES COUNTS AMONG PATIENTS ATTENDING A SECONDARY HEALTHCARE FACILITY IN ADO-EKITI, EKITI STATE, NIGERIA.

Otuu Chidiebere AGHA
Affiliation not specified.

Eke Samuel SUNDAY
Department of Biotechnology, Federal University of Applied Sciences, Kaduna, Kaduna State, Nigeria.

Aturamu Samuel SUNDAY
Public Health Parasitology and Epidemiology Unit, Department of Animal and Environmental Biology, Federal University Oye-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.

ABSTRACT
Malaria is still a disease of great public health importance especially in sub-Saharan Africa, where it is endemic. Malaria infection is frequently associated with haematological abnormalities, including changes in platelets (thrombocytes) and lymphocytes counts, which may serve as an important indicator of malaria severity. This study evaluated malaria parasite infection in relation to platelets (thrombocytes) and lymphocytes counts among patients attending a secondary health facility in Ado-Ekiti, Ekiti State, Nigeria. A hospital-based cross-sectional study was conducted among 300 consenting attending the selected secondary health facility. Sociodemographic and clinical information was obtained using a structured questionnaire. Venous blood samples were collected under aseptic conditions for laboratory analysis. Malaria parasite detection was carried out using Giemsa-stained thick and thin blood films examined microscopically, while platelets (thrombocytes) and lymphocytes counts were determined using an automated haematology analyzer. Participants infected with malaria parasites had significantly lower mean platelet counts than malaria-negative participants ($p < 0.05$). Furthermore, increasing malaria parasite density was associated with progressive reductions in platelet counts, indicating a significant inverse relationship between parasite density and thrombocyte count. The occurrence of thrombocytopenia was considerably higher among malaria-positive participants than among those without malaria infection. The lymphocytes counts was observed to be variable among the patients with no significant difference between the counts of most of the malaria positive and malaria negative patients. The study concludes that malaria parasite infection is significantly associated with reduced platelet counts among patients. Platelet count may therefore serve as a valuable adjunct haematological parameter in the diagnosis and clinical assessment of malaria infection. Routine evaluation of platelet counts alongside malaria parasite testing is recommended to facilitate early diagnosis, appropriate patient management, and improved treatment outcomes.
Keywords: Malaria infection, Haematological abnormalities, Platelets, Thrombocytopenia, Lymphocytes

EARLY WAKE-UP BEHAVIOUR AND ITS ASSOCIATION WITH SLEEP QUALITY, PHYSICAL ACTIVITY, AND MENTAL WELL-BEING: A SECONDARY ANALYSIS OF A CROSS-SECTIONAL DATASET

Asst. Prof. Kannadasan KARUPPAIAH
Department of Community Medicine, Biostatistics, Melmaruvathur Adhiparasakthi Institute of Medical Sciences and Research, Melmaruvathur, Tamil Nadu, India.

Assoc. Prof. Ezhilvanan MANI
Department of Community Medicine, Tagore Medical College and Hospital, Rathinamangalam, Melakottaiyur, Chennai, Tamil Nadu, India.

Asst. Prof. Vinoth RAMAN
Deanship of Quality and Academic Accreditation, Imam Abdulrahman Bin Faisal University, Dammam, Saudi Arabia.

Abstract

Background: Early wake-up behaviour is associated with better sleep and lifestyle habits but their joint association with sleep quality, physical activity and mental health is rarely studied simultaneously. This secondary analysis compared these domains between early and non-early wakers and found factors that predicted early waking.

Methods: A public cross-sectional dataset (Kaggle.com) was used to analyses the data with 1,206 adults (self-reported wake time as early wakers or non-early wakers). The significance of difference in sleep, activity and well-being (stress, anxiety, depression and life satisfaction) was tested by t-tests, Mann–Whitney U and chi-square tests respectively. The univariate logistic regression identified the predictors of early waking.

Results: Early wakers reported better sleep quality (6.32 ±1.64 vs 5.89 ±1.55, p=0.001) and slightly longer sleep duration (7.33 ±1.14 vs 7.26 ±1.16 hours, p=0.021) than non-early wakers. While no significant differences were found between exercise frequency, duration or number of steps per day, participation in the morning exercise was higher in early wakers (59.6% compared to 39.9%), $\chi^2(1)=45.70$, $p<0.001$. Compared to those with average well-being, those with good well-being reported lower levels of stress, anxiety and depression and higher life satisfaction (all $p<0.001$). In these data, the only factor significantly predicting early waking was sleep quality (OR=1.20, 95% CI: 1.11–1.30, $p<0.001$); stress; age; and gender were not significant.

Conclusion: Early morning waking was linked to improved sleep quality and increased participation in morning exercise, but not overall exercise volume. The quality of sleep was the highest correlate of early waking, implying that sleep-based interventions could be effective at encouraging early, regular sleep schedules. Prospective studies are required to prove the cause.

Keywords: chronotype; early waking; sleep quality; physical activity; mental well-being; morning exercise; logistic regression

SELF-ESTEEM AND INTERNET GAMING DISORDER AMONG ADOLESCENTS: FINDINGS FROM THE SFAX REGION OF TUNISIA

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: Self-esteem is a key psychological construct implicated in IGD. Low self-esteem may predispose adolescents to seek validation and competence in virtual environments, increasing vulnerability to addictive gaming patterns.

Objective: To evaluate the relationship between self-esteem and IGD among middle and high school students in Sfax, Tunisia.

Methods: A cross-sectional study was conducted among 670 adolescents. Self-esteem was measured using the Rosenberg Self-Esteem Scale (RSES). IGD was assessed using IGDT-10.

Spearman correlation was used to examine the relationship between the two constructs.

Results: The median self-esteem score was 8 (IQR [27–35]), with 15.2% of participants scoring in the very low range and only 4.5% in the very high range. A significant negative correlation was observed between self-esteem and IGD (rho=-0.239; $p<0.001$), indicating that students with lower self-esteem were more likely to meet IGD criteria. On the RSES, 54.9% strongly agreed to being satisfied with themselves, yet 38.2% wished they could have more self-respect.

Conclusion: Lower self-esteem is significantly associated with IGD among Tunisian adolescents. Interventions targeting self-worth, positive identity formation, and resilience-building may serve as protective factors against the development of gaming disorder in school-aged populations.

MALE GENDER AS A DOMINANT RISK FACTOR FOR INTERNET GAMING DISORDER IN SFAX SCHOOLS

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: Gaming culture has historically been more prevalent among males, and male gender is a robust predictor of IGD across cultures. Understanding the magnitude and mechanisms of this relationship in Tunisian adolescents can inform targeted prevention design.

Objective: To assess the extent to which male gender predicts IGD risk in a school-based sample of Tunisian adolescents.

Methods: A school-based cross-sectional survey was conducted in Sfax, Tunisia, enrolling 670 students. IGD status was determined via IGDT-10. Logistic regression analyses were used to calculate odds ratios for gender-specific IGD risk, adjusting for age and school level.
Results: Male students exhibited an IGD rate of 31.5% compared to 8.3% in female students. The odds ratio for males was 5.102 (95% CI [3.289–7.936]; $p<0.001$). Male students reported higher rates of

online (64.5% total) and offline gaming, longer daily gaming hours on rest days, and more frequent use of gaming as a mood regulator. The sex ratio of the sample was 0.68 (400 females).

Conclusion: Male gender is the single strongest sociodemographic predictor of IGD among Tunisian adolescents. School-based screening programs should prioritize male students, particularly in lower secondary grades, and should incorporate peer-led male-targeted psychoeducational interventions about healthy gaming boundaries.

EARLY INTERNET EXPOSURE AND GAMING DISORDER RISK IN ADOLESCENTS: A TUNISIAN PERSPECTIVE

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: The age of first internet exposure may shape long-term digital habits and increase vulnerability to addictive online behaviors. Understanding this relationship in a developing country context could inform parenting and pediatric guidance.

Objective: To examine the relationship between age of first internet use and the risk of IGD among adolescents in Sfax, Tunisia.

Methods: 670 students completed a structured questionnaire including IGDT-10 and demographic items. Age of internet initiation was categorized into four groups: under 5, 5–10, 10–15, and over 15 years. Associations were analyzed using Chi-square tests and logistic regression.
Results: The median age of first internet use was 10 years (IQR [8–12]). Initiating internet use between ages 5 and 10 was significantly associated with a higher IGD risk (OR=1.995; 95% CI [1.336–2.980];

p=0.001), while initiation between 10 and 15 years was protective (OR=0.524; p=0.001). 38.7% of students began using the internet before age 10, and 56.4% between 10 and 15 years.

Conclusion: Early internet exposure, particularly before age 10, significantly increases the risk of developing IGD in adolescence. These findings support the need for evidence-based parental guidelines regarding age-appropriate internet access and digital literacy programs beginning in primary education.

GENDER DISPARITIES IN INTERNET GAMING DISORDER AMONG TUNISIAN ADOLESCENTS: A SCHOOL-BASED CROSS-SECTIONAL STUDY

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: Gender is consistently identified as a major determinant of IGD, with males showing substantially higher rates than females across diverse populations. The gendered nature of gaming disorder in the specific cultural context of Tunisia has not been previously examined.

Objective: To quantify and analyze gender disparities in IGD prevalence and associated psychosocial factors among adolescents in Sfax, Tunisia.

Methods: A cross-sectional study included 670 students from Sfax. IGD was assessed with IGDT-10. Gender differences in IGD prevalence, gaming habits, and psychosocial scores were analyzed using Chi-square tests and odds ratio estimation.

Results: Male gender was the strongest risk factor for IGD (OR=5.102; 95% CI [3.289–7.936]; $p<0.001$). Among males, 31.5% met IGD criteria, compared to only 8.3% of females. Female gender

was conversely protective (OR=0.196; 95% CI [0.126–0.304]; p<0.001). Males also reported substantially longer daily gaming hours and earlier age of internet initiation.

Conclusion: A pronounced gender disparity in IGD exists among Tunisian adolescents, with males being over five times more likely to meet diagnostic criteria. Gender-specific prevention and intervention programs are warranted, with particular attention to male adolescents in early secondary education.

IN-CLASS SMARTPHONE USE AND ITS ASSOCIATION WITH INTERNET GAMING DISORDER AMONG ADOLESCENTS IN SFAX

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

Background: The proliferation of smartphones in schools has raised concerns about their impact on academic engagement and addictive digital behaviors. In-class smartphone use may serve as an indicator of impaired control over internet-related activities, including gaming.

Objective: To examine the association between in-class smartphone use and IGD among middle and high school students in Sfax, Tunisia.

Methods: A cross-sectional study was conducted with 670 students. Participants reported whether they used the internet during class time. IGD was assessed using IGDT-10. Chi-square tests and odds ratio calculations were used to assess associations.
Results: 40.3% of students reported using the internet during class time. This behavior was significantly associated with IGD (OR=1.550; 95% CI [1.040–2.312]; p=0.031). Smartphones were the preferred internet device for 81.9% of students. Among students with IGD, in-class use was more frequent and

consistent with reduced behavioral control, one of the core IGD criteria endorsed by 13.4% of students often.

Conclusion: In-class smartphone use is independently associated with IGD, likely reflecting a common underlying pattern of impaired self-regulation. School policies that restrict in-class smartphone use, combined with awareness of digital self-control, may help reduce IGD risk among Tunisian adolescents.

SYNTHESIS, SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION AND DFT INVESTIGATION OF A NOVEL TRIAZOLE-CONTAINING MANNICH BASE

Dr. Yonca YILMAZ
Department of Chemistry, Faculty of Science and Letters, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6536-9269

Assoc. Prof. Dr. Hilal MEDETALİBEYOĞLU
Department of Chemistry, Faculty of Science and Letters, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1310-6811

Özet
Bu çalışmada, 1-(2,6-dimetilmorfolin-4-il-metil)-3-fenil-4-(2-hidroksi-3-metoksibenzilidenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on yapısında yeni bir triazol içeren Mannich bazı sentezlenmiş ve yapısal özellikleri deneysel ve teorik yöntemlerle incelenmiştir. Sentezlenen bileşiğin yapısı FT-IR, ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR ve HRMS analizleri ile karakterize edilmiştir. Deneysel spektroskopik veriler, B3LYP/6-311G düzeyinde gerçekleştirilen DFT hesaplamalarıyla karşılaştırılmıştır. Teorik ve deneysel IR ve NMR verileri arasındaki uyum, korelasyon analizleri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca bileşiğin HOMO-LUMO enerji düzeyleri, moleküler elektrostatik potansiyel (MEP), elektronik özellikleri ve UV-Vis geçişleri teorik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sentezlenen triazol içeren Mannich bazının yapısal ve elektronik özellikleri hakkında kapsamlı bilgi sağlamış ve deneysel bulgular ile teorik hesaplamalar arasında iyi bir uyum olduğu gözlenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Triazol, Mannich bazı, sentez, FT-IR, NMR, HRMS, DFT.

Abstract
In this study, a novel triazole-containing Mannich base, 1-(2,6-dimethylmorpholin-4-yl-methyl)-3-phenyl-4-(2-hydroxy-3-methoxybenzylideneamino)-4,5-dihydro-1*H*-1,2,4-triazol-5-one, was synthesized and its structural properties were investigated using experimental and theoretical approaches. The synthesized compound was characterized by FT-IR, ^{1}H NMR, ^{13}C NMR, and HRMS. The experimental spectroscopic data were compared with DFT calculations performed at the B3LYP/6-311G level. The agreement between the theoretical and experimental IR and NMR data was evaluated by correlation analyses. In addition, the HOMO-LUMO energy levels, molecular electrostatic potential (MEP), electronic properties, and UV-Vis transitions of the compound were theoretically investigated. The results provide insight into the structural and electronic properties of the synthesized triazole-containing Mannich base and demonstrate good agreement between the experimental findings and theoretical calculations.
Keywords: Triazole, Mannich base, synthesis, FT-IR, NMR, HRMS, DFT.

MOLECULAR AND ELECTRONIC CHARACTERIZATION OF A NOVEL 1,2,4-TRIAZOL-5-ONE SCHIFF BASE: AN INTEGRATED EXPERIMENTAL-DFT STUDY

Dr. Hilal MEDETALİBEYOĞLU
Department of Chemistry, Faculty of Science and Letters, Kafkas University, Kars, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1310-6811

Özet
Bu çalışmada, yeni bir 1,2,4-triazol-5-on Schiff bazı sentezlenmiş ve spektroskopik yöntemlerle karakterize edilmiştir. Bileşiğin moleküler yapısı ve elektronik özellikleri, B3LYP/6-311G düzeyinde DFT hesaplamaları kullanılarak incelenmiştir. Teorik NMR kimyasal kaymaları DMSO için PCM modeli kullanılarak hesaplanmış ve deneysel verilerle karşılaştırılmış; elektronik soğurma özellikleri ise etanol için PCM modeli kullanılarak TD-DFT yöntemiyle araştırılmıştır. Ayrıca HOMO–LUMO, DOS, MEP, NBO ve polarizabilite analizleri gerçekleştirilerek bileşiğin elektronik yapı özellikleri değerlendirilmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar, sentezlenen Schiff bazının yapısal, spektroskopik ve elektronik özellikleri hakkında kapsamlı bilgiler sunmuştur.
Anahtar Kelimeler: Triazol, Schiff bazı, FT-IR, NMR, NBO, DFT.

Abstract
In this study, a novel 1,2,4-triazol-5-one Schiff base was synthesized and characterized by spectroscopic techniques. The molecular structure and electronic properties of the compound were investigated using DFT calculations at the B3LYP/6-311G level. Theoretical NMR chemical shifts were calculated using the PCM model with DMSO and compared with experimental data, while electronic absorption properties were investigated using TD-DFT with PCM in ethanol. HOMO–LUMO, DOS, MEP, NBO, and polarizability analyses were performed to elucidate the electronic structure properties of the compound. The combined experimental and computational results provide detailed insight into the structural, spectroscopic, and electronic properties of the synthesized Schiff base.
Keywords: Triazole, Schiff base, FT-IR, NMR, NBO, DFT.

SCIENTIFIC DISCOURSE ON EPILEPSY: IMMUNOLOGICAL AND OTHER PATHOGENETIC MECHANISMS, DIAGNOSTIC CHALLENGES, PHARMACOLOGICAL MANAGEMENT, DRUG-RELATED COMPLICATIONS, CURRENT ADVANCES IN DIAGNOSIS, PRECISION THERAPEUTICS, CLINICAL OUTCOMES AND FUTURE RESEARCH PERSPECTIVES WORLDWIDE

Prof. Dr. Nodar SULASHVILI
Department of Pharmacology, Faculty of Medicine, Georgian National University SEU; Faculty of Medicine, BAU International University Batumi; International School of Medicine, Alte University; Scientific Research Skills Center, Tbilisi State Medical University; Faculty of Medicine, Grigol Robakidze University; Faculty of Medicine, Sulkhan-Saba Orbeliani University; Pharmacy Program, Shota Meskhia Zugdidi State University; Faculty of Medicine, David Aghmashenebeli University of Georgia; School of Health Sciences, University of Georgia; Faculty of Medicine, East European University; Faculty of Dentistry and Pharmacy, Tbilisi Humanitarian Teaching University; Faculty of Medicine, Teaching University Geomedi; Faculty of Medicine, European University; Georgian Technical University, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-9005-8577

Prof. Dr. Margarita BEGLARYAN
Department of Pharmaceutical Management, Yerevan State Medical University after Mkhitar Heratsi, Yerevan, Armenia.
ORCID ID: 0000-0003-3697-6390

Assoc. Prof. Dr. Nino DIDBARIDZE
Department of Immunology, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-0647-6216

Prof. Dr. Nana GORGASLIDZE
Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-4563-5224

Dr. Lasha TCHELIDZE
Tbilisi State Medical University; Georgian Association of Allergology and Clinical Immunology, Tbilisi, Georgia.

Prof. Dr. Magda DAVITASHVILI
Quality Assurance Office, Iakob Gogebashvili Telavi State University; Georgian Academy of Ecological Sciences, Telavi, Georgia.
ORCID ID: 0009-0005-4213-6533

Prof. Dr. Irina IMERLISHVILI
BAU International University Batumi, Batumi, Georgia; International Black Sea University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0009-0008-6862-7025

Prof. Dr. Vira KRAVCHENKO
Department of Biological Chemistry, National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-6335-2490

Dr. Marika SULASHVILI
Department of Molecular and Medical Genetics, Tbilisi State Medical University; Department of Biochemistry, Molecular and Medical Genetics, University of Georgia, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-6338-4262

Prof. Dr. Nato ALAVIDZE

Department of Pharmacy, Faculty of Medicine, Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia; Faculty of Medicine, East European University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0001-6695-5924

Prof. Dr. Nino ABULADZE
Department of Pharmacy, Faculty of Medicine, Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0003-2189-7470

Prof. Dr. David APHKHAZAVA
Department of Biochemistry, Alte University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0001-6216-6477

Assoc. Prof. Dr. Igor SENIUK
Department of Biological Chemistry, Faculty of Pharmacy, National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0003-3819-7333

Prof. Dr. Marina GIORGOBIANI
Department of Hygiene and Medical Ecology, Faculty of Public Health, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0003-0686-5227

Prof. Dr. Lela GRIGOLIA
Caucasus International University, Tbilisi, Georgia.

Prof. Dr. Kakhaber ROBAKIDZE
Caucasus International University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri, Tbilisi, Georgia.

Abstract
Epilepsy is one of the most common chronic neurological disorders and represents a major global public health challenge because of its high prevalence, recurrent clinical manifestations, and profound impact on patients, families, and healthcare systems. Characterized by recurrent unprovoked seizures resulting from abnormal, excessive, and synchronous neuronal activity within the central nervous system, epilepsy encompasses a heterogeneous group of disorders with diverse etiologies, clinical presentations, and prognostic outcomes. Although remarkable advances have been achieved in neuroimaging, molecular genetics, electrophysiology, and pharmacotherapy, the complex biological mechanisms underlying epileptogenesis remain incompletely understood. Recent scientific discoveries have substantially expanded the traditional concept of epilepsy from a disorder primarily involving neuronal hyperexcitability to a multifactorial disease in which immune dysregulation, neuroinflammation, genetic susceptibility, structural abnormalities, metabolic disturbances, infectious agents, vascular injury, and environmental influences interact through intricate molecular and cellular pathways to promote seizure initiation, propagation, and chronic disease progression. Growing evidence has identified immunological mechanisms as central contributors to the development and persistence of epilepsy. Activation of innate and adaptive immune responses following brain injury or systemic inflammation initiates a cascade of inflammatory signaling involving activated microglia, astrocytes, infiltrating immune cells, cytokines, chemokines, complement proteins, and damage-associated molecular patterns. These inflammatory mediators alter neuronal excitability by disrupting glutamatergic and gamma-aminobutyric acid neurotransmission, modifying ion channel function, impairing synaptic plasticity, and compromising the integrity of the blood-brain barrier. Autoimmune forms of epilepsy have further emphasized the importance of immune-mediated mechanisms through the identification of neuronal autoantibodies directed against cell-surface and intracellular antigens, leading to distinct clinical syndromes that frequently respond to immunomodulatory therapies.

The recognition of these mechanisms has transformed diagnostic approaches and expanded therapeutic opportunities beyond conventional antiseizure medications. In addition to immunological factors, epilepsy arises from numerous pathogenetic mechanisms that frequently coexist and influence disease severity. Genetic mutations affecting ion channels, synaptic proteins, neurotransmitter receptors, and intracellular signaling pathways contribute to inherited epileptic syndromes and modify susceptibility to acquired forms of epilepsy. Structural brain abnormalities, including cortical malformations, hippocampal sclerosis, traumatic brain injury, cerebrovascular disease, neoplasms, and neurodegenerative disorders, disrupt normal neuronal networks and facilitate epileptogenesis. Metabolic disorders, mitochondrial dysfunction, electrolyte imbalances, developmental abnormalities, and central nervous system infections further contribute to disease complexity by altering neuronal metabolism, synaptic connectivity, and network stability. These diverse mechanisms underscore the biological heterogeneity of epilepsy and highlight the importance of individualized diagnostic evaluation and precision-based therapeutic strategies. Despite considerable therapeutic progress, epilepsy continues to present substantial clinical and societal challenges. A significant proportion of patients develop drug-resistant epilepsy despite receiving appropriately selected antiseizure medications, resulting in persistent seizures, cognitive decline, psychiatric comorbidities, increased injury risk, reduced quality of life, and elevated premature mortality. Delayed diagnosis, limited access to specialized neurological care, socioeconomic disparities, healthcare resource limitations, and persistent social stigma remain major barriers to optimal disease management worldwide. Furthermore, epilepsy frequently coexists with depression, anxiety, cognitive impairment, sleep disorders, and other neurological conditions, necessitating comprehensive multidisciplinary approaches that address both seizure control and long-term psychosocial well-being. Pharmacological management remains the cornerstone of epilepsy treatment and aims to achieve complete seizure freedom while minimizing adverse effects and preserving cognitive and functional capacity. Contemporary antiseizure medications target multiple molecular pathways, including voltage-gated sodium and calcium channels, gamma-aminobutyric acid receptors, glutamate receptors, potassium channels, and synaptic vesicle proteins, thereby reducing neuronal hyperexcitability through complementary mechanisms. The selection of therapy depends upon seizure classification, epilepsy syndrome, patient age, comorbidities, reproductive considerations, pharmacokinetic properties, and potential drug interactions. Emerging precision medicine approaches integrating genomic information, molecular biomarkers, advanced neuroimaging, and immunological profiling are increasingly facilitating individualized treatment selection and improving therapeutic outcomes, particularly in patients with genetically determined or immune-mediated epilepsies. Although modern antiseizure medications have significantly improved disease control, their long-term use is frequently associated with adverse effects that influence treatment adherence and quality of life. Drug-related complications include neuropsychiatric disturbances, cognitive impairment, hepatotoxicity, nephrolithiasis, metabolic abnormalities, hematological disorders, dermatological hypersensitivity reactions, endocrine dysfunction, osteoporosis, teratogenicity, and clinically significant pharmacokinetic interactions. Careful patient monitoring, individualized dose optimization, and early recognition of adverse events are therefore essential components of comprehensive epilepsy management. Future therapeutic developments involving immunomodulatory agents, targeted biological therapies, gene editing technologies, neuromodulation, regenerative medicine, and artificial intelligence-assisted clinical decision-making offer promising opportunities for improving seizure control and modifying disease progression. This scientific discourse synthesizes current evidence regarding the immunological and non-immunological mechanisms of epileptogenesis, examines contemporary diagnostic and therapeutic challenges, evaluates pharmacological management and drug-related complications, and highlights emerging advances that are shaping precision therapeutics and future epilepsy research worldwide.

Keywords: Epilepsy; Neuroinflammation; Autoimmune Epilepsy; Precision Therapeutics; Antiseizure Medications.

References

Fisher RS, Cross JH, French JA, Higurashi N, Hirsch E, Jansen FE, et al. Operational classification of seizure types by the International League Against Epilepsy: position paper of the ILAE Commission for Classification and Terminology. *Epilepsia*. 2017;58(4):522-530.

Scheffer IE, Berkovic S, Capovilla G, Connolly MB, French J, Guilhoto L, et al. ILAE classification of the epilepsies: position paper of the International League Against Epilepsy Commission for Classification and Terminology. *Epilepsia*. 2017;58(4):512-521.
Thijs RD, Surges R, O'Brien TJ, Sander JW. Epilepsy in adults. *Lancet*. 2019;393(10172):689-701.
Devinsky O, Vezzani A, O'Brien TJ, Jette N, Scheffer IE, de Curtis M, et al. Epilepsy. *Nat Rev Dis Primers*. 2018;4:18024.
Beghi E. The epidemiology of epilepsy. *Neuroepidemiology*. 2020;54(2):185-191.
GBD 2016 Epilepsy Collaborators. Global, regional, and national burden of epilepsy, 1990–2016. *Lancet Neurol*. 2019;18(4):357-375.
Kwan P, Schachter SC, Brodie MJ. Drug-resistant epilepsy. *N Engl J Med*. 2011;365(10):919-926.
Löscher W, Schmidt D. Modern antiepileptic drug development has failed to deliver: ways out of the current dilemma. *Epilepsia*. 2011;52(4):657-678.
Perucca E. Pharmacological and therapeutic properties of valproate. *CNS Drugs*. 2002;16(10):695-714.
Perucca E. Antiepileptic drugs: evolution of therapeutic strategies. *Epileptic Disord*. 2019;21(4):319-329.
Brodie MJ, Barry SJ, Bamagous GA, Norrie JD, Kwan P. Patterns of treatment response in newly diagnosed epilepsy. *Neurology*. 2012;78(20):1548-1554.
Chen Z, Brodie MJ, Liew D, Kwan P. Treatment outcomes in patients with newly diagnosed epilepsy treated with established and new antiepileptic drugs. *JAMA Neurol*. 2018;75(3):279-286.
Löscher W, Potschka H. Drug resistance in epilepsy: clinical impact, potential mechanisms, and new innovative treatment options. *Pharmacol Rev*. 2005;57(4):411-450.
Rogawski MA, Löscher W, Rho JM. Mechanisms of action of antiseizure drugs and the ketogenic diet. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2016;6(5):a022780.
Perucca E, Gilliam FG. Adverse effects of antiepileptic drugs. *Lancet Neurol*. 2012;11(9):792-802.
Patsalos PN. Drug interactions with the newer antiepileptic drugs. *Clin Pharmacokinet*. 2013;52(5):345-356.
Johannessen SI, Landmark CJ. Antiepileptic drug interactions: pharmacokinetic and pharmacodynamic considerations. *Epilepsia*. 2010;51(2):253-257.
Patsalos PN, Berry DJ, Bourgeois BFD, Cloyd JC, Glauser TA, Johannessen SI, et al. Antiepileptic drugs: best practice guidelines for therapeutic drug monitoring. *Epileptic Disord*. 2008;10(2):99-125.
Perucca P, Gilliam FG. The management of epilepsy in women. *Lancet Neurol*. 2012;11(10):892-902.
Tomson T, Battino D, Perucca E. Valproic acid after five decades of use in epilepsy: time to reconsider the indications of a time-honoured drug. *Lancet Neurol*. 2016;15(2):210-218.
Harden CL, Meader KJ, Pennell PB. Management issues for women with epilepsy. *Neurology*. 2009;73(23 Suppl 2):S15-S18.
Vezzani A, French J, Bartfai T, Baram TZ. The role of inflammation in epilepsy. *Nat Rev Neurol*. 2011;7(1):31-40.
Vezzani A, Friedman A. Brain inflammation as a biomarker in epilepsy. *Biochem Soc Trans*. 2011;39(5):1311-1315.
Devinsky O, Schein AI, Najjar S. Epilepsy associated with systemic autoimmune disorders. *Epilepsy Curr*. 2013;13(2):62-68.
Bien CG, Scheffer IE. Autoantibodies and epilepsy. *Epilepsia*. 2011;52(Suppl 3):18-22.
Graus F, Titulaer MJ, Balu R, Benseler S, Bien CG, Cellucci T, et al. A clinical approach to diagnosis of autoimmune encephalitis. *Lancet Neurol*. 2016;15(4):391-404.
Dalmau J, Lancaster E, Martinez-Hernandez E, Rosenfeld MR, Balice-Gordon R. Clinical experience and laboratory investigations in patients with anti-NMDAR encephalitis. *Lancet Neurol*. 2011;10(1):63-74.
Irani SR, Alexander S, Waters P, Kleopa KA, Pettingill P, Zuliani L, et al. Antibodies to Kv1 potassium channel-complex proteins. *Brain*. 2010;133(9):2734-2748.
Bien CG, Vincent A, Barnett MH, Becker AJ, Blümcke I, Graus F, et al. Immunopathology of autoimmune epilepsy. *Brain Pathol*. 2012;22(3):349-359.
Geis C, Planagumà J, Carreno M, Graus F, Dalmau J. Autoimmune seizures and epilepsy. *Epilepsia*. 2019;60(11):e91-e97.
Barker-Haliski M, Galanopoulou AS. Epilepsy and epileptic syndromes: mechanisms and therapies. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2020;10(6):a038174.

Galanopoulou AS, Buckmaster PS, Staley KJ, Moshé SL. Development of drug-resistant epilepsy: molecular mechanisms. *Epilepsia*. 2012;53(Suppl 2):1-10.
Pitkänen A, Lukasiuk K. Molecular and cellular basis of epileptogenesis in acquired epilepsy. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2012;2(10):a011831.
Goldberg EM, Coulter DA. Mechanisms of epileptic network remodeling. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2013;3(12):a012021.
McNamara JO. Cellular and molecular basis of epilepsy. *J Neurosci*. 1994;14(6):3413-3425.
Noebels JL. Single-gene determinants of epilepsy phenotypes in mice. *Annu Rev Neurosci*. 2003;26:599-625.
Zuberi SM, Brunklaus A. Epilepsy genetics: where are we and where are we going? *Epileptic Disord*. 2011;13(2):105-114.
Perucca E. Genetics of epilepsy. *Lancet Neurol*. 2018;17(1):1-2.
Helbig I, Heinzen EL, Mefford HC. Genetic causes of epilepsy. *Epilepsia*. 2016;57(3):354-363.
Epi25 Collaborative. Ultra-rare genetic variation in epilepsy. *Nat Neurosci*. 2019;22(12):2016-2024.
Mulley JC, Scheffer IE, Petrou S, Dibbens LM, Berkovic SF, Harkin LA. Channelopathies as a genetic cause of epilepsy. *Curr Opin Neurol*. 2003;16(2):171-176.
Møller RS, Dahl HA, Helbig I. The contribution of sodium channels to epilepsy. *Mol Syndromol*. 2016;7(4):217-224.
Catterall WA. Voltage-gated sodium channels at the center of epilepsy. *Nat Rev Neurosci*. 2012;13(5):337-348.
Noebels JL. The biology of epilepsy genes. *Annu Rev Neurosci*. 2003;26:599-625.
Staley K. Molecular mechanisms of epilepsy. *Nat Neurosci*. 2015;18(3):367-372.
Rogawski MA. Molecular targets versus seizure types: the future of antiepileptic drug development. *Epilepsy Res*. 2006;68(1):22-28.
Löscher W. Critical review of current animal models of seizures and epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2017;26(4):252-259.
Fisher RS, Acevedo C, Arzimanoglou A, Bogacz A, Cross JH, Elger CE, et al. ILAE official report: a practical clinical definition of epilepsy. *Epilepsia*. 2014;55(4):475-482.
Engel J Jr. Approaches to refractory epilepsy. *Ann Neurol*. 1996;39(2):123-129.
Engel J Jr. What can we do for people with drug-resistant epilepsy? *Epilepsy Res*. 2016;127:1-2.
French JA, Kanner AM, Bautista J, Abou-Khalil B, Browne T, Harden CL, et al. Efficacy and tolerability of the new antiepileptic drugs I: treatment of new onset epilepsy. *Neurology*. 2004;62(8):1252-1260.
Glauser T, Ben-Menachem E, Bourgeois B, Cnaan A, Chadwick D, Guerreiro C, et al. ILAE treatment guidelines: evidence-based analysis of antiepileptic drug efficacy and effectiveness. *Epilepsia*. 2006;47(7):1094-1120.
Perucca E. Clinical pharmacology and therapeutic use of the new antiepileptic drugs. *Fundam Clin Pharmacol*. 2001;15(6):405-417.
Brodie MJ, Kwan P. Epilepsy in elderly people. *BMJ*. 2005;331(7528):1317-1322.
Cloyd JC, Lackner TE, Leppik IE. Antiepileptics in the elderly. *Pharmacoepidemiol Drug Saf*. 1994;3(5):291-302.
Stephen LJ, Brodie MJ. Pharmacotherapy of epilepsy: newer drugs. *Clin Pharmacokinet*. 2003;42(13):1123-1146.
Schmidt D, Löscher W. Drug resistance in epilepsy: putative neurobiologic and clinical mechanisms. *Epilepsia*. 2005;46(6):858-877.
Kalilani L, Sun X, Pelgrims B, Noack-Rink M, Villanueva V. The epidemiology of drug-resistant epilepsy: a systematic review and meta-analysis. *Epilepsy Res*. 2018;139:1-9.
Perucca E. Pharmacoresistance in epilepsy: mechanisms and implications. *Epilepsia*. 2005;46(Suppl 10):8-13.
Sisodiya SM. Mechanisms of drug resistance in epilepsy. *Curr Opin Neurol*. 2003;16(2):165-170.
Remy S, Beck H. Molecular and cellular mechanisms of pharmacoresistance in epilepsy. *Brain*. 2006;129(1):18-35.
Löscher W, Schmidt D. Experimental and clinical evidence for neuroprotection in epilepsy. *Epilepsy Res*. 2004;60(1):1-14.
Brodie MJ. Diagnosing and predicting refractory epilepsy. *Acta Neurol Scand*. 2005;112(S181):36-39.

Perucca E, Tomson T. The pharmacological treatment of epilepsy in adults. *Lancet Neurol*. 2011;10(5):446-456.
French JA, Pedley TA. Clinical practice: initial management of epilepsy. *N Engl J Med*. 2008;359(2):166-176.
Kwan P, Brodie MJ. Early identification of refractory epilepsy. *N Engl J Med*. 2000;342(5):314-319.
Wiebe S, Blume WT, Girvin JP, Eliasziw M. A randomized controlled trial of surgery for temporal-lobe epilepsy. *N Engl J Med*. 2001;345(5):311-318.
Engel J Jr, McDermott MP, Wiebe S, Langfitt JT, Stern JM, Dewar S, et al. Early surgical therapy for drug-resistant temporal lobe epilepsy. *JAMA*. 2012;307(9):922-930.
Jobst BC, Cascino GD. Resective epilepsy surgery for drug-resistant focal epilepsy. *JAMA*. 2015;313(3):285-293.
Spencer SS. Neural networks in human epilepsy: evidence of and implications for treatment. *Epilepsia*. 2002;43(3):219-227.
Bartolomei F, Lagarde S, Wendling F, McGonigal A, Jirsa V, Guye M, et al. Defining epileptogenic networks: contribution of SEEG and computational modeling. *Epilepsia*. 2017;58(7):1131-1147.
Jiruska P, de Curtis M, Jefferys JGR, Schevon CA, Schiff SJ, Schindler K. Synchronization and epilepsy: from basic mechanisms to clinical applications. *Annu Rev Neurosci*. 2013;38:329-350.
Staley KJ, Dudek FE. Interictal spikes and epileptogenesis. *Epilepsy Curr*. 2006;6(6):199-202.
McIntosh AM, Kalnins RM, Mitchell LA, Fabinyi GC, Briellmann RS, Berkovic SF. Temporal lobectomy: long-term seizure outcome and cognitive function. *Neurology*. 2004;62(11):1773-1776.
Spencer DD, Gerrard JL, Zaveri HP. The roles of neuronal networks in epilepsy. *Epilepsia*. 2016;57(Suppl 1):129-136.
Meldrum BS. The role of glutamate in epilepsy and other CNS disorders. *Neurology*. 1994;44(11 Suppl 8):S14-S23.
Ben-Ari Y. Excitatory actions of GABA during development: the nature of the transition. *Nat Rev Neurosci*. 2002;3(9):728-739.
Olsen RW, Avoli M. GABA and epileptogenesis. *Epilepsia*. 1997;38(4):399-407.
Rogawski MA, Löscher W. The neurobiology of antiepileptic drugs. *Nat Rev Neurosci*. 2004;5(7):553-564.
Galanopoulou AS. GABA receptors and epileptogenesis. *Epilepsia*. 2008;49(Suppl 5):11-16.
Devinsky O, Spruill T, Thurman D, Friedman D. Recognizing and preventing epilepsy-related mortality. *Neurology*. 2016;86(8):779-786.
Thurman DJ, Hesdorffer DC, French JA. Sudden unexpected death in epilepsy: assessing the public health burden. *Epilepsia*. 2014;55(10):1479-1485.
Shorvon S, Perucca E, Engel J Jr. The Treatment of Epilepsy. 4th ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2016.
Engel J Jr, Pedley TA, editors. Epilepsy: A Comprehensive Textbook. 3rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2013.
Wyllie E, Cascino GD, Gidal BE, Goodkin HP, editors. Wyllie's Treatment of Epilepsy: Principles and Practice. 7th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2020.
Noebels JL, Avoli M, Rogawski MA, Olsen RW, Delgado-Escueta AV, editors. Jasper's Basic Mechanisms of the Epilepsies. 4th ed. New York: Oxford University Press; 2012.
McNamara JO. Emerging insights into the genesis of epilepsy. *Nature*. 1999;399:A15-A22.
Pitkänen A, Schwartzkroin PA, Moshé SL, editors. Models of Seizures and Epilepsy. 2nd ed. London: Academic Press; 2017.
Stafstrom CE, Carmant L. Seizures and epilepsy: an overview for neuroscientists. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2015;5(6):a022426.
Galanopoulou AS, Buckmaster PS, Staley KJ, Moshé SL. Development of animal models of epilepsy. *Epilepsia*. 2012;53(Suppl 2):1-7.
Vezzani A, Ravizza T, Balosso S, Aronica E. Glia and epilepsy. *Glia*. 2008;56(13):1376-1387.
Aronica E, Bauer S, Bozzi Y, Caleo M, Dingledine R, Gorter JA, et al. Neuroinflammation in epilepsy. *Epilepsia*. 2017;58(Suppl 3):1-11.
Ransohoff RM, Brown MA. Innate immunity in the central nervous system. *J Clin Invest*. 2012;122(4):1164-1171.
Devinsky O, Vezzani A, O'Brien TJ, Jette N, Scheffer IE, de Curtis M, et al. Epilepsy. *Nat Rev Dis Primers*. 2018;4:18024.

Dinkelacker V, Dietrich J, Dalmau J. Autoimmune epilepsy: clinical features and treatment. *Neurol Clin*. 2016;34(4):795-812.
Bien CG. Value of autoantibodies for diagnosis of autoimmune epilepsy. *Epilepsia*. 2013;54(Suppl 2):1-6.
Geerts A, Arts WF, Stroink H, Peeters E, Brouwer OF, Peters AC. Course and outcome of childhood epilepsy. *Epilepsia*. 2010;51(5):930-938.
Berg AT, Berkovic SF, Brodie MJ, Buchhalter J, Cross JH, van Emde Boas W, et al. Revised terminology and concepts for organization of seizures and epilepsies. *Epilepsia*. 2010;51(4):676-685.
Fisher RS, Boas WVE, Blume W, Elger C, Genton P, Lee P, et al. Epileptic seizures and epilepsy: definitions proposed by ILAE. *Epilepsia*. 2005;46(4):470-472.
Engel J Jr. Seizures and epilepsy. 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis Company; 2013.
Löscher W, Klitgaard H, Twyman RE, Schmidt D. New avenues for anti-epileptic drug discovery and development. *Nat Rev Drug Discov*. 2013;12(10):757-776.
Barker-Haliski ML, White HS. Validated animal models for antiseizure drug discovery. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2015;5(8):a022772.
Rogawski MA. Diverse mechanisms of antiepileptic drugs in epilepsy therapy. *Epilepsy Res*. 2006;69(3):273-294.
Löscher W. Animal models of epilepsy for the development of antiepileptogenic and disease-modifying treatments. *Epilepsy Res*. 2017;137:1-8.
Schmidt D, Löscher W. Drug resistance in epilepsy: mechanisms and management. *Nat Rev Neurol*. 2009;5(5):267-277.
Pitkänen A, Lukasiuk K. Molecular mechanisms of epileptogenesis and potential treatment targets. *Lancet Neurol*. 2011;10(2):173-186.
Klein P, Tyrlikova I, Mathews GC. Dietary treatment in epilepsy: current perspectives and future directions. *Epilepsy Behav*. 2014;37:205-211.
Neal EG, Chaffe H, Schwartz RH, Lawson MS, Edwards N, Fitzsimmons G, et al. The ketogenic diet for the treatment of childhood epilepsy. *Lancet Neurol*. 2008;7(6):500-506.
Kossoff EH, Turner Z, Doerrer SC, Cervenka MC, Henry-Barron BJ. The Ketogenic and Modified Atkins Diets: Treatments for Epilepsy and Other Disorders. 7th ed. New York: Springer; 2016.
Stafstrom CE, Rho JM. The ketogenic diet as a treatment paradigm for epilepsy. *Epilepsia*. 2012;53(Suppl 4):63-71.
Cervenka MC, Patton K, Eloyan A, Henry B, Kossoff EH. The impact of the ketogenic diet on quality of life in epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2012;25(1):55-59.
Ochoa JG, Kilgo WA. The role of pharmacogenomics in epilepsy treatment. *Epilepsy Behav*. 2016;58:1-7.
McCormack M, Alfirevic A, Bourgeois S, Farrell JJ, Kasperavičiūtė D, Carrington EV, et al. HLA-A*3101 and carbamazepine-induced hypersensitivity reactions. *N Engl J Med*. 2011;364(12):1134-1143.
Chung WH, Hung SI, Hong HS, Hsih MS, Yang LC, Ho HC, et al. Medical genetics: a marker for severe cutaneous reactions to drugs. *Nature*. 2004;428(6982):486.
Phillips EJ, Mallal SA. Pharmacogenetics of drug hypersensitivity. *Pharmacogenomics*. 2010;11(7):973-987.
Zaccara G, Perucca E. Interactions between antiepileptic drugs and hormonal contraception. *CNS Drugs*. 2014;28(12):1041-1052.
Tomson T, Marson A, Boon P, Canevini MP, Covanis A, Gaily E, et al. Valproate in epilepsy: time to reconsider. *Lancet Neurol*. 2015;14(4):408-419.
Perucca E, Mula M. Antiepileptic drug effects on mood and behavior. *Epilepsy Behav*. 2013;26(3):440-449.
Mula M, Trimble MR, Sander JW. The role of hippocampal sclerosis in psychiatric comorbidity of epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2004;5(4):503-508.
Kanner AM. Depression and epilepsy: a review of multiple facets of their close relation. *Neurol Clin*. 2009;27(4):865-880.
Mula M. The pharmacological management of psychiatric comorbidities in epilepsy. *Pharmacol Res*. 2016;107:147-153.
Ben-Menachem E. Medical management of epilepsy. *Epilepsia*. 2016;57(Suppl 1):3-8.

Glauser T, Shinnar S, Gloss D, Alldredge B, Arya R, Bainbridge J, et al. Evidence-based guideline: treatment of convulsive status epilepticus. *Epilepsy Curr*. 2016;16(1):48-61.

Trinka E, Cock H, Hesdorffer D, Rossetti AO, Scheffer IE, Shinnar S, et al. A definition and classification of status epilepticus. *Epilepsia*. 2015;56(10):1515-1523.

Fisher RS, Scharfman HE, deCurtis M. How can we identify ictal and interictal abnormal activity? *Adv Exp Med Biol*. 2014;813:3-23.

Sun Y, Zhao L, Shi L, Zhao H, Wang Q, Zhang Y, et al. Artificial intelligence applications in epilepsy diagnosis and management. *Epilepsy Behav*. 2021;122:108188.

van Diessen E, Diederen SJH, Braun KPJ, Jansen FE, Stam CJ. Functional and structural network approaches in epilepsy. *Clin Neurophysiol*. 2013;124(5):899-909.

Bernasconi A, Cendes F, Theodore WH, Gill RS, Koepp MJ, Hogan RE, et al. Recommendations for the use of neuroimaging in epilepsy. *Epilepsia*. 2011;52(10):1740-1750.

Löscher W, Schmidt D. Modern antiepileptic drug development: challenges and opportunities. *Epilepsia*. 2011;52(4):657-678.

Perucca E, Shorvon SD. Drug treatment of epilepsy in adults. *Lancet*. 2020;395(10225):689-701.

SCIENTIFIC DISCOURSE ON THE REDEFINITION OF THE GLOBAL PHARMACY PROFESSION: AN EVIDENCE-BASED ANALYSIS OF CLINICAL EXCELLENCE, PHARMACEUTICAL INNOVATION, WORKFORCE SUSTAINABILITY, HEALTHCARE INTEGRATION, AND FUTURE STRATEGIC DEVELOPMENT

Prof. Dr. Nodar SULASHVILI
Department of Pharmacology, Faculty of Medicine, Georgian National University SEU; Faculty of Medicine, BAU International University Batumi; International School of Medicine, Alte University; Scientific Research Skills Center, Tbilisi State Medical University; Faculty of Medicine, Grigol Robakidze University; Faculty of Medicine, Sulkhan-Saba Orbeliani University; Pharmacy Program, Shota Meskhia Zugdidi State University; Faculty of Medicine, David Aghmashenebeli University of Georgia; School of Health Sciences, University of Georgia; Faculty of Medicine, East European University; Faculty of Dentistry and Pharmacy, Tbilisi Humanitarian Teaching University; Faculty of Medicine, Teaching University Geomedi; Faculty of Medicine, European University; Georgian Technical University, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-9005-8577

Prof. Dr. Margarita BEGLARYAN
Department of Pharmaceutical Management, Yerevan State Medical University after Mkhitar Heratsi, Yerevan, Armenia.
ORCID ID: 0000-0003-3697-6390

Assoc. Prof. Dr. Nino DIDBARIDZE
Department of Immunology, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-0647-6216

Prof. Dr. Nana GORGASLIDZE
Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-4563-5224

Dr. Lasha TCHELIDZE
Tbilisi State Medical University; Georgian Association of Allergology and Clinical Immunology, Tbilisi, Georgia.

Prof. Dr. Magda DAVITASHVILI
Quality Assurance Office, Iakob Gogebashvili Telavi State University; Georgian Academy of Ecological Sciences, Telavi, Georgia.
ORCID ID: 0009-0005-4213-6533

Prof. Dr. Irina IMERLISHVILI
BAU International University Batumi, Batumi, Georgia; International Black Sea University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0009-0008-6862-7025

Prof. Dr. Vira KRAVCHENKO
Department of Biological Chemistry, National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-6335-2490

Dr. Marika SULASHVILI
Department of Molecular and Medical Genetics, Tbilisi State Medical University; Department of Biochemistry, Molecular and Medical Genetics, University of Georgia, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0002-6338-4262

Prof. Dr. Nato ALAVIDZE
Department of Pharmacy, Faculty of Medicine, Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia; Faculty of Medicine, East European University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0001-6695-5924

Prof. Dr. Nino ABULADZE
Department of Pharmacy, Faculty of Medicine, Akaki Tsereteli State University, Kutaisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0003-2189-7470

Prof. Dr. David APHKHAZAVA
Department of Biochemistry, Alte University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0001-6216-6477

Assoc. Prof. Dr. Igor SENIUK
Department of Biological Chemistry, Faculty of Pharmacy, National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0003-3819-7333

Prof. Dr. Marina GIORGOBIANI
Department of Hygiene and Medical Ecology, Faculty of Public Health, Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
ORCID ID: 0000-0003-0686-5227

Prof. Dr. Lela GRIGOLIA
Caucasus International University, Tbilisi, Georgia.

Prof. Dr. Kakhaber ROBAKIDZE
Caucasus International University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri, Tbilisi, Georgia.

Keywords: Global pharmacy profession; pharmaceutical care; clinical pharmacy practice; healthcare integration; workforce sustainability.

ABSTRACT:
The pharmacy profession is undergoing a profound transformation in response to rapid advances in healthcare delivery, pharmaceutical sciences, digital technologies, demographic changes, and the growing demand for patient-centered care. Pharmacists have evolved from traditional dispensers of medicines into integral members of multidisciplinary healthcare teams, assuming expanded responsibilities in medication therapy management, clinical decision-making, pharmacovigilance, chronic disease management, preventive healthcare, public health promotion, precision medicine, and evidence-based pharmaceutical care. These global developments necessitate the continuous modernization of pharmacy education, professional competencies, regulatory frameworks, workforce planning, and healthcare integration. The present study provides an evidence-based analysis of the contemporary redefinition of the global pharmacy profession by examining clinical excellence, pharmaceutical innovation, workforce sustainability, healthcare integration, and future strategic development while identifying the principal challenges and opportunities affecting pharmacists worldwide. The research was designed as a comprehensive quantitative and analytical investigation employing standardized questionnaires, structured interviews, comparative analysis, descriptive statistics, regression modeling, and inferential statistical methods. Data were collected from 3,888 respondents, including chief pharmacists, practicing pharmacists, pharmacy students, healthcare professionals, and patients, thereby enabling a multidimensional evaluation of pharmaceutical practice, educational preparedness, professional satisfaction, career development, healthcare collaboration, and public expectations.

Statistical analyses were conducted using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), with significance established at $p < 0.05$. The findings demonstrate that pharmacists are increasingly recognized as essential healthcare providers whose professional responsibilities extend well beyond medication dispensing. Respondents emphasized the growing importance of pharmaceutical care, medication safety, patient counseling, pharmacotherapy optimization, evidence-based decision-making, interdisciplinary collaboration, and continuous professional development. Professional competency, communication skills, ethical responsibility, and lifelong learning emerged as fundamental attributes required for modern pharmacy practice. Most participants supported mandatory pharmacist certification, continuing professional education, competency-based accreditation, and stronger governmental regulation to ensure high-quality pharmaceutical services and patient safety. Furthermore, the study revealed substantial expectations regarding improvements in pharmacists' professional status, remuneration, workplace conditions, career advancement opportunities, flexible working environments, and institutional recognition within healthcare systems. The results also highlighted persistent challenges, including workforce shortages, insufficient practical training, disparities between academic preparation and labor market requirements, limited professional autonomy, inadequate interprofessional collaboration, and unequal access to continuing education, all of which may compromise healthcare quality and workforce sustainability.

The study further demonstrates that pharmaceutical innovation—including digital health technologies, artificial intelligence, telepharmacy, clinical decision-support systems, personalized medicine, pharmacogenomics, real-world evidence, and integrated pharmaceutical information systems—is reshaping the competencies expected of future pharmacists. Consequently, pharmacy curricula should increasingly emphasize clinical pharmacology, evidence-based medicine, health informatics, research methodology, communication, leadership, quality improvement, and interprofessional education to prepare graduates for rapidly evolving healthcare environments. Strengthening collaboration among universities, healthcare institutions, professional organizations, regulatory authorities, and policymakers will be essential for developing resilient pharmaceutical workforces capable of addressing emerging global health challenges. The redefining the global pharmacy profession requires coordinated international strategies that integrate educational excellence, professional competency, scientific innovation, regulatory modernization, workforce sustainability, digital transformation, and patient-centered healthcare delivery. Establishing competency-based educational standards, expanding postgraduate and lifelong professional development programs, strengthening pharmacist certification and licensure systems, improving workforce policies, and promoting interdisciplinary collaboration will significantly enhance pharmaceutical care quality and healthcare outcomes worldwide. These findings provide valuable evidence for educators, healthcare administrators, policymakers, professional associations, and regulatory authorities seeking to strengthen the pharmacy profession and ensure its continued contribution to safe, effective, equitable, and sustainable healthcare systems in the twenty-first century.

Introduction:

The global healthcare landscape has undergone unprecedented transformation during the past two decades, driven by scientific innovation, demographic transitions, epidemiological shifts, digital health technologies, and increasing demands for high-quality, patient-centered healthcare services. Within this evolving environment, the pharmacy profession has experienced one of the most significant paradigm shifts among healthcare disciplines. Traditionally recognized as experts in the preparation and dispensing of medicines, pharmacists have progressively assumed broader responsibilities encompassing pharmaceutical care, medication therapy management, clinical pharmacotherapy, public health promotion, disease prevention, health education, pharmacovigilance, precision medicine, and interdisciplinary clinical decision-making. Consequently, pharmacists have become indispensable members of modern healthcare systems, contributing directly to improved therapeutic outcomes, medication safety, healthcare efficiency, and patient quality of life.

The contemporary concept of pharmaceutical care extends beyond the technical provision of medicines to include comprehensive patient-centered clinical services that ensure the safe, effective, rational, and economical use of medications.

Pharmaceutical care emphasizes individualized treatment planning, medication review, prevention of medication-related problems, optimization of pharmacotherapy, patient counseling, adherence monitoring, and collaboration with physicians, nurses, and other healthcare professionals. This transformation reflects the global movement toward integrated healthcare systems in which pharmacists actively participate in disease prevention, chronic disease management, vaccination programs, antimicrobial stewardship, medication reconciliation, pharmacoeconomic evaluation, and evidence-based therapeutic decision-making.

The International Pharmaceutical Federation (FIP), the World Health Organization (WHO), and numerous national regulatory authorities have consistently emphasized that pharmacists must possess advanced scientific knowledge, clinical competence, ethical responsibility, communication skills, leadership abilities, and lifelong learning capacities to meet the expanding expectations of contemporary healthcare systems. Pharmacists are increasingly recognized not merely as dispensers of medications but as medication experts capable of optimizing therapeutic regimens, preventing adverse drug reactions, improving medication adherence, identifying drug-related problems, and reducing healthcare expenditures through rational medicine use. These expanded professional responsibilities require corresponding changes in pharmacy education, competency assessment, workforce planning, accreditation systems, and healthcare legislation.

The rapid advancement of pharmaceutical sciences has fundamentally altered both the educational preparation and professional practice of pharmacists. Novel therapeutic agents, biotechnology-derived medicines, gene therapies, biosimilars, personalized medicine, pharmacogenomics, nanomedicine, artificial intelligence, machine learning, electronic prescribing, telepharmacy, digital therapeutics, and clinical decision-support systems have considerably increased the complexity of pharmaceutical practice. Modern pharmacists must therefore integrate sophisticated scientific knowledge with clinical reasoning, technological literacy, evidence appraisal, and patient communication skills while maintaining high ethical standards and professional accountability.

Simultaneously, demographic changes including population aging, increasing prevalence of chronic non-communicable diseases, multimorbidity, and polypharmacy have substantially expanded pharmacists' responsibilities. Older adults frequently receive multiple medications prescribed by different healthcare providers, increasing the risks of adverse drug reactions, medication errors, therapeutic duplication, inappropriate prescribing, and poor treatment adherence. Pharmacists play an increasingly important role in identifying these risks through medication reviews, pharmacotherapy optimization, deprescribing interventions, patient education, and collaborative healthcare management. Consequently, pharmacists have become essential contributors to healthcare quality improvement and patient safety initiatives worldwide.

The COVID-19 pandemic further highlighted the indispensable contribution of pharmacists within healthcare systems. Throughout the pandemic, pharmacists ensured uninterrupted medicine supply chains, participated in vaccination campaigns, educated patients regarding preventive measures, monitored medicine shortages, addressed misinformation, supported antimicrobial stewardship, and maintained pharmaceutical care despite unprecedented healthcare challenges. Community pharmacists frequently served as the first healthcare professionals accessible to patients, reinforcing their critical public health role. These experiences accelerated global recognition of pharmacists as frontline healthcare providers and strengthened calls for broader professional integration into healthcare policy and emergency preparedness planning.

The evolution of pharmacy practice has also been accompanied by substantial reforms in pharmacy education. Contemporary pharmacy curricula increasingly emphasize competency-based education, clinical reasoning, experiential learning, simulation-based training, interprofessional education, evidence-based medicine, pharmaceutical research, healthcare informatics, communication sciences, ethics, leadership, and quality improvement. Educational institutions are expected to prepare graduates who possess not only scientific expertise but also critical thinking abilities, research competencies, adaptability, digital literacy, and leadership capabilities required for rapidly changing healthcare environments. Continuous professional development (CPD) has become an essential component of professional competency maintenance throughout pharmacists' careers.

Despite remarkable advances, the pharmacy profession continues to encounter numerous challenges that threaten workforce sustainability and professional development.

Many countries experience shortages of qualified pharmacists, unequal workforce distribution, increasing occupational stress, burnout, inadequate remuneration, limited career progression opportunities, insufficient recognition by healthcare systems, regulatory inconsistencies, and disparities in educational quality. Furthermore, rapid technological innovation demands continuous updating of professional knowledge and competencies, requiring pharmacists to engage in lifelong education while adapting to evolving healthcare policies and patient expectations.

Healthcare workforce sustainability has therefore emerged as one of the most important priorities in pharmaceutical policy. Sustainable pharmaceutical workforce development requires comprehensive strategies encompassing high-quality education, competency-based certification, effective workforce planning, professional regulation, attractive working environments, equitable compensation, leadership development, mentoring systems, and continuous educational opportunities. Professional satisfaction, organizational support, psychological well-being, flexible employment models, and career advancement opportunities substantially influence pharmacists' retention, productivity, and quality of pharmaceutical care.

Another important dimension of contemporary pharmacy practice is healthcare integration. Effective patient care increasingly depends upon multidisciplinary collaboration among physicians, pharmacists, nurses, dentists, laboratory specialists, and public health professionals. Interprofessional communication facilitates safer prescribing practices, minimizes medication errors, improves chronic disease management, enhances patient adherence, and supports evidence-based therapeutic decision-making. Healthcare systems that successfully integrate pharmacists into multidisciplinary clinical teams consistently demonstrate improved patient outcomes, reduced hospital admissions, lower healthcare expenditures, and greater patient satisfaction.

Evidence-based medicine (EBM) has become the scientific foundation supporting modern pharmaceutical practice. Pharmacists are expected to critically evaluate clinical evidence, interpret systematic reviews and meta-analyses, assess clinical guidelines, apply pharmacoeconomic principles, and incorporate real-world evidence into patient care. Evidence-based pharmaceutical care enables rational prescribing, minimizes unnecessary healthcare interventions, promotes medication safety, and ensures optimal therapeutic effectiveness. Consequently, research literacy and critical appraisal skills have become indispensable competencies for pharmacy professionals across clinical, academic, industrial, and regulatory settings.

Digital transformation continues to reshape pharmacy practice at an unprecedented pace. Electronic health records, artificial intelligence, machine learning algorithms, predictive analytics, telepharmacy, mobile health applications, wearable technologies, blockchain systems, automated dispensing technologies, robotic pharmacies, and precision medicine platforms are transforming pharmaceutical services worldwide. While these innovations improve healthcare accessibility, efficiency, and clinical decision-making, they simultaneously require pharmacists to acquire new technological competencies and adapt to rapidly changing professional roles.

Globalization has also influenced pharmaceutical education, healthcare regulation, medicine distribution, and professional mobility. International harmonization initiatives seek to establish standardized competency frameworks, educational accreditation standards, ethical principles, and quality assurance mechanisms that facilitate cross-border professional collaboration while maintaining patient safety. Organizations such as the International Pharmaceutical Federation continue promoting globally recognized competency standards that support workforce mobility and professional excellence.

Within this rapidly evolving context, redefining the pharmacy profession requires comprehensive scientific evaluation of current professional roles, educational systems, workforce challenges, regulatory frameworks, technological innovations, healthcare integration strategies, and future developmental priorities. Understanding these factors is essential for strengthening pharmaceutical services, improving healthcare quality, supporting workforce sustainability, and advancing patient-centered pharmaceutical care.

The present study, entitled "Scientific Discourse on the Redefinition of the Global Pharmacy Profession: An Evidence-Based Analysis of Clinical Excellence, Pharmaceutical Innovation, Workforce Sustainability, Healthcare Integration, and Future Strategic Development," investigates the evolving role of pharmacists within modern healthcare systems.

Specifically, the study examines professional competencies, pharmaceutical innovation, educational development, workforce sustainability, interdisciplinary collaboration, healthcare integration, regulatory modernization, and strategic directions for future pharmacy practice. By integrating empirical evidence with contemporary scientific literature, this research aims to provide comprehensive recommendations that support policymakers, educators, healthcare administrators, professional organizations, and pharmacists in strengthening the profession and advancing pharmaceutical care worldwide. This work builds upon a broad survey-based investigation of pharmacists, healthcare professionals, pharmacy students, patients, and pharmacy managers described in the accompanying manuscript.

The modern system of pharmaceutical care is to improve and enhance the life quality of patients, which is promoted by highly skilled professionals in pharmacies, whose competence has been growing along the process of professional development. Pharmacists specialists should not only be to be capable to use their knowledge and skills gained at the educational institutions, but also should be ready and motivated for the professional self-development, because without qualified pharmaceutical care there is no qualified health care system. Since the scope of drug treatment, pharmacy is one of the most socially significant areas of the state regulation, the sequence of carrying out the reform measures, accumulation of experience, and also smooth introduction and application of new methods become crucial nowadays. For the development of an organizational and functional model of licensing of pharmaceutical activities, pharmacists work can improve the efficiency of public pharmaceutical administration, which has the great relevance, scientific and practical value.

The main objective of the study was to analyze the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction of pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia. The study was a quantitative investigation and analysis of the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction of pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia by using questionnaires. Were conducted a survey study. The in-depth interview method of the respondents was used in the study. The 7 types of approved questionnaires were used (Respondents were randomly selected): Questionnaire for chief pharmacists: 410 chief pharmacists participated in the study. Questionnaire for patients: 1506 patients (customers of drug-stores) participated in the study. Questionnaire for the employed pharmacy faculty-student: 222 employed pharmacy faculty students participated in the study. Questionnaire for health-care specialists: 307 public health specialists participated in the study. Questionnaire for pharmacist specialists, 810 pharmacist specialists participated in the study. Were used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, mathematical-statistical, graphical analysis. The data were processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p< 0.05$ as significant for all analyses.

In the pharmacy field, an increase of negative trends, such as poor mechanisms of interaction between professional education and the pharmaceutical market, a slow adaptation of graduates to the market reality is being observed. A difference between the increasing demands of the patients' and the level of specialists' knowledge, as well as adaptation to market reality can affect the process of professional development of pharmacists and the quality of pharmaceutical care in general. The mentioned trends, as well as the pharmacists' professionals' increasing role and responsibility in the health care system, make the necessity to analyze the current practical experience and evaluate the theoretical background of the specialists' development, as well as identify new contributing factors for their development as professional pharmacist practitioners.The main objective of the study was to analyze the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction on pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia. The study was a quantitative investigation and analysis of the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction on pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia by using questionnaires. Were conducted a survey study. The in-depth interview method of the respondents was used in the study. The 7 types of approved questionnaires were used (Respondents were randomly selected): Questionnaire for chief pharmacists: 410 chief pharmacists participated in the study.

Questionnaire for patients: 1506 patients (customers of drug-stores) participated in the study. Questionnaire for the employed pharmacy faculty-student: 222 employed pharmacy faculty students participated in the study. Questionnaire for health-care specialists: 307 public health specialists participated in the study. Questionnaire for pharmacist specialist, 810 pharmacist specialists participated in the study. Were used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, mathematical-statistical, graphical analysis. The data were processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p< 0.05$ as significant for all analyses. According to the study results, the respondents' (public health specialists) majority considered that the pharmacists' functions in a pharmacy consisted in realization of drugs and instruments of medical purpose and providing information about drugs to the population. Less than half part of the respondents considered it to be in ultimate care about the patients' health and wellness, the drugs dosage and dispensing. About one third part of the public health specialists considered it to be in creation, development, production and sale of drugs, medical devices, instruments for medical purposes and healthcare products. About one third of the health specialists considered the pharmacists to be experts of drugs; about one third of them – to be inform of customers in cost-effectiveness and cost-benefits of drugs, the rest part of them considered that pharmacists help in selection of analogue of drugs. According to that pharmacist job should become regulated and more authorized in health care system. The respondents' pharmacy faculty students' majority had an intention to work by the obtained specialty after graduating university, and about one third of the students - to continue postgraduate studies. In contemporary situation it is very important for pharmacists to have master and also PhD degree in pharmacy. Post graduated pharmaceutical education is significant for the further vocational enhancement, career and professional advancement, pharmacist professional perfection and the next professional success in pharmacy. To obtain more power and authority, much higher status, independence, self-realization, power, economic welfare, professional growth, career advancement the Government and private pharmaceutical companies should increase the salaries of pharmacists and the system of benefits' scheme for the pharmacist employees. The working conditions of pharmacists should be improved; the labor conditions should become more constructive for the pharmacist, providing more beneficial psychological climate within the collective and the possibility of career growth should be accessible to all pharmacists. The pharmacist's work schedule should become more flexible, and the job duration time per week should be reduced on the more effective for pharmacist's labor design. The flexibility will further improve pharmacists' workability and motivation toward the job, and also contribute to improve pharmacists' satisfaction according to the time duration of a job. The level of basic training of pharmacists should be in compliance with the contemporary requirements. The pharmacist should have deep knowledge in pharmacology, in pharmacotherapy, in toxicology, in pharmaceutical care, in clinical pharmacy, in pharmacokinetics, in pharmacodynamics, in basic of medicine and in other pre-clinical and clinical directions. Such knowledge can be obtained only in the higher pharmaceutical education institutions. Therefore, pharmacist working in pharmacy must have only higher pharmaceutical education.

The literature analysis showed that a study of individual aspects of the pharmacists' professional development is directed to elaborating of the necessary requirements to ensure effective pharmaceutical care, postgraduate education, finding strategies for the better management of pharmacist personnel, pharmacists' job satisfaction and issues of their psycho-social adaptation to the emerging market conditions. However, weighable studies aimed at understanding the perspectives of the pharmacist in the career aspect and the ways to provide high-quality pharmaceutical care have not been carried out yet.An integral part of the state system of measures to implement the rights of citizens for protecting their health, via using the quality pharmaceutical care services. The provision of pharmaceutical care maintenance is significantly dependent on the pharmacist personnel qualifications. In this concern, the professional qualification of drug experts is under the state control and is one of the state regulations objects in regard to the drug-medicine relationship aiming to maintain the competence of expert specialists throughout their careers with the varying requirements for professional quality.

In developed countries and in many developing countries in the pharmacy field there are also state regulations like as in family medicine.

A pharmacist, as a family doctor, should have the higher, post-graduate and consistent education in pharmacy, and also needs to hold the pharmacist license and periodic accreditation by the board of pharmacy (BOP). In the western countries, pharmacists are the specialists with the higher pharmaceutical education who have graduated from the state-recognized and accredited colleges and universities, and only such qualification specialists are allowed to work in the pharmacy. A pharmacy opening permission is issued only the pharmacists who holding higher pharmaceutical education with the pharmacist diploma.

The transformation of pharmacy practice has also been strongly influenced by the growing emphasis on value-based healthcare, where healthcare quality is measured not only by clinical outcomes but also by patient satisfaction, cost-effectiveness, accessibility, and long-term sustainability. Within this framework, pharmacists contribute substantially to optimizing therapeutic outcomes while simultaneously reducing healthcare expenditures through evidence-based medication management, prevention of adverse drug events, promotion of medication adherence, and implementation of pharmaceutical care interventions. Numerous international studies have demonstrated that pharmacist-led interventions significantly reduce hospital admissions, medication errors, emergency department visits, and unnecessary healthcare costs while improving disease control and patients' quality of life.

Medication safety has become one of the most critical priorities in modern healthcare systems. According to the World Health Organization, medication-related harm represents a substantial burden for healthcare systems worldwide, leading to preventable morbidity, mortality, prolonged hospitalization, and increased healthcare expenditure. Pharmacists play a central role in minimizing these risks by identifying potential drug interactions, contraindications, therapeutic duplications, inappropriate prescribing, adverse drug reactions, and medication adherence problems. Their participation in multidisciplinary healthcare teams has consistently been associated with safer prescribing practices, improved pharmacotherapy outcomes, and enhanced patient safety cultures.

The increasing prevalence of antimicrobial resistance (AMR) further underscores the strategic importance of pharmacists within healthcare systems. Irrational antibiotic prescribing, inappropriate self-medication, and poor antimicrobial stewardship have accelerated the emergence of resistant microorganisms, threatening the effectiveness of modern medicine. Pharmacists contribute significantly to antimicrobial stewardship programs by promoting rational antimicrobial use, educating patients regarding appropriate antibiotic therapy, monitoring antimicrobial consumption, supporting physicians in therapeutic decision-making, and participating in surveillance programs. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, and infectious disease pharmacotherapy positions pharmacists as indispensable professionals in combating global antimicrobial resistance.

Another defining characteristic of contemporary pharmacy practice is the integration of pharmacogenomics and personalized medicine into routine healthcare. Advances in molecular biology, genetics, genomics, and biotechnology have created unprecedented opportunities for individualized therapeutic strategies based on patients' genetic profiles. Pharmacists increasingly participate in interpreting pharmacogenomic test results, recommending individualized medication regimens, predicting adverse drug reactions, optimizing dosage selection, and supporting clinicians in precision medicine initiatives. Consequently, pharmacy education must incorporate genomic sciences, bioinformatics, molecular pharmacology, and precision therapeutics into undergraduate and postgraduate curricula.

Artificial intelligence (AI) and digital healthcare technologies are likewise revolutionizing pharmaceutical practice. AI-assisted clinical decision-support systems, predictive analytics, electronic prescribing, automated dispensing systems, machine learning algorithms, natural language processing, robotic pharmacy systems, blockchain technologies, wearable health devices, and telehealth platforms are transforming medication management processes across healthcare settings. These technological innovations improve workflow efficiency, reduce medication errors, enhance pharmaceutical documentation, facilitate clinical decision-making, and expand access to healthcare services, particularly in rural and underserved communities. However, they also require pharmacists to acquire new digital competencies while maintaining ethical responsibility, patient confidentiality, cybersecurity awareness, and professional accountability.

Telepharmacy has emerged as another innovative pharmaceutical service with considerable global relevance.

The rapid expansion of telemedicine during recent years has enabled pharmacists to provide remote pharmaceutical consultations, medication reviews, patient counseling, chronic disease monitoring, and medication adherence support through digital communication platforms. Telepharmacy improves healthcare accessibility for geographically isolated populations, elderly patients, individuals with disabilities, and communities experiencing shortages of healthcare professionals. Consequently, healthcare systems increasingly recognize telepharmacy as an effective strategy for improving healthcare equity and expanding pharmaceutical services beyond traditional community pharmacy settings.

The pharmaceutical industry has simultaneously experienced remarkable scientific advancement characterized by accelerated drug discovery, biotechnology innovations, biosimilars, advanced drug delivery systems, regenerative medicine, cell and gene therapies, nanopharmaceuticals, and artificial intelligence-assisted pharmaceutical research. Pharmacists working within industrial, regulatory, and research environments contribute to pharmaceutical development, clinical trials, quality assurance, regulatory compliance, pharmacovigilance, and post-marketing surveillance. Therefore, the pharmacy profession encompasses an increasingly diverse range of career pathways extending well beyond conventional community and hospital pharmacy practice.

Professional leadership has become another fundamental determinant of pharmacy workforce development. Effective pharmacy leaders facilitate organizational change, quality improvement, healthcare innovation, interprofessional collaboration, policy implementation, and workforce motivation. Leadership competencies—including strategic planning, healthcare management, communication, negotiation, conflict resolution, ethical decision-making, and change management—are increasingly incorporated into pharmacy education to prepare graduates for managerial and administrative responsibilities within healthcare organizations.

Research competency also represents an essential pillar of professional pharmacy practice. Modern pharmacists are expected not only to utilize scientific evidence but also to generate new knowledge through clinical research, pharmaceutical outcomes research, epidemiological investigations, health services research, pharmacoeconomic analyses, implementation science, and quality improvement initiatives. Research participation enhances professional development while contributing to evidence-informed healthcare policy, clinical guideline development, and pharmaceutical innovation. Accordingly, universities should strengthen research methodology education, biostatistics, scientific writing, and critical appraisal skills throughout pharmacy curricula.

The globalization of healthcare has further emphasized the necessity for internationally harmonized pharmacy education standards. Accreditation agencies, regulatory authorities, professional organizations, and higher education institutions increasingly collaborate to establish competency-based educational frameworks that facilitate international workforce mobility while ensuring consistent standards of pharmaceutical care. Standardized educational outcomes enable pharmacists to respond effectively to global public health emergencies, humanitarian crises, emerging infectious diseases, and cross-border healthcare challenges.Ethical professionalism remains fundamental to the evolving identity of pharmacists. Modern pharmaceutical practice requires adherence to principles of patient autonomy, confidentiality, informed consent, beneficence, non-maleficence, professional integrity, accountability, equity, and social responsibility. Pharmacists routinely encounter complex ethical dilemmas involving medication accessibility, healthcare resource allocation, end-of-life care, compassionate medicine use, conflicts of interest, and patient confidentiality. Consequently, ethics education has become an indispensable component of pharmacy curricula and continuing professional development.Another major challenge confronting the pharmacy profession is workforce resilience. The growing complexity of healthcare delivery, increasing administrative responsibilities, workforce shortages, occupational stress, emotional exhaustion, and burnout have adversely affected pharmacists' professional well-being in many countries. Workforce resilience depends upon supportive organizational cultures, appropriate staffing levels, continuing professional development, effective leadership, mental health support, flexible employment policies, competitive remuneration, and opportunities for professional advancement. Sustainable workforce policies are therefore essential for maintaining healthcare quality and ensuring the long-term viability of pharmaceutical services.

The future development of the pharmacy profession will depend upon the successful integration of scientific innovation, educational modernization, digital transformation, healthcare policy reform, workforce sustainability, and patient-centered pharmaceutical care. Governments, universities, healthcare institutions, regulatory authorities, and professional organizations must collaborate to establish evidence-based policies that strengthen pharmacists' competencies, expand clinical responsibilities, promote lifelong professional learning, and improve access to high-quality pharmaceutical services. Investments in education, research, workforce development, technological infrastructure, and regulatory modernization will enable pharmacists to continue serving as essential contributors to healthcare systems worldwide.

BACKGROUND

The pharmacy profession has experienced one of the most remarkable transformations in the history of healthcare, evolving from a medicine-oriented discipline into a patient-centered clinical profession that contributes directly to disease prevention, medication safety, therapeutic optimization, and public health. Historically, pharmacists were primarily responsible for the preparation, compounding, dispensing, and distribution of medicines. However, scientific progress, advances in pharmaceutical research, increasing healthcare complexity, demographic transitions, and technological innovation have fundamentally expanded pharmacists' professional responsibilities. Today, pharmacists are recognized internationally as essential healthcare providers who participate actively in medication therapy management, pharmaceutical care, chronic disease management, pharmacovigilance, evidence-based medicine, precision medicine, antimicrobial stewardship, vaccination programs, and multidisciplinary healthcare delivery.

The growing prevalence of chronic diseases, multimorbidity, polypharmacy, antimicrobial resistance, and aging populations has significantly increased the demand for pharmacists' clinical expertise. Medication-related problems remain a major cause of preventable morbidity, mortality, and healthcare expenditure worldwide, highlighting the importance of pharmacists in ensuring the safe, effective, and rational use of medicines. Through medication review, patient counseling, adverse drug reaction monitoring, medication reconciliation, and collaborative clinical decision-making, pharmacists contribute substantially to improving therapeutic outcomes and reducing medication-related harm.

Simultaneously, rapid advances in pharmaceutical sciences—including biotechnology, pharmacogenomics, nanomedicine, artificial intelligence, digital health technologies, telepharmacy, electronic prescribing, and clinical decision-support systems—have transformed contemporary pharmacy practice. These innovations require pharmacists to continuously update their scientific knowledge, digital competencies, clinical skills, and research capabilities while adapting to evolving healthcare systems and patient expectations. Consequently, pharmacy education has increasingly shifted toward competency-based curricula emphasizing clinical pharmacology, evidence-based medicine, healthcare informatics, leadership, communication, ethics, research methodology, and interprofessional collaboration.

International organizations, including the World Health Organization (WHO) and the International Pharmaceutical Federation (FIP), have consistently emphasized the importance of strengthening pharmaceutical workforce capacity, expanding pharmacists' clinical roles, modernizing pharmacy education, and integrating pharmaceutical services into primary healthcare. Sustainable pharmacy workforce development requires comprehensive strategies addressing education, professional regulation, continuing professional development, workforce planning, digital transformation, healthcare policy, and quality assurance.

Despite substantial progress, the pharmacy profession continues to face numerous global challenges, including workforce shortages, unequal access to pharmaceutical services, insufficient professional recognition, educational disparities, regulatory inconsistencies, rapid technological change, and increasing healthcare demands. These challenges underscore the necessity for evidence-based reforms that strengthen pharmacists' competencies, promote innovation, improve healthcare integration, and ensure workforce sustainability.

Against this background, the present study explores the contemporary redefinition of the global pharmacy profession by examining clinical excellence, pharmaceutical innovation, workforce sustainability, healthcare integration, and future strategic development.

By synthesizing current scientific evidence and empirical findings, the study provides a comprehensive understanding of the evolving role of pharmacists and offers evidence-based recommendations for strengthening pharmaceutical practice, improving healthcare quality, and advancing patient-centered pharmaceutical care worldwide.

Over the past two decades, healthcare systems worldwide have increasingly recognized that optimal medication management requires comprehensive collaboration among healthcare professionals. As medicines have become more complex and therapeutic options have expanded, pharmacists have assumed greater responsibility for ensuring medication safety, improving therapeutic effectiveness, minimizing adverse drug reactions, preventing medication errors, and promoting rational medicine use. This transition reflects the broader movement toward integrated, patient-centered healthcare, where pharmacists serve as essential clinical partners rather than solely providers of pharmaceutical products.

The concept of pharmaceutical care, first introduced as a patient-oriented model of pharmacy practice, has become the cornerstone of contemporary pharmaceutical services. Pharmaceutical care emphasizes individualized medication management, therapeutic monitoring, patient education, medication adherence, and continuous evaluation of treatment outcomes. Numerous international studies have demonstrated that pharmacist-led interventions significantly reduce medication-related hospital admissions, improve chronic disease control, enhance patient satisfaction, and decrease healthcare expenditures. Consequently, healthcare policymakers increasingly advocate expanding pharmacists' clinical responsibilities within hospitals, community pharmacies, ambulatory care settings, and primary healthcare systems.

The COVID-19 pandemic further accelerated the evolution of pharmacy practice and highlighted the indispensable role of pharmacists during global public health emergencies. Pharmacists maintained uninterrupted access to essential medicines, supported vaccine distribution and administration, managed medicine shortages, educated the public regarding infection prevention, participated in pharmacovigilance activities, and ensured continuity of pharmaceutical care despite unprecedented healthcare challenges. These experiences reinforced international recognition of pharmacists as frontline healthcare professionals capable of responding effectively to both routine healthcare needs and public health crises.

In parallel with expanding clinical responsibilities, pharmacy education has undergone significant transformation. Contemporary educational programs increasingly emphasize competency-based learning, experiential education, simulation training, evidence-based medicine, pharmaceutical research, clinical communication, leadership development, healthcare informatics, and interprofessional collaboration. Universities are expected to prepare graduates who possess not only comprehensive scientific knowledge but also critical thinking, problem-solving, research competency, digital literacy, ethical professionalism, and adaptability to rapidly changing healthcare environments. Continuous professional development has therefore become an essential component of maintaining professional competence throughout pharmacists' careers.

Technological innovation represents another major driving force behind the transformation of pharmacy practice. Artificial intelligence, machine learning, telepharmacy, electronic health records, automated dispensing systems, blockchain technology, wearable health devices, pharmacogenomics, and precision medicine are fundamentally changing the delivery of pharmaceutical services. These innovations improve medication safety, optimize therapeutic decision-making, facilitate remote patient monitoring, enhance healthcare accessibility, and support personalized pharmacotherapy. Nevertheless, successful implementation of these technologies requires pharmacists to develop advanced digital competencies while maintaining professional judgment, ethical standards, patient confidentiality, and effective communication.

Healthcare workforce sustainability has emerged as a critical global concern. Increasing healthcare demands, population aging, workforce shortages, occupational stress, professional burnout, and migration of healthcare professionals create substantial challenges for pharmaceutical services worldwide. Sustainable workforce development requires strategic investment in pharmacy education, continuing professional development, leadership training, career advancement opportunities, equitable remuneration, supportive workplace environments, and effective workforce planning.

Strengthening these areas is essential to maintaining high-quality pharmaceutical care and ensuring long-term healthcare resilience.

Another important aspect of contemporary pharmacy practice is its contribution to public health and preventive medicine. Pharmacists increasingly participate in vaccination campaigns, smoking cessation services, antimicrobial stewardship, chronic disease screening, travel medicine, health promotion, medication adherence programs, and health literacy initiatives. Because community pharmacists are among the most accessible healthcare professionals, they are uniquely positioned to provide preventive healthcare services, particularly for underserved populations and individuals with limited access to other healthcare providers.

Despite substantial progress, important barriers continue to impede the full integration of pharmacists into healthcare systems. Variations in national legislation, inconsistent educational standards, limited professional autonomy, and insufficient recognition of pharmacists' clinical competencies, financial constraints, and disparities in healthcare infrastructure continue to restrict the expansion of pharmaceutical care in many countries. Addressing these barriers requires coordinated action by governments, universities, professional organizations, regulatory authorities, and healthcare institutions to develop evidence-based policies that strengthen pharmacy practice while promoting equitable access to high-quality pharmaceutical services.

The future of the pharmacy profession will largely depend upon its ability to respond proactively to scientific innovation, technological advancement, demographic change, evolving healthcare needs, and global public health priorities. Expanding pharmacists' clinical roles, modernizing educational systems, strengthening professional regulation, promoting interdisciplinary collaboration, supporting scientific research, and embracing digital transformation will collectively determine the profession's capacity to contribute to sustainable healthcare systems.

Against this evolving international background, the present study provides a comprehensive evidence-based evaluation of the contemporary pharmacy profession by examining pharmacists' clinical roles, professional competencies, pharmaceutical innovation, workforce sustainability, healthcare integration, educational modernization, and strategic future directions. The findings are intended to inform policymakers, educators, healthcare administrators, regulatory agencies, and professional organizations seeking to strengthen pharmaceutical services and enhance the contribution of pharmacists to safe, effective, equitable, and patient-centered healthcare worldwide.

The advancement of healthcare systems has also been accompanied by increasing expectations regarding healthcare quality, patient safety, accessibility, affordability, and sustainability. Within this context, pharmacists have emerged as indispensable contributors to healthcare quality improvement by ensuring appropriate medication use, optimizing pharmacotherapy, preventing medication-related complications, and supporting evidence-based clinical practice. Their specialized knowledge of pharmacology, therapeutics, pharmacokinetics, pharmacodynamics, toxicology, and medication management enables pharmacists to bridge the gap between medical diagnosis and successful therapeutic outcomes. Consequently, pharmacists have become key participants in achieving the objectives of universal health coverage and sustainable healthcare development.

The transition toward value-based healthcare has further strengthened pharmacists' professional significance. Unlike traditional healthcare models that primarily focused on service volume, value-based healthcare emphasizes measurable improvements in patient outcomes, healthcare quality, cost-effectiveness, and patient satisfaction. Pharmacists contribute directly to these objectives by reducing medication errors, improving treatment adherence, minimizing unnecessary medicine utilization, optimizing therapeutic regimens, and preventing avoidable hospital admissions. These contributions not only improve individual patient outcomes but also enhance healthcare system efficiency and economic sustainability.

Another important factor influencing the evolution of pharmacy practice is the increasing burden of non-communicable diseases (NCDs). Cardiovascular diseases, diabetes mellitus, chronic respiratory diseases, cancer, chronic kidney disease, neurological disorders, and mental health conditions account for the majority of global morbidity and mortality. Effective management of these chronic conditions requires continuous pharmacotherapeutic monitoring, medication optimization, patient education, adherence support, and multidisciplinary collaboration.

Pharmacists play a fundamental role throughout this continuum of care by ensuring safe medication use, monitoring treatment effectiveness, identifying adverse drug reactions, and educating patients regarding long-term disease management.

Population aging has similarly increased the complexity of pharmaceutical care. Older adults frequently experience multiple chronic diseases requiring polypharmacy, thereby increasing the likelihood of drug-drug interactions, inappropriate prescribing, adverse drug events, and medication non-adherence. Comprehensive medication review, deprescribing initiatives, medication reconciliation, and individualized pharmaceutical care have therefore become essential services delivered by pharmacists. These interventions significantly reduce medication-related risks while improving therapeutic effectiveness and quality of life among older populations.

The increasing prevalence of antimicrobial resistance (AMR) has become another major global healthcare challenge requiring active pharmacist involvement. Irrational antimicrobial prescribing, inappropriate self-medication, poor adherence to treatment regimens, and excessive antibiotic consumption contribute substantially to the emergence of resistant microorganisms. Pharmacists play a critical role in antimicrobial stewardship by promoting rational antibiotic use, educating patients, monitoring antimicrobial utilization, participating in surveillance programs, and collaborating with physicians to optimize antimicrobial therapy. Strengthening pharmacists' participation in national antimicrobial stewardship programs represents an important strategy for addressing this growing global health threat.

Digital transformation continues to redefine healthcare delivery across all professional disciplines. Electronic prescribing, clinical decision-support systems, artificial intelligence, machine learning, telepharmacy, robotic dispensing technologies, wearable medical devices, blockchain applications, cloud computing, and big data analytics are becoming increasingly integrated into pharmaceutical practice. These innovations enhance medication safety, facilitate clinical decision-making, improve healthcare accessibility, and optimize pharmaceutical workflows. However, digital transformation also introduces new ethical, legal, educational, and regulatory challenges that require pharmacists to develop advanced competencies in digital health, data governance, cybersecurity, and responsible technology implementation.

Precision medicine has emerged as one of the most promising developments in contemporary healthcare. Pharmacogenomics, biomarker-guided therapy, molecular diagnostics, and individualized pharmacotherapy enable healthcare professionals to tailor treatment according to each patient's genetic characteristics, thereby improving therapeutic efficacy while reducing adverse drug reactions. Pharmacists possess unique expertise in pharmacogenetics and medication optimization, positioning them as essential members of precision medicine teams. Consequently, pharmacy education should increasingly integrate genomic medicine, molecular pharmacology, bioinformatics, and personalized therapeutics into undergraduate and postgraduate training.

Scientific research and innovation remain central to the advancement of pharmaceutical sciences. Pharmacists contribute to basic pharmaceutical research, clinical trials, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, implementation science, health technology assessment, pharmacoeconomics, and real-world evidence generation. Their research activities support medicine development, healthcare policy formulation, quality improvement initiatives, and evidence-based clinical guidelines. Promoting research capacity within pharmacy education and professional practice is therefore essential for advancing pharmaceutical knowledge and improving healthcare delivery.International collaboration has become increasingly important in addressing global pharmaceutical challenges. Organizations such as the World Health Organization (WHO), the International Pharmaceutical Federation (FIP), and numerous regional professional associations promote harmonization of educational standards, competency frameworks, professional ethics, accreditation systems, workforce development, and pharmaceutical regulation. These collaborative initiatives facilitate professional mobility, encourage scientific exchange, strengthen educational quality, and promote the adoption of international best practices within pharmacy practice.The economic contribution of pharmacists should also be recognized within modern healthcare systems. Numerous health economic studies have demonstrated that pharmacist-led interventions generate significant cost savings by preventing medication errors, reducing adverse drug events, minimizing hospital readmissions, improving medication adherence, optimizing prescribing practices, and reducing unnecessary healthcare utilization.

Consequently, investment in pharmaceutical services should be viewed not only as a professional necessity but also as a cost-effective strategy for improving healthcare system performance and long-term sustainability.

Furthermore, societal expectations regarding healthcare professionals continue to evolve. Patients increasingly seek individualized pharmaceutical counseling, shared decision-making, culturally competent communication, and personalized healthcare services. Pharmacists must therefore develop advanced interpersonal skills alongside scientific expertise to build therapeutic relationships based on trust, empathy, professionalism, and ethical responsibility. These competencies are particularly important in multicultural healthcare environments characterized by diverse patient populations and increasingly complex healthcare needs.

Considering these global developments, the pharmacy profession stands at a pivotal stage of scientific, technological, educational, and professional evolution. Future progress will depend upon coordinated international efforts to modernize pharmacy education, strengthen evidence-based practice, promote scientific innovation, improve workforce sustainability, enhance interdisciplinary collaboration, expand clinical responsibilities, and integrate pharmacists more effectively into healthcare policy and service delivery. This evolving background provides the scientific rationale for the present study, which seeks to examine the contemporary transformation of the global pharmacy profession and identify strategic directions for its sustainable development within twenty-first-century healthcare systems.

GOAL

The primary goal of this study was to conduct a comprehensive, evidence-based evaluation of the evolving global pharmacy profession by examining the expanding clinical responsibilities of pharmacists, contemporary pharmaceutical innovations, workforce sustainability, healthcare integration, and strategic directions for future professional development. The study sought to analyze how pharmacists' roles have transitioned from traditional medication dispensing toward patient-centered pharmaceutical care, evidence-based clinical practice, interdisciplinary collaboration, and public health leadership within modern healthcare systems.

Specifically, the research aimed to assess the current status of pharmacists' professional competencies, educational preparedness, clinical excellence, career development, regulatory frameworks, professional satisfaction, and workforce challenges while identifying the major factors influencing the quality, accessibility, effectiveness, and sustainability of pharmaceutical services. Furthermore, the study intended to investigate the impact of technological innovation—including digital health, telepharmacy, artificial intelligence, pharmacogenomics, and precision medicine—on contemporary pharmacy practice and the competencies required for future pharmaceutical professionals.

In addition, the study aimed to evaluate the perceptions of pharmacists, pharmacy managers, healthcare professionals, pharmacy students, and patients regarding pharmacists' professional roles, responsibilities, certification, continuing professional development, interprofessional collaboration, and healthcare integration. Finally, the research sought to develop evidence-based recommendations that support educational modernization, regulatory improvement, workforce sustainability, professional excellence, and policy development, thereby strengthening the contribution of pharmacists to safe, effective, patient-centered, and sustainable healthcare systems worldwide. This objective aligns with the broader investigation of pharmacists' professional roles, challenges, innovation, and workforce development presented in the accompanying study.

MATERIAL AND METHODS:

Research objectives are materials of sociological research: the study was quantitative investigation by using survey (Questionnaire). Research objectives are materials of sociological research: the study was quantitative investigation by using survey (Questionnaire). The in-depth interview method of the respondents was used in the study. The 7 types of approved questionnaires were used (Respondents were randomly selected): Questionnaire for chief pharmacists: 410 chief pharmacists participated in the study. Questionnaire for patients: 1506 patients (customers of drug-stores) participated in the study. Questionnaire for the employed pharmacy faculty-student: 222 employed pharmacy faculty students participated in the study. Questionnaire for health-care specialists: 307 public health specialists participated in the study.

Questionnaire for pharmacist specialist, 810 pharmacist specialists participated in the study. Totally 3888 respondents were interviewed in Georgia. We used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, segmentation, mathematical-statistical, graphical analysis. The data was processed and analyzed with the SPSS program. Results and discussion: The survey was conducted through the questionnaires.1506 patients were interviewed in Georgia. Questions and answers are given in the tables. On each question are attached diagrams or table. Questionnaire and diagrams are numbered. The data was processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. Study of The data was processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p < 0.05$ as significant for all analyses. The study's ethical items. In order to provide the study's ethical character each participant of it was informed about the study's goal and suggested of willingness of the work to be done. So, the respondents' written or oral compliance was got on that issue. All the studies were carried out by the selected organizations administrations' previous compliance. Were used Informed consent form for each respondent to participate in an anonymous survey. During the whole period of research, the participants' incognita was also provided. For the international rules' and criteria' conformity this human subject comprising given study was discussed and confirmed on the Bioethics Committee sessions of the YSMU. In order to meet the objectives, set in the research we also used the results obtained through analysis of available official information, studies and opinions about pharmacists, as well as the methods of quantitative studies. The research implementation required the following sub studies: the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction on pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia.

RESULTS AND DISCUSSION

On the basis of performed study results the following have been found:

The findings of this investigation demonstrate that the global pharmacy profession is experiencing a profound transformation characterized by expanding clinical responsibilities, increasing integration into multidisciplinary healthcare systems, rapid technological advancement, and growing recognition of pharmacists as essential providers of patient-centered healthcare. The survey findings indicate that pharmacists are no longer perceived solely as dispensers of medicines but increasingly as clinical professionals responsible for optimizing pharmacotherapy, promoting medication safety, preventing drug-related problems, supporting evidence-based prescribing, improving medication adherence, participating in disease prevention programs, and contributing to public health initiatives. These developments reflect the international transition from product-oriented pharmaceutical services toward comprehensive pharmaceutical care models that prioritize patient outcomes and healthcare quality.

The study further revealed that respondents strongly associated pharmacists with providing medication information, ensuring the rational use of medicines, supporting patient counseling, and promoting healthcare quality. Although many participants continued to recognize medicine dispensing as an important professional responsibility, there was substantial acknowledgment that pharmacists should also participate in medication therapy management, pharmacovigilance, therapeutic monitoring, healthcare education, and interdisciplinary clinical collaboration. These observations are consistent with contemporary international healthcare policies advocating expanded pharmacist involvement in direct patient care and integrated healthcare delivery. The increasing complexity of pharmacotherapy, particularly among patients with chronic diseases and polypharmacy, further reinforces the necessity for pharmacists to possess advanced clinical competencies capable of preventing medication errors and optimizing therapeutic effectiveness.

One of the most important findings concerns professional competency, which respondents consistently identified as the defining characteristic of an effective pharmacist. Communication skills, professional ethics, patience, empathy, scientific knowledge, and clinical reasoning were also considered essential professional attributes. These findings indicate that contemporary pharmaceutical practice requires a balanced integration of scientific expertise and interpersonal competencies.

Effective communication between pharmacists and patients improves medication adherence, enhances therapeutic understanding, strengthens shared decision-making, and contributes to safer pharmaceutical care. Likewise, communication among healthcare professionals facilitates coordinated treatment strategies and minimizes preventable medication-related harm.

The investigation demonstrated widespread support for mandatory pharmacist certification, accreditation, and continuous professional development. More than four-fifths of respondents agreed that governmental certification should become mandatory for pharmacists, emphasizing society's expectation that pharmaceutical professionals maintain standardized competencies throughout their careers. This finding highlights the growing importance of competency-based professional regulation, continuous education, and lifelong learning within pharmacy practice. Certification programs provide mechanisms for ensuring professional accountability, maintaining clinical competency, encouraging evidence-based practice, and strengthening public confidence in pharmaceutical services.

Educational preparation emerged as another major determinant of professional excellence. Pharmacy students overwhelmingly expressed intentions to continue working within their profession following graduation, while many also demonstrated interest in postgraduate education leading to masters and doctoral qualifications. These findings suggest increasing recognition that higher academic qualifications contribute to professional advancement, research productivity, leadership opportunities, and expanded clinical responsibilities. Modern pharmacy education therefore should extend beyond traditional pharmaceutical sciences by incorporating clinical pharmacology, evidence-based medicine, pharmacoeconomics, pharmacogenomics, digital health technologies, healthcare informatics, leadership, communication sciences, and interprofessional education.

The survey also identified important gaps between university education and practical workforce requirements. Pharmacy managers frequently reported that newly employed pharmacists encountered difficulties related to practical skills, workplace adaptation, and communication with colleagues, organizational culture, and application of theoretical knowledge within real clinical settings. These observations indicate that pharmacy curricula should incorporate substantially greater experiential learning, simulation-based education, clinical placements, mentorship programs, and competency-based assessment strategies. Strengthening partnerships between universities, hospitals, community pharmacies, regulatory authorities, and professional organizations may facilitate smoother transition from academic preparation to professional practice.

Professional satisfaction constituted another important component of workforce sustainability. Respondents identified qualification-work correspondence, career advancement opportunities, professional development, workplace relationships, organizational support, and psychological working environments among the strongest determinants of job satisfaction. Conversely, salary, employment benefits, workload, and rigid working schedules were identified as major sources of dissatisfaction. These findings suggest that sustainable pharmaceutical workforce policies should address both economic and organizational determinants of professional well-being. Healthcare systems seeking to improve pharmaceutical service quality must therefore invest not only in education but also in attractive employment conditions, leadership development, supportive organizational cultures, and opportunities for lifelong professional advancement.

The importance of continuous professional development was repeatedly emphasized throughout the investigation. Respondents acknowledged that contemporary pharmaceutical knowledge evolves rapidly because of continuous scientific discoveries, novel therapeutic agents, biotechnology innovations, personalized medicine, pharmacogenomics, digital health applications, and changing clinical guidelines. Consequently, pharmacists cannot rely solely upon knowledge obtained during undergraduate education but must participate regularly in continuing education programs, scientific conferences, workshops, certification courses, research activities, and professional training. Lifelong learning has therefore become indispensable for maintaining clinical competence and ensuring evidence-based pharmaceutical practice.

The study further highlights the growing influence of digital transformation on pharmaceutical practice. Artificial intelligence, electronic prescribing, clinical decision-support systems, telepharmacy, robotic dispensing, wearable technologies, and electronic health records are fundamentally changing pharmacists' daily responsibilities.

Digital technologies improve medication safety, optimize pharmaceutical workflows, enhance clinical decision-making, facilitate patient monitoring, and increase healthcare accessibility. Nevertheless, these innovations simultaneously require pharmacists to develop advanced digital competencies while maintaining ethical responsibility, patient confidentiality, cybersecurity awareness, and professional accountability.

Interprofessional collaboration emerged as another major theme. Effective cooperation among pharmacists, physicians, nurses, dentists, and other healthcare professionals enhances medication safety, reduces therapeutic duplication, minimizes adverse drug reactions, and improves chronic disease management. The respondents recognized pharmacists as valuable contributors to multidisciplinary healthcare teams, particularly regarding pharmacotherapy optimization, medication counseling, drug information services, and adverse drug reaction monitoring. Strengthening collaborative practice agreements and promoting interprofessional education may therefore improve healthcare quality while maximizing pharmacists' contributions to patient care.

Patients' responses further reinforce the strategic importance of pharmacists within healthcare delivery. Most patients reported visiting pharmacies primarily to obtain medications; however, substantial proportions also sought professional advice regarding medication administration, adverse effects, dosage, storage conditions, drug interactions, and selection of therapeutic alternatives. These findings indicate that patients increasingly expect pharmacists to provide comprehensive clinical consultation rather than merely dispensing medications. Expanding patient counseling services therefore represents an important opportunity for improving medication adherence, therapeutic effectiveness, patient satisfaction, and healthcare outcomes.

The investigation additionally demonstrated that professional recognition and social status remain significant concerns for pharmacists. Many respondents emphasized the need for stronger governmental support, improved professional authority, enhanced public recognition, and greater integration into national healthcare systems. Professional identity influences motivation, career satisfaction, workforce retention, and recruitment of talented students into pharmacy education. Governments and professional organizations should therefore strengthen policies recognizing pharmacists as essential healthcare providers whose expertise contributes directly to patient safety and healthcare sustainability.

Gender-related analyses revealed statistically significant differences in several aspects of professional satisfaction, including overall job satisfaction, income satisfaction, and working time satisfaction. Male pharmacists generally reported lower satisfaction compared with female pharmacists in several domains. Although these findings require further investigation within different healthcare systems, they suggest that workforce policies should consider demographic and organizational determinants influencing professional well-being. Inclusive workplace environments, equitable career opportunities, flexible employment arrangements, and transparent remuneration systems may contribute to greater workforce stability and improved professional satisfaction.

The findings also underscore the importance of pharmacist workforce sustainability. Sustainable pharmaceutical services require adequate workforce planning, continuing education, competency assessment, attractive employment conditions, effective leadership, psychological well-being, professional recognition, and supportive healthcare policies. Workforce shortages, excessive workloads, insufficient remuneration, limited career opportunities, and inadequate educational preparation collectively threaten healthcare quality. Consequently, national workforce strategies should prioritize recruitment, retention, professional development, and evidence-based workforce planning to ensure long-term sustainability of pharmaceutical services.

From a strategic perspective, the present findings demonstrate that future pharmacy practice will increasingly emphasize clinical excellence, evidence-based medicine, pharmaceutical innovation, digital transformation, personalized healthcare, and integrated healthcare delivery. Pharmacists are expected to become active participants in chronic disease management, vaccination programs, precision medicine, pharmacogenomic consultation, antimicrobial stewardship, public health initiatives, pharmacovigilance, health technology assessment, and healthcare policy implementation. Universities should therefore redesign pharmacy curricula to prepare graduates possessing scientific expertise, clinical competence, digital literacy, leadership capabilities, research proficiency, communication skills, ethical professionalism, and interdisciplinary collaboration competencies.

The study provides compelling evidence that redefining the global pharmacy profession requires coordinated reforms across education, regulation, workforce development, healthcare integration, technological innovation, and public policy. Strengthening competency-based education, expanding

continuing professional development, implementing standardized certification systems, improving employment conditions, supporting scientific research, and integrating pharmacists more fully into multidisciplinary healthcare teams will collectively improve pharmaceutical care quality, patient safety, healthcare efficiency, and population health outcomes. These findings establish a strong evidence base for policymakers, educators, professional organizations, and healthcare institutions seeking to modernize pharmacy practice and ensure the sustainable development of the profession in the era of precision medicine, digital health, and patient-centered care.

The respondents' (public health specialists) majority considered that the pharmacists' functions in a pharmacy consisted in realization of drugs and instruments of medical purpose and providing information about drugs to the population. Less than half part of the respondents considered it to be in ultimate care about the patients' health and wellness, the drugs dosage and dispensing. About one third part of the public health specialists considered it to be in creation, development, production and sale of drugs, medical devices, instruments for medical purposes and healthcare products. About one third of the health specialists considered the pharmacists to be experts of drugs; about one third of them – to be inform of customers in cost-effectiveness and cost-benefits of drugs, the rest part of them considered that pharmacists help in selection of analogue of drugs (See tabl.1). According to that pharmacist job should become regulated and more authorized in health care system.

Table 1. The public health specialists' opinion about the pharmacist's functions in pharmacy

Functions performed by pharmacists in pharmacy (no more than 5 answers)	Count	Percent %
1. Realization of drugs and tools (instruments) of medical purpose	164	53.4
2. Creation, development, production and sale of drugs, medical devices, instruments for medical purposes and healthcare products	110	35.8
3. Providing information about drugs to the population	165	53.7
4. Pharmaceutical care	77	25.1
5. Experts of drugs	102	33.2
6. Ultimate care about the patients' health and wellness	131	42.7
7. Dosage and dispensing of drugs	124	40.4
8. Informing the customers in pharmacotherapy direction	107	34.9
9. Informing the customers in cost-effectiveness and cost-benefits of drugs	88	28.7
10. Helping customers in offering or selection of OTC drugs	77	25.1
11. Informing the customers about drug design and drug forms	37	12.1
12. Informing the customers about drugs' generic, chemical and brand name	39	12.7
13. Informing the customers about drugs' effectiveness, safety and toxic effects	66	21.5
14. Informing customers about routes of drug administration	30	9.8
15. Informing customers about rules of drug administration	35	11.4
16. Helping in selection of analogue of drugs	97	31.6

About a quarter of respondent pharmacists (pharmacists) have realized professional capabilities, skills and habits partially; less than 50% of them - of own potential; about half of them have realized professional capabilities, skills and habits partially; more than 50% of them - of own potential (See fig.1). Pharmaceutical companies should create constructive working conditions for pharmacists to maximally realize their professional capabilities, skills and habits. This will increase the quality of pharmaceutical care in pharmacies.

Figure 1. The respondents' pharmacists how have realized professional capabilities, skills and habits.

The respondents' pharmacy faculty students' majority had an intention to work by the obtained specialty after graduating university, and about one third of the students - to continue postgraduate studies (See fig.2). In contemporary situation it is very important for pharmacists to have master and also PhD degree in pharmacy. Post graduated pharmaceutical education is significant for the further vocational enhancement, career and professional advancement, pharmacist professional perfection and the next professional success in pharmacy.

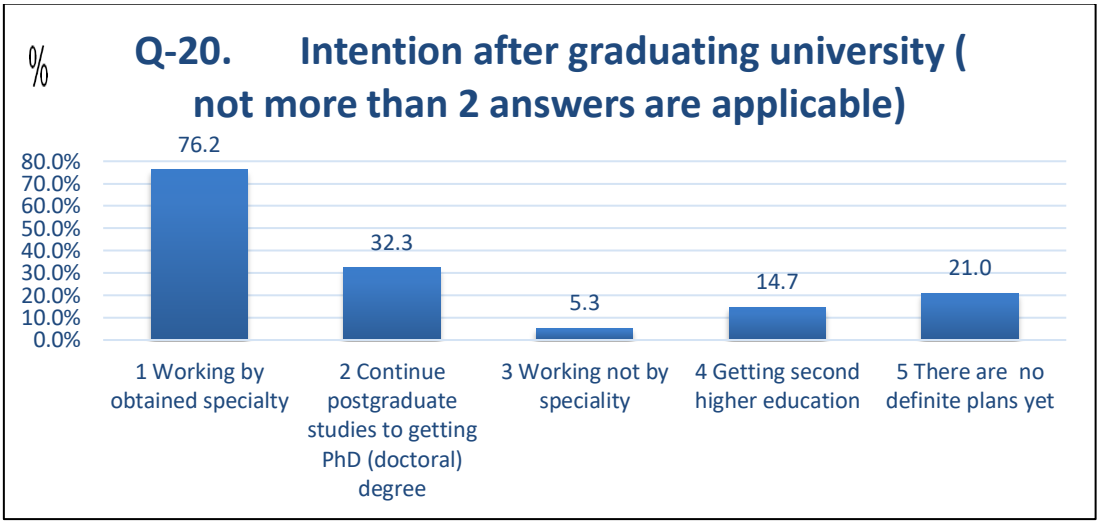


Figure 2. The respondents' (students) intention after graduating university

The most impacting factors influencing on the young pharmacists' work satisfaction were found and evaluated during the research. These factors included the correspondence of qualification to work, correspondence of the work nature to capabilities of personality, existence of perspective for professional promotion, possibility to qualifications enhancement, existence of high degree of responsibility for the result of work, information about affairs of the company and of the staff activity, working conditions, existence of the labor contract of working regimen and salary, existence of benefits' scheme for employees, support and assistance of the chief, direct relations with manager(s),relations with colleagues, possibility for the career enhancement (See tabl.2).

Table 2. The report of impacting factors - influenced on respondents' work satisfaction

Report on the question about estimation of the impacting factors, which have an influence on the work satisfaction (estimate each factor under the 5- point scale system).	Mean	Median	Std. Deviation
1 Correspondence of the got qualification to work	4.65	5.00	0.603
2 Correspondence of the work nature to capabilities of personality	4.42	5.00	0.721
3 Existence of perspective for professional promotion	4.21	4.00	0.907
4 Possibility to qualifications enhancement	4.13	4.00	0.895
5 Existence of high degree of responsibility for the result of work	3.87	4.00	1.141
6 Information about affairs of the company and the colleagues' activity	4.09	4.00	0.946
7 Working conditions	3.67	4.00	1.127
8 Existence of the labor contract	3.66	4.00	1.102
9 Working regimen (schedule)	3.25	3.00	1.140
10 Salary	2.65	3.00	1.053
11 Existence of benefits' scetch for employees	2.25	2.00	1.145
12 Support and assistance of the chief (manager)	3.41	4.00	1.223
13 Direct relations with the chief	3.44	4.00	1.185
14 Relations with colleagues	4.04	4.00	0.937
15 Possibility to career enhancement	3.89	4.00	0.962

For about the half part of the respondents' pharmacy faculty students the most attractive areas of activity were pharmacies (See tabl.3). In this respect pharmacists should have proper education in main medical and pharmaceutical fields to provide higher quality pharmaceutical care service in pharmacies, substantial for patients' safety. Pharmacy is the most attractive work place for pharmacists. Therefore, pharmacists' accreditation, certification and licensing existence are of crucial importance.

Table 3. The respondents' (students) answers on the question "What spheres of activity are the most attractive to you? "

The most attractive areas of activity	Count	Percent (%)
1. Scientific-teaching	14	4.4
2. Pharmacy	150	47.3
3.Wholesale pharmaceutical organization	40	12.6
4. Administration bodies	51	16.1
5. Pharmaceutical factory	58	18.3
6. Analytical laboratory	44	13.9
7. Work of medical representative	52	16.4

Coupling the data of respondents' answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and "Q14 Are you satisfied with your work (job)? **"** (Q14) it became apparent that variables are gender dependent (P=0.024), there is a statistically significant differences between two groups, that means that the male pharmacists were less satisfied with their work, rather than the female pharmacists (See tabl.4).

Table 4. Satisfaction with work of the respondent pharmacists according gender

Crosstab			
Satisfaction with work of respondent pharmacists			
Are you satisfied with your work?	Q1 Indicate your sex		Total
	1 Female	2 Male	
1. Yes	44.00%	22.65%	33.20%
2. Partially	39.90%	11.90%	37.30%
3.No	11.80%	62.15%	24.40%
4. Cannot say	4.40%	3.30%	5.10%

Total	100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	24.261[a]	3	0.024

The employed pharmacy faculty students' majority considered that working days per week ranged from 2-5 days (See fig.3). Therefore, it is of benefit that the employed students could work in a more flexible and convenient schedule per week to prevent missing lectures at the university and to avoid of excessive work load. Flexible working schedule is very significance for the employed students' academic and professional success.

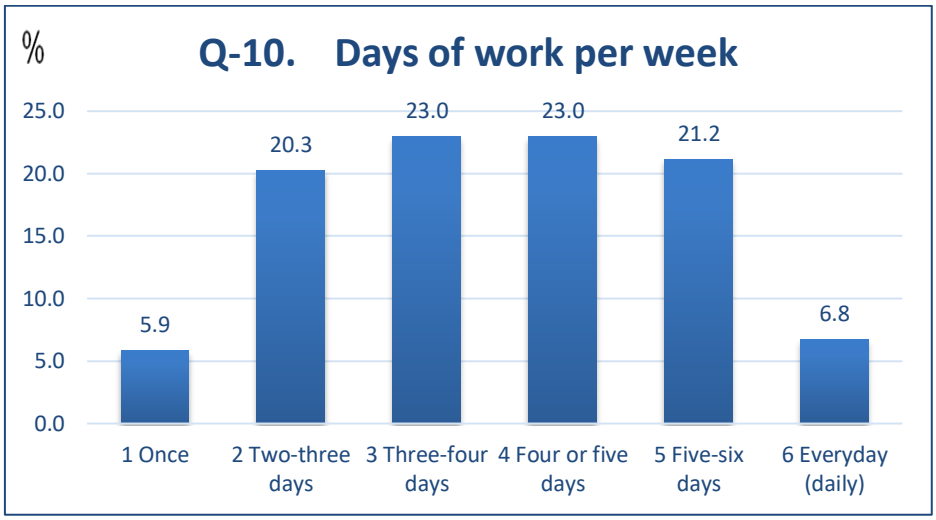


Figure 3. Employed pharmacy faculty students' timetable per week

The minority of respondent pharmacists had not used knowledge in their practice, obtained from professional publications; less than half of them had partially used that knowledge (See fig.4). It is very important that pharmacists have to use knowledge obtained from the professional publications, journals and the modern pharmaceutical literature in their practice.

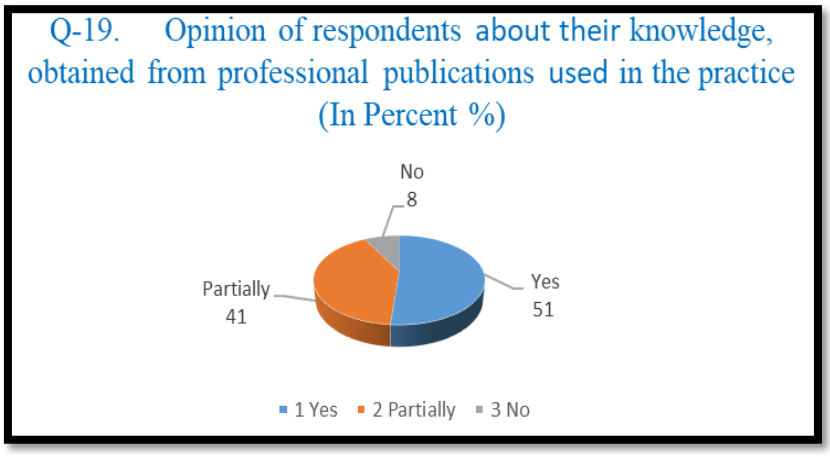


Figure 4. Opinion of the respondents about their knowledge, obtained from professional publications used in the practice

Coupling the data of respondents' answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and „Are you satisfied with the time duration of your job? " (Q26) it became apparent that variables are gender dependent (P=0.048), there is a statistically significant differences between two groups, that means that

the male pharmacists were less satisfied with the time duration of work, rather than the female pharmacists (See tabl.5).

Table 5. Respondent pharmacists' satisfaction with the time duration of job

Satisfaction with time duration of work of the respondent pharmacists according gender			
Respondent pharmacists' satisfaction with the time duration of job			
Are you satisfied with the time duration of your job?	Q1 Indicate your sex		Total
	1 Female	2 Male	
1. Yes	22.38%	14.70%	22.10%
2. Partially	34.10%	36.70%	34.20%
3. No	43.51%	48.60%	43.70%
Total	100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	19.775[a]	2	0.048

Less than half part of respondents' chief pharmacists' considered that the mostly essential difficulties in professional adaptation of young employees were difficulties with adaptation within the colleagues' team, difficulties in relationship with administration (leadership), non-compliance of a job with own ideas (See tabl.6). According to that university pharmacy program should be more orientated to special skills, which gives possibility and capability to pharmacists to use gained professional knowledge in practical situation.

Table 6. The respondents' opinion about the mostly essential difficulties in professional adaptation of young employees

The most essential difficulties in professional adaptation of young employees (several answers were acceptable)	Count	Percent %
1. Lack of professional knowledge	250	61.0
2. Lack of computer skills or other special skills/ certain peculiar specific skills	271	66.1
3. Difficulty with adaptation in to collective (within the colleagues team)	139	33.9
4. Difficulties in relationship with administration (leadership)	196	47.8
5. Non-compliance of a job with own ideas	164	40.0
6. Having excessive ambitions	90	22.0

The majority of respondents' patients applied into the pharmacy for acquiring medications (See tabl.7). So, the pharmacist professional qualification, knowledge and professional competencies are very important to provide good pharmaceutical service.

Table 7. Products that respondents purchase frequently in pharmacies

The products purchased frequently in pharmacies (several answers were possible)	Count	Percent (%)
1. Medications (drugs)	1310	87.0
2. Optics	170	11.3
3. Medical devices -products of medical purpose	177	11.8
4. Mineral water	283	18.8
5. Cosmetics and parfumery products	359	23.8
6. Disinfectants	473	31.4
7. Personal hygiene items	567	37.6
8. Medical and dietary nutrition	183	12.2

9. Biologically active additives-food supplements (nutritional, dietary)	217	14.4
10. Patient care items	223	14.8
11. Child nutrition	337	22.4

Coupling the data of respondent's answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and „Are you satisfied with your income? " (Q27) it became apparent that variables are gender dependent (P=0.019), there is a statistically significant differences between two groups, what means that the male pharmacists were less satisfied with income, rather than the female pharmacists (See tabl.8).

Table 8. Satisfaction of the respondent pharmacists with income according gender

Crosstab			
Satisfaction of the respondent pharmacists with income according gender			
Are you satisfied with your income?	Q1 Indicate your sex		Total
	1 Female	2 Male	
1. Yes	10.59%	0.00%	10.20%
2 .Partially	25.48%	23.30%	25.40%
3. No	63.82%	76.70%	64.30%
Total	100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	13.314[a]	2	0.019

The majority of the pharmacies consumers-patients' determined the main factor while drug choosing process to be recommendation of a physician. Less than half part of respondents determined the main factor while choosing the drugs to be the doctor's prescription and advice of a pharmacist (See fig.5). Therefore, the role of pharmacist is significant in the healthcare system. For the higher quality healthcare and pharmaceutical services, the pharmacist's appropriate education level is of crucial importance. It was shown that the health of patients was directly related to the professional education level of pharmacist. Therefore, pharmacist should have eligible higher pharmaceutical education.

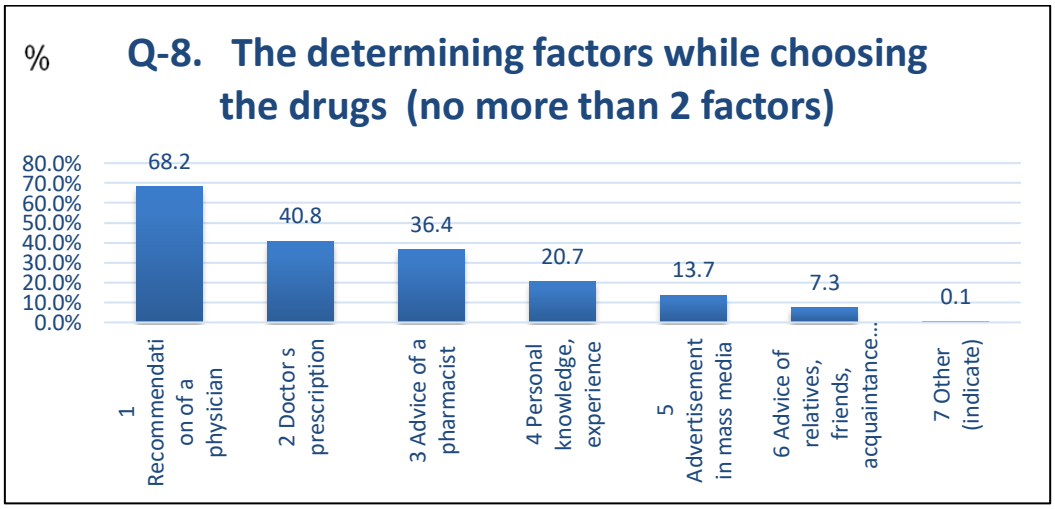


Figure 5. The determining factors while respondents' patients' choose the drugs

Analysis the data of respondents answers on the question „Do you think that the Government should make the certification of pharmacists? "(Q) revealed the following in different categories: the majority

of chief pharmacists, of consumers of medications, of the employed students, of the healthcare specialists and pharmacists considered, that Government should make certification of pharmacists (P<0.000) There are statistically significant points between variables. (See Table 9).

Table 9. Respondents' opinion about pharmacists' certification

Cross tabulation				
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?	Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?			Total
	1. I agree	2. I partially agree	3. I Do not agree	
Chief Pharmacists	76.6%	16.3%	7.1%	100.0%
Customers	82.6%	11.6%	5.8%	100.0%
Employed Students	95.9%	3.6%	0.5%	100.0%
Health-care Specialists	94.8%	4.6%	0.7%	100.0%
Pharmacist specialists	71.9%	21.9%	6.3%	100.0%
Average	81.2%	13.5%	5.2%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	132.625[a]	8	0.000

For the majority of respondents' patients' mostly asked the pharmacists about the rules of drugs intake and prices of drugs. For the less than half part of the respondents mostly asked about the drugs' adverse effects and quality. For about the one third of them mostly asked about help in selection of analogue of drugs, indication/contraindication of drugs, the terms and conditions of their storage (conditions and shelf-life), the drugs dosage, rules of drug administration and selection of OTC drugs (See tabl.10).

Table 10. The respondents' mostly asked questions to pharmacists

The questions mostly asked to pharmacists (several answers were possible)	Count	Percent (%)
1. About rules of intake of medications	950	63.1
2. About adverse effects of medications	625	41.5
3. About prices of medications	925	61.4
4. About help in selection of analogue of medication	449	29.8
5. About quality of medications	640	42.5
6. About availability of medications in a pharmacy	399	26.5
7. About indication/contraindication of medications	471	31.3
8. About terms and conditions of storage of drugs (conditions and shelf-life)	464	30.8
9. About medications dosage	505	33.5
10. About routes of drug administration	292	19.4
11. About drug forms	289	19.2
12. About drug design	130	8.6
13. About drugs toxic effects (toxicity)	297	19.7
14. About principles of pharmacotherapy	55	3.7
15. About rules of drug administration	386	25.6
16. About drugs generic, chemical and brand names	156	10.4
17. About selection of OTC drugs	409	27.2
18. Some specific information about drugs	380	25.2
19. Effectiveness of drug	312	20.7
20. About drugs action and their interactions	284	18.9
21. About drugs safety	321	21.3
22. About cost-effectiveness of drugs	51	3.4

The majority of respondents considered that the required quality for pharmacist was professional competency. Less than half part of the respondents considered it to be a readiness for relationships (communication-contact), patience, endurance and stamina, amiability or kindness and high professionalism (See tabl.11). Studies have confirmed that professional competency was mandatory for pharmacists. Being a hallmark the pharmacists' professional competency could be achieved by adopting of higher pharmaceutical education and certification of pharmacists.

Table 11. The required qualities for pharmacist in the respondents' opinion

The qualities required for pharmacist (pharmaceutical professionals in the pharmacy) (3 possible answers)	Count	Percent (%)
1. Readiness for communication-contact	714	47.4%
2. Professional competency	891	59.2%
3. Patience, endurance and stamina	630	41.8%
4. Amiability or kindness	710	47.1%
5. Ability to build up relations with people	376	25.0%
6. Vocational particular skills	503	33.4%
7. Friendliness (goodwill)	415	27.6%

Coupling the data of respondents' answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and „Do you think that the Government should make the certification of pharmacists? " It was obvious that there was not a significant difference between the variables (P=0.556) There is no statistically significant attitude between sex and variables (See tabl.12), this means that, ("Q1 Gender") and „Q12 Do you think that the Government should make the certification of pharmacists? ". So Answers are not dependent on sex.

Table 12. Consumers of medications opinion about pharmacists' certification according gender

Gender Cross tabulation				
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?		Q1 Gender		Total
		1. Female	2. Male	
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?	1. I agree	83.4%	81.3%	82.6%
	2. I partially agree	11.0%	12.6%	11.6%
	3. I Do not agree	5.6%	6.1%	5.8%
Total		100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	1.173[a]	2	0.556

During the research the impacting factors influenced on the young pharmacists' professional development were found and evaluated. They included interesting and valuable work, the beneficial psychological climate within the colleagues' team, the possibility of career development, professional education, the social importance of profession and independence in work (See tabl.13).

Table 13. Report on the factors influencing on the respondents' professional development

Factors, having an influence on the professional development (evaluate each factor under the 5-point scale system)	Mean	Median	Std. Deviation
1 Interesting and valuable work	4.20	4.00	0.824
2 Favorable psychological climate within the colleagues' team	4.18	4.00	0.798
3 Possibility of career growth	3.96	4.00	0.863

4 Professional education (training)	4.04	4.00	0.904
5 The profession's social importance	4.07	4.00	0.960
6 Independence in work	4.12	4.00	0.959

Chi-square test of independent has been performed in order to compare the attitude of different sides to the necessity of pharmacists' certification regulation by Government.

Opinion that certification of pharmacists should be mandatory was more common among health care specialists than among chiefs (Chi-square = 45.2, $p<0.001$) and among pharmacists (Chi-square = 68.9, $p<0.001$), but the there was no statistically significant difference between chiefs and pharmacists. It was more common also among customers /patients than in pharmacists (Chi-square = 44.2, $p<0.001$). The necessity of pharmacists' certification was stated more often by employed students than by pharmacists (Chi-square = 57.3, $p<0.001$).

The percentage of satisfied with professional choice respondents was the highest among students (97.7%). It was higher also in young specialists (82.2%) in comparison with pharmacists (57.7%). Differences were statistically significant for comparisons of all pointed out groups of respondents ($p<0.001$).

The majority of higher pharmaceutical education pharmacists' specialists were female; among them the largest majorities were working on the pharmacist position at pharmacies. The Government and pharmaceutical companies should create promotional conditions for males to make pharmacist profession attractive for men. It is very important for career advancement and satisfaction to provide a balance between the workload and man personal life for the satisfaction by income, for pharmacists' professional satisfaction, for pharmacist job satisfaction, and also for the career promotion perspectives.

The Government should take care of the profession of pharmacist authority. The pharmacist's profession in the health care system should increase the authority and social importance by the state support. Pharmacist's profession should become of more power and authority; a pharmacist should have a much higher status in the healthcare system. Therefore, the role of a pharmacist is significantly increased in the healthcare system and is directly related to his professional education level. Therefore, pharmacist should have appropriate higher pharmaceutical education. All the mentioned is achieved then, when the pharmacist profession will move into the health-regulated professions list.

The level of basic training of pharmacists should be in compliance with the contemporary requirements.

The pharmacist should have deep knowledge in pharmacology, in pharmacotherapy, in toxicology, in pharmaceutical care, in clinical pharmacy, in pharmacokinetics, in pharmacodynamics, in basic of medicine and in other pre-clinical and clinical directions. Such knowledge can be obtained only in the higher pharmaceutical education institutions. Therefore, pharmacist working in pharmacy must have only higher pharmaceutical education.

To increase the pharmacist's professional qualification, professionalism, professional knowledge and competency the higher pharmaceutical education universities programs should more emphasize the mentioned subjects. It is too important, that a pharmacist should realize and understand that qualification upgrading study courses, professional trainings and professional workshops are of great necessity for further professional advancement. Thus, the Government should develop continuous pharmaceutical education programs accessible to all pharmacists. The qualification upgrading study courses, professional education or training courses should be available for all pharmacists. Pharmacist's education process should not be stopped. Developing a continuous pharmaceutical education system will enhance the professionalism of the pharmaceutical personnel. Experiential education should encourage perfection of critical opinion and the problem resolving processes along with the medicine discovery.

Pharmacy faculty students should take part in the patient care practice in hospitals, society proceeding settings and in other practical experiences. Students should have the possibility to apply the clinical and pharmaceutical information taught in classes when studying in medical facilities by working under the supervision of volunteer mentors (the healthcare specialists or professionals). The research activity of the pharmaceutical faculty students in all fields of pharmaceutical practice should be encouraged.

Quality reliance refers to the necessity to improve higher pharmaceutical education to guarantee a useful, sustainable and steady activity and appropriate skills and competencies of the tomorrow's labor resources. The pharmacy degree programs should be proposed at the higher pharmaceutical institution level and entire experimental constituent element in the clinical facilities.

To raise the professional standards, the Government should make a certification of the higher pharmaceutical education pharmacists. It is very essential for pharmacist's professional perfection and professional growth, for self-realization and job satisfaction of the higher pharmaceutical education pharmacists, for the pharmacists' career advancement, their much higher status among the health care specialists and economic welfare, for their full realization of the received knowledge while working, for an opportunity to have private pharmaceutical activity, for the perspectives of professional promotion and correspondence of pharmacists qualification to the work performed. There is a substantial need for preparation and implementation of the registration-certification regulations for pharmacists' staff. Process of the pharmacists' certification should be started immediately.

To obtain more power and authority, much higher status, independence, self-realization, power, economic welfare, professional growth, career advancement the Government and private pharmaceutical companies should increase the salaries of pharmacists and the system of benefits' scheme for the pharmacist employees. The working conditions of pharmacists should be improved; the labor conditions should become more constructive for the pharmacist, providing more beneficial psychological climate within the collective and the possibility of career growth should be accessible to all pharmacists. The pharmacist's work schedule should become more flexible, and the job duration time per week should be reduced on the more effective for pharmacist's labor design. The flexibility will further improve pharmacists' workability and motivation toward the job, and also contribute to improve pharmacists' satisfaction according to the time duration of a job.

It is necessary to provide a deep cooperation between pharmacists and physicians on the issues of pharmacotherapy and healthcare to ensure the patients' health state effective improvement, and also to provide the best feedback regulation and revision in the healthcare specialists' team work. Pharmacists also should be responsible for registration of the drugs' side effect, as well as be attentive in case of improperness and professional defects of drugs they provide. To achieve that it is necessary to raise awareness of specialists on the essence of pharmacists' profession and functions among the medical personnel and general public.

On the basis of the theoretical and logical analysis the structure and composition of the factors have been developed, considering the objective (external), subjective (internal) and universal factors, which influence on the professional formation of the pharmacist.

These factors comprised the content of work, position, correspondence of qualification and nature of work to capabilities, aspirations and inclinations of the pharmacist, the existence of perspective for professional promotion. The existence of perspectives for career promotion, the possibility to enhance qualifications, a high degree of responsibility for the work results, regimen, labor salary and the system of benefits scheme for employees, support and assistance of a manager, direct relations with manager and colleagues serve the essential base for the pharmacists' successful work. The unity of criteria for pharmacist professional formation, for the common professional formation (characteristic to all stages) and the specific professional formation (characteristic to the separate stage) had been developed.

The study of the professional adaptation of pharmacists indicated that inadequate professional knowledge, improper performance of the acquired professional skills were the main reasons for imperfect pharmaceutical care supply. The majority of the pharmaceutical organizations' heads and also the young specialists considered the coexistence of a mentor (experienced professional pharmacist) as the main factor of professional improvement for pharmacists' professional adaptation. The pharmacists' personnel must show stirring involvement in sharing their cognition, understanding, science, skill and contributing partnership and cooperation within the colleagues and other health care professionals in pharmacy direction.

It is quite significant, that pharmaceutical companies regularly perform study of pharmacists' work satisfaction. The pharmaceutical companies should determine combination of factors that effect on the pharmacists' work satisfaction. Pharmaceutical companies should create favorable working conditions for pharmacists to enable the maximal realization of the pharmacists' professional capabilities, skills and habits. A balance between the workload and pharmacists' personal life should be more harmonized, convenient, resourceful and more poised. This will increase the quality of pharmaceutical care in pharmacies.

It should be noted, that pharmacist's satisfaction with income is a very sensitive factor that has a significant impact on the quality of pharmaceutical services performed in pharmacy, so the pharmacists' salary should be revised and increased.

It should be noted that in developed countries and in many developing countries pharmaceutical specialty is regulated profession alike the family medicine. In western countries pharmacist as a family doctor need higher pharmaceutical education, diploma and continuous pharmaceutical education, pharmaceutical license and periodic accreditation. Only pharmacists with higher pharmaceutical education have the right to work as pharmacists' position in the pharmacies. On the pharmacists' certification programs should be only involved pharmacists who have graduated pharmaceutical faculties from state recognized and accredited universities.

An important finding of this study concerns the increasing significance of pharmaceutical care as the central philosophy of contemporary pharmacy practice. Pharmaceutical care is no longer limited to the accurate preparation and dispensing of medications but encompasses comprehensive medication management designed to achieve measurable improvements in patients' health outcomes. Pharmacists increasingly participate in identifying drug-related problems, evaluating therapeutic effectiveness, monitoring adverse drug reactions, preventing medication errors, educating patients, and ensuring the rational use of medicines. This transition from product-oriented services to patient-centered care reflects one of the most important paradigm shifts in pharmaceutical sciences during the past three decades. Consequently, healthcare systems should continue expanding pharmacists' authority in clinical decision-making while ensuring appropriate regulatory frameworks, professional accountability, and competency-based education.

The present findings further indicate that pharmacists represent one of the most accessible healthcare professionals within society. Community pharmacies frequently serve as the first point of healthcare contact for patients seeking medical advice, over-the-counter medications, chronic disease management, preventive healthcare, and health information. Such accessibility places pharmacists in a unique position to contribute to early disease detection, health promotion, vaccination programs, smoking cessation initiatives, nutritional counseling, and lifestyle modification interventions. Expanding these public health responsibilities may substantially reduce healthcare burdens while improving population health outcomes through preventive pharmaceutical services.

Medication adherence emerged as another area in which pharmacists have considerable potential to improve therapeutic outcomes.

Poor adherence remains one of the leading causes of treatment failure, unnecessary hospitalization, disease progression, and increased healthcare expenditure worldwide. Pharmacists possess specialized knowledge that enables them to identify adherence barriers, simplify medication regimens, educate patients regarding therapeutic expectations, address misconceptions concerning medicines, and provide individualized follow-up. Regular pharmacist-led medication reviews can therefore improve adherence, optimize treatment effectiveness, and reduce preventable medication-related complications, particularly among elderly patients and individuals with multiple chronic diseases.

The study also emphasizes the growing importance of evidence-based pharmaceutical practice. Contemporary pharmacists must integrate the best available scientific evidence with clinical expertise and patient preferences when making therapeutic recommendations. Evidence-based pharmacy requires competency in literature searching, critical appraisal, systematic review interpretation, guideline implementation, pharmacoeconomic evaluation, and clinical research methodology. These competencies enable pharmacists to recommend the safest, most effective, and most cost-efficient therapeutic interventions while adapting treatment recommendations to individual patient characteristics.

Research competency represents another increasingly important professional expectation. Pharmacists are becoming active contributors to clinical trials, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, real-world evidence generation, implementation science, and health outcomes research. Participation in scientific research strengthens professional credibility while promoting continuous improvement in pharmaceutical practice. Universities should therefore encourage undergraduate and postgraduate pharmacy students to engage in research activities, scientific publication, conference participation, and interdisciplinary collaboration throughout their professional education.

An additional observation relates to leadership development within pharmacy. Healthcare systems undergoing continuous organizational and technological change require pharmacists capable of leading multidisciplinary teams, implementing quality improvement initiatives, managing healthcare resources, and participating in healthcare policy development. Leadership competencies—including strategic planning, organizational management, effective communication, negotiation, conflict resolution, and change management—have become increasingly important across community pharmacies, hospitals, pharmaceutical industries, regulatory agencies, and academic institutions. Consequently, pharmacy education should include formal leadership training alongside scientific and clinical instruction.

The globalization of pharmaceutical practice has simultaneously created opportunities and challenges for workforce mobility. International harmonization of educational standards, professional competencies, accreditation systems, and ethical principles facilitates the movement of qualified pharmacists across national borders. However, substantial differences remain among countries regarding licensing requirements, scope of practice, continuing professional development, remuneration systems, and healthcare integration. International collaboration among governments, universities, professional organizations, and accreditation agencies is therefore essential to establish globally recognized competency frameworks while respecting national healthcare priorities.

Ethical responsibility remains a cornerstone of professional pharmacy practice despite rapid technological advancement. Pharmacists routinely encounter ethical issues involving patient confidentiality, informed consent, medication accessibility, conflicts of interest, healthcare equity, compassionate medicine use, and allocation of limited healthcare resources. Maintaining public trust requires pharmacists to demonstrate professional integrity, transparency, accountability, and commitment to patient welfare throughout all aspects of pharmaceutical practice. Ethics education should therefore remain a central component of undergraduate curricula, postgraduate education, and lifelong professional development.

The findings additionally highlight the importance of regulatory modernization. Effective pharmacy regulation protects public health by ensuring that pharmacists possess appropriate qualifications, maintain professional competency, adhere to ethical standards, and participate in continuous education. Regulatory authorities should adopt competency-based licensing systems supported by periodic re-certification, continuing professional development requirements, quality assurance mechanisms, and evidence-based standards of professional practice.

Such regulatory reforms would strengthen public confidence while promoting uniform standards of pharmaceutical care.

Another noteworthy finding concerns the relationship between professional recognition and workforce motivation. Respondents consistently emphasized that pharmacists should receive greater recognition for their contributions to healthcare delivery. Professional autonomy, expanded clinical responsibilities, competitive remuneration, supportive workplace environments, and opportunities for career progression collectively influence professional commitment, organizational loyalty, and workforce retention. Countries that invest in strengthening pharmacists' professional status are likely to experience improved recruitment, greater workforce stability, enhanced pharmaceutical service quality, and better patient outcomes.

Technological innovation continues to reshape virtually every aspect of pharmaceutical practice. Artificial intelligence-assisted medication management, predictive analytics, pharmacogenomic decision-support systems, robotics, automated dispensing technologies, blockchain-based pharmaceutical supply chains, and digital therapeutics are expected to become routine components of healthcare delivery. While these technologies improve efficiency and reduce human error, they cannot replace pharmacists' professional judgment, ethical reasoning, empathy, and patient communication skills. Instead, technology should be viewed as an instrument that enhances clinical decision-making while allowing pharmacists to devote greater attention to direct patient care.

The concept of precision medicine also offers considerable opportunities for expanding pharmacists' clinical responsibilities. Pharmacogenomic testing increasingly enables individualized drug selection and dosage optimization based upon genetic variability. Pharmacists with specialized expertise in pharmacogenomics can interpret laboratory findings, recommend individualized therapeutic regimens, identify patients at risk of adverse drug reactions, and collaborate with physicians to optimize personalized treatment strategies. Integrating pharmacogenomics into pharmacy education will therefore become increasingly important as precision medicine continues expanding globally.

From a healthcare systems perspective, integrating pharmacists into multidisciplinary clinical teams generates substantial economic as well as clinical benefits. Numerous international investigations have demonstrated that pharmacist-led medication management programs reduce medication-related hospital admissions, improve chronic disease control, decrease healthcare expenditures, and enhance patient satisfaction. These findings support broader implementation of collaborative practice agreements that formally integrate pharmacists into primary care, hospital medicine, ambulatory care, and community healthcare settings.

The present study also highlights several strategic priorities for future pharmacy development. First, educational institutions should modernize curricula by incorporating artificial intelligence, digital health, pharmacogenomics, implementation science, healthcare informatics, precision medicine, leadership, and evidence-based medicine alongside traditional pharmaceutical sciences. Second, governments should strengthen pharmacist certification, accreditation, and continuing professional development systems to ensure consistent professional competency throughout pharmacists' careers. Third, healthcare organizations should improve working conditions, professional recognition, remuneration, and career development opportunities to enhance workforce retention and satisfaction. Finally, professional organizations should promote interdisciplinary collaboration, scientific research, policy advocacy, and international cooperation to support sustainable pharmaceutical workforce development.

Taken together, these findings demonstrate that the pharmacy profession is entering an era characterized by scientific innovation, clinical expansion, digital transformation, and increased societal responsibility. Pharmacists are uniquely positioned to improve medication safety, optimize pharmacotherapy, strengthen public health, advance precision medicine, and enhance healthcare sustainability. Successfully achieving these objectives will require coordinated efforts involving governments, universities, healthcare institutions, regulatory authorities, professional organizations, and pharmacists themselves. Such collaborative strategies will facilitate the continued evolution of pharmacy into a fully integrated clinical profession capable of addressing the increasingly complex healthcare needs of twenty-first-century societies.

To obtain more power and authority, much higher status, independence, self-realization, power, economic welfare, professional growth, career advancement the Government and private pharmaceutical companies should increase the salaries of pharmacists and the system of benefits' scheme for the pharmacist employees. The working conditions of pharmacists should be improved; the

labor conditions should become more constructive for the pharmacist, providing more beneficial psychological climate within the collective and the possibility of career growth should be accessible to all pharmacists. The pharmacist's work schedule should become more flexible, and the job duration time per week should be reduced on the more effective for pharmacist's labor design. The flexibility will further improve pharmacists' workability and motivation toward the job, and also contribute to improve pharmacists' satisfaction according to the time duration of a job.

The level of basic training of pharmacists should be in compliance with the contemporary requirements. The pharmacist should have deep knowledge in pharmacology, in pharmacotherapy, in toxicology, in pharmaceutical care, in clinical pharmacy, in pharmacokinetics, in pharmacodynamics, in basic of medicine and in other pre-clinical and clinical directions. Such knowledge can be obtained only in the higher pharmaceutical education institutions. Therefore, pharmacist working in pharmacy must have only higher pharmaceutical education.

The results further demonstrate that strengthening the scientific foundation of pharmacy practice is essential for improving healthcare quality and advancing pharmaceutical services globally. Modern pharmacy increasingly relies upon translational research, clinical pharmacology, pharmacoepidemiology, pharmacoeconomics, health technology assessment, implementation science, and outcomes research. These scientific disciplines provide pharmacists with robust evidence for optimizing medication therapy, evaluating healthcare interventions, assessing treatment effectiveness, and informing healthcare policy decisions. Consequently, pharmacists should be encouraged to participate actively in scientific research, interdisciplinary collaborations, and knowledge translation initiatives that bridge laboratory discoveries with clinical application.

The growing complexity of medication therapy has substantially increased the importance of comprehensive medication management (CMM). Patients frequently receive multiple medications prescribed by several healthcare providers, creating significant risks of drug interactions, therapeutic duplication, adverse drug events, and inappropriate prescribing. Pharmacists possess specialized expertise that enables them to perform systematic medication reviews, reconcile medication histories, identify medication-related problems, recommend therapeutic modifications, and monitor patient outcomes. The present findings support expanding pharmacist-led comprehensive medication management services across primary care, hospitals, long-term care facilities, and community healthcare settings to improve medication safety and therapeutic effectiveness.

An equally important finding concerns pharmacists' contribution to chronic disease management. Chronic diseases—including diabetes mellitus, hypertension, cardiovascular diseases, chronic respiratory disorders, cancer, chronic kidney disease, and mental health conditions—represent the leading causes of morbidity and mortality worldwide. Effective management of these conditions requires continuous medication monitoring, patient education, lifestyle counseling, therapeutic adjustment, and long-term follow-up. Pharmacists are ideally positioned to support these activities because of their accessibility, pharmacotherapeutic expertise, and frequent interaction with patients. Expanding pharmacist involvement in chronic disease management programs may therefore improve disease control, reduce healthcare utilization, and enhance patients' quality of life.

The survey findings also reinforce the strategic importance of preventive healthcare. Modern pharmacists increasingly participate in vaccination services, smoking cessation programs, health screening initiatives, cardiovascular risk assessment, diabetes prevention, antimicrobial stewardship, travel medicine, nutritional counseling, and community health promotion. These preventive activities contribute substantially to reducing disease burden while supporting national public health priorities. Healthcare systems should therefore recognize pharmacists as essential public health professionals capable of extending preventive healthcare services to diverse populations.

Another important observation concerns the pharmaceutical industry's evolving relationship with healthcare delivery. Contemporary pharmacists working in pharmaceutical manufacturing, biotechnology companies, regulatory agencies, clinical research organizations, and academic institutions contribute significantly to medicine development, quality assurance, regulatory compliance, pharmacovigilance, and pharmaceutical innovation.

Their expertise extends throughout the entire medicine lifecycle—from drug discovery and clinical development to regulatory approval, post-marketing surveillance, and real-world effectiveness evaluation. This broad professional scope demonstrates that pharmacy is simultaneously a clinical, scientific, industrial, and regulatory profession requiring multidisciplinary competencies.

International comparisons indicate that countries with well-integrated pharmacy services generally achieve superior healthcare outcomes, lower rates of medication-related harm, improved chronic disease management, and greater patient satisfaction. Healthcare systems that formally recognize pharmacists as clinical practitioners demonstrate stronger interdisciplinary collaboration, more effective medication optimization, and better utilization of pharmaceutical expertise. These observations suggest that policymakers should continue expanding pharmacists' clinical authority while implementing legislative reforms that facilitate collaborative practice agreements and integrated healthcare delivery.

The globalization of pharmaceutical education has further emphasized the necessity for internationally comparable competency standards. Educational harmonization facilitates academic collaboration, professional mobility, research partnerships, and mutual recognition of qualifications. Nevertheless, educational institutions must balance international competency frameworks with national healthcare priorities, cultural diversity, local epidemiological characteristics, and country-specific regulatory requirements. Competency-based education, supported by measurable learning outcomes and standardized assessment methods, provides an effective approach for ensuring educational quality while maintaining flexibility for national adaptation.

The present findings additionally underscore the importance of health literacy in achieving successful therapeutic outcomes. Many medication-related problems arise because patients misunderstand treatment instructions, dosing schedules, potential adverse effects, or therapeutic expectations. Pharmacists play a pivotal role in improving health literacy through individualized counseling, culturally appropriate communication, educational materials, digital health resources, and patient-centered consultation. Improving population health literacy not only enhances medication adherence but also empowers patients to participate actively in shared clinical decision-making and self-management of chronic diseases.

Another emerging area influencing pharmaceutical practice is environmental sustainability. The pharmaceutical sector increasingly recognizes its responsibility to minimize environmental contamination arising from medicine production, distribution, consumption, and disposal. Pharmacists contribute to environmentally responsible healthcare through safe medication disposal programs, promotion of rational prescribing, reduction of pharmaceutical waste, implementation of green pharmacy principles, and education regarding environmentally sustainable pharmaceutical practices. Incorporating sustainability concepts into pharmacy education may strengthen the profession's contribution to global environmental health initiatives.

The findings further demonstrate that quality assurance systems are fundamental to maintaining professional excellence. Standard operating procedures, clinical practice guidelines, competency assessment, accreditation standards, continuous quality improvement programs, medication safety indicators, and performance evaluation systems collectively support high-quality pharmaceutical services. Healthcare organizations should implement comprehensive quality management frameworks that encourage continuous monitoring, evidence-based practice, patient safety reporting, and organizational learning.

Innovation within pharmaceutical education represents another strategic priority identified by the present investigation. Traditional lecture-based teaching should increasingly be complemented by active learning methodologies, problem-based learning, simulation laboratories, virtual patients, case-based discussions, interprofessional education, digital learning platforms, and experiential clinical training. These educational innovations promote critical thinking, clinical reasoning, communication skills, teamwork, and evidence-based decision-making while preparing graduates for increasingly complex healthcare environments.

The expanding application of artificial intelligence deserves particular consideration. AI technologies have the potential to support medication optimization, automate routine pharmaceutical processes, identify high-risk patients, predict adverse drug reactions, and facilitate personalized pharmacotherapy. Nevertheless, ethical governance, algorithm transparency, data privacy, cybersecurity, and professional oversight remain essential prerequisites for responsible implementation.

Pharmacists should therefore receive specialized education regarding digital ethics, health informatics, AI applications, and responsible innovation to ensure safe integration of emerging technologies into clinical practice.

Furthermore, professional resilience has emerged as an increasingly important determinant of healthcare quality. Pharmacists routinely encounter heavy workloads, emotional stress, complex clinical responsibilities, and rapidly changing professional expectations. Organizational support, effective leadership, mentoring, continuing education, mental health promotion, work-life balance, and recognition of professional achievements contribute substantially to workforce resilience. Healthcare institutions should therefore adopt comprehensive workforce well-being strategies that promote psychological safety, professional fulfillment, and long-term career sustainability.

Collectively, these findings indicate that the future of the pharmacy profession will be shaped by five interdependent strategic pillars: clinical excellence, scientific innovation, digital transformation, workforce sustainability, and integrated patient-centered healthcare. Strengthening each of these pillars will require coordinated investment in education, research, healthcare infrastructure, professional regulation, policy development, and international collaboration. Such comprehensive reforms will enable pharmacists to respond effectively to evolving healthcare needs while maximizing their contribution to global health, medication safety, therapeutic effectiveness, and healthcare system resilience.

The present study demonstrates that the pharmacy profession has evolved into a highly specialized, evidence-driven healthcare discipline characterized by expanding clinical responsibilities, technological innovation, interdisciplinary collaboration, and increasing public health significance. Continued investment in competency-based education, lifelong professional development, scientific research, healthcare integration, digital innovation, and regulatory modernization will be essential for ensuring that pharmacists remain indispensable contributors to safe, effective, equitable, and sustainable healthcare systems throughout the twenty-first century.

A critical aspect emerging from the present investigation is the increasing importance of healthcare policy in determining the future trajectory of the pharmacy profession. National pharmaceutical policies, medicine reimbursement systems, healthcare financing mechanisms, professional licensing regulations, and workforce planning strategies collectively influence pharmacists' professional autonomy, scope of practice, and contribution to healthcare delivery. Countries that have implemented progressive pharmaceutical policies generally demonstrate greater pharmacist involvement in direct patient care, collaborative prescribing, medication optimization, preventive healthcare, and chronic disease management. Consequently, evidence-based healthcare policy should continue supporting the expansion of pharmacists' clinical roles while ensuring appropriate governance, accountability, and quality assurance.

The survey findings further emphasize the strategic value of pharmacists in promoting medication safety across all healthcare settings. Medication errors remain among the leading preventable causes of patient harm worldwide, particularly during prescribing, dispensing, administration, and transitions of care. Pharmacists substantially reduce these risks through prescription verification, medication reconciliation, therapeutic monitoring, adverse drug reaction reporting, patient counseling, and participation in multidisciplinary medication safety committees. Their involvement contributes not only to improved clinical outcomes but also to reduced healthcare expenditures associated with preventable medication-related complications.

An important discussion point concerns the evolving concept of pharmaceutical leadership. Modern pharmacists increasingly assume leadership responsibilities extending beyond pharmacy management to include healthcare administration, policy development, clinical governance, academic leadership, research coordination, and quality improvement initiatives. Effective pharmaceutical leadership requires strategic thinking, evidence-based decision-making, organizational management, communication, innovation, ethical responsibility, and collaborative problem-solving. Educational institutions should therefore integrate structured leadership development throughout pharmacy curricula, preparing graduates to lead healthcare transformation within increasingly complex clinical environments.

The findings additionally demonstrate that interdisciplinary collaboration represents one of the strongest determinants of successful pharmaceutical care.

Contemporary healthcare increasingly depends upon coordinated teamwork among physicians, pharmacists, nurses, dentists, laboratory scientists, public health specialists, and allied health professionals. Collaborative healthcare models improve diagnostic accuracy, medication optimization, and continuity of care, patient satisfaction, and healthcare efficiency while reducing unnecessary duplication of services. Pharmacists' expertise in pharmacotherapy complements physicians' diagnostic expertise, creating synergistic approaches that optimize patient outcomes. Expanding interprofessional education during undergraduate training may further strengthen collaborative competencies before graduates enter professional practice.

Professional identity emerged as another significant factor influencing workforce motivation and career commitment. Respondents consistently emphasized the importance of public recognition, professional respect, institutional support, and opportunities for professional growth. A strong professional identity enhances job satisfaction, encourages lifelong learning, strengthens ethical responsibility, and promotes commitment to continuous quality improvement. Professional organizations therefore play an essential role in advocating for pharmacists' contributions, promoting public awareness, establishing professional standards, and supporting career advancement through certification, mentorship, networking, and continuing education.

The rapid expansion of digital health ecosystems presents both opportunities and challenges for pharmacy practice. Electronic prescribing systems, electronic medical records, artificial intelligence, machine learning, wearable health technologies, telemonitoring, mobile health applications, and cloud-based pharmaceutical information systems facilitate more accurate, efficient, and personalized medication management. However, successful implementation depends upon pharmacists possessing advanced digital competencies, including health informatics, cybersecurity awareness, digital ethics, data interpretation, and technology-assisted clinical decision-making. Pharmacy education should therefore incorporate comprehensive digital health competencies as core educational outcomes rather than optional supplementary training.

Another significant observation concerns pharmacists' expanding contribution to pharmacoeconomics and healthcare resource optimization. Escalating healthcare expenditures require healthcare systems to maximize therapeutic value while maintaining financial sustainability. Pharmacists contribute substantially by evaluating comparative effectiveness, conducting cost-effectiveness analyses, recommending formulary optimization, preventing unnecessary medicine utilization, and supporting rational prescribing practices. Their expertise enables healthcare organizations to achieve improved therapeutic outcomes while utilizing limited healthcare resources more efficiently. Consequently, pharmacoeconomic principles should receive greater emphasis within pharmacy education and healthcare policy.The study also demonstrates that scientific communication has become an increasingly important professional competency. Pharmacists routinely communicate complex pharmacological information to patients, healthcare professionals, policymakers, researchers, and the public. Effective communication facilitates informed decision-making, improves medication adherence, reduces therapeutic misunderstandings, strengthens interdisciplinary collaboration, and promotes public trust in pharmaceutical services. Universities should therefore strengthen communication training through simulation exercises, patient counseling laboratories, interdisciplinary case discussions, scientific writing instruction, and public health communication activities.International collaboration represents another strategic priority identified through the present analysis. Global health challenges—including pandemics, antimicrobial resistance, medicine shortages, pharmaceutical supply chain disruptions, climate-related health risks, and emerging infectious diseases—cannot be effectively addressed through isolated national efforts. International cooperation among professional organizations, academic institutions, regulatory authorities, and healthcare systems facilitates knowledge exchange, harmonization of professional standards, collaborative research, workforce mobility, and rapid dissemination of scientific evidence. Strengthening international pharmaceutical partnerships will therefore contribute substantially to global healthcare resilience.

The role of pharmacists in disaster preparedness and emergency response has gained considerable international recognition following recent global health emergencies. Pharmacists contribute to emergency medicine distribution, vaccine administration, public health education, medication continuity, emergency supply chain management, and pharmaceutical logistics during natural disasters, pandemics, humanitarian crises, and armed conflicts.

These expanded responsibilities demonstrate that pharmacists are essential components of national emergency preparedness systems. Future workforce planning should therefore incorporate disaster medicine, emergency pharmaceutical care, crisis communication, and emergency logistics within pharmacy education and continuing professional development programs.

An emerging area of discussion concerns the ethical application of artificial intelligence within pharmaceutical care. Although AI technologies possess considerable potential to improve medication management and clinical decision support, pharmacists remain responsible for ensuring transparency, fairness, accountability, patient privacy, and human oversight throughout technology-assisted healthcare delivery. Ethical governance frameworks should therefore accompany technological innovation to preserve patient trust while maximizing the benefits of digital transformation.

The findings further support expanding pharmacists' participation in preventive and population health initiatives. Public health programs focusing on immunization, antimicrobial stewardship, chronic disease screening, smoking cessation, obesity prevention, cardiovascular risk assessment, reproductive health, travel medicine, and healthy aging increasingly rely upon pharmacists' accessibility and professional expertise. These expanded responsibilities strengthen the profession's contribution beyond individual patient care toward improving population health outcomes and reducing healthcare inequalities.

Another notable finding concerns the necessity for continuous curriculum modernization. Pharmacy education should evolve dynamically in response to scientific discoveries, healthcare innovation, technological advancement, regulatory changes, and societal expectations. Competency-based curricula should integrate pharmaceutical sciences with clinical medicine, evidence-based medicine, epidemiology, biostatistics, pharmacogenomics, digital health, health economics, implementation science, leadership, ethics, communication, and research methodology. Such comprehensive educational reform will prepare future pharmacists for increasingly diverse professional responsibilities while supporting lifelong professional adaptability.

From a global perspective, workforce sustainability remains one of the defining challenges facing pharmacy during the coming decades. Population aging, increasing chronic disease prevalence, expanding pharmaceutical innovation, workforce migration, demographic changes, and healthcare workforce shortages collectively necessitate strategic long-term workforce planning. Sustainable workforce development requires coordinated investment in education, recruitment, retention, professional recognition, leadership development, career progression, continuing education, and organizational well-being. Governments and healthcare organizations should therefore adopt evidence-informed workforce strategies that ensure sufficient numbers of competent pharmacists capable of meeting future healthcare demands.

The expanded findings of this study demonstrate that the pharmacy profession is undergoing an unprecedented period of scientific, clinical, educational, technological, and organizational transformation. The future success of the profession will depend upon its ability to integrate evidence-based practice, clinical excellence, digital innovation, workforce sustainability, interdisciplinary collaboration, regulatory modernization, and patient-centered care into a coherent professional framework. By embracing these strategic priorities, pharmacists will continue strengthening their indispensable role within modern healthcare systems while contributing significantly to improved health outcomes, medication safety, healthcare efficiency, and global public health.

Conclusion

- The findings of this study demonstrate that the global pharmacy profession is undergoing a fundamental transformation from a product-oriented discipline focused primarily on medication dispensing to a patient-centered clinical profession that plays a pivotal role in improving healthcare quality, medication safety, and population health. Contemporary pharmacists have become integral members of multidisciplinary healthcare teams, contributing to medication therapy management, evidence-based clinical decision-making, chronic disease management, pharmacovigilance, public health promotion, precision medicine, antimicrobial stewardship, digital healthcare, and pharmaceutical innovation.

- This evolution reflects the growing recognition of pharmacists as highly qualified healthcare professionals whose expertise extends throughout the continuum of patient care.
- The study confirms that clinical excellence, professional competency, scientific knowledge, communication skills, ethical responsibility, and lifelong learning constitute the essential foundations of modern pharmacy practice. Pharmacists are increasingly expected to combine advanced pharmaceutical expertise with patient-centered communication, interdisciplinary collaboration, and digital literacy, leadership, and research competencies to meet the complex healthcare needs of contemporary societies. Consequently, competency-based education, continuing professional development, and standardized certification systems have become indispensable for maintaining professional excellence and ensuring high-quality pharmaceutical services.
- The investigation further highlights the strategic importance of pharmaceutical innovation in shaping the future of pharmacy practice. Advances in artificial intelligence, telepharmacy, pharmacogenomics, electronic health records, clinical decision-support systems, personalized medicine, biotechnology, and digital therapeutics are transforming pharmaceutical care and expanding pharmacists' professional responsibilities. Although these technological innovations substantially improve healthcare accessibility, efficiency, and clinical decision-making, they simultaneously require pharmacists to acquire new competencies in digital health, health informatics, data interpretation, cybersecurity, and ethical technology utilization. Therefore, pharmacy education must evolve continuously to prepare graduates capable of practicing effectively within increasingly technology-driven healthcare environments.
- Workforce sustainability emerged as another critical determinant of the profession's future development. The findings indicate that professional satisfaction, career advancement opportunities, supportive organizational cultures, equitable remuneration, continuing education, leadership development, and psychological well-being significantly influence workforce recruitment, retention, and long-term professional commitment. Addressing workforce shortages, occupational stress, educational disparities, and professional recognition should therefore become strategic priorities for governments, regulatory authorities, healthcare organizations, universities, and professional associations seeking to strengthen national pharmaceutical services.
- The results also demonstrate that healthcare integration represents one of the most significant opportunities for maximizing pharmacists' contribution to patient care. Effective collaboration among pharmacists, physicians, nurses, and other healthcare professionals enhances medication safety, optimizes pharmacotherapy, reduces preventable medication-related problems, and improves clinical outcomes. Expanding collaborative practice models, interdisciplinary education, and integrated healthcare delivery systems will enable pharmacists to utilize their full professional potential while contributing more effectively to comprehensive patient-centered care.
- Another important conclusion concerns the necessity of educational modernization. Pharmacy curricula should increasingly emphasize clinical pharmacology, evidence-based medicine, pharmacogenomics, pharmaceutical care, digital health technologies, health informatics, leadership, communication sciences, pharmacoeconomics, implementation science, research methodology, ethics, and interprofessional education. Experiential learning, simulation-based training, competency-based assessment, and lifelong professional development should become central components of pharmacy education to ensure graduates possess the competencies required for rapidly evolving healthcare systems.
- The present study further confirms that evidence-based pharmaceutical practice should remain the scientific foundation of professional decision-making. Pharmacists must continue integrating high-quality clinical evidence, professional expertise, and patient preferences to optimize medication therapy, promote rational medicine use, improve patient safety, and support sustainable healthcare delivery. Active participation in clinical research, pharmacovigilance, real-world evidence generation, health services research, and quality improvement initiatives will further strengthen pharmacists' scientific contribution to healthcare innovation and policy development.
- From a global perspective, strengthening the pharmacy profession requires coordinated international efforts involving governments, universities, healthcare institutions, regulatory agencies, accreditation organizations, and professional associations.

- Harmonized competency frameworks, standardized educational outcomes, effective regulatory systems, workforce planning, digital transformation strategies, and evidence-informed healthcare policies will support the continued advancement of pharmaceutical practice while facilitating international collaboration and professional mobility.
- Ultimately, the future success of the pharmacy profession will depend upon its ability to integrate scientific excellence, clinical expertise, technological innovation, workforce resilience, healthcare integration, and patient-centered care into a comprehensive professional model. By embracing these strategic priorities, pharmacists will continue to expand their indispensable contribution to medication safety, therapeutic effectiveness, disease prevention, healthcare quality, and global public health.
- The redefining the global pharmacy profession is not merely an academic or professional objective but a healthcare imperative. Strengthening pharmacists' education, expanding their clinical responsibilities, promoting continuous professional development, fostering interdisciplinary collaboration, supporting research and innovation, and implementing evidence-based healthcare policies will collectively enhance pharmaceutical care and improve health outcomes worldwide. The findings of this study provide a robust scientific foundation for future educational reforms, professional development strategies, workforce policies, and healthcare initiatives that will ensure the pharmacy profession remains an essential pillar of safe, effective, equitable, innovative, and sustainable healthcare systems in the twenty-first century.

Recommendations

Based on the findings of this study, several evidence-based recommendations are proposed to strengthen the global pharmacy profession and enhance pharmacists' contribution to healthcare systems, patient safety, pharmaceutical innovation, and sustainable healthcare delivery.

- **Modernize Pharmacy Education**: Higher education institutions should continuously update pharmacy curricula to reflect advances in pharmaceutical sciences, clinical pharmacology, precision medicine, pharmacogenomics, digital health, artificial intelligence, evidence-based medicine, pharmacoeconomics, implementation science, and healthcare informatics. Educational programs should emphasize competency-based learning, clinical reasoning, critical thinking, communication skills, leadership, ethical decision-making, and interprofessional collaboration to prepare graduates for evolving healthcare environments.
- **Strengthen Experiential and Clinical Training**: Universities should expand experiential learning opportunities through structured clinical rotations, simulation-based education, hospital internships, community pharmacy placements, interdisciplinary clinical practice, and patient-centered pharmaceutical care. Stronger collaboration between academic institutions and healthcare organizations will facilitate the transition from theoretical education to professional practice.
- **Promote Lifelong Professional Development**: National pharmacy councils, professional organizations, and regulatory authorities should establish mandatory continuing professional development (CPD) programs to ensure pharmacists maintain contemporary scientific knowledge and clinical competencies throughout their careers. Regular participation in accredited educational programs, scientific conferences, workshops, online learning platforms, and professional certification courses should become an essential requirement for professional practice.
- **Implement Competency-Based Certification Systems**: Governments and regulatory agencies should introduce standardized competency-based licensing and periodic recertification systems that assess pharmacists' professional knowledge, clinical skills, ethical practice, and communication competencies. Such systems will improve professional accountability, enhance public trust, and ensure consistent quality of pharmaceutical services.
- **Expand Clinical Responsibilities of Pharmacists**: Healthcare policymakers should broaden pharmacists' scope of practice by increasing their involvement in medication therapy management, chronic disease management, vaccination services, antimicrobial stewardship, pharmacovigilance, medication reconciliation, preventive healthcare, pharmacogenomic consultation, and collaborative prescribing within multidisciplinary healthcare teams.

- **Strengthen Interprofessional Collaboration**: Healthcare institutions should promote collaborative practice models involving physicians, pharmacists, nurses, dentists, public health professionals, and other healthcare providers. Interprofessional education should be integrated into undergraduate and postgraduate curricula to improve communication, teamwork, and coordinated patient-centered care.
- **Accelerate Digital Transformation**: Healthcare organizations should invest in electronic health records, clinical decision-support systems, artificial intelligence applications, telepharmacy services, automated dispensing technologies, digital prescribing platforms, and health information systems. Pharmacists should receive specialized education in digital health, cybersecurity, data analytics, and ethical application of emerging technologies.
- **Enhance Workforce Sustainability**: Governments and employers should develop comprehensive workforce strategies addressing pharmacist recruitment, retention, equitable remuneration, career advancement, workplace safety, flexible employment policies, leadership development, and occupational well-being. Improving working conditions and professional recognition will strengthen workforce resilience and reduce professional burnout.
- **Increase Investment in Pharmaceutical Research**: Academic institutions, healthcare organizations, and funding agencies should encourage pharmacists' participation in clinical research, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, implementation science, pharmacoeconomics, outcomes research, and real-world evidence generation. Research training should become an integral component of pharmacy education at all academic levels.
- **Promote Evidence-Based Pharmaceutical Practice**: Healthcare systems should encourage pharmacists to routinely apply evidence-based medicine principles by critically evaluating scientific literature, clinical guidelines, systematic reviews, and pharmacoeconomic evidence when making therapeutic recommendations. Evidence-informed pharmaceutical care should become the standard model of clinical practice.
- **Strengthen Public Health Functions**: National healthcare systems should expand pharmacists' participation in preventive healthcare activities, including vaccination campaigns, smoking cessation programs, chronic disease screening, antimicrobial stewardship, travel medicine, nutritional counseling, health promotion, and emergency preparedness. Community pharmacies should be recognized as accessible public health centers.
- **Advance Precision Medicine and Pharmacogenomics**: Universities and healthcare institutions should incorporate pharmacogenomics, personalized medicine, molecular pharmacology, and genomic therapeutics into pharmacy curricula and clinical practice. Pharmacists should be trained to interpret pharmacogenomic data and collaborate with physicians to optimize individualized pharmacotherapy.
- **Improve Healthcare Policy and Regulatory Frameworks**: Governments should modernize pharmaceutical legislation to support expanded pharmacist roles, competency-based professional regulation, collaborative practice agreements, digital healthcare integration, medication safety initiatives, and evidence-based workforce planning. Regulatory frameworks should facilitate innovation while maintaining patient safety and professional accountability.
- **Foster International Collaboration**: Professional organizations, universities, accreditation bodies, and healthcare institutions should strengthen international partnerships through collaborative research, academic exchange programs, harmonized competency standards, shared educational resources, and multinational workforce development initiatives. International cooperation will facilitate professional mobility and improve global pharmaceutical practice.
- **Promote Leadership Development**: Leadership education should become an integral component of pharmacy training. Pharmacists should develop competencies in strategic planning, healthcare management, policy development, quality improvement, organizational leadership, change management, and conflict resolution to enable active participation in healthcare administration and policy implementation.
- **Strengthen Medication Safety Programs**: Healthcare organizations should expand pharmacist-led medication safety initiatives, including medication reconciliation, adverse drug reaction monitoring, medication error reporting, prescription review, therapeutic drug monitoring, and patient counseling. These interventions will reduce preventable medication-related harm and improve healthcare quality.

- **Enhance Health Literacy**: Pharmacists should play a greater role in improving public health literacy by providing comprehensive medication counseling, culturally appropriate patient education, digital health information, and individualized therapeutic guidance. Improved health literacy promotes medication adherence, informed decision-making, and better clinical outcomes.
- **Integrate Sustainability into Pharmacy Practice**: The pharmacy profession should actively support environmentally sustainable healthcare by promoting rational medicine use, safe pharmaceutical waste disposal, environmentally responsible procurement, green pharmacy principles, and sustainable pharmaceutical manufacturing practices. Environmental stewardship should become an emerging competency within pharmacy education.
- **Support Quality Assurance and Accreditation**: Healthcare organizations should establish comprehensive quality management systems that include standardized clinical protocols, competency assessment, performance indicators, accreditation standards, continuous quality improvement, and routine evaluation of pharmaceutical services. These measures will strengthen patient safety and professional excellence.
- **Develop a Global Strategic Framework for Pharmacy:** International organizations, including the World Health Organization (WHO), the International Pharmaceutical Federation (FIP), governments, universities, and healthcare stakeholders, should collaborate to develop a comprehensive global strategic framework that promotes clinical excellence, scientific innovation, digital transformation, workforce sustainability, healthcare integration, educational modernization, and patient-centered pharmaceutical care. Such a framework would facilitate harmonized professional standards and strengthen the contribution of pharmacists to universal health coverage and sustainable healthcare systems worldwide. Collectively, these recommendations provide a comprehensive roadmap for advancing the pharmacy profession in the twenty-first century. Their implementation will strengthen pharmacists' professional competencies, improve medication safety, foster scientific innovation, support workforce sustainability, enhance interdisciplinary healthcare collaboration, and ultimately improve patient outcomes and global public health.

Acknowledgments: Authors wish to Thank to Ministry of Education and Sciences of Georgia and Ministry of Education and Sciences of Armenia and Gratitude to Yerevan State Medical University and to Tbilisi State Medical University.

REFERENCES

Michael Ira Smith, Albert I. Wertheimer, Jack E. Fincham; Pharmacy and the US Health Care System; Pharmaceutical Press // 4th Revised edition edition (April 15, 2013);pp. 402-426.

N. Sulashvili, M. Beglaryan, I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, N. Chichoyan, T. Tsintsadze, N. Kvizhinadze; THE FEATURES OF PHARMACISTS' PROFESSIONAL CHALLENGES AND REGULATION TRAIT ISSUES THOUGHT- OUT BY THE PATIENTS; ISBN 978-9941-448-61-4 Collection of scientific papers; THE II INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL INTERNET CONFERENCE "MODERN PHARMACY – SCIENCE AND PRACTICE" PROCEEDINGS; AKAKI TSERETELI STATE UNIVERSITY, FACULTY OF MEDICINE; KUTAISI-GEORGIA 01.12.2020-21.12.2020, Pp 147-154.

N. Kvizhinadze, D. Tophuria, N. Intskirveli, N. Sulashvili; Study of Factors Affecting on Population's Health Improvement; Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health; E ISSN 2449-2450; ISSN 2449-2647; The University of Georgia Publishing House. www.caucasushealth.ge Official Journal of the University of Georgia and Iv. Javakhishvili Tbilisi State University with Support of the Arctic University of Tromsø/Norway. Volume 4, Supplement 8, July 20-24, 2020; Pp 42-45.

N. Sulashvili, M. Beglaryan, S. Kocharyan, N. Gorgaslidze, I. Zarnadze, N. Chichoyan, Sh. Zarnadze; Scientifically study of prospects of modern scientific achievements and research challenges of pharmacists vocational features in pharmaceutics and medicine; УДК 615.1:339.188 ISSN 2415-8593 MATERIALS OF IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE- "MANAGEMENT AND MARKETING IN THE MODERN ECONOMY, SCIENCE, EDUCATION AND PRACTICE". MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE; UKRAINIAN MARKETING ASSOCIATION, NATIONAL PHARMACEUTICAL UNIVERSITY OF UKRAINE, DEPARTMENT OF PHARMACEUTICAL MANAGEMENT AND MARKETING. MARCH 18, 2021, KHARKIV. p:26-41.

International Pharmaceutical Federation (FIP). Continuing Professional Development/Continuing Education in Pharmacy // Global Report 2014. The Hague: International Pharmaceutical Federation; 2014.

Nodar Sulashvili. Peculiarities Of Professional And Career Improvement Strategy For Pharmacists Republic of Armenia Ministry Of Education And Science; Yerevan State Medical University After M. Heratsi; Abstract of The Dissertation For The Scientific of PhD In Pharmaceutical Sciences; On Specialty 15.00.01 – Pharmacy; The Specialized Council 026 "Theoretical Medicine" of The Supreme Certifying Committee Of The Republic Of Armenia At The Yerevan State Medical University. YEREVAN – 2019; Pp 1-26.

Van Mil J. F., Schulz M., Tromp TFD. Pharmaceutical care, European developments in concepts, implementation, teaching, and research: a review // Pharm World Sci. 2014;26(6); pp. 303–321.

N. Sulashvili, N. Chichoyan, O. Gerzmava, T. Tsintsadze, L. Gabunia, N. Kvizhinadze, T. Okropiridze, M. Beglaryan; ORGANIZATIONAL AND REGULATORY FRAMEWORK, AND IDENTIFY THE MAIN EDUCATIONAL ISSUES AND POTENTIALS OF YOUNG PHARMACISTS IN GEORGIA; УДК: 615.014.2:615.2 НФаУ, 2020; Scientific Publication; The collection of MATERIALS of the V International Scientific and Practical conference- "TECHNOLOGICAL AND BIOPHARMACEUTICAL ASPECTS OF DRUGS DEVELOPING WITH DIFFERENT ORIENTATION OF ACTION"; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE, National University of Pharmacy, Department of drug technology. 26 of November, Kharkiv, Ukraine-2020. Pp 51-69.

Global Respiratory Infection Partnership. Antibiotic resistance: prioritising the patient. Report from the Global Respiratory Infection Partnership; 2015. http://www.grip-initiative.org/media/114428/recstr-grip-cta-meeting-report.pdf. Accessed June 16, 2016.

N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, M. Beglaryan; JUNIOR PHARMACIST WORK GRATIFICATION AND VOCATIONAL TRAITS; ISBN УДК 61 (063), М 34. THEORETICAL RESEARCH; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE, DONETSK NATIONAL MEDICAL UNIVERSITY. MATERIALS of the 82nd All-Ukrainian Scientific Medical Congress of Students and Young Scientists "Medicine of the XXI Century" (with international participation). Devoted to the 90th anniversary of Donetsk National Medical University and the 90th anniversary of Student Scientific Society named after professor M. D. Dovgyallo; September 24-25, 2020, Lyman, Donetsk, Ukraine. Pp 272.

Fielding S, Porteous T, Ferguson J, Maskrey V, Blyth A, Paudyal V, et al. Estimating the burden of minor ailment consultations in general practices and emergency departments through retrospective review of routine data in North East Scotland. Fam Pract. 2015;32(2):165–72.

N. Sulashvili, M. Beglaryan, I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, N. Alavidze, N. Abuladze, J. Cheishvili, N. Kvizhinadze; VOCATIONAL PERSPECTIVES AND THE MAIN PROFESSIONAL OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF PHARMACY FACULTY STUDENTS IN GEORGIA; УДК: 615.014.2:615.2 НФаУ, 2020. Scientific Publication. The collection of MATERIALS of the V International Scientific and Practical conference- "TECHNOLOGICAL AND BIOPHARMACEUTICAL ASPECTS OF DRUGS DEVELOPING WITH DIFFERENT ORIENTATION OF ACTION"; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE, National University of Pharmacy, Department of drug technology. 26 of November, Kharkiv, Ukraine-2020.Pp 35-51.

PGEU Annual Report 2014. Promoting efficiency, improving lives. PGEU; 2015. http://www.pgeu.eu/en/component/content/article/34-homepage-topics/ 16-pgeu-annual-report.html. Accessed June 16, 2016.

N. Sulashvili, M. Beglaryan; Pharmacist Vocational Features, Regulations Framework and Profession Enhancement Challenges of Pharmaceutics.Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health; E ISSN 2449-2450; ISSN 2449-2647; The University of Georgia Publishing House.www.caucasushealth.ge; Official Journal of the University of Georgia and Iv. Javakhishvili Tbilisi State University with Support of the Arctic University of Tromsø/Norway. Volume 4, Supplement 8, July 20-24, 2020; Pp 31-36.

N. Kvizhinadze, D. Tophuria, N. Intskirveli, N. Sulashvili; Study of Factors Affecting on Population's Health Improvement.Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health; E ISSN 2449-2450; ISSN 2449-2647; The University of Georgia Publishing House. www.caucasushealth.ge; Official Journal of the University of Georgia and Iv. Javakhishvili Tbilisi State University with Support

of the Arctic University of Tromsø/Norway. Volume 4, Supplement 8, July 20-24, 2020; Pp 42-45.

Thomas R. Brown; By Thomas R. Brown - Handbook of Institutional Pharmacy Practice // 4th (fourth) Edition; American Society of Health-System Pharmacists (December 1, 2006); pp. 65-71.

Sulashvili, N., Beglaryan M., Matoshvili M. Vocational features of pharmaceutical workers, viewed by the chief pharmacists // Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. Volume 2, Issue 2, June 2018.Tbilisi-Georgia. pp. 56-61.

Mary E. Mohr RPhMS; Standards of Practice for the Pharmacy Technician (Lww Pharmacy Technician Education) // LWW; Student edition (January 20, 2009);pp. 312-336.

N. Sulashvili, N. Chichoyan, O. Gerzmava, T. Tsintsadze, L. Gabunia, N. Kvizhinadze, M. Beglaryan; SINGULARITIES OF PHARMACEUTICAL ORGANIZATIONAL AND REGULATION ISSUE ASPECTS VISION BY PUBLIC HEALTH SPECIALISTS.ISBN 978-9941-448-61-4 Collection of scientific papers; THE II INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL INTERNET CONFERENCE "MODERN PHARMACY – SCIENCE AND PRACTICE" PROCEEDINGS; AKAKI TSERETELI STATE UNIVERSITY, FACULTY OF MEDICINE; KUTAISI-GEORGIA 01.12.2020-21.12.2020, Pp 131-140.

Linacre JM, Wright B. Interpreting output tables. A User's Guide to BIG STEPS WINSTEPS Rasch Model Computer Program. Chicago: MESA Press; 2011.

N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, N. Abuladze, M. Beglaryan, N. Alavidze, M. Sulashvili; THE ROLE OF THE PHARMACIST AND MODERN PECULIARITIES OF THE PHARMACIST PROFESSION, VIEWED BY THE PATIENTS AND PUBLIC HEALTH SPECIALISTS THROUGH PHARMACEUTICAL CARE DIVISION IN PHARMACIES IN GEORGIA; УДК: 579:578:61(06) © НФаУ, 2021; Materials of the Scientific and Practical International Distance Conference-"MICROBIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL RESEARCH IN MODERN MEDICINE"; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; NATIONAL UNIVERSITY OF PHARMACY; DEPARTMENT OF MICROBIOLOGY, VIROLOGY AND IMMUNOLOGY; 26 March, 2021; KHARKIV -2021; Pp:147-149.

Frost MH, Reeve BB, Liepa AM, Stauffer JW, Hays RD. What Is Sufficient Evidence for the Reliability and Validity of Patient-Reported Outcome Measures? Value Health.2007.

N. Sulashvili, M. Beglaryan, L. Gabunia, I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, T. Tsintsadze, M. Sulashvili; THE SCIENTIFIC DISCUSSIONS OF THE CONTEMPORARY FEATURES AND CHALLENGES OF THE PHARMACISTS VOCATIONAL DEVELOPMENT STRATEGIES, BY THE OPINION OF HEALTH-CARE SPECIALISTS AND PATIENTS, DIRECTED THROUGH THE PHARMACEUTICAL CARE DIVISION; УДК 615:616-08; © НФаУ, 2021 Materials of the V International Scientific and Practical Conference; «Medical drugs for humans. Modern issues of pharmacotherapy and prescription of medicine»; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; DEPARTMENT OF HEALTHCARE; NATIONAL UNIVERSITY OF PHARMACY, EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC INSTITUTE OF APPLIED PHARMACY; 11-12 of March 2021 , UKRAINE, Kharkiv-2021; Pp:140-144.

Sosabowski MH, Ingram MJ. 21st century issues in pharmacy education in the United Kingdom. Am J Pharm Educ. 2003;67(4):Article 122.

N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, Kh. Jojua, O. Gerzmava, M. Beglaryan; Pharmaceutical specific vocational activities and professional scope features of Georgian pharmacists; UDC 001.1 ISBN 978-91-87224-07-2 SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2020. Collection of scientific articles of the scientific and practical publications. Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference "MODERN SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS" Stockholm, Sweden 23-25 August, 2020; Pp105-118.

British Pharmaceutical Students' Association. The imbalance between pre-registration training and undergraduate pharmacy student numbers: A BPSA discussion paper. Accessed April 9, 2014.

N. Sulashvili. PECULIARITIES OF PROFESSIONAL AND CAREER IMPROVEMENT STRATEGY FOR PHARMACISTS; REPUBLIC OF ARMENIA MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE;YEREVAN STATE MEDICAL UNIVERSITY AFTER M. HERATSI; ABSTRACT of the dissertation for the scientific degree of PhD in Pharmaceutical Sciences; On specialty 15.00.01 – Pharmacy;The Specialized Council 026 "Theoretical Medicine" of the Supreme Certifying Committee of the Republic of Armenia at the Yerevan State Medical University. YEREVAN – 2019; Pp 1-26.

National Matching Services. Summary results of the match for positions beginning in 2014. https://www.natmatch.com/ashprmp/ stats/2014applstats.html. Accessed March 24, 2014

N. Sulashvili, M. Beglaryan, M. Sulashvili, N. Kvizhinadze, N. Kiknavelidze; JOB SATISFACTION PROPOSALS AND CHALLENGES OF GEORGIAN PHARMACISTS; UDC 001.1 ISBN 978-92-9472-197-6 Collection of scientific articles of the scientific and practical publication. Abstracts of II International Scientific and Practical Conference" THE WORLD OF SCIENCE AND INNOVATION"; London, United Kingdom, 16-18 September -2020. Pp 175-190.

Hassell K. Centre for Pharmacy Workforce Studies (CPWS) briefing paper: GPhC register analysis2011.http://www.pharmacy.regulation.org/sites/default/files/Analysis%20of%20GPhC%20Pharmacist%20Register%202011.pdf. Accessed April 9, 2014.

Pharmacist's professional features and work gratification/ N. Sulashvili; M.Beglaryan // Black sea scientific journal of academic research multidiscipline journal. (Medicine, Pharmacy sciences) Volume 29. March-April 2016. Tbilisi, Georgia, p.62-68.

Pharmacists' professional features, viewed by the customer's (customer's) eyes in Georgia/
N. Sulashvili, M. Beglaryan // Scientific-Practical Journal. Experimental and Clinical Medicine, №4, 2017. Tbilisi, Georgia, p. 22-25.

Characteristics of pharmacist activity, viewed by the customer's / N.Sulashvili. M. Beglaryan // International Science and Innovation Festival 2017. Conferences "Healthy Lifestyle-Scientific Evidence and Controversial issues" and "Innovation in Medicine" Tbilisi State Medical University. September 2017. Tbilisi, Georgia, p. 30-31.

Professional features for employed pharmacy faculty students' in Georgia / N.Sulashvili, M.Beglaryan // The New Armenian Medical Journal Supplement. YSMU Science Week 2017 Conference. November 27-December 1**,** Vol.11, №3 2017, Yerevan, Republic of Armenia, p. 40.

Wittayanukorn S, Westrick SC, Hansen RA, et al. Evaluation of medication therapy management services for patients with cardiovascular disease in a self-insured employer health plan. J Manag Care Pharm. 2013.

Sulashvili, N., Beglaryan M., Sulashvili M. Personal features, capabilities and skills of job adaptation for pharmacist specialists //Tbilisi David Agmashenebeli University Periodical scientific Journal №13, 2018. Tbilisi, Georgia. pp. 231-236.

Isett's BJ, Schondelmeyer SW, Artz MB, et al. Clinical and economic outcomes of medication therapy management services: the Minnesota experience. J Am Pharm Assoc (2003). 2018.

N. Sulashvili, M. Beglaryan, N. Gorgaslidze, N. Alavidze, N. Abuladze, N. Chichoyan, T. Okropiridze. The higher educational challenges, recent pharmaceutical professional issues and vocational specification of pharmacists in Georgia. УДК 615.1:339.188 ISSN 2415-8593 MATERIALS OF IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE- "MANAGEMENT AND MARKETING IN THE MODERN ECONOMY, SCIENCE, EDUCATION, AND PRACTICE". MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE; UKRAINIAN MARKETING ASSOCIATION, NATIONAL PHARMACEUTICAL UNIVERSITY OF UKRAINE, DEPARTMENT OF PHARMACEUTICAL MANAGEMENT AND MARKETING. MARCH 18, 2021, KHARKIV-2021. Pp 53-68.

Delate T, Chester EA, Stubbings TW, Barnes CA. Clinical outcomes of a home-based medication reconciliation program after discharge from a skilled nursing facility. Pharmacotherapy. 2008.

N. Sulashvili, M. Beglaryan, O. Gerzmava, I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, N. Kvizhinadze, M. Sulashvili; MODERN FEATURES AND CHALLENGES OF THE PHARMACIST PROFESSION, VIEWED BY THE PATIENTS AND PUBLIC HEALTH SPECIALISTS VIA PHARMACEUTICAL CARE DIRECTION IN PUBLIC HEALTH SETTINGS; REPUBLIC OF ARMENIA ISSN 1829-040X, ORCID: 0000-0001-9263-6791, BULLETIN OF THE MEDICAL INSTITUTE AFTER MEHRABYAN, VOL. 9 TOM, YEREVAN 2020, Pp 105-120.

Schnipper JL, Kirwin JL, Cotugno MC, et al. Role of pharmacist counseling in preventing adverse drug events after hospitalization.Arch Intern Med. 2016.

N. Kvizhinadze, N. Dughashvili, N. Nikuradze, N. Sulashvili; PHARMACEUTICAL ACTIVITIES PECULIARITIES IN GEORGIA.UDC 001.1 ISBN 978-1-4879-3793-5 Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference- "World Science: Problems, Prospects And Innovations"; Toronto, Canada; February 23-25, 2021; Pp: 59-60.

M. Sulashvili, M. Beglaryan, N. Kvizhinadze, N. Sulashvili; Pharmacists' working professional challenges in vocational practice; Scientific edition. IV International Scientific and Practical Conference. «Medical Drugs for Human. Modern Issues of Pharmacotherapy and Prescription of Medicine». 12-13 of March-2020; the National University of Pharmacy in Xarkov in Ukraine; Ministry of health of Ukraine. Pp 71-73.

Clinical Skills for Pharmacists: A Patient-Focused Approach //3 edition (Tietze, Clinical Skills for Pharmacists) by Karen J. TietzePharmD (Mar 31, 2011).

Red-Hot Careers; Clinical pharmacist RED-HOT Career Guide; 2592 REAL Interview Questions // Create Space Independent Publishing Platform 2017;pp. 216-242.

Karen J. TietzePharmD; Clinical Skills for Pharmacists: A Patient-Focused Approach, 3e (Tietze, Clinical Skills for Pharmacists) // Mosby; 3 edition (March 31, 2011); pp. 64-96.

N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, M. Gogashvili, M. Beglaryan; Common characteristics and scope of young pharmacist professionals in Georgia; Materials of 12th Scientific and Practical Internet Conferences, The National University of Pharmacy, Scientific and Practical Internet-Conference: «Pharmacoeconomics in Ukraine, Condition and Development Prospects», (Kharkiv, Ukraine, May 22, 2020 Year). Pp 153-156.

Royal Pharmaceutical Society (RPS). Foundation Pharmacy Framework, a Framework for Professional Development in Foundation Practice across Pharmacy // London: Royal Pharmaceutical Society; 2014.

N. Sulashvili; PECULIARITIES OF PROFESSIONAL AND CAREER IMPROVEMENT STRATEGY FOR PHARMACISTS; REPUBLIC OF ARMENIA MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE; YEREVAN STATE MEDICAL UNIVERSITY AFTER M. HERATSI; DISSERTATION; Dissertation for the Scientific Degree of PhD in Pharmaceutical Sciences; On specialty 15.00.01 – Pharmacy; YEREVAN – 2019; Pp 1-175;

Bryant L.J. M., Coster G., Gamble G. D., McCormick R. N. General practitioners' and pharmacists' perceptions of the role of community pharmacists in delivering clinical services. // Res. Soc. Adm. Pharm. 2009; 5; pp.347–362.

Cruthirds D. L. Hughes P. J. Weaver S. Value of pharmacy services to the healthcare system: an interdisciplinary assessment // Int J Pharm Pract. 2013;21(1):38–45.

Wongwiwatthananukit S, Popowich N. G. Applying the ARCS model of motivational design to pharmaceutical education // Am J Pharm Educ. 2010; 64: pp. 168–196.

Casserlie, L. M., &Mager, N. A. D. (2016). Pharmacists' perceptions of advancing public health priorities through medication therapy management // Pharmacy Practice, 14(3), pp.792-798.

Guidance on Continuing Professional Development (CPD) for the Pharmacy Profession Accreditation Council for Pharmacy Education; // Updated January 2015. [accessed on November 2017]; Available online: https://www.acpeaccredit.org/pdf/CPDGuidance%20ProfessionPharmacyJan2015.pdf.

World Health Organization (WHO) Framework for action on inter professional education and collaborative practice // Geneva: WHO; 2010.

Atkinson J., Rombaut B., The 2011 PHARMINE report on pharmacy and pharmacy education in the European Union // Pharm. Pract. 2011;9: pp. 169–187.

International Pharmaceutical Federation. FIP Statement of Policy: Medicines Information for Patients. The Hague: FIP; 2008. Available at:http://www.fip.org/www/uploads/database file.php?id=290&table id.

Moore T.J., Furberg C.D., Mattison D.R., Cohen M. R. Completeness of serious adverse drug event reports received by the US Food and Drug Administration in 2014. // Pharmacoepidemiology, Drug Safety. 2016; 25(6): pp. 713–718.

Jeri J. Sias and Susana V. James; Spanish for the pharmacy professional (English and French Edition) // American Pharmacists Association; 1st edition (January 30, 2009); pp. 35-79.

Robert P. Navarro; Managed Care Pharmacy Practice 2nd Edition // Jones & Bartlett Learning; 2 edition (December 25, 2008); pp. 336-389.

World Health Organization; Quality Assurance of Pharmaceuticals 2017: WHO Guidelines, Good Practices, Related Regulatory Guidance and GXPs Training Materials // World Health Organization; 2017 edition (January 11, 2018); pp. 51-59.

Mari J. Wirfs PhD MN APRN ANP-BC FNP-BC CNE; The APRN's Complete Guide to Prescribing Drug Therapy Springer Publishing Company; 1 edition (April 25, 2017); pp. 548-613.

Consumer Health care Products Association's Clinical/Medical Committee // White paper on the benefits of OTC medicines in the United States. Pharmacy Today 2010; (0ct); pp. 68-79.

Patrick M. Malone , Karen L. Kier , John Stanovich Jr. , Meghan J. Malone; Drug Information A Guide for Pharmacists 5/E (Malone, Drug Information); McGraw-Hill Education / Medical; 5 edition (August 11, 2014); pp. 1116-1169.

Sarriff A., Gillani W.S., Abdel G., Babiker R. M., Pharmacist perception to importance and self-competence in pharmacy practice // Int J Pharm Stud Res. 2010; 1(2); pp. 1–21.

Judith E. Thompson, Lawrence W. Davidow; A Practical Guide to Contemporary Pharmacy Practice 3rd Edition; Lippincott Williams and Wilkins; 3rd edition (January 24, 2009); pp. 456-488.

Thomas R. Brown, By Thomas R. Brown - Handbook of Institutional Pharmacy Practice // 4th (fourth) Edition; American Society of Health-System Pharmacists (December 1, 2006); pp. 65-74.

Krass I. Ways to boost pharmacy practice research. The Pharmaceutical Journal 2015;(2).

ParthasarathiG. A Textbook of Clinical Pharmacy Practice: Essential Concepts and Skills // Universities Press India Private Limited; 2 edition (January 18, 2017); pp. 26-37.

Franklin B. D.& van Mil J. W., Defining clinical pharmacy and pharmaceutical care // Pharm World Science 2005;27(3): p. 137-144.

N. Sulashvili; Peculiarities of professional and career improvement strategy for pharmacists' republic of Armenia ministry of education and science; Yerevan state medical university; Dissertation; Dissertation for the Scientific Degree of PhD in Pharmaceutical Sciences; On specialty 15.00.01 – Pharmacy; YEREVAN – 2019; Pp 1-175;

Shane P. Desselle, David P. Zgarrick, Greg Alston; Pharmacy Management: Essentials for All Practice Settings // Fourth Edition; 2016,pp. 329-347.

American Association of Colleges of Pharmacy. (2024). *Academic pharmacy's strategic plan 2024–2027*. American Association of Colleges of Pharmacy.

American Society of Health-System Pharmacists. (2023). *ASHP statement on the pharmacist's role in patient care*. American Society of Health-System Pharmacists.

Bond, C. M., & Raehl, C. L. (2021). Clinical pharmacy services and healthcare outcomes: An international perspective. *Research in Social and Administrative Pharmacy, 17*(8), 1465–1473.

Bukhari, N., Rasheed, H., Nayyer, B., & Babar, Z. U. D. (2021). Pharmacists at the frontline during the COVID-19 pandemic: Roles, responsibilities and lessons learned. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice, 14*(1), 1–9.

Cadogan, C. A., & Hughes, C. M. (2021). On the frontline against COVID-19: Community pharmacists' contribution during a public health emergency. *Research in Social and Administrative Pharmacy, 17*(1), 2032–2035.

European Association of Faculties of Pharmacy. (2023). *Pharmacy education in Europe: Strategic priorities and future directions*. EAFP.

European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare. (2022). *Pharmaceutical care and patient safety in Europe*. Council of Europe.

European Medicines Agency. (2023). *Annual report 2023*. European Medicines Agency.

Griese-Mammen, N., Hersberger, K. E., Messerli, M., Leikola, S., Horvat, N., & van Mil, J. (2020). Pharmaceutical care practice: International perspectives and future development. *International Journal of Clinical Pharmacy, 42*(5), 1189–1196.

Hepler, C. D., & Strand, L. M. (2020). Opportunities and responsibilities in pharmaceutical care: Contemporary perspectives. *American Journal of Health-System Pharmacy, 77*(18), 1478–1484.

International Pharmaceutical Federation. (2021). *FIP development goals: Transforming pharmacy globally*. International Pharmaceutical Federation.

International Pharmaceutical Federation. (2022). *Global competency framework for pharmacists and pharmaceutical scientists (Version 2)*. International Pharmaceutical Federation.

International Pharmaceutical Federation. (2023). *FIP global pharmaceutical workforce report 2023*. International Pharmaceutical Federation.

International Pharmaceutical Federation. (2024). *Digital health transformation and the future of pharmacy practice*. International Pharmaceutical Federation.

Mak, V. S. L., March, G., Clark, A., Gilbert, A. L., & Stewart, K. (2021). The expanding role of pharmacists in integrated healthcare delivery. *Journal of Pharmacy Practice and Research, 51*(4), 327–334.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *Health at a glance 2023: OECD indicators*. OECD Publishing.

Pharmaceutical Group of the European Union. (2024). *Community pharmacy in Europe: Annual report 2024*. PGEU.

Rosenthal, M., Austin, Z., & Tsuyuki, R. T. (2022). Professional identity formation in pharmacy education and practice. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning, 14*(3), 286–293.

Scahill, S., Atif, M., & Babar, Z. U. D. (2022). Workforce development and competency-based pharmacy education: Global perspectives. *Pharmacy Education, 22*(1), 320–331.

Schindel, T. J., Yuksel, N., Breault, R., Daniels, J., Varnhagen, S., & Hughes, C. A. (2021). Pharmacists' expanding professional roles within interdisciplinary healthcare teams. *Canadian Pharmacists Journal, 154*(5), 287–295.

Tsuyuki, R. T., Beahm, N. P., Okada, H., & Al Hamarneh, Y. N. (2021). Pharmacists as healthcare providers: Optimizing medication use and improving patient outcomes. *Canadian Pharmacists Journal, 154*(6), 342–350.

United Nations. (2023). *Sustainable Development Goals report 2023*. United Nations.

World Health Organization. (2021). *Global patient safety action plan 2021–2030*. World Health Organization.

World Health Organization. (2022). *Health workforce: Strategic directions towards 2030*. World Health Organization.

World Health Organization. (2023). *World health statistics 2023: Monitoring health for the Sustainable Development Goals*. World Health Organization.

World Health Organization. (2024). *Global strategic directions for strengthening pharmacy services in primary health care*. World Health Organization.

Zlotos, L., Power, A., Bates, I., McKellar, S., & Murphy, F. (2022). Future pharmacy workforce: Clinical competence, digital transformation, and professional sustainability. *International Journal of Pharmacy Practice, 30*(6), 541–550.

ANTIBIOTIC RESISTANCE BACTERIA IN THE ENVIRONMENT: A PUBLIC HEALTH CONCERN

Majin Emmanuel NMADU

ABSTRACT

Antibiotic resistance is a major global public health threat, driven significantly by environmental reservoirs of antibiotic-resistant bacteria (ARB) and resistant genes (ARG). This study evaluated the environmental dissemination of ARB and ARG in Minna, Nigeria. Soil and wastewater samples were collected from abattoirs, fishponds, and hospital environments. Bacterial species were enumerated, isolated, and identified using standard microbiological methods and PCR. Susceptibility profiles were determined via Kirby-Bauer disc diffusion, and PCR was used to detect target ARGs. Total bacterial counts ranged from, 7.5±1.5 x 10^6 cfu/ml to 24.0±1.0 x 10^6 cfu/ml in hospital soils, 16.5±1.5 ×10^6 cfu/ml to 28.5±1.5 ×10^6 cfu/ml in fishpond and 9.0±1.0 ×10^9cfu/g to 66.0×10^9 cfu/g, in abattoir. Eleven bacterial species were isolated, including *Escherichia coli*, *Klebsiella* sp., *Staphylococcus aureus*, *Proteus terrae*, *Lysinibacillus macroides*, and *Exiguobacterium aurantiacum*. Most isolates showed 50–100% resistance to cefuroxime and ceftazidime. *Klebsiella* sp. demonstrated 100% resistance to cefuroxime, augmentin, and ceftazidime, while *L. macroides* was 100% resistant to cefuroxime, erythromycin, amoxicillin, and rifampicin. Most isolates were susceptible to gentamicin. Crucially, *P. terrae*, *L. macroides*, and *E. aurantiacum* carried *bla*CTX-M, *bla*TEM, and *bla*SHV genes.This study highlights the spread of ARGs within environmental reservoirs and non-pathogenic bacterial strains in Minna. Strengthening environmental surveillance, monitoring resistance genes, and improving waste management are crucial to curtailing resistance spread and protecting public health.

Keywords: Antibiotics resistance, Resistant Genes, Environment, Wastewater

PHYTOCHEMICALS SCREENING AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF FRESH AND AGED GARLIC EXTRACTS

Hafsat Nasir NAYAYA
Department of Biochemistry, College of Natural and Applied Sciences, Al-Qalam University Katsina, Katsina, Nigeria.

Ibrahim Hamza KANKIA
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Aliyu Ibrahim YAR'ADUA
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Ahmad Sulaiman MUSA
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abdulmajid BASHIR
Department of Microbiology, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abstract
The aging process profoundly influences the biochemical composition of garlic, a widely utilized ingredient known for its medicinal properties. This study meticulously examined both Phytochemical analysis and antioxidant activity of fresh and aged garlic, employing various solvents ethanol, chloroform, aqueous, and N-hexane to extract phytochemicals. Phytochemical analysis revealed the presence of saponins, sterols, steroids, triterpenoids, and glycosides in fresh garlic, while aged garlic additionally showcased flavonoids, enriching its phytochemical profile. Furthermore, aged garlic demonstrated elevated levels of certain essential phytochemicals, notably sterols, steroids, triterpenoids, and alkaloids, particularly prominent in aqueous extractions. In terms of antioxidant activity, ethanol was found to be 78.13±0.001, whereas fresh garlic extracts exhibited a mean antioxidant activity of 76.00±0.002. N-hexane extracts from aged garlic showed a mean antioxidant activity of 55.67±0.001, slightly lower than that of fresh garlic at 53.40±0.003. Chloroform extracts from aged garlic exhibited a mean antioxidant activity of 51.47±0.004, compared to fresh garlic at 40.97±0.016. Aqueous extracts from aged garlic displayed a mean antioxidant activity of 51.73±0.006, while fresh garlic extracts showed a mean of 53.97±0.003. These findings underscore the nuanced differences between fresh and aged garlic, providing valuable insights into the potential health benefits associated with consuming aged garlic products. Exploring the intricate biochemical changes induced by aging in garlic illuminates its antioxidant properties and emphasizes its therapeutic potential.
Keywords: Phytochemicals; Antioxidant activity; Fresh garlic; Aged garlic

TRANSCRIPTOMIC RESPONSES TO SARS-COV-2 INFECTION IN CALU-3 CELLS WITH DIFFERENTIAL EXPRESSION

Hasti BALALI
Department of Biosciences, University of Milan, Milan, Italy.

Ali MORABBI
Department of Pharmaceutical Sciences, University of Milan, Milan, Italy.

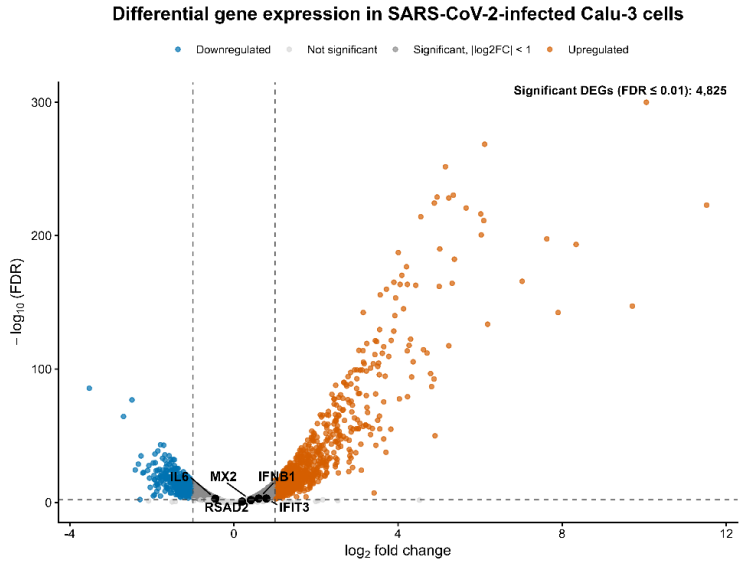
Introduction: SARS-CoV-2 infection causes substantial changes in host gene expression, but these responses may differ between cell models. This study aimed to characterize the transcriptional response to SARS-CoV-2 infection in Calu-3 cells and compare the identified differentially expressed genes with those observed in A549_ACE2 cells.

Methods: RNA-seq data from three mock-infected and three SARS-CoV-2-infected Calu-3 samples were analyzed using a Unix-based workflow and R. After read processing, gene quantification, quality assessment, and filtering of low-expression genes, differential expression analysis was performed using edgeR. Genes with an FDR $\leq$ 0.01 were considered significantly differentially expressed. KEGG pathway enrichment analysis was performed separately for upregulated and downregulated genes. The significant DEGs were also compared with those identified in the A549_ACE2 dataset to evaluate shared transcriptional responses between the two cell models.

Results: A total of 4,825 differentially expressed genes were identified in Calu-3 cells, including 2,464 upregulated and 2,361 downregulated genes. The most strongly upregulated genes included IFNB1, IL6, RSAD2, MX2, and IFIT3, consistent with a strong antiviral and inflammatory response. KEGG enrichment analysis of upregulated genes highlighted TNF signaling, NOD-like receptor signaling, and NF-κB signaling pathways. In contrast, downregulated genes were mainly enriched in oxidative phosphorylation and cellular energy metabolism pathways. Comparison with the A549_ACE2 dataset identified 748 shared upregulated genes and 580 shared downregulated genes, indicating shared and model-specific components of the transcriptional response.

Conclusion: SARS-CoV-2 infection induces a broad transcriptional response in Calu-3 cells, characterized by activation of immune and inflammatory pathways and changes in cellular energy metabolism. The overlap with A549_ACE2 further indicates both shared and model-specific components of the host response.

Keywords: A549_ACE2; Calu-3; differential gene expression; pathway enrichment; SARS-CoV-2



FEATURES OF TREATMENT AT PATIENTS WITH METABOLIC -ASSOCIATED STEATOTIC LIVER DISEASE

Ye. S. SIRCHAK
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

I. O. VASHCHENKO
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

I. I. PUSHKASH
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

S. S. SIRCHAK
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

I. Yu. SMOLANKA
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

ABSTRACT

INTRODUCTION. Developing effective treatment methods for patients with metabolic-associated steatotic liver disease (MASLD) is an essential therapeutic strategy for the prevention and correction of metabolic disorders in this patient cohort.

OBJECTIVE: Evaluation of the effectiveness of tauroursodeoxycholic acid (TUDCA) in the treatment of patients with MASLD.

MATERIALS AND METHODS

80 patients with MASLD after cholecystectomy (CE) were examined. General clinical and laboratory examination methods were performed, as well as determination of the level of zonulin and α1-antitrypsin in blood serum and feces. Patients were divided into two groups of 35 patients each, depending on the treatment method: group 1 included patients who were prescribed TUDCA 750 mg per day; group 2 patients were also prescribed ursodeoxycholic acid (UDCA) 750 mg per day for 2 months.

RESEARCH AND FINDINGS

Treatment in both groups of patients with MASLD led to a significant decrease in markers of cytolysis and cholestasis and indicators of lipid metabolism in serum. In the TUDCA group, the level of zonulin in both serum and feces decreased significantly more significantly (from 124.16±0.25 ng/ml to 68.76±0.28 ng/ml – $p<0.01$ and from 156.15±0.44 ng/ml to 72.21±0.36 ng/ml – $p<0.001$) than in the UDCA group (from 120.25±0.21 ng/ml only to 93.11±0.39 ng/ml – $p<0.05$ and from 150.15±0.27 ng/ml to 115.12±0.24 ng/ml – $p<0.05$). The α1-AT indicator and its clearance in the 1st group of patients returned almost to the values of the control group, which indicates a better restoration of the integrity of the intestinal barrier compared to the group of patients taking UDCA.

CONCLUSION

The use of TUDCA in patients with MASLD after CE is justified and is confirmed by a better tolerability profile than UDCA, namely, it does not cause diarrhea in these patients.

Keywords: metabolically associated fatty liver disease; gallstone disease; cholecystectomy; diagnosis (zonulin, α1-antitrypsin); treatment (ursodeoxycholic acid, tauroursodeoxycholic acid).

THE ROLE OF TAUROURSODEOXYCHOLIC ACID IN THE TREATMENT OF PATIENTS WITH METABOLIC -ASSOCIATED STEATOTIC LIVER DISEASE

Ye. S. SIRCHAK
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

V. I. CHENDEY
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

A. V. STOIKA
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

T. V. CHENDEY
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

ABSTRACT
INTRODUCTION: Metabolic-associated steatotic liver disease (MASLD) is a hepatic manifestation of the systemic metabolic syndrome.

OBJECTIVE
To determine the features of changes in the level of B vitamins and homocysteine (HC) in patients with MASLD.

MATERIALS AND METHODS
65 patients with MAFLD and cardiovascular system (CVS) damage and insulin resistance (IR) were examined. The levels of B vitamins (B1, B3, B6, B9, B12), methionine, and homocysteine in blood serum were determined.

RESEARCH AND FINDINGS. In patients with MAFLD, a deficiency of B vitamins in the blood serum was detected against the background of hyperhomocysteinemia (an increase in the level of HC to 33.5±0.4 μmol/l with a norm of 11.4±0.8 μmol/l – $p<0.01$) and a decrease in the level of methionine (to 14.2±0.5 nmol/ml with a norm of 27.9±0.5 – $p<0.01$). There was a decrease in the level of vitamin B1 (up to 23.5±0.9 nmol/l with a norm of 66.7±0.9 nmol/l – $p<0.001$), vitamin B3 (up to 2.1±0.4 μmol/l with a norm of 7.4±0.5 μmol/l – $p<0.001$), vitamin B6 (up to 8.7±0.5 μg/ml with a norm of 61.2±1.4 μg/ml – $p<0.001$), vitamin B9 (up to 2.1±0.2 ng/ml with a norm of 11.8±0.7 ng/ml – $p<0.001$), and vitamin B12 (up to 135.7±2.9 pg/ml with a norm of 644.7±4.3 pg/ml – $p<0.001$).

CONCLUSION
In patients with MAFLD and IR combined with damage to the cardiovascular system, a deficiency of B vitamins and a decrease in methionine levels were found, accompanied by an increase in homocysteine levels in the blood serum of these patients.
Keywords: metabolically associated fatty liver disease; insulin resistance; cardiovascular system; homocysteine; B vitamins, methionine.

FACTORS AFFECTING INTESTINAL INJURY IN PATIENTS WITH AUTOIMMUNE THYROIDITIS

Ye. S. SIRCHAK
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

A. Yu. ANDRIICHUK
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

I. I. LEMKO
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

M. P. STAN
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

V. Ye. BARANI
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

D. O. DUBOVENKO
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

ABSTRACT

INTRODUCTION. Autoimmune thyroid disease (AIT) is the most common organ-specific autoimmune disease.

OBJECTIVE: To identify factors influencing the clinical course of colonic lesions in patients with AIT.

MATERIALS AND METHODS

106 patients with AIT were examined. Group I (n=26) included patients, in whom colon damage was clinically manifested mainly by diarrhea; group II (n=40) included patients, in whom colon damage was manifested by constipation; group III (n=40) included patients, in whom colon damage was manifested by alternating diarrhea and constipation. The levels of neurohormones serotonin (ST), melatonin (MT) and neurokinin B (NK-B) were determined.

RESEARCH AND FINDINGS

In patients with AIT and colonic damage, which is clinically manifested by diarrhea, an increase in the level of NK-B was found (up to 1.997±0.016 ng/ml with a norm of 0.275±0.007 in the control group - $p<0.001$), as well as in patients with AIT in whom intestinal damage is manifested by a change in diarrhea and constipation (an increase to 0.577±0.012 ng/ml - $p<0.01$). In contrast, in patients with AIT with constipation, a significant decrease in the level of NK-B was found (up to 0.157±0.015 ng/ml - $p<0.05$). In patients with AIT with diarrhea, an increase in the level of ST in the blood serum was found, while in patients with constipation, a significant decrease in the level of this neurohormone was diagnosed. The level of MT in the blood serum, on the other hand, is reduced in patients with AIT with diarrhea, and with a predominance of constipation, on the contrary, the MT indicator is increased in patients with AIT.

CONCLUSION

In patients with AIT, changes in the levels of neurohormones MT and ST, as well as neurokinin B, were found depending on the clinical form of colon damage.

Keywords: autoimmune thyroiditis, colon damage, serotonin, melatonin and neurokinin B.

MULTIPLE ANTIBIOTIC RESISTANT KLEBSIELLA PNEUMONIAE ISOLATED FROM FAECAL SAMPLES IN SELECTED CATTLE FARMS IN IBADAN, NIGERIA

Christianah Afoluke GEGELESO
Department of Microbiology, Faculty of Science, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria.

Oluwarotimi John JOSEPH
Department of Microbiology, Faculty of Science, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria.

Olutayo Israel FALODUN
Department of Microbiology, Faculty of Science, University of Ibadan, Ibadan, Nigeria.

ABSTRACT
Klebsiella pneumoniae is one of the most critical multi-drug resistant microorganisms worldwide which complicates the choice of appropriate antibiotics for treatment of illnesses. This study was designed to determine the occurrence of multiple antibiotic resistant *Klebsiella pneumoniae* in selected cattle farms in Ibadan, Nigeria.
Faecal samples were aseptically collected from cattle from four selected farms in Ibadan. *Klebsiella pneumoniae* was isolated on MacConkey Agar using pour plate technique and identified using standard microbiological tests. The antibiotic susceptibility test against Augmentin (AUG, 30µg), Gentamicin (GEN, 10µg), Levofloxacin (LBC, 5µg), Ciprofloxacin (CIP, 5µg), Ceftriaxone (CTR, 30µg), Cefepime (CPM, 30µg), Cefixime (ZEM, 5µg), Amikacin (AMK, 30µg), Nalidixic Acid (NA, 30µg), Cotrimoxazole (COT, 25µg) and Aztreonam (AT, 30µg) using disc diffusion technique was done.
A total number of 32 (32%) *K. pneumoniae* was isolated, the highest frequency of 13 (40.6%) was observed in Ajibode Cattle farm while the lowest frequency of 3 (9.5%) was observed in UI Dairy farm. Of the 32 *K. pneumoniae* isolated, 25 (78.1%) were resistant to Aztreonam, while 1 (3.1%) showed resistance to each of ciprofloxacin and Nalidixic acid. The antibiotype of the isolates showed that one isolate (3.1%) each exhibited resistance to a combination of six antibiotics including AT-CTR-COT-AMK-CPM-AUG and AT-ZEM-COT-CTR-CPM-AUG, respectively. Multiple Antibiotic Resistance (MAR) indices ranged from 0.1- 0.5. Alarmingly, 26 (81.3%) of the isolates exhibited a MAR index ≥ 0.2.
This study showed that faecal samples of cattle harbour multiple antibiotic resistant *K. pneumoniae* signifying the need to manage cattle faecal samples, as good hygiene and biosafety practices are essential to limit the potential spread of multiple antibiotic resistant bacteria in cattle farms, thereby preventing transmission to the human population.
Keywords: Cattle**,** Faecal samples, *Klebsiella pneumoniae*, Multiple antibiotic resistant

ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN LIVESTOCK: VETERINARY AND ONE HEALTH PERSPECTIVES-CHALLENGES, EMERGING STRATEGIES AND APPROACH TOWARDS ANIMAL PRODUCTION SUSTAINABILITY

Oluwafemi Abel AGBETUYI
Department of Animal Production and Health, Federal University Oye-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.

Ademiju Adeolu AGANGA
Department of Animal Production and Health, Federal University Oye-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.

Adetunmbi TELLA
Department of Animal Production and Health, Federal University Oye-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.

Kehinde Luke AKINSOLA
Department of Animal Production and Health, Federal University Oye-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.

Tomilola Ayo ARILEKOLASI
Department of Animal Production and Health, Federal University Oye-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.

Olufunmilayo Temitope FOLORUNSO
Department of Animal Science, Ekiti State University, Ado-Ekiti, Ekiti State, Nigeria.

Abstract
Antimicrobial resistance (AMR) is a serious threat to animal health, food security, public health, as well as the environment. The misuse of antimicrobial agents (AMAs) leads to the emergence and spread of resistant microorganisms that reduce the efficacy of treatments for bacterial infections in animals and humans. Animal husbandry is considered to be a significant reservoir of AMR as it contributes to the appearance and spread of resistant pathogens through food chains, farm workers, and the environment. Therefore, AMR cannot be effectively controlled without a One Health approach, which addresses the connection between animals, humans, plants, and the environment. This study investigates the issue of antimicrobial resistance in livestock, including veterinary practice, the use of antimicrobials, antimicrobial stewardship, disease prevention and control, biosecurity, vaccination, animal nutrition, phytogenic feed additives, surveillance and monitoring, and other innovative solutions. Special attention was paid to the role of veterinarians in promoting the appropriate use of antimicrobials in animals. According to the study, surveillance systems at farm, national, and international levels should be established in order to effectively address antimicrobial resistance, which requires the collaboration of veterinary and human health sectors as well as the food chain and pharmaceutical sectors. At the global and regional levels, political commitment to the problem of antimicrobial resistance has increased significantly; recently, the World Health Assembly adopted the Global Action Plan on Antimicrobial Resistance 2026-2036. The paper concludes that combating antimicrobial resistance in animals requires a multi-sectoral and multidisciplinary collaboration between veterinarians, farmers, animal nutritionists, microbiologists, public health professionals, policymakers, pharmaceutical companies, and consumers.

DETERMINANTS OF MATERNAL MORTALITY IN PAKISTAN: EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PRENATAL AND POSTNATAL HEALTHCARE PROGRAMS

Asst. Prof. Dr. Asma Seemi MALIK
Lahore College for Women University, Lahore, Pakistan.

Visiting Lecturer Dr. Anam AFZAL
Lahore College for Women University, Lahore, Pakistan.

Asst. Prof. Dr. Amjad MAHMOOD
Punjab College of Information Technology, Lahore, Pakistan.

Abstract

Background

Maternal mortality is a major concern in various countries across the globe and particularly Pakistan. Access to maternal healthcare services is an essential condition for improving women's health. Pakistan, being one of the low-income countries, also reported a high Maternal Mortality Rate of 186 deaths per 100,000 live births in 2019. Though, a signatory of Agenda 2030, the country still lags behind considerably in achieving Sustainable Development Goals (SDGs).

Objective: The present study was designed to determine the maternal mortality and the experiences, perceptions and expectations of pre-birth and post-birth women regarding utilization and delivery of maternal healthcare services in Pakistan.

Methodology: A quantitative study design was used. Convenient sampling technique was adopted to identify the respondents. Interviews were conducted using structures interview guide. The sample size was: pre-birth women ($n = 100$) and post-birth women ($n = 100$). All interviews were recorded after getting permission from the respondents.

Results: The results of the present study concluded that the overall quality of the maternal care services provided in Pakistan was very poor. The age group for the pre-birth respondents was 23–43 years while for post-birth group It was 23–35 years. Majority of mothers 60.8% monthly household income was 20000-40000 and 47.0% mothers education was up to primary. Majority of the mothers 70.3% were delivered baby by caesarian section and 16.1% mothers give birth at home. Majority of the women 65.3% were not involved in the decision-making process, and 34.3 % mothers having less than four ANC visits. 20 % supervisor/attendant during delivery was traditional birth attendants (TBAs /Dai)

Conclusion: By making inclusive policies at national level to improve the healthcare facilities that can reduced maternal mortality rate in Pakistan. The Pakistani pregnancy outcomes are much worse. Reasons for these poorer outcomes likely the reproductive age of women, low socioeconomic status, poor education level, birth at home and non skilled staff. There is a need to lunched a emergency service for a pregnant women, so that she can reached hospital at time and reduced maternal mortality. The cost of maternal care was quite high and not affordable for all, therefor, Government should be make polices for priceless treatment for antenatal care, postnatal care of women. As well as need to improve the education system, produced more nurses so that trained staff can be attend pregnancies.This topic emphasizes policy analysis, focusing on existing maternal health programs, their effectiveness, and recommendations for improving outcomes through better interventions and awareness.

Keywords: Maternal mortality, Healthcare, Antenatal care, Postnatal care, Pakistan

HYPOLIPIDAEMIC EFFECTS OF METHANOLIC LEAF EXTRACT OF ANISOPUS MANNII: TLC FRACTIONATION AND GC-MS CHARACTERIZATION IN DIET-INDUCED HYPERLIPIDEMIC ALBINO RATS

Rukayya Gambo LAWAL
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0005-1055-3623

Abdullahi NASIR
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Fatima ABDURRAHMAN
Affiliation not specified.

Aliyu Ibrahim YARADUA
Department of Biochemistry, Faculty of Natural and Applied Sciences, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

ABSTRACT
Hyperlipidemia is a major risk factor for cardiovascular disease, yet many affected individuals remain undiagnosed and undertreated, driving interest in plant-based alternatives to conventional lipid-lowering drugs. This study investigated the antihyperlipidemic potential of the methanolic leaf extract of *Anisopus mannii*, a plant long used in Northern Nigerian traditional medicine, in diet-induced hyperlipidemic albino rats. Leaves were extracted by Soxhlet methanol extraction and screened for phytochemicals, then fractionated by thin layer chromatography into four fractions (F1-F4). Hyperlipidemia was induced using an atherogenic diet, after which each fraction (50 mg/kg) was administered for three weeks alongside normal, hyperlipidemic, and Atorvastatin-treated controls, and serum lipid profiles were subsequently measured. Phytochemical screening confirmed alkaloids (4.50%), flavonoids (3.69%), saponins (3.26%), phenols (2.50%), terpenoids (1.86%), and tannins (1.56%), while glycosides, cardiac glycosides, quinones, and steroids were absent. Fraction F2 produced the strongest lipid-lowering effect, reducing total cholesterol to 46.5 ± 1.6 mg/dl and triglycerides to 72.3 ± 1.1 mg/dl, compared with 123.0 ± 1.9 and 133.3 ± 3.1 mg/dl in hyperlipidemic controls, while raising HDL to 46.8 ± 0.1 mg/dl and lowering LDL to 26.2 ± 3.0 mg/dl effects comparable to Atorvastatin. GC-MS analysis of Fraction F2 identified sesquiterpenes including (Z,Z)-α-Farnesene, Caryophyllene, Eremophilene, and Caryophyllene oxide, compounds associated with anti-inflammatory and lipid-regulating activity, alongside a pyrrolidine Dione and a pyridinium derivative. These findings indicate that the methanolic leaf extract of *Anisopus mannii*, particularly Fraction F2, possesses significant hypolipidemic activity potentially mediated by its terpenoid constituents, supporting its further development as a plant-based therapeutic for hyperlipidemia.
Keywords: *Anisopus mannii; hyperlipidemia; lipid profile; GC-MS; phytochemicals; albino rats*

ACTIVATED SLUDGE PROCESSES FOR SUSTAINABLE WASTEWATER TREATMENT: PRINCIPLES, CHALLENGES AND RECENT ADVANCES

Abderrazzak IHOUATEN
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment (CERN2D), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Khadija EL-MOUSTAQIM
Laboratory of Improvement and Valuation of Plant Resources, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.

Jamal MABROUKI
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment (CERN2D), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

Abstract
Activated sludge processes remain among the most widely applied biological technologies for municipal and industrial wastewater treatment due to their effectiveness in removing organic matter and nutrients. However, conventional activated sludge systems are associated with significant energy consumption, sludge production, operational complexity, and sensitivity to variations in wastewater characteristics. These challenges have increased the need for more sustainable and efficient approaches to wastewater treatment. This contribution provides a literature-based overview of activated sludge processes, focusing on their fundamental principles, major operational challenges, and recent technological advances. The biological mechanisms involved in organic matter removal, nitrification, denitrification, and biological phosphorus removal are briefly discussed. Particular attention is given to key operational parameters, including dissolved oxygen, sludge retention time, hydraulic retention time, mixed liquor suspended solids, and the food-to-microorganism ratio, which strongly influence treatment performance and process stability. Recent advances aimed at improving sustainability are also examined, including energy-efficient aeration, enhanced nutrient removal, process monitoring and control, sludge minimization, resource recovery, and water reuse. The review highlights the transition from conventional pollutant removal toward integrated approaches based on energy efficiency, resource recovery, and circular water management. Finally, current challenges and future research directions are discussed to support the development of more resilient, efficient, and sustainable activated sludge wastewater treatment systems.
Keywords: Activated sludge; Wastewater treatment; Biological nutrient removal; Resource recovery; Sustainable wastewater treatment; Circular water management.

NUTRITIONAL AND ANTI-NUTRITIONAL EVALUATION OF LOCALLY FORMULATED COMPLEMENTARY FOODS FROM MILLET, SOYBEAN, GROUNDNUT AND SORGHUM FOR ENHANCED INFANT NUTRITION

mad Sulaiman MUSA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Rukayya Gambo LAWAL
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Dr. A. I. YAR'ADUA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Dr. Akilu Abdullahi SADA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Dr. Aminu USMAN
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Dr. Zainab SULEIMAN
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abstract
Inadequate nutrient intake during the complementary feeding period remains an important nutritional challenge among infants and young children, particularly in resource-limited communities. Locally available cereals and legumes may provide affordable alternatives to commercial complementary foods when appropriately combined and processed. This study evaluated the nutritional quality and anti-nutritional composition of complementary food formulations developed from millet, soybean, groundnut and sorghum. Millet, soybean, groundnut and sorghum were selected as locally available food ingredients and processed and combined at different proportions to develop complementary food formulations. The raw materials and formulated diets were evaluated for proximate composition, including moisture, ash, crude protein, crude lipid, crude fibre and carbohydrate. Selected mineral elements, including calcium, magnesium, potassium, iron, zinc and copper, were also determined. Anti-nutritional factors, particularly phytate, tannin and oxalate, were evaluated in the food staples and formulated diets. The effect of processing and formulation on the nutritional characteristics of the resulting complementary foods was assessed. The findings demonstrated that the selected cereals and legumes provided important sources of macronutrients and minerals. Incorporation of soybean and groundnut into the formulations was associated with increased protein and lipid contents, while millet and sorghum contributed substantially to the carbohydrate component. The formulated complementary diets generally demonstrated improved nutritional profiles compared with individual cereal-based ingredients. Although anti-nutritional factors were detected, their levels in the formulated diets were generally low. Processing was associated with reductions in phytate, tannin and oxalate, which may enhance the nutritional utilization of essential nutrients. The findings indicate that appropriately formulated combinations of millet, soybean, groundnut and sorghum have considerable potential as locally sourced complementary foods. Strategic blending of cereals and legumes, together with appropriate processing, can improve the nutritional quality of complementary diets while reducing anti-nutritional factors. Such formulations may contribute to affordable and culturally appropriate approaches to improving infant nutrition and reducing the risk of protein-energy and micronutrient malnutrition.

Keywords: Millet, soybeans, groundnut, sorghum, anti-nutritional factors; micronutrients.

A GREEN ELECTROCHEMICAL APPROACH FOR TRACE LEAD DETECTION USING AN EDTA-CELLULOSE MODIFIED CARBON PASTE ELECTRODE

Sakinatu ALMUSTAPHA
Department of Basic and Applied Sciences, Hassan Usman Katsina Polytechnic, Katsina, Nigeria.

Maryam Halliru IDRIS
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Dr. Aliyu Ibrahim YAR'ADUA
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Dr. Nasiruddeen Umar MATAZU
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Abstract
The increasing occurrence of heavy metal contamination has created a need for rapid, sensitive, environmentally friendly, and cost-effective methods for their monitoring. Although conventional techniques such as atomic absorption spectrometry (AAS) are widely employed for heavy metal determination, their applications are often limited by high operational costs, equipment requirements, maintenance, and sample preparation. Similarly, conventional mercury-based electrodes are associated with environmental and health hazards, making safer alternatives desirable. The development of carbon paste electrodes provides an important step toward the fabrication of practical electrochemical sensors for real-time heavy metal monitoring; however, modification of the electrode surface is necessary to improve its sensitivity and selectivity. This study developed and characterized an ethylenediaminetetraacetic acid-modified cellulose carbon paste electrode (EDTA-Cel CPE) for the electrochemical determination of trace Pb^{2+}. Cellulose, a renewable and biodegradable material, was incorporated into the electrode matrix, while EDTA provided effective metal-binding sites for Pb^{2+}. Cyclic voltammetry (CV) was used to characterize the electrode using potassium ferricyanide as a redox probe at scan rates ranging from 10 to 100 mV/s. Square-wave voltammetry (SWV) was subsequently employed for Pb^{2+} determination in 0.1 M acetate buffer at pH 7.4 with a deposition time of 240 s. A distinct Pb^{2+} stripping peak was observed at approximately −0.6 V, and the peak current increased with increasing Pb^{2+} concentration, showing a linear response over the range of 10–70 ppb. The findings demonstrate that the EDTA-Cel CPE is a promising, simple, sensitive, and environmentally safer platform for trace Pb^{2+} detection and may serve as an alternative to conventional heavy metal detection techniques.
Keywords: EDTA-cellulose; carbon paste electrode; lead ions (Pb^{2+}); electrochemical sensor; square-wave voltammetry.

EFFECT OF ASPERGILLUS NIGER FERMENTATION ON ANTI-NUTRITIONAL FACTORS OF MILLET (PENNISETUM GLAUCUM) STALK

Maryam Halliru IDRIS
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Aliyu Ibrahim YARADUA
Affiliation not specified.

Hadiza Kabir MATAZU
Affiliation not specified.

Hafsat Nasir NAYAYA
Affiliation not specified.

ABSTRACT

Millet (Pennisetum glaucum) stalk is a widely available agricultural residue with potential as an alternative livestock feed resource. However, its utilization is constrained by inherent anti-nutritional factors that impair nutrient bioavailability and compromise feed safety. Biological detoxification through fungal fermentation has been proposed as a low-cost, environmentally sustainable strategy to overcome this limitation, yet its efficacy on millet stalk specifically remains underexplored. This study evaluated the effect of solid-state fermentation with *Aspergillus Niger* on the concentrations of selected anti-nutritional factors phytate, hydrocyanic/bromide-reactive compounds (Hmg/br), protease inhibitor (P.inlib), oxalate, and lectin in millet stalk. Millet stalk substrate was subjected to solid-state fermentation with A. niger under controlled temperature and moisture conditions. Anti-nutritional factor concentrations were quantified before and after fermentation using standard analytical procedures, and paired t-tests were used to assess the statistical significance of observed changes ($\alpha = 0.05$). Fermentation produced marked reductions across all measured anti-nutritional factors. Phytate declined from 2.42 ± 0.12 to 1.13 ± 0.08 mg/100 g ($t = 18.78$, $p = 0.034$), P.inlib from 1.91 ± 0.21 to 0.64 ± 0.18 mg/100 g ($t = 16.27$, $p = 0.041$), and oxalate from 31.25 ± 2.58 to 21.38 ± 1.92 mg/100 g ($t = 92.15$, $p = 0.026$), all representing statistically significant reductions. Hmg/br decreased from 1.88 ± 0.15 to 1.70 ± 1.21 mg/100 g ($p = 0.056$), and lectin, initially 1.02 ± 0.08 mg/100 g, became undetectable post-fermentation ($p = 0.054$); both changes approached but did not reach statistical significance at $p < 0.05$. A. niger solid-state fermentation substantially reduced key anti-nutritional factors in millet stalk, with the most pronounced and statistically significant effects observed for phytate, protease inhibitor, and oxalate. These findings support fungal fermentation as a viable bioprocessing strategy to enhance the nutritional quality and safety of millet stalk, offering a sustainable pathway for valorizing agricultural residues into functional livestock feed.

Keywords: Aspergillus niger; Pennisetum glaucum; millet stalk; solid-state fermentation; anti-nutritional factors; phytate; oxalate; livestock feed.

THE USE OF OATS FOR HUMAN CONSUMPTION (FLOUR, MILK, AND OAT-BASED MALT DRINK)

Fatima BOUSLAH
Higher School of Agriculture of Mateur (ESAM), Institution of Agricultural Research and Higher Education (IRESA), University of Carthage, Mateur, Tunisia.

Olfa HAJJI
Department of Hydraulics, Higher School of Engineers of Medjez El Bab (ESIM), University of Jendouba; Institution of Agricultural Research and Higher Education (IRESA); Laboratory of Soft Materials and Fluid Sciences, Faculty of Sciences of Tunis, Tunis El Manar University, Tunisia.

Abstract
The oats human nutrition is numerous nutritional benefits, various culinary applications, and positive environmental impact. Oats are a cereal rich in fibres, vitamins, minerals, and bioactive compounds such as beta-glycan, which provide significant health benefits, including cholesterol reduction, improved glycaemic regulation and enhanced digestive health. Oats can be incorporated into various food products in the form of flakes, flour, milk, and malted beverages, thus meeting the needs of different dietary habits, including vegetarian and vegan diets. Furthermore, oat cultivation is more environmentally friendly, requiring less water and pesticides compared to other cereals, and can be grown in a variety of climates, enhancing its resilience to climate change. Oats are a beneficial cereal for healthy and balanced nutrition and sustainable agriculture. It is essential to continue promoting and integrating oats into dietary regimes to maximize their nutritional and environmental benefits.
Keywords: Oats, human nutrition, oat milk, oat flour, oat-based malt drink

MACHINE VISION-BASED ROAD SIGN RECOGNITION FOR LOW-COST AUTONOMOUS VEHICLES

Michael BASSEY
Department of Mechatronics Engineering Technology, School of Engineering, Akwa Ibom State Polytechnic, Ikot Ekpene, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0001-5433-7889

Aniekan IKPE
Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Akwa Ibom State Polytechnic, Ikot Ekpene, Nigeria.

Imoh Ime EKANEM
Department of Mechanical Engineering, School of Engineering, Akwa Ibom State Polytechnic, Ikot Ekpene, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-8973-9260

Abstract
Road sign recognition represents one of the most critical perception tasks in autonomous driving because it enables intelligent vehicles to understand traffic regulations and respond appropriately to changing road conditions. Although remarkable progress has been achieved using deep learning, many existing solutions rely on high-performance computing platforms and expensive sensing equipment that are unsuitable for low-cost autonomous vehicles intended for educational, research, and emerging-market applications. This study presents a machine vision-based road sign recognition framework designed specifically for affordable autonomous vehicle platforms. The proposed architecture combines image acquisition, preprocessing, convolutional neural network-based feature extraction, and lightweight object detection to achieve accurate recognition while maintaining low computational complexity. A Raspberry Pi-based embedded platform equipped with a low-cost camera module is adopted as the target hardware for implementation. The system is evaluated using publicly available road sign datasets and standard performance metrics, including recognition accuracy, precision, recall, F1-score, inference time, and computational cost. Experimental evaluation demonstrates that lightweight deep learning models can provide reliable road sign recognition exceeding 95% classification accuracy while operating in real time on resource-constrained embedded hardware. The findings suggest that carefully optimized machine vision algorithms can significantly reduce implementation cost without sacrificing recognition performance. The proposed framework therefore provides a practical solution for affordable autonomous vehicles deployed in smart transportation research, university laboratories, and intelligent mobility applications within developing economies.
Keywords: Autonomous vehicles; Machine vision; Road sign recognition; Deep learning; Embedded systems

PODCAST-BASED PROFESSIONAL DEVELOPMENT FOR PRE-SERVICE ENGLISH TEACHERS: A SYSTEMATIC REVIEW

Mohd Shahbaz KHAN
Research Scholar, Department of Educational Studies, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India.
ORCID ID: 0009-0000-6066-3074

Assoc. Prof. Dr. Sameer Babu M
Department of Educational Studies, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India.
ORCID ID: 0000-0001-8168-8537

Abstract
The use of digital technologies has greatly changed teacher education, offering flexible and accessible opportunities for professional learning. Of these, podcasts have been growing in popularity as a means of assisting pre-service English teachers in self-paced learning, reflection, and pedagogical and language skills development. Although podcasts are increasingly being used in the education sector, the evidence of the effectiveness of podcasts in the professional development of pre-service English teachers is still fragmented. The purpose of this systematic review is to review the characteristics of podcast interventions, pedagogical approaches, learning outcomes and implementation challenges in order to provide a synthesis of the existing empirical research on podcast-based professional development. The review is conducted according to PRISMA 2020 guidelines and covers the studies published from 2015 to 2026 from major academic databases, including Scopus, Web of Science, ERIC, and Google Scholar. The studies are screened by predefined inclusion and exclusion criteria and synthesized by thematic analysis. The review suggests that podcast-based learning has a positive impact on the pedagogical knowledge, English language proficiency, reflective practice, teaching confidence and digital competence of pre-service English teachers. Podcasts also foster learner autonomy as it allows learners to access educational content on their own schedule. But issues like low levels of digital literacy, variable instruction design, and the absence of comprehensive longitudinal studies are still major. The results suggest that podcasts have the potential to be a novel professional development tool and indicate areas that need further research. The review provides valuable information for teacher educators, curriculum developers, and policy makers interested in podcast-based learning in pre-service English teacher education programs.
Keywords: podcasts, pre-service English teachers, professional development, teacher education, digital learning, systematic review

ECO-FRIENDLY SYNTHESIS OF A CHITOSAN@TIO₂ NANOCOMPOSITE USING GINGER EXTRACT: ENHANCED ADSORPTION OF DYES, REAL WASTEWATER TREATMENT, AND DFT INSIGHTS

Soukaina EL BOURACHDI
Laboratory of Engineering, Electrochemistry, Modelling and Environment, Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

Yassine RAKCHO
Laboratory of Materials, Processes, Environment and Quality, National School of Applied Sciences, Cadi Ayyad University, Safi, Morocco.

Ali Raza AYUB
Key Laboratory of Clusters Science of the Ministry of Education, School of Chemistry and Chemical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing, China.

Abdelhay EL AMRI
International Water Research Institute (IWRI), Mohammed VI Polytechnic University, Ben Guerir, Morocco.

Mahdi LECHHEB
Materials Sciences for Energy and Sustainable Development Team, Department of Chemistry, Faculty of Sciences and Techniques of Errachidia, Moulay Ismail University, Errachidia, Morocco.

Amal LAHKIMI
Laboratory of Engineering, Electrochemistry, Modelling and Environment, Faculty of Sciences Dhar El Mehraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

Abstract
This study aimed to develop a sustainable nanocomposite adsorbent for the efficient removal of dyes from textile wastewater by combining green-synthesized TiO_2 nanoparticles with chitosan. This work investigates how synthesis parameters influence the surface properties of TiO_2 and how the resulting CS@TiO_2 composite enhances the adsorption performance toward Crystal Violet (CV) and Methylene Violet (MV).
TiO_2 nanoparticles were synthesized using crude ginger extract as a natural reducing and stabilizing agent. A Box–Behnken experimental design was employed to optimize the extract volume, precursor concentration, and calcination temperature, with the aim of maximizing the BET surface area while minimizing particle size. The optimized TiO_2 nanoparticles were subsequently immobilized within chitosan beads to produce the CS@TiO_2 nanocomposite. Structural, morphological, and surface characteristics were investigated using FTIR, XRD, SEM, EDS, and BET analyses. In addition, adsorption kinetics, isotherm models, thermodynamic studies, and Density Functional Theory (DFT) calculations were conducted to elucidate the adsorption mechanisms. The adsorption performance of the prepared material was further validated using real textile wastewater effluent.
The optimal synthesis conditions (5 mL extract volume, 0.3 M precursor concentration, and calcination at 400 °C) yielded mesoporous TiO_2 nanoparticles with a high BET surface area of 150.49 $m^2 g^{-1}$ and an average particle size of 10.38 nm. The prepared CS@TiO_2 nanocomposite exhibited rapid adsorption, reaching equilibrium within 120 min and following a pseudo-second-order kinetic model. Thermodynamic results indicated that the adsorption process was spontaneous and governed by strong interactions between the adsorbate molecules and the adsorbent surface. Furthermore, significant reductions in color, COD, BOD_5, and conductivity demonstrated the high efficiency of the CS@TiO_2 composite for textile wastewater treatment.
Keywords: Adsorption, Chitosan, TiO_2 nanoparticles, Green synthesis, Wastewater treatment.

IN SILICO ADMET PROFILING OF TOP-RANKED PUBCHEM PHYTOCHEMICALS TARGETING DPRE1 OF MYCOBACTERIUM TUBERCULOSIS

Mahnoor KHALID
School of Biochemistry and Biotechnology, Faculty of Life Sciences, University of the Punjab, Lahore, Pakistan.
ORCID ID: 0009-0003-8035-7746

Dr. Hafiz Muzzammel REHMAN
School of Biochemistry and Biotechnology, Faculty of Life Sciences, University of the Punjab, Lahore, Pakistan.

Abstract
Tuberculosis (TB) caused by *Mycobacterium tuberculosis* is a significant health problem in the world today, and with the emergence of drug resistance, the need for new therapeutic candidates is rapidly growing. Decaprenylphosphoryl-β-D-ribose 2′-epimerase (DprE1) is an essential enzyme in mycobacterial cell-wall biosynthesis and an attractive target for antitubercular drugs. While molecular docking can be used to screen compounds for potentially good binding affinity, assessment of pharmacokinetic and toxicity properties is important for effective lead prioritization. The purpose of this study was to assess the ADMET properties of the 10 most promising phytochemicals that were previously prioritized by molecular docking of PubChem compounds against DprE1 and select some of them for their potentially drug-like properties. In silico ADMET analysis of the top 10 compounds was performed using SwissADME and ProTox-3.0. Lipophilicity (Log Po/w), aqueous solubility (Log S), gastrointestinal (GI) absorption, blood–brain barrier (BBB) permeability, P-glycoprotein (P-gp) substrate potential, Lipinski's Rule of Five, and Veber rule compliance were evaluated. The predicted LD50 values and toxicity classes were evaluated using ProTox-3.0, and the visualization of predicted GI absorption and BBB permeability was done using Boiled-Egg analysis. All compounds had a high predicted GI absorption except for Compound 1, which had a low absorption. The BBB was predicted to pass compounds 2, 7 and 10. The majority of the compounds passed to Lipinski's and Veber's rules. The predicted LD50 values were between 450 and 7000mg/kg with Compound 10 having the highest possible predicted LD50 and toxicity class 6. The overall ADMET profile of Compound 10 was the most favorable, followed by Compounds 3, 5 and 6. The results presented emphasize the need to combine ADMET profiling with molecular docking to select phytochemicals for further experimental confirmation targeting DprE1.
Keywords: DprE1, *Mycobacterium tuberculosis*, phytochemicals, ADMET, SwissADME, drug-likeness

INTRODUCTION
Tuberculosis (TB) is an infectious condition primarily due to *Mycobacterium tuberculosis* and is one of the most important infectious diseases that impact public health globally. Despite the availability of effective anti-TB medications, TB remains a major cause of morbidity and mortality, and the development of TB drug resistance has made control of TB more challenging and led to greater need for new therapeutic strategies. New antitubercular agents will thus need identification of key biological targets and a collection of structurally diverse compounds that disrupt key processes in mycobacteria (Zaman & nutrition, 2010).
One of the major structural components of mycobacterial cell wall is important to provide strength and protection to bacterial cell and plays role in the pathogenicity and survival of *M. tuberculosis*. It has complex components such as peptidoglycan, arabinogalactan and mycolic acids, which have been identified as potential targets for antitubercular drug discovery. One of the enzymes involved in these pathways, decaprenylphosphoryl-β-D-ribose 2'-epimerase (DprE1, encoded by dprE1, Rv3790), has been shown to be a key enzyme in the synthesis of cell-wall components, which contain arabinose, and has become a prominent molecular target.
DprE1 is flavin-dependent enzyme involved in the epimerization of decaprenylphosphoryl-β-D-ribose to decaprenylphosphoryl-D-arabinose (Torfs, 2019).

The resulting precursor molecule contains arabinose, and is needed for the synthesis of the arabinogalactan and lipoarabinomannan (LAM), two significant structural units of the mycobacterial cell envelope. Therefore, any interference in the activity of DprE1 can potentially result in impaired cell-wall biosynthesis and impact on the viability of the bacteria. The essentiality and druggable nature of DprE1 has made this enzyme a good prospective target for new antitubercular drug development (Riccardi et al., 2013).

Previous studies have shown that DprE1 can be inhibited by structurally unrelated chemicals such as benzothiazinones, dinitrobenzamides and other heterocyclic compounds. These studies have led to structural information on the various modes of inhibition of DprE1 and have been useful in developing structure-based strategies for the identification of new inhibitors. The persistent appearance of drug resistance, however, still highlights the need to look at new chemical scaffolds in the search for new antituberculosis drugs (Yadav et al., 2023).

Natural products and phytochemicals are a vast and chemically complex source of molecules that can be explored for possible therapeutic use. Plants are the rich source of various secondary metabolites such as flavonoids, phenolic compounds, alkaloids and other structurally diverse molecules. The structural diversity offers the potential to investigate chemical scaffolds that can interact with biologically important protein targets (Anand, Jacobo-Herrera, Altemimi, & Lakhssassi, 2019).

Computer-aided drug discovery is an efficient process that can be used to evaluate large compound libraries initially. Molecular docking can sometimes be used for the prediction of the orientation of small molecules in the binding region of a protein and can rank small molecules based on their predicted binding affinity. For our previous study, we used AutoDock Vina to screen 890 three-dimensional phytochemicals from PubChem compounds against DprE1 and chose 10 compounds as the top ranked ones based on their AutoDock Vina docking score. The compounds selected had docking scores ranging between −8.816 and −9.469 kcal/mol with compound 1 (CID 64982) having the most favourable predicted docking score (Bugnon et al., 2024).

However, although the molecular docking is favourable, it does not necessarily mean that the compound has the desirable property for further drug development. The drug candidate needs to have the right absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity properties as well. Hence, ADMET analysis is an important further step in the field of computational drug discovery that can guide the discovery of compounds that have potentially sub-optimal properties in terms of pharmacokinetics or toxicity prior to experimental testing (Pradeepkiran, Sainath, & Shrikanya, 2021).

Drug-likeness assessment can also offer extra data on the drug-likeness of compounds as potential therapeutic molecules. Lipinski's rule of 5 is favored for analysis of the physicochemical properties of orally active drugs while Veber's rule offers further insights into oral bioavailability through molecular flexibility and polar surface area. Additionally, computational prediction of GI absorption, BBB permeability and P-gp interaction can also give information on the potential distribution and transport characteristics of candidate molecules (Dong et al., 2018).

The current study, therefore, aims to extend our previous molecular docking study on DprE1 with a specific emphasis on the ADMET profiles of the 10 best ranked phytochemicals from PubChem. The study was to assess their predicted physicochemical properties, gastrointestinal absorption, BBB penetration, drug-likeness, interactions with transporters and acute toxicity for evaluating the most promising candidates for future antitubercular drug development against DprE1.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

DprE1 as a Molecular Target

An antimicrobial compound may act by disrupting a biological process that is vital for the survival and/or multiplication of a microorganism. Enzymes that play a role in key metabolic pathways are thus molecular targets of interest for antimicrobial drug discovery. DprE1 is a critical enzyme in the biosynthesis of arabinose-containing parts of the cell envelope of *M. tuberculosis*. It is a target of potential antitubercular compounds because its functional importance and the fact that it is known to be susceptible to inhibition have been demonstrated experimentally (Riccardi et al., 2013). The present study is based on the selection of DprE1 as the molecular target. Structures of small molecules can be studied based on their predicted interactions with the target.

In the earlier docking study 890 PubChem phytochemicals were docked against DprE1 and 10 compounds that had the best predicted docking scores were chosen.

Phytochemicals as Potential Drug Candidates

Phytochemicals have a wide variety of chemical structures and chemical functionality. This chemical diversity could enable a variety of compounds to bind to a protein target in a variety of ways. But, structural diversity can also lead to significant differences in physicochemical and pharmacokinetic parameters. Thus, upon identification of a compound with a good predicted target binding, its drug-like properties should be assessed. A compound can have good docking and poor solubility, absorption and/or toxicity effects. ADMET analysis is thus a complementary computational tool for identifying compounds with good target interaction compared to those with a more balanced drug development profile (Chihomvu, Ganesan, Gibbons, Woollard, & Hayes, 2024).

ADMET Profiling in Drug Discovery

The four major pharmacokinetic processes, absorption, distribution, metabolism and excretion, plus the toxicity mechanism, are all included in the acronym ADMET. These properties affect the ability to get a compound to the target at the right concentration and the ability to be tolerated by the biological system (Daoud et al., 2021). In the current framework, the target-based prioritization is done by molecular docking followed by the estimation of the pharmacokinetic and safety aspects of the prioritized compounds by ADMET profiling. These strategies can be combined so that the compounds can be evaluated from multiple angles.

Drug-Likeness and Pharmacokinetic Prioritization

Lipinski's rule and Veber's rule are computational tools that determine if it is feasible for a molecule to be developed as a drug for oral administration. GI absorption gives information about the expectation of a molecule to be absorbed from the gastrointestinal tract and BBB permeability gives information about central nervous system exposure. The BOILED-Egg model can be used graphically to assess gastrointestinal absorption and BBB penetration as expected, and prediction of P-gp can be used to provide further information regarding the potential role of the P-gp efflux transporter in compound disposition (Encinar et al., 2026).

Toxicity as a Selection Criterion

An important criterion for consideration of a compound for use as a drug is its toxicity. The acute oral LD50 values and toxicity classes predicted by the various molecules can give a preliminary computational estimate of the relative toxicity of the molecules screened (Oesch, Oesch-Bartlomowicz, & Efferth, 2021). The conceptual approach for this study is a serial prioritization approach, which is:

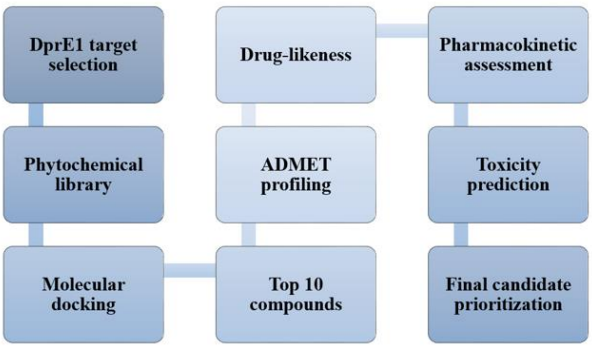


Figure 1. Overall conceptual framework diagram

METHODOLOGY

Retrieval and Selection of DprE1 Protein Structure

The three dimensional crystal structure of the *Mycobacterium tuberculosis* decaprenylphosphoryl-β-D-ribose 2′-epimerase 1 (DprE1) was downloaded from the Research Collaboratory for Structural Bioinformatics Protein Data Bank (RCSB PDB) with the accession number 4P8N (https://www.rcsb.org/). X-ray crystallography at 1.79 Å resolution was used to select the crystal structure. Chain B was chosen for computational analysis as it represented the required structure of the target protein.

The flavin adenine dinucleotide (FAD) is the native molecule that was kept during the preparation of the receptors, R57 and IMD were co-crystallized with the receptor and then removed before the molecular docking was performed.

Preparation of Phytochemical Library

A library of 890 phytochemicals was downloaded from PubChem for virtual screening against DprE1 (https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/). The three-dimensional structures of the compounds were downloaded from PubChem and converted to AutoDock Vina format. The compounds were then converted to PDBQT format which includes the structural and partial charge data needed for docking.

Molecular Docking

AutoDock Vina version 1.2.5 was used for molecular docking. 890 Phytochemicals were selected from the PubChem database as ligands and the prepared DprE1 structure was set up as a receptor. The selected DprE1 binding region was surrounded by a grid box of 24 Å × 24 Å × 24 Å. The center of the grid box was positioned at X = 44.96, Y = −19.94, and Z = 41.31. The individual phytochemicals were docked into the pre-made DprE1 receptor. The docking poses obtained were ranked by the predicted docking score. Compounds with a more negative docking score were deemed to have more favourable predicted interactions with the target binding region.

Selection of Top-Ranked Phytochemicals

Identification of the best phytochemicals. After the molecular docking of 890 phytochemicals, 10 phytochemicals with the best docking scores were selected and subjected to further ADMET analysis. The compounds as selected had docking scores between −9.469 and −8.816 kcal/mol. The most favourable docking score was obtained for Compound 1 (PubChem CID 64982) with docking score of −9.469 kcal/mol followed by Compound 2 (CID 10177) with docking score of −9.203 kcal/mol and Compound 3 (CID 5319322) with docking score of −9.126 kcal/mol. The choice of these compounds led to subsequent testing of their pharmacokinetic, drug-likeness and toxicity properties.

In Silico ADMET Profiling

Computational ADMET Profiling was used to screen top ten compounds for their drug-likeness properties using SwissADME (https://www.swissadme.ch/). The physicochemical properties, absorption-related characteristics, distribution-related characteristics, drug-likeness parameters and predicted toxicity were analyzed. The following parameters were explored: Lipophilicity (Log Po/w), aqueous solubility (Log S), Gastrointestinal (GI) absorption, Blood–Brain barrier (BBB) permeability, Veber's rule, BOILED-Egg positioning and P-glycoprotein (P-gp) interaction.

Lipophilicity and Aqueous Solubility

Lipophilicity of the selected phytochemicals was predicted using Log Po/w (predicted partition coefficient between n-octanol and water). This has been taken into consideration in order to measure the relative hydrophilic or hydrophobic nature of the compounds. Log S was used to predict the aqueous solubility and compounds with higher predicted aqueous solubility were deemed more formulation and absorption favorable, while very low predicted solubility was deemed as a possible barrier to further drug development.

Gastrointestinal Absorption Prediction

The gastrointestinal (GI) absorption of the selected phytochemicals was predicted to estimate the potential for oral absorption of the phytochemicals. Compounds were classified as either high or low predicted GI absorption. Oral administration was important in many anti-tuberculous drugs so it was selected as an important characteristic in the prioritization of the screened phytochemicals.

Blood–Brain Barrier Permeability

Computational methods were used to assess the potential to cross the blood–brain barrier (BBB) of the selected compounds. The compounds were classified as BBB permeant or non-BBB permeant. The BBB was not selected as a primary criteria of selection as DprE1 is a bacterial target and for CNS penetration, this is not a requirement for activity against M. tuberculosis. However, this is a useful parameter to have information about the potential distribution of the compounds in the body.

Lipinski's Rule of Five

Drug likeness of the selected compounds determined by the Lipinski rule. This principle is typically used in early drug discovery to search for compounds that have physicochemical properties suitable for being orally active small-molecule drugs.

The compounds were classified as 'rule of five' pass/fail and with one or more violations. Less-favored compounds were those with fewer violations, and would be further considered for drug development.

Veber's Rule

The selected phytochemicals were also tested based on the Veber's rule which gives further criteria related to oral bioavailability. The analysis was applied to see if the compounds meet the key physicochemical properties or if there are potential violations. The number of compliance with Lipinski's and Veber's rules was taken as a marker of a relatively good drug-likeness profile.

BOILED-Egg Analysis

The BOILED-Egg model was used for the prediction of gastrointestinal absorption and BBB penetration for the selected compounds. The model gives a graph with the position of a compound predicting its likely absorption and distribution. Compounds in the white area were deemed as possessing good gastrointestinal absorption and compounds in the yellow yolk were thought to be more likely to exhibit BBB penetration. Those compounds outside or on the edges were assigned based on their respective predicted properties.

P-Glycoprotein Prediction

As an additional pharmacokinetic parameter, the potential interaction with P-glycoprotein (P-gp) of the selected phytochemicals was evaluated. P-gp is an important membrane transporter involved in the efflux of numerous xenobiotics and pharmaceutical compounds. Compounds were classified based on the predicted P-gp indication. This analysis was included to determine additional information about the potential effect on compound disposition by transporter-mediated efflux.

In Silico Toxicity Prediction

ProTox-3.0 was used to assess the toxicity profile of the ten phytochemicals selected (https://tox.charite.de/protox3/). The acute toxicity was suggested by predicted acute oral LD50 and each compound was allocated a predicted toxicity class. The estimated LD50 figures were given in mg/kg. The higher the predicted LD50 the less acute toxicity it is interpreted to have as compared to compounds with lower predicted LD50 values. The toxicity classification was employed as a comparative index to prioritize more favorable predicted safety compounds.

RESULTS

Molecular Docking Results and Selection of Top-Ranked Phytochemicals

A total of 890 PubChem derived phytochemicals were molecularly docked into the selected binding site of DprE1 with AutoDock Vina (version 1.2.5) shown in Figure 2. Top ten compounds showed the docking score within the range of −9.469 to −8.816 kcal/mol, which showed the predicted binding with the DprE1 binding site was favorable. The screened compounds that had the best predicted docking scores are Comp 1 with −9.469 kcal/mol, Comp 2 with −9.203 kcal/mol and Comp 3 with −9.126 kcal/mol. The other selected compounds also had docking scores less than −8.8 kcal/mol, further backing up their selection for further ADMET analysis.

Figure 2. Representation of the molecular docking grid positioned within the DprE1 receptor. The grid box dimensions were 24 × 24 × 24 Å, with center coordinates of X = 44.96, Y = −19.94, and Z = 41.31, defining the search space used for docking of the phytochemical library.

Table 1. Top-ranked phytochemicals based on molecular docking scores against DprE1.

Compound	PubChem CID	Docking score
Comp 1	64982	-9.469
Comp 2	10177	-9.203
Comp 3	5319322	-9.126
Comp 4	5281855	-9.112
Comp 5	108168	-8.947
Comp 6	5281612	-8.944
Comp 7	14539911	-8.929
Comp 8	53466984	-8.907
Comp 9	442396	-8.841
Comp 10	2950	-8.816

Physicochemical Properties and Drug-Likeness

The physicochemical and drug-likeness properties of the ten highest ranked phytochemicals were analyzed in terms of Lipophilicity, Aqueous solubility, gastrointestinal absorption, Lipinski's Rule of 5, Veber's rule and blood–brain barrier. The values of Log Po/w ranged from −0.67 to 2.99. The most hydrophilic compound was Comp 1 (with a lipophilicity of −0.67) while the most lipophilic was Comp 8 (with a lipophilicity of 2.99). The calculated aqueous solubility (Log S) was between −2.92 and −4.55. Comp 1 had the highest solubility prediction and Comp 8 had the lowest predicted solubility of the compounds screened. As far as druglikeness, Comp 1 had two Lipinski violations and one Veber violation. Comp 4 had one Veber violation, and satisfied Lipinski's rule. Compounds 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 were found to be having favorable predicted oral-drug-likeness as they satisfy both.

Table 2. Physicochemical and drug-likeness profiles of the top-ranked phytochemicals.

Compound	Log Po/w	Log S	GI absorption	BBB permeant	Lipinski rule	Veber rule
Comp 1	-0.67	-2.92	Low	No	No; 2	No; 1
Comp 2	2.47	-3.67	High	Yes	yes	Yes
Comp 3	2.62	-4.39	High	No	yes	yes
Comp 4	1.12	-4.36	High	No	yes	No; 1
Comp 5	2.41	-4.35	High	No	yes	Yes
Comp 6	1.45	-3.27	High	No	Yes	Yes
Comp 7	2.15	-3.45	High	Yes	Yes	Yes
Comp 8	2.99	-4.55	High	No	Yes	Yes
Comp 9	2.54	-4.01	High	No	Yes	Yes
Comp 10	2.06	-3.81	High	yes	yes	yes

Gastrointestinal Absorption and Blood–Brain Barrier Permeability

There was a clear difference between Comp 1 and the other Compounds in the gastrointestinal absorption profile predicted. Comp 2-10 was predicted to have high gastrointestinal absorption while Comp 1 was predicted to have low gastrointestinal absorption. Based on BBB permeability analysis, Compounds 2, 7 and 10 were predicted to be BBB permeant while Compounds 1, 3, 4, 5, 6, 8, and 9 were predicted to be non-BBB permeant. Several compounds lack predicted BBB penetration which may be favorable from a CNS exposure point of view, as the target DprE1 is not a CNS target, but rather a target for cell-wall biosynthesis of mycobacteria.

BOILED-Egg and P-Glycoprotein Analysis

The BOILED-Egg model could give an integrated prediction of the gastrointestinal absorption and BBB permeability properties of compounds based on their physicochemical properties.

Based on its predicted permeability of BBB, Comp 2 was placed in the yellow region. Compounds 3, 5, 6, 8, and 9 were found in the white section, which has a high gastrointestinal absorption and no predicted BBB penetration. Two compounds (7 and 10) were placed near the yellow/white divide and they were expected to be BBB permeant. Based on the P-glycoprotein predictions, Compounds 2, 3, 4, 5, 6, 8 and 10 were considered as P-glycoprotein positive while Compounds 7 and 9 were considered as P-glycoprotein negative. No clear indication of P-gp substrate was found for Comp 1.

Table 3. BOILED-Egg, BBB, and P-glycoprotein predictions

Compound	Boiled-Egg position	BBB prediction	P-gp indication
Comp 1	Outside egg	No	P-gp−/not clearly indicated
Comp 2	In yellow yolk	Yes	P-gp+
Comp 3	In white region	No	P-gp+
Comp 4	Near/outside egg boundary	No	P-gp+
Comp 5	In white region	No	P-gp+
Comp 6	In white region	No	P-gp+
Comp 7	Near yellow/white boundary	Yes	P-gp−
Comp 8	In white region	No	P-gp+
Comp 9	In white region	No	P-gp−
Comp 10	Near yellow/white boundary	Yes	P-gp+

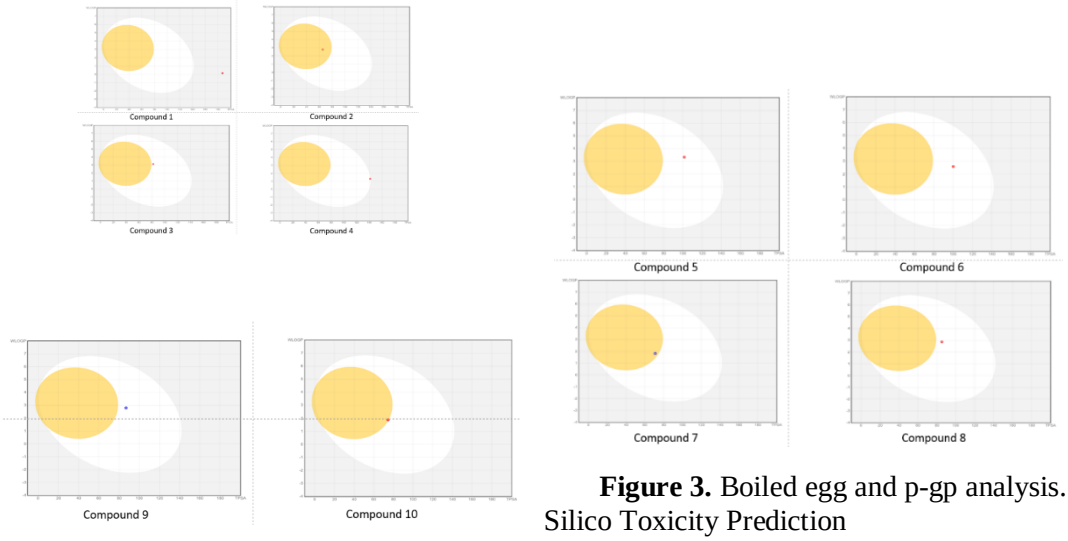


Figure 3. Boiled egg and p-gp analysis.

In Silico Toxicity Prediction

The toxicity profile of the 10 highest ranked phytochemicals was determined by calculating their predicted acute oral LD50 value and the associated toxicity class. The estimated LD50's were in the range of 450 - 7000 mg/Kg. The lowest value for the predicted LD50 was obtained for Comp 7 (450 mg/kg) and it was assigned to toxicity class 4 (a comparatively less favorable acute toxicity profile). Comp 10 had the highest predicted LD50 value of 7000 mg/kg, and was classified in toxicity class 6, the most favorable of the predicted acute toxicity classes evaluated, when compared to the other compounds. Compounds 1, 3, 5, and 6 were put into class 5 while Compounds 2, 4, 7, 8, and 9 were put into class 4.

Table 4. Predicted acute oral toxicity of the top-ranked phytochemicals.

Compound	Predicted LD50	Predicted toxicity
Comp 1	5000 mg/kg	5
Comp 2	1500 mg/kg	4
Comp 3	3800 mg/kg	5
Comp 4	2991 mg/kg	4
Comp 5	2100 mg/kg	5
Comp 6	3919 mg/kg	5
Comp 7	450 mg/kg	4
Comp 8	2000 mg/kg	4
Comp 9	2000 mg/kg	4
Comp 10	7000 mg/kg	6

Integrated ADMET-Based Prioritization

Results of the docking and ADMET analysis were integrated, which showed that the compound with the highest docking score did not necessarily have the best overall score. Comp 1 had the highest docking score (−9.469 kcal/mol) but its predicted gastrointestinal absorption was low, it had two violations of Lipinski's rule and one violation of Veber's rule and overall had a poor drug-likeness profile. The compounds 2–10 generally had better predicted pharmacokinetic properties, especially gastrointestinal absorption and drug-like properties, compared to the other compounds. Compounds 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 satisfied both Lipinski's and Veber's rules. Of these, Compounds 3, 5, 6, 8 and 9 also had no predicted BBB penetration. Comp 10 had the highest predicted LD50 and toxicity class 6, but should also be taken into account during prioritization for BBB permeability and P-gp positivity. Looking at the above, an integrated analysis based on docking performance, physicochemical, pharmacokinetic and toxicity parameters would be used for prioritizing phytochemical candidates. Based on the combined profile, Compounds 5, 6, 9, and 10 are all very interesting compounds to consider further investigation, with Compounds 3 and 8 also being interesting compounds based on the drug-likeness and non-BBB profile. Experimental validation of these computational predictions is necessary via DprE1 inhibition assays, antimycobacterial testing, cytotoxicity assays and pharmacokinetic testing.

CONCLUSION AND DISCUSSION

In the present study, an integrated computational approach was used to prioritize the phytochemical candidates with respect to their ability to target the DprE1 of the *Mycobacterium tuberculosis*. DprE1 is an essential enzyme needed for the biosynthesis of decaprenylphosphoryl-D-arabinose, which is a precursor in the pathway that leads to the production of key components of the mycobacterial cell envelope, such as arabinogalactan and lipoarabinomannan. As a result, DprE1 has been highly studied for potential use as a new target for an antitubercular drug (Gawad & Bonde, 2018).

Molecular docking of 890 PubChem phytochemicals resulted in ten highest scored compounds of −9.469 to −8.816 kcal/mol. Comp 1 had the best docking score (−9.469 kcal/mol), which indicates that it has the best predicted binding interaction with the DprE1 binding site. The subsequent ADMET analysis revealed that the Comp 1 had several undesirable properties, such as low predicted gastrointestinal absorption, two Lipinski violations and one Veber violation. This observation points out one of the drawbacks of using only docking scores for compound prioritization.

A positive docking score is a computational prediction of the interaction between the target and the ligand, and not necessarily a good PK/safety profile. The gastrointestinal absorption predictions were generally favorable for Compounds 2–10, in contrast. The compounds were classified as good drug-likeness compounds based on Lipinski's Rule of 5 and Veber's rule, which allowed 8 compounds to pass both: Compounds 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, and 10 yielded good drug-likeness and may be orally bioavailable. Comp 4 met Lipinski's rules with a Veber violation. These results suggest that most of the selected phytochemicals have physicochemical properties suitable for further consideration for drug development.

Log Po/w values ranged from −0.67 to 2.99, while Log S values ranged from −2.92 to −4.55. The compounds were analyzed for their predicted lipophilicity and solubility, with Comp 8 having the highest lipophilicity and the lowest solubility.

Despite the relative lack of predicted solubility, the molecules' docking score and drug-likeness profile suggests that further consideration of this compound merits evaluation. On the other hand, Comp 1 had the maximum predicted solubility and had poor absorption and drug-likeness properties. The candidates were further differentiated by the BBB permeability analysis. Compounds 2, 7 and 10 were predicted to be BBB permeant, while Compounds 3, 5, 6, 8 and 9 were predicted to be non-BBB permeant. DprE1 is not a CNS target, so high CNS penetration is not essential, and may lead to an increase in unwanted CNS penetration.

Hence the non-BBB prediction observed for Compounds 3, 5, 6, 8 and 9 can be deemed as a beneficial property for prioritization. These results, however, are a prediction of BBB and not an experimental demonstration of CNS distribution. The predicted gastrointestinal and BBB permeability profiles were also supported by the BOILED-Egg analysis. Few compounds were placed in the white area, which corresponds with good gastrointestinal absorption and poor BBB penetration. P-glycoprotein predictions also showed that there was some variation in the candidates. Compounds 7 and 9 were predicted to be P-gp negative while a number of compounds were predicted to be P-gp positive. These predictions are valuable for comparative prioritization but will need to be experimentally confirmed to determine the influence on intestinal absorption and systemic exposure with P-gp-mediated transport.

Toxicity prediction showed the predicted LD50s of the compounds to be 450-7000mg/kg, with a comparatively less favorable acute toxicity profile for the compound Comp 7 with the lowest predicted LD50 of 450mg/kg. Comp 10 on the other hand had the highest predicted LD50 (7000 mg/kg) and was assigned the highest toxicity class 6, which is the most favorable predicted acute toxicity profile in the group of selected compounds. The five compounds (1, 3, 5, and 6) were classified as toxicity class 5, and the five compounds (2, 4, 7, 8, and 9) were classified as toxicity class 4. However, these toxicity classifications are predicted, and do not replace experimentally determined toxicological evaluation.

Combined, the results show that using an integrated assessment of docking, physicochemical properties, pharmacokinetic characteristics, drug-likeness, transporter interactions and toxicity is a more informative basis for prioritizing candidates than docking alone. These combined profiles led to the identification of four compounds (5, 6, 9 and 10) of particular interest for further investigation and two other compounds (3 and 8) with several interesting properties. Comp 1 was docked with a higher score, however, due to its relatively poor ADMET properties it was put in a lower priority. The results can serve as the computational basis for further exploration of these phytochemicals as compounds targeting DprE1. The expected properties should, however, be considered to be hypothesis-generating and not proof of therapeutic effectiveness. The computational predictions will need to be validated by experimental DprE1 enzyme inhibition, antimycobacterial activity, cytotoxicity, pharmacokinetic and in vivo studies.

REFERENCES

Anand, U., Jacobo-Herrera, N., Altemimi, A., & Lakhssassi, N. J. M. (2019). A comprehensive review on medicinal plants as antimicrobial therapeutics: potential avenues of biocompatible drug discovery. *9*(11), 258.

Bugnon, M., Röhrig, U. F., Goullieux, M., Perez, M. A., Daina, A., Michielin, O., & Zoete, V. J. N. a. r. (2024). SwissDock 2024: major enhancements for small-molecule docking with Attracting Cavities and AutoDock Vina. *52*(W1), W324-W332.

Chihomvu, P., Ganesan, A., Gibbons, S., Woollard, K., & Hayes, M. A. J. I. j. o. m. s. (2024). Phytochemicals in drug discovery—A confluence of tradition and innovation. *25*(16), 8792.

Daoud, N. E.-H., Borah, P., Deb, P. K., Venugopala, K. N., Hourani, W., Alzweiri, M., . . . Tiwari, V. J. C. D. M. (2021). ADMET profiling in drug discovery and development: perspectives of in silico, in vitro and integrated approaches. *22*(7), 503-522.

Dong, J., Wang, N.-N., Yao, Z.-J., Zhang, L., Cheng, Y., Ouyang, D., . . . Cao, D.-S. J. J. o. c. (2018). ADMETlab: a platform for systematic ADMET evaluation based on a comprehensively collected ADMET database. *10*(1), 29.

Encinar, J. A., Yang, C., Fernández-Ginés, R., Tang, Y., Cuadrado, A. J. J. o. C. I., & Modeling. (2026). ADMET-Driven Chemical Navigability Rules for Early-Stage Virtual Compound Prioritization.

Gawad, J., & Bonde, C. J. C. C. J. (2018). Decaprenyl-phosphoryl-ribose 2′-epimerase (DprE1): challenging target for antitubercular drug discovery. *12*(1), 72.

Oesch, F., Oesch-Bartlomowicz, B., & Efferth, T. J. P. (2021). Toxicity as prime selection criterion among SARS-active herbal medications. *85*, 153476.

Pradeepkiran, J. A., Sainath, S., & Shrikanya, K. (2021). In silico validation and ADMET analysis for the best lead molecules. In *Brucella melitensis* (pp. 133-176): Elsevier.

Riccardi, G., Pasca, M. R., Chiarelli, L. R., Manina, G., Mattevi, A., Binda, C. J. A. m., & biotechnology. (2013). The DprE1 enzyme, one of the most vulnerable targets of Mycobacterium tuberculosis. *97*(20), 8841-8848.

Torfs, E. (2019). *In vitro biological investigation of novel anti-tubercular compound classes and the development of improved research tools*: University of Antwerp.

Yadav, S., Soni, A., Tanwar, O., Bhadane, R., Besra, G. S., & Kawathekar, N. J. C. (2023). DprE1 inhibitors: enduring aspirations for future antituberculosis drug discovery. *18*(16), e202300099.

Zaman, K. J. J. o. h., population,, & nutrition. (2010). Tuberculosis: a global health problem. *28*(2), 111.

https://www.rcsb.org/

https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/

https://www.swissadme.ch/

https://tox.charite.de/protox3/

THE IMPACT OF URBANIZATION AND THERMAL STRESS ON THE GLOBAL AGRICULTURAL CARBON FOOTPRINT

Master's Student Ștefania-Alina MORARU
Department of Automatic Control and Industrial Informatics, Faculty of Automatic Control and Computer Science, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

Master's Student Elena-Camelia MORARU
Department of Applied Electronics and Information Engineering, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technology, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

PhD Student Valentin-Ionuț-Cosmin DUMITRESCU
Department of Economic Engineering, Faculty of Entrepreneurship, Engineering and Business Management, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

Prof. Dr. Ing. Gheorghe MILITARU
Faculty of Entrepreneurship, Engineering and Business Management, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

Abstract
It is essential to accurately measure the human-made and environmental factors that contribute to greenhouse gas (GHG) emissions in agriculture if effective action is to be taken to mitigate climate change. Moving away from generalizations based on macro-regional categories and from the use of defective agronomic proxies, this study carries out an empirical assessment of the structural factors underlying the global agricultural carbon footprint. With the use of a longitudinal panel dataset spanning from 1990 to 2020, the research applies a solid two-way country-fixed effects econometric model in order to identify the specific effects of demographic transitions and separate thermal stressors. The results show that the pattern of modern agricultural emissions is no longer determined by rural agrarian expansion, which has a slight negative elasticity ($\beta = -0.0398$), but is instead largely driven by rapid urbanization. The model finds a highly significant positive elasticity between growing urban populations and agricultural GHG emissions ($\beta = 0.2908$), showing that the complex logistical systems, the use of mechanized transport, and the resource-heavy diets needed to support non-agricultural populations necessarily lead to carbon-intensive agricultural practices. At the same time, the increasing average baseline temperatures exert an independent positive influence on total emissions ($\beta = 0.0592$), revealing a hazardous self-reinforcing climate feedback loop in which thermal stress leads to greater use of energy and synthetic inputs in order to maintain biological viability. Since it relies on strictly observed national data, this study proves that future global climate policies must give up broad, general macro-level targets. In their place, mitigation strategies should aim at reducing the carbon content of urban food supply chains and provide funding for local technological adaptations to deal with worsening thermal shocks.
Keywords: agricultural greenhouse gas emissions, urbanization, climate feedback loop, panel data analysis, country-fixed effects, food supply chains.

THE DUAL IMPACT OF GENERATIVE AI ON ACADEMIC PERFORMANCE AND STUDENT WELL-BEING

Master's Student Ștefania-Alina MORARU
Department of Automatic Control and Industrial Informatics, Faculty of Automatic Control and Computer Science, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

Master's Student Elena-Camelia MORARU
Department of Applied Electronics and Information Engineering, Faculty of Electronics, Telecommunications and Information Technology, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

PhD Student Valentin-Ionuț-Cosmin DUMITRESCU
Department of Economic Engineering, Faculty of Entrepreneurship, Engineering and Business Management, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

Prof. Dr. Ing. Gheorghe MILITARU
Faculty of Entrepreneurship, Engineering and Business Management, National University of Science and Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Romania.

Abstract
The rapid incorporation of Generative Artificial Intelligence (GenAI) into higher education has fundamentally changed the way modern universities operate, at the same time putting students at risk of serious psychological problems through behavioural dependence and cognitive offloading. Since traditional teaching policies cannot cope with this new situation, they tend to fail in achieving a balance between short-term academic performance and long-term mental health. Prioritising immediate grade improvements, existing institutional systems usually disregard the serious rise in student anxiety and academic burnout. To overcome these shortcomings, this study applies a solid quantitative approach involving multiple linear and ordered logistic regression analyses to a multidisciplinary dataset of 50,000 university students. The models achieve this by mathematically separating out the various metrics relating to technology use, thus shifting the area of analysis from simple academic output to overall cognitive resilience. The analysis reveals a serious dual-effect: although a moderate level of GenAI use has a slight positive effect on the Grade Point Average after the semester ($\beta = 0.0005$), a strong sense of AI dependence seriously hampers cognitive retention and is the main cause of anxiety about exams when taking them offline ($\beta = 271$). Moreover, the data clearly refutes the idea that software complexity causes stress, showing that the variety of tools has very little predictive power ($p = 0.845$) when compared with the extent of psychological dependence. Students in the highest burnout risk group had anxiety scores of 4.88, a result of excessive automated integration, as opposed to 3.92 for those in the low-risk group. Finally, this research fills the gap between the adoption of technology and cognitive vulnerability, giving educational institutions the empirical basis they need to develop proactive AI literacy programmes, revise their methods of offline assessment, and protect human intellectual autonomy in the age of automation.
Keywords: Generative AI, cognitive offloading, academic burnout, exam anxiety, educational technology, linear regression.

A DECADE OF ETHNOBOTANICAL STUDIES IN KATSINA STATE, NIGERIA: PROSPECTS AND CHALLENGES

Raubilu Safiya ALMAJIR
Department of Biology, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0009-1838-7999

Sulaiman Sani KANKARA
Department of Biology, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Raubilu Ibrahim ALMAJIR
Department of Basic and Applied Sciences, College of Science and Technology, Hassan Usman Katsina Polytechnic, Katsina, Nigeria; Department of Biophysics, Institute of Biology and Biotechnology, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia.

Sulaiman MUHAMMAD
National Biotechnology Research and Development Agency, Abuja, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0002-5065-6713

ABSTRACT
Ethnobotanical knowledge plays a vital role in healthcare, particularly in developing countries where traditional medicine remains a primary source of treatment. Katsina State, located in the Sudan Savanna region of northwestern Nigeria, is rich in medicinal plant diversity and cultural heritage. Over the past decade, numerous Ethnobotanical studies have been conducted across the state, yet a comprehensive synthesis of these findings is lacking. This review aims to synthesize findings from a decade of Ethnobotanical studies in Katsina State, Nigeria, highlighting the medicinal plant diversity, traditional knowledge, prospects for drug discovery, and challenges facing sustainable utilization and conservation. A systematic literature search was conducted using electronic databases including Google Scholar, PubMed, Scopus, and Web of Science. Studies published between 2014 and 2024 that documented Ethnobotanical knowledge in Katsina State were included. Data on plant diversity, plant parts used, preparation methods, administration routes, quantitative indices (RFC, FL, ICF), and conservation status were extracted and synthesized. A total of 16 eligible studies were reviewed, documenting approximately 500 medicinal plant species across various families. The Fabaceae family was consistently reported as the dominant family across all studies. Leaves (32–48%) were the most frequently used plant part, with decoction (32–80%) being the predominant preparation method, and oral administration (84–88%) as the primary route. Most plants (70–85%) were sourced from the wild, and knowledge was predominantly held by elderly individuals with limited formal education. Major ailment categories included Maternal healthcare, HIV/AIDS, Cancer, Hepatic diseases, Ulcer, Snakebite, and Cosmetic applications. Notably, a study on threatened species found that 108 out of 169 evaluated species were at risk of local extinction. Ethnobotanical studies in Katsina State over the past decade reveal a rich diversity of medicinal plants and a deep-rooted traditional knowledge system. While the prospects for drug discovery and integration of traditional medicine are significant, major challenges including knowledge loss, overexploitation, and habitat destruction threaten this valuable heritage. Concerted efforts in conservation, documentation, and scientific validation are urgently needed to safeguard these resources for future generations.
Keywords: Ethnobotany, Medicinal plants, Katsina State, Traditional medicine, Nigeria, Fabaceae

EFFECT OF AQUEOUS EXTRACT OF COMBRETUM SERICEUM STEM BARK ON RELATIVE ORGAN WEIGHT IN HIGH-FAT DIET FED RATS

Fatima ABDURRAHMAN
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Umma Aliyu IDRIS
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

Ahmad Sani SHEHU
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'Adua University, Katsina, Nigeria.

ABSTRACT
Hyperlipidemia is a metabolic condition characterized by elevated blood lipids. Relative organ weight is a sensitive parameter used to evaluate potential toxicological effects of therapeutic agents. *Combretum sericeum*, a traditional African medicinal plant locally known as "Taru" in Hausa, has significant pharmacological activity. This study investigated the effect of aqueous *Combretum sericeum* stem-bark extract on relative organ weight in high-fat diet-fed rats. Thirty-five Wister albino rats weighing between 40g to 100g were grouped into seven consisting of five rats each based on body weight and gender. Groups of rats maintained on a high fat diet, containing 33% fat, were given daily oral doses of 200mg/kg, 400mg/kg and 800mg/kg of the aqueous extract of *Combretum sericeum* stem bark prepared by maceration, for three weeks. At the end of treatment, the spleen, kidney, and liver were harvested, weighed, and their relative organ weights determined. Data was analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey's post-hoc test, with significance set at $p < 0.05$. The high-fat diet and extract treatment produced no significant changes in the relative weights of the spleen, kidney, or liver across the treatment groups. This suggests that the extract did not cause major organ-weight alterations in high-fat diet-fed rats during the experimental period. However, the extract-control group showed increased spleen and kidney relative weights, suggesting that the effect of the extract may differ in the absence of the high-fat diet. Overall, aqueous *Comberetum sericeum* stem-bark extract at 200–800 mg/kg did not significantly affect relative organ weights in high-fat diet-fed rats.
Keywords: Hyperlipidemia, *Combretum sericeum*, High-fat diet, Relative organ weight, Extract

WATERBORNE PATHOGENS IN THE KHOUMANE WADI, MOROCCO: AN INTEGRATED ASSESSMENT OF PARASITIC AND BACTERIOLOGICAL CONTAMINATION AND POTENTIAL RISKS TO PUBLIC HEALTH

A. SAIDI
Natural Resources Management and Valorization Team, Hydrobiology Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Meknes, Morocco.

M. L. BELGHITI
Natural Resources Management and Valorization Team, Hydrobiology Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Meknes, Morocco.

B. ELHILALI
Natural Resources Management and Valorization Team, Hydrobiology Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Meknes, Morocco.

A. SOLTANI
Faculty of Sciences and Techniques of Errachidia, Moulay Ismail University, Errachidia, Morocco.

A. CHAHLAOUI
Natural Resources Management and Valorization Team, Hydrobiology Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Meknes, Morocco.

ABSTRACT
This study provides a first-of-its-kind assessment of the bacteriological and parasitological contamination of the Khoumane wadi (Morocco), which is chronically polluted by domestic effluent, slaughterhouse effluent, oil mill effluent and landfill leachate. Six monitoring points (S1 to S6) were monitored monthly in 2022 (72 bacteriological and 72 parasitological samples, supplemented by hourly monitoring). The parasitological analysis was carried out using the Arther Fitzgerald Fox flotation technique.
The indicators of faecal contamination were extreme: the total mesophilic flora ranged from 5.27×10^3 to 1.25×10^7 CFU/100 mL, and faecal coliforms peaked at 3.90×10^5 CFU/100 mL. Parasitological analysis identified 17 taxa, with an average monthly parasite load of 74,456 (peaking at 192,619 in September), dominated by the protozoa *Giardia lamblia*, *Balantidium coli* and *Entamoeba coli*, and by the helminths *Strongyloides stercoralis*, *Ascaris lumbricoides* and *Enterobius vermicularis*. Multivariate analyses (PCA, CAH, ANOVA) revealed an upstream-to-downstream pollution gradient, characterised by domestic discharges (S2, S3), livestock and oil mill effluents (S4), and persistent residual contamination downstream (S5, S6), with marked seasonality in summer. Irrigation using this untreated water exposes farmers, local residents and children to high risks of waterborne and parasitic diseases, justifying the urgent implementation of a natural lagooning system and an ongoing public health monitoring programme.
Keywords: *Khoumane wadi; Morocco; bacteriology; parasitology; public health; wastewater reuse.*

SCHOOL-LEVEL RISK FACTORS FOR INTERNET GAMING DISORDER: EVIDENCE FROM SFAX, TUNISIA

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: School characteristics, including academic culture, geographic location, and grade level, may modulate IGD risk. Identifying school-level risk factors can inform institutional-level interventions.

Objective: To identify school-level and academic variables associated with IGD among adolescents across six schools in Sfax, Tunisia.

Methods: A stratified cross-sectional sample of 670 students across six public schools (two middle, four high) in two urban delegations was analyzed. School name, school level, academic grades, and grade repetition history were examined as potential IGD predictors.

Results: Attending Mohamed Mahfoudh Middle School was significantly associated with higher IGD risk (OR=1.788; p=0.004), while attending High School 20 Mars was strongly protective (OR=0.107; p=0.007) as was Pilote Sfax High School (OR=0.459; p=0.018). 7th graders showed the highest IGD risk among all grade levels (OR=2.183; p=0.012). 3rd year high school students had significantly lower IGD odds (OR=0.449; p=0.034).

Conclusion: IGD risk varies significantly by school and grade level among Tunisian adolescents. These disparities may reflect differences in school environment, academic pressure, and peer norms around gaming. School administrators and public health authorities should tailor prevention programs to the specific profiles of individual institutions.

FAMILY STRUCTURE, PARENTAL FACTORS, AND INTERNET GAMING DISORDER AMONG TUNISIAN ADOLESCENTS

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

ABSTRACT

Background: Family environment, including living arrangements and parental presence, plays a crucial role in shaping adolescent behavior and resilience against addictive tendencies. The influence of family factors on IGD in Tunisia has not been investigated.

Objective: To examine the associations between family structure variables and IGD among adolescents in Sfax, Tunisia.

Methods: A cross-sectional study enrolled 670 students. Family variables including living arrangement, parental marital status, parental educational level, and parental occupation were collected. Associations with IGD status (IGDT-10) were analyzed using Chi-square and Fisher's exact tests.
Results: Living with the father only was significantly associated with increased IGD risk (OR=4.841; 95% CI [1.379–16.998]; p=0.019). Having siblings was associated with lower IGD risk (OR=0.382;

p=0.046). A primary level of maternal education was protective (OR=0.363; p=0.027), as was having a retired mother (OR=0.172; p=0.005). 88.1% of students lived with both parents and showed lower IGD prevalence.

Conclusion: Family structure significantly influences IGD risk among Tunisian adolescents. The increased risk among students living with only the father, and the protective effects of sibling presence and maternal engagement, suggest that parental supervision quality and family cohesion are important preventive factors.

MUSCULOSKELETAL DISORDERS IN HOSPITAL NURSES: HOW WIDESPREAD ARE THEY AND WHAT PUTS NURSES AT RISK?

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

BACKGROUND & OBJECTIVE
Musculoskeletal disorders (MSDs) are among the most prevalent and costly occupational health conditions in healthcare settings worldwide. Nurses, due to prolonged standing, repetitive movements, and manual patient handling, are at particularly high risk. This study aimed to determine the prevalence of MSDs across all body segments and to identify the sociodemographic, lifestyle, and occupational factors independently associated with their occurrence in a hospital nursing population.

METHODS
A cross-sectional descriptive and analytical study was conducted among 390 nurses recruited from a hospital setting. A standardized self-administered questionnaire was used to collect data on sociodemographic characteristics, lifestyle habits, and clinical and occupational profiles.

MSDs were assessed using a validated Nordic-style body map covering upper limbs, trunk, and lower limbs, with a 12-month recall period. Pain intensity was rated on a Visual Analog Scale.

RESULTS

MSDs were highly prevalent across all body segments. Upper limb disorders affected 33.8% to 53.3% of participants, with the left shoulder/arm (53.3%), left elbow/forearm (52.1%), and right shoulder/arm (52.3%) being most frequently reported. Trunk disorders were reported by 44.9% to 48.5% of nurses, predominantly in the upper back (48.5%), neck/cervical region (47.7%), and lower back (44.9%). Lower limb MSDs ranged from 49.5% to 53.3%, with the highest prevalence at the left knee/leg (53.3%). Median VAS pain scores ranged from 4 to 6 out of 10. Activity limitation due to MSDs was reported by 44% to 59% of affected nurses depending on the region, and 42% to 57% sought medical consultation. Associated factors significantly linked to MSD occurrence included female sex, older age, greater occupational seniority, night and rotating shifts, high self-reported workload, absence of physical activity, sleep disorders, poor general health status, personal medical or surgical history, working in surgical or intensive care units, and low professional social support.

CONCLUSION

MSDs represent a major occupational health burden affecting nearly all body segments in hospital nurses, with prevalence rates exceeding 50% for most regions. Multiple modifiable and non-modifiable risk factors were identified, highlighting the multidimensional nature of this problem. Targeted preventive programs integrating ergonomic, organizational, and health-promotion interventions are urgently needed to protect nurses' musculoskeletal health and sustain workforce capacity.

Keywords: Musculoskeletal disorders, nurses, prevalence, occupational risk factors, hospital, Nordic questionnaire, workload.

WHEN NURSES CAN'T AFFORD TO STAY HOME: THE INTERSECTION OF PRESENTEEISM, MUSCULOSKELETAL DISORDERS, AND WORKPLACE STRESS

Fedi BEN DHAOU
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0004-6298-2385

Maroua TRIGUI
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-7741-7950

Zeinab MALLEK
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0009-0002-4638-3919

Feriel BOUZID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0001-9285-4297

Riel BOUGDAR
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Ameni BECHA
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia.

Mondher KASSIS
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5823-5748

Yosra MEJDOUB
Department of Hygiene, Habib Bourguiba University Hospital, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-8611-1486

Bassem ABID
Higher Institute of Nursing Sciences, Sfax, Tunisia; Faculty of Medicine of Sfax, University of Sfax, Sfax, Tunisia.
ORCID ID: 0000-0002-5535-854X

BACKGROUND & OBJECTIVE

In resource-constrained hospital environments, nurses frequently attend work despite compromised health — a phenomenon known as presenteeism. While individual and organizational consequences of presenteeism are well-documented, its specific associations with musculoskeletal disorders (MSDs) and occupational stress dimensions remain insufficiently characterized in the nursing context. This study examined the prevalence of presenteeism and explored its relationships with MSD burden and occupational stress components among hospital nurses.

METHODS

A cross-sectional study was conducted among 390 nurses at a hospital institution. Presenteeism was measured using a validated six-item Likert instrument. MSDs were evaluated over a 12-month period using a standardized regional body map. Occupational stress was assessed via Karasek's three-dimensional demand-control-support model.

RESULTS

The 12-month prevalence of presenteeism reached 88.5%, with 72.1% affected in the past month alone. The median presenteeism score was 22 (IQR: 19–26). The leading cause of presenteeism was staff shortage (86.4%), with responsibility toward patients cited by 37.4%. Over 50% of nurses estimated that presenteeism impaired their work quality, and 49% believed it endangered patients. Among musculoskeletal regions, only lumbar pain demonstrated a statistically significant association with presenteeism ($p = 0.009$); other regions showed no significant differences. Occupational stress analysis revealed that 54.9% of nurses met criteria for high-strain work. Active workers (high demand, high control) exhibited significantly higher presenteeism ($p = 0.037$). High-strain workers showed a borderline significant association ($p = 0.05$). Psychological demand was elevated in 94.4% of nurses and social support was low in 74.9%. Multivariable correlational analysis identified age, seniority, family burden, and poor sleep as significant positive correlates of presenteeism, while sufficient sleep and longer commute distances were protective.

CONCLUSION

This study documents an alarming prevalence of presenteeism among hospital nurses, substantially shaped by systemic staffing deficits and a culture of professional obligation. The selective association of presenteeism with lumbar pain — and not other MSD regions — suggests that low back complaints disproportionately drive attendance despite ill health in this population. The complex relationship with occupational stress, particularly active and high-strain work configurations, calls for integrated occupational health policies addressing both psychosocial and biomechanical risk factors to safeguard nurses' wellbeing and the quality of patient care.

Keywords: Presenteeism, musculoskeletal disorders, lumbar pain, occupational stress, Karasek demand-control-support, nurse health, patient safety.

FEATURES OF RENAL AND LUMBAR HEMODYNAMICS DURING MUSCLE CONTRACTION AND AFTER COFFEE INTAKE IN STUDENTS

Ruslan SHEVERDIN
Independent Researcher, Faculty of Biology, Belarusian State University, Minsk, Belarus.

Assoc. Prof. Dr. Victor KAZAKEVICH
Department of Human and Animal Physiology, Faculty of Biology, Belarusian State University, Minsk, Belarus.

ABSTRACT

In recent years, there has been growing interest in the physiological mechanisms regulating blood circulation in skeletal muscles and kidneys under various functional loads. Particular attention is paid to factors influencing hemodynamics in the lumbar region, which plays a key role in maintaining posture and enabling trunk movements. Furthermore, the widespread consumption of caffeine among young people makes the study of its effect on renal blood flow highly relevant.

The aim of this study was to assess changes in blood flow in the lumbar region and kidneys during lateral trunk bends, as well as after coffee consumption, in healthy male students using rheography. To achieve this aim, a literature review was conducted and an experimental study was performed involving 15 volunteers aged 18–22 years. The following parameters were recorded: rheographic index (RI), peripheral vascular resistance index (PVRI), maximum rate of rapid blood filling (MRRBF), and diastolic index (DI).

The results showed that during left and right trunk bends, RI and MRRBF decreased bilaterally, along with asymmetric changes in PVRI, indicating mechanical compression of blood vessels and activation of compensatory vasomotor reactions. After coffee consumption, a sharp increase in RI and MRRBF was observed within the first 5 minutes, followed by a gradual return to baseline values by 15–20 minutes, reflecting the biphasic nature of caffeine's action: initial vasoconstriction and subsequent stabilization of blood flow.

In conclusion, lateral trunk bends induce complex asymmetric hemodynamic changes in the lumbar region, while coffee exerts a dynamic biphasic effect on renal blood flow. These findings expand our understanding of muscle physiology and may be used to develop recommendations for the prevention of circulatory disorders.

Keywords: lumbar region, renal blood flow, muscle contraction, coffee, rheography, hemodynamics

KİSTİK FİBROZİS FİZYOPATOLOJİSİNDE EGZERSİZ FİZYOLOJİSİ VE GÜNCEL KLİNİK DEĞERLENDİRME YAKLAŞIMLARI

EXERCISE PHYSIOLOGY AND CURRENT CLINICAL ASSESSMENT APPROACHES IN THE PATHOPHYSIOLOGY OF CYSTIC FIBROSIS

Asst. Prof. Dr. Melek ALTUNKAYA
Vocational School of Health Services, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-6228-7831

Assoc. Prof. Dr. Emine CİHAN
Department of Physiotherapy, Vocational School of Health Services, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0699-3771

ÖZET

Kistik fibrozis (KF), hücre membranındaki klorür ve bikarbonat iyon transportunun bozulmasıyla karakterize, solunum ve gastrointestinal sistemler başta olmak üzere çoklu sistemik tutulum gösteren ilerleyici genetik bir hastalıktır. CFTR gen mutasyonuna bağlı olarak gelişen iyon transport defekti; hücresel düzeyde mikrotübül instabilitesine, mitokondriyal stres reaksiyonlarına ve periferik sirkadiyen ritim genlerinde bozulmalara yol açarak pro-inflamatuar bağışıklık yanıtlarını kontrolsüz bir şekilde tetiklemektedir. Fiziksel aktivite ve egzersiz eğitimi pulmoner rehabilitasyonun vazgeçilmez temel bileşenleri olsa da, egzersizin hücresel inflamasyon, sirkadiyen ritim restorasyonu ve sistemik adaptasyonlar üzerindeki etkileri ile teletıp tabanlı yeni nesil rehabilitasyon modellerinin klinik pratikle entegrasyonu alanında önemli bir sentez ihtiyacı bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, egzersiz eğitiminin kistik fibrozis fizyopatolojisindeki hücresel ve sistemik adaptasyon mekanizmalarını incelemek ve modern hareket izleme ile dijital sağlık standartlarını klinik pratik için bütüncül bir çerçevede sunmaktır. KF'de egzersiz fizyolojisi, giyilebilir teknolojiler, mikroakışkan ter biyokimyası ve teletıp uygulamalarını inceleyen randomize kontrollü çalışmalar, meta-analizler ve uluslararası uzlaşı raporları derlenmiştir. Meta-analiz verilerine göre egzersiz, irreversibl akciğer hasarı nedeniyle solunum fonksiyonlarında kısa vadeli artış sağlamasa da; kas ve mitokondriyal adaptasyonlar sayesinde maksimum oksijen tüketiminde ortalama 2.74 mL/kg/dk anlamlı bir artış sağlamaktadır. Güncel standartlar, fiziksel aktivitenin tri-aksiyel akselerometrelerle (≥1 sn çözünürlük) uyku ve sedanter süreyi de kapsayan 24 saatlik bütüncül bir döngüde izlenmesini gerektirir. Ter bezlerinin salgılama fizyolojisine dayanan ve egzersiz anında ter içeriğini ölçen mikroakışkan sensörler ("sweat sticker"), sızıntıyı önleyerek tanı ve ilaç takibini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, çapraz enfeksiyon riskini ortadan kaldıran senkronize teletıp modelleri, sağladığı sosyal etkileşimle hasta motivasyonu ve tedavi uyumunda asenkron uygulamalara kıyasla üstün başarı göstermektedir. KF yönetiminde egzersiz; inflamasyonu sınırlayan, sirkadiyen döngüyü düzenleyen ve kardiyorespiratuar kapasiteyi artıran temel bir tedavidir. Gelecekteki araştırmalar, enfeksiyon riskini önleyen kişiselleştirilmiş teletıp programlarının uzun vadeli klinik ve maliyet-etkinlik yansımalarına odaklanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Kistik Fibrozis, Egzersiz Fizyolojisi, Mikroakışkan Ter Sensörleri, Pulmoner Rehabilitasyon.

ABSTRACT

Cystic fibrosis (CF) is a progressive genetic disease characterized by impaired chloride and bicarbonate ion transport across the cell membrane, showing multisystemic involvement, primarily in the respiratory and gastrointestinal systems. The ion transport defect caused by the CFTR gene mutation uncontrollably triggers pro-inflammatory immune responses by leading to microtubule instability, mitochondrial stress reactions, and disruptions in peripheral circadian rhythm genes at the cellular level. Although physical activity and exercise training are indispensable core components of pulmonary rehabilitation, there is a significant need for a synthesis regarding the effects of exercise on cellular inflammation, circadian rhythm restoration, and systemic adaptations, as well as the integration of next-generation telemedicine-based rehabilitation models into clinical practice. The aim of this study is to examine the cellular and systemic adaptation mechanisms of exercise training in cystic fibrosis pathophysiology and to present

modern movement monitoring and digital health standards in a holistic framework for clinical practice. Randomized controlled trials, meta-analyses, and international consensus reports examining exercise physiology, wearable technologies, microfluidic sweat biochemistry, and telemedicine applications in CF were compiled. According to meta-analysis data, although exercise does not provide a short-term increase in respiratory functions due to irreversible lung damage, it provides a significant average increase of 2.74 mL/kg/min in maximum oxygen consumption through muscle and mitochondrial adaptations. Current standards require physical activity to be monitored in a holistic 24-hour cycle, including sleep and sedentary time, with triaxial accelerometers (≥1 sec resolution). Microfluidic sensors ("sweat stickers"), which are based on the secretory physiology of sweat glands and measure sweat content during exercise, facilitate diagnosis and medication monitoring by preventing leakage. Furthermore, synchronous telemedicine models, which eliminate the risk of cross-infection, demonstrate superior success in patient motivation and treatment adherence compared to asynchronous applications through the social interaction they provide. In CF management, exercise is a fundamental treatment that limits inflammation, regulates the circadian cycle, and increases cardiorespiratory capacity. Future research should focus on the long-term clinical and cost-effectiveness implications of personalized telemedicine programs that prevent the risk of infection.
Keywords: Cystic Fibrosis, Exercise Physiology, Microfluidic Sweat Sensors, Pulmonary Rehabilitation.

GİRİŞ

Hücresel Fizyopatoloji (CFTR Ve Multisistemik Etkiler)

Kistik Fibrozis (KF), apikal epitel membranlarında yer alan Kistik Fibrozis Transmembran Kondüktans Regülatörü (CFTR) proteinini kodlayan gendeki mutasyonlar sonucu gelişen, otozomal resesif geçişli, multisistemik ilerleyici bir hastalıktır [1]. CFTR kanalı, özellikle solunum yolları, gastrointestinal sistem, ekzokrin pankreas, hepatobiliyer kanal ve ter bezlerindeki epitel yüzeylerinde klorür (Cl^-) ve bikarbonat (HCO_3^-) iyonlarının aktif transportunu koordine eder [1, 2]. Bu kanalın disfonksiyonu veya yokluğu, epitel hücrelerinde su tutulumunun bozulmasına, dehidre hava yolu yüzey sıvısının gelişmesine ve mukosilier klirens mekanizmasının tamamen sekteye uğramasına yol açar [3]. Sonuç olarak viskozitesi yüksek mukus tıkaçları havayollarını bloke ederek kronik bakteriyel kolonizasyona, rekürren pulmoner alevlenmelere ve sonuçta geri dönüşümsüz akciğer parankim hasarına (bronşiyektazi ve fibrozis) neden olur [1, 4].

CFTR mutasyonlarının etkisi yalnızca solunum epitelindeki iyon dengesiyle sınırlı değildir. Son dönemde yapılan hücresel fizyoloji çalışmaları, KF patofizyolojisinde mikrotübül instabilitesinin ve buna bağlı hücre içi taşınım bozukluklarının kritik rol oynadığını göstermekle birlkte KF epitel hücrelerinde tubulin asetilasyon düzeylerinde belirgin bir azalma ve mikrotübül oluşum oranlarında bozulma saptanmıştır [5] Bu durum, mikrotübül stabilizasyonunda görevli Tubulin Polimerizasyonunu Uyarıcı Protein (TPPP) ekspresyonunun yetersizliği ve histon deasetilaz 6 (HDAC6) enziminin aşırı aktivasyonu ile doğrudan ilişkilidir [6]. Hücre iskeletinin bu yapısal kararsızlığı, klor kanalı modülatör proteinlerinin apikal membrana doğru taşınmasını engellediği gibi, hücre içi kolesterol homeostazisini de bozmaktadır [7].

Mikrotübül instabilitesi ve metabolik bozukluklar, KF hücrelerinde 'mito-inflamasyon' (mitokondriyal stres reaksiyonları ve inflamatuar yanıt ilişkisi) adı verilen patolojik bir süreci tetikler [5, 7]. Perinükleer alanda aşırı kolesterol birikimiyle birlikte mitokondriyal membran potansiyeli bozulur, reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi artar ve mitokondriyal antioksidan savunma sistemleri baskılanır [7] Hücresel düzeyde gözlenen bu silsile, KF patolojisindeki kontrolsüz ve kronik pro-inflamatuar bağışıklık yanıtlarının temelini oluşturmaktadır.

Sirkadiyen Ritim ve İnflamatuar Yanıt Etkileşimi

KF patofizyolojisindeki en yeni ve umut verici araştırma alanlarından biri, hücresel sirkadiyen saat genleri ile kronik inflamasyon arasındaki etkileşimdir (Carbone ve ark., 2024). Organizmanın sirkadiyen homeostazisi, suprakiazmatik nükleustaki (SCN) merkezi saat ile tüm periferik dokularda yer alan ve temelini Clock, Bmal1, Per1, Per2, Cry1 ve Cry2 gibi sirkadiyen ritim genlerinin oluşturduğu hücre içi transkripsiyonel geri bildirim döngüleri tarafından yönetilir [5, 6, 8]. Yapılan deneysel modellemelerde,

F508del CFTR mutasyonuna sahip fare modellerinde ve Tppp geni susturulmuş (Tppp-/-) farelerde sirkadiyen ritmin sarktığı, lokomotor aktivite sirkadiyen periyodunun uzadığı (DD periyodunun sırasıyla

24.67 ve 24.63 saate çıktığı) ve sirkadiyen ritim parametrelerinin (akrofaz, dip noktası, aktivite başlama zamanı) altüst olduğu gösterilmiştir [5, 9].
KF'deki mikrotübül instabilitesi, sirkadiyen saat proteinlerinin çekirdeğe translokasyonunu bozarak bu genlerin sirkadiyen gen ekspresyon profillerini tamamen köreltmektedir [6, 10]. Bu sirkadiyen disfonksiyon, melatonin salgılanmasında fizyolojik bir düşüşe yol açarak bağışıklık sisteminin baskılayıcı sirkadiyen kontrolünü ortadan kaldırır [11]. Sirkadiyen saat genlerinin (özellikle Bmal1 ve Rev-erba) ekspresyonundaki bu yetersizlik, NF-kB sirkadiyen baskılanmasını kaldırır ve NLRP3 inflamozom yolağının aşırı aktif hale gelmesine neden olur [12]. Sonuçta pro-inflamatuar sitokinlerin (özellikle IL-1b ve IL-6) üretiminde sirkadiyen kontrol dışı kontrolsüz bir artış meydana gelerek doku yıkımı ve hiper-inflamasyon kronikleşir [6, 10].
Fizyolojik açıdan bakıldığında, düzenli fiziksel aktivite ve egzersiz eğitimi, periferik dokulardaki sirkadiyen saat genlerini senkronize eden güçlü bir sirkadiyen uyarıcı işlevi görür (Carbone ve ark., 2024). Egzersizin kas kasılması ve metabolik sinyaller üzerinden hücresel sirkadiyen ritmi uyararak inflamatuar yanıtı normalize ettiği bilinmektedir. Ayrıca HDAC6 inaktivasyonunun sirkadiyen ritim bozukluklarını geri döndürdüğü ve inflamasyonu azalttığı deneysel olarak kanıtlanmıştır [5, 6].Bu durum egzersiz fizyolojisinin KF patolojisini hücresel düzeyde tedavi etme potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

BULGULAR

Egzersiz Eğitiminin Solunum Fonksiyonları ve Akciğer Parankim Hasarı Üzerindeki Etkileri

Kistik fibroziste egzersiz eğitiminin ve fiziksel aktivitenin solunum parametreleri üzerindeki etkileri, uzun yıllardır klinik çalışmaların ve meta-analizlerin merkezinde yer almıştır [13, 14]. Murillo ve arkadaşları (2025) tarafından yapılan ve 1990-2025 yılları arasındaki 23 randomize kontrollü çalışmayı (RCT) kapsayan en güncel sistematik derleme ve meta-analiz sonuçlarına göre, egzersiz eğitiminin birinci saniyedeki zorlu ekspirasyon hacmi (FEV_1) ve zorlu vital kapasite (FVC) gibi ventilatuar spirometrik parametreler üzerinde istatistiksel olarak anlamlı akut veya kısa vadeli bir iyileşme sağlamadığı saptanmıştır [13].
Meta-analizin kantitatif sonuçlarında FEV_1 için standartlaştırılmış ortalama fark (SMD) 0.05 (%95 CI: -0.09 ila 0.20; p = 0.46) olarak bulunmuş; benzer şekilde FVC için de SMD 0.11 (%95 CI: -0.04 ila 0.27; p = 0.14) ile istatistiksel olarak anlamsız bir etki düzeyi raporlanmıştır [13]. FEV_1/FVC oranında (MD: 0.04; %95 CI: -3.07 ila 3.15) ve rezidüel volümün toplam akciğer kapasitesine oranında (RV/TLC) (SMD: -0.02; %95 CI: -0.33 ila 0.29) de anlamlı bir değişim gözlenmemiştir [13].Bu durum, pulmoner rehabilitasyon programlarının akciğerdeki yapısal bronşiyal remodelingi, kronik parankim hasarını ve mukus birikimine bağlı mekanik ventilasyon engellerini doğrudan geri döndüremediğini fizyolojik olarak doğrulamaktadır [13].

Periferik ve Kardiyovasküler Adaptasyonlar: Maksimum Oksijen Tüketimi (VO_2 max) Kapasitesindeki Artış

Akciğer fonksiyonlarındaki mekanik tıkanıklığın kısıtlamalarına rağmen egzersiz eğitimi, hastaların kardiyorespiratuar fitness ve genel egzersiz kapasitesinde net fizyolojik iyileşmeler sağlamaktadır [13, 14]. Murillo ve ark. (2025) meta-analizinde, fiziksel rehabilitasyon müdahalelerinin ardından hastaların maksimum oksijen tüketiminde (VO_2 max) ortalama 2.74 mL/kg/dk düzeyinde istatistiksel ve klinik açıdan son derece anlamlı bir artış (MD: 2.74; %95 CI: 0.43 ila 5.04; p = 0.02) elde edildiği bildirilmiştir. Bu artış, genel sağkalım ve mortalite tahminlerinde bağımsız bir prognostik gösterge olarak kabul edilmektedir [13, 14].
Fizyolojik olarak bu durum, akciğer ventilasyon mekaniğindeki yapısal engellerin aşılamamasına karşın, periferik iskelet kaslarında ve sirkülasyon sisteminde oluşan adaptif hücresel mekanizmalarla açıklanmaktadır [14]. İskelet kası düzeyinde egzersiz, mitokondriyal yoğunluğu artırmakta, kas oksidatif metabolizmasını geliştirmekte ve egzersiz esnasında lokal kan akımını iyileştirerek oksijen ekstraksiyonu verimliliğini optimize etmektedir [15]. Özellikle manyetik rezonans spektroskopisi ile yapılan çalışmalarda, egzersiz eğitiminin kas fosfokreatin geri kazanım hızını (phosphocreatine

recovery kinetics) anlamlı düzeyde kısalttığı gösterilmiştir; bu durum kas hücresi düzeyinde maksimal oksidatif fosforilasyon kapasitesinin arttığının en somut göstergesidir [16, 17].

Ter Biyokimyasal Fizyolojisi ve Giyilebilir Mikroakışkan Ter Sensörleri (Sweat Sticker)

Kistik fibrozis patofizyolojisi, epitelial CFTR iyon transport defektinin bir yansıması olarak ekrin ter bezlerinde belirgin biyokimyasal anormalliklerle kendini gösterir[18, 19]. Sağlıklı bireylerde, primer ekrin salgısı ter kanallarından geçerken sodyum (Na^+) ve klorür (Cl^-) iyonları CFTR kanalı aracılığıyla aktif olarak reabsorbe edilir ve cilt yüzeyine hipotonik ter ulaşır [18]. KF'li bireylerde ise reabsorbsiyonun gerçekleşememesi nedeniyle cilt yüzeyindeki ter salgısı aşırı miktarda hipertonik Na^+ ve Cl^- konsantrasyonuna sahiptir; bu durum ter klorür seviyesinin 60 mM'nin üzerine çıkmasıyla altın standart KF tanısının temelini oluşturur [2, 19].

Egzersiz esnasında aktif kas metabolizması ve artan vücut sıcaklığı, pre-optik hipotalamik sirkadiyen aktivite üzerinden ekrin ter bezlerini uyarırken; egzersizin şiddeti ve süresindeki artışa bağlı olarak tere geçen laktat, glukoz ve kortizol biyobelirteçlerinin fizyolojik salınım kinetiği de değişmektedi [18]. Ter laktatı, kasların anaerobik eşik sınırlarını ve lokal hipoksiyi yansıtırken; ter kortizolü sistemik stres yanıtı ve sirkadiyen döngü durumunun doğrudan bir göstergesidir[18]. Klasik ter toplama yöntemleri (Macroduct vb.) yüksek sızıntı (leakage), buharlaşma ve numune kontaminasyonu riski taşır; özellikle bebeklerde yetersiz ter hacmi (Quantity Not Sufficient - QNS) nedeniyle başarısızlık oranları oldukça yüksektir [2, 19].

Bu sınırlamaları aşmak amacıyla geliştirilen yumuşak, ciltle bütünleşik mikroakışkan epidermal 'ter yapışkanları' (sweat stickers), KF tanı ve yönetiminde çığır açıcı fizyolojik izleme imkanları sunmaktadır [19]. Ekrin bezlerinin doğal salgılama basıncını kullanarak teri sıfır buharlaşmayla toplayan PDMS bazlı mikroakışkan sistemler; içerdikleri gümüş kloranilat reaktifinin klorür konsantrasyonuna bağlı olarak oluşturduğu menekşe/mor renk değişimini akıllı telefon görüntü algoritmalarıyla analiz ederek, laboratuvar titrasyon yöntemleriyle tam eşdeğer ve yüksek hassasiyette ter klorür ölçümü sağlayabilmektedir [18, 19].Bu teknoloji, hastaların egzersiz esnasında dehidrasyon durumlarını, iyon kayıplarını ve hatta üçlü kombinasyon modülatör tedavilerinin (ETI) ter klorür seviyelerini nasıl düşürdüğünü ev ortamında, kliniksiz olarak izlemeyi mümkün kılar [3, 19].

Çocuk ve Yetişkin Popülasyonlarında Klinik Egzersiz Testlerinin Fizyolojik Gereksinimleri

Kistik fibroziste klinik durumun ve tedavi etkinliğinin takibinde kardiyopulmoner fonksiyonel kapasitenin objektif olarak ölçülmesi zorunlu olmakla birlikte; çocuk (8-18 yaş) ve yetişkin popülasyonlarda egzersiz testlerinin fizyolojik zorlama dereceleri ile klinik uygunluk kriterleri farklılık göstermektedir [20]. Egzersiz kapasitesinin değerlendirilmesinde küresel altın standart olan laboratuvar tabanlı gaz analizli Kardiyopulmoner Egzersiz Testi (CPET) esnasında; pik oksijen tüketimi (VO_2peak), karbondioksit üretimi (VCO_2), solunum değişim oranı (RER) ve ventilatuar eşikler anlık olarak kaydedilir [13, 20]. KF hastalarında CPET, egzersiz esnasında gelişen dinamik hiperenflasyon fizyolojisini ve arteriyel desatürasyon sınırlarını ortaya çıkaran tek testtir [20, 21].

Ancak CPET'in yüksek maliyeti, pahalı ekipman ve uzman personel gereksinimi klinik sahada saha testlerinin kullanımını yaygınlaştırmış olup; bu testlerin en yaygın olanları 10 metrelik Modifiye Mekik Testi (MST) ve günlük yaşam aktiviteleriyle yüksek korelasyon gösteren, hastanın kendi hızını belirlediği (self-paced) submaksimal bir test olan 6 Dakika Yürüme Testidir [20]. Buna karşın, hafif ve orta düzey akciğer tutulumu olan hastalarda 6MWT fizyolojik olarak tavan etkisine (ceiling effect) maruz kalır; yani hastalar solunum veya dolaşım sınırlarına ulaşamadan testi rahatlıkla tamamlar [20]. MST ise artan sesli uyarı ritmiyle (externally paced) ilerleyen, hastayı maksimal efor seviyesine kadar zorlayan ve CPET VO_2peak değerleriyle çok daha güçlü korelasyon ($r = 0.64 - 0.76$) sergileyen, klinik hassasiyeti yüksek bir saha alternatifidir [20].

Dijital Sağlık ve Teletıp Tabanlı Egzersiz Bakım Modelleri

Kistik fibrozis hastalarında hastane tabanlı pulmoner rehabilitasyon programlarının önündeki en büyük engel, hastalar arasındaki farklı patojen suşlarının (özellikle Pseudomonas aeruginosa ve Burkholderia cepacia kompleksleri) bulaşmasına yol açan çapraz enfeksiyon (cross-infection) riskidir [3, 4, 22]. Bu epidemiyolojik kısıtlamayı çözmek ve tedaviye katılım yükünü azaltmak amacıyla geliştirilen dijital sağlık ve teletıp egzersiz rehabilitasyon modelleri klinik pratikte hızla kabul görmektedir[22].

Avustralya'daki Alfred Health merkezinde başarıyla ko-dizayn edilen teletıp modeli, hastalara fiziksel kondisyonlarını geliştirmeleri için enfeksiyon riski içermeyen ev tabanlı iki ana seçenek sunmaktadır [22].

Bu model kapsamında Seçenek A, haftalık video kontrolleriyle desteklenen ve hastanın kendi zaman planlamasına göre yürüttüğü bireysel egzersiz seanslarından oluşurken; Seçenek B, çevrimiçi platformlar (Zoom vb.) üzerinden canlı olarak gerçekleştirilen ve bir KF fizyoterapistinin süpervize ettiği senkronize grup egzersiz sınıflarını içermektedir[22]. Yapılan niteliksel ve klinik değerlendirmeler, canlı süpervize grup seanslarının (Seçenek B) hastalarda 'sorumluluk bilincini' (accountability) ve egzersize devamlılık motivasyonunu dramatik düzeyde artırdığını göstermektedir [22].Aynı zamanda, çapraz enfeksiyon riski nedeniyle gerçek hayatta bir araya gelemeyen KF'li yetişkin bireylerin, Microsoft Teams veya diğer sosyal ağlar aracılığıyla oluşturulan akran desteği (peer support) gruplarında sosyal etkileşim kurarak psikososyal açıdan kendilerini çok daha iyi hissettikleri ve tedavi uyumlarının arttığı fizyolojik ve psikometrik ölçeklerle saptanmıştır [22, 23].

TARTIŞMA

Kistik fibrozis yönetiminde egzersiz ve fiziksel aktivite, sadece solunum yollarındaki tıkanıklığı temizleyen mekanik bir yardımcı değil; hücresel düzeyde mikrotübül stabilitesini destekleyen, sirkadiyen saat genlerini düzenleyerek kronik inflamasyonu baskılayan ve periferik iskelet kası metabolizmasını adapte ederek kardiyorespiratuar kapasiteyi artıran sistemik bir tedavi modalitesidir [5, 13]. Murillo ve ark. (2025) tarafından sunulan meta-analitik kanıtlar, egzersiz eğitiminin akciğer fonksiyonları (FEV_1 ve FVC) gibi spirometrik parametrelerde akut bir değişim yaratmadığını, ancak kardiyovasküler kapasitenin en kritik göstergesi olan VO_2 max değerinde 2.74 mL/kg/dk'lık net bir fizyolojik artış sağladığını açıkça göstermektedir. Bu fizyolojik ayrışma, klinik karar vericilere akciğer fonksiyonlarındaki spirometrik durağanlığın egzersizin 'başarısızlığı' olarak yorumlanmaması gerektiğini, aksine hastanın periferik ve kardiyovasküler rezervlerinin korunarak hayatta kalma şansının doğrudan artırıldığını göstermektedir[13].

Avrupa Kistik Fibrozis Derneği'nin (ECFS) 2025 yılı uzlaşı raporunda belirtildiği üzere, klinik izlem ve araştırmalarda hastaların fiziksel aktivite durumları artık sadece aktif egzersiz seanslarıyla değerlendirilmemeli; sedanter süreler, hafif aktiviteler ve uyku kalitesini kapsayan 24 saatlik bütüncül bir hareket spektrumu olarak ele alınmalıdır [17]. Bu izlemlerin metodolojik standardizasyonu için tri-aksiyel giyilebilir cihazların (ActiGraph, GENEActiv vb.) ham veri (raw data) kaydedebilecek teknik kapasitede, en az 1 saniyelik çözünürlük pencerelerinde (epoch) ve minimum 30 Hz örnekleme frekansında kullanılması zorunlu bir klinik kural olarak vurgulanmaktadır [17]. Ancak literatürdeki en büyük metodolojik sınırlılık, yetişkin KF popülasyonuna özgü doğrulanmış hareket kesim noktalarının (cut-points) bulunmaması ve KF'ye özel fiziksel aktivite kılavuzlarının eksikliğidir [17]. Klinik pratikte anket bazlı değerlendirmeler yapılacaksa, geçerliliği ve güvenilirliği uluslararası düzeyde tam olarak kanıtlanmış tek ölçek olan Alışılagelmiş Aktivite Tahmin Ölçeği (Habitual Activity Estimation Scale-HAES) kullanımı ısrarla desteklenmektedir [17].

Dijital sağlık teknolojilerinin ve ciltle uyumlu mikroakışkan biyokimyasal ter sensörlerinin (sweat sticker) ev tabanlı teletıp modellerine entegre edilmesi, gelecekte kistik fibrozis tedavisini kişiselleştirilmiş tıp düzeyine taşıyacaktır [19, 22]. Çapraz enfeksiyon riskini tamamen ortadan kaldıran ev tabanlı süpervize canlı egzersiz programları (Alfred Health teletıp modeli), akran desteği ile motivasyon yaratarak tedaviye bağlılığı maksimize etmektedir [22]. Egzersiz fizyolojisi esnasında ter klorür ve kortizol düzeylerindeki dalgalanmaların akıllı telefon uyumlu epidermal sensörlerle anlık olarak taranması, hekimlerin ilaç (ETI) etkinliğini ve hastanın metabolik adaptasyonunu uzaktan, gerçek zamanlı ve güvenle yönetmesini sağlayacaktır [3, 19].

Sonuç olarak, gelecekteki araştırmaların, kistik fibrozise özgü sirkadiyen ve hücresel egzersiz rehberlerinin geliştirilmesine, teletıp tabanlı kişiselleştirilmiş egzersiz reçetelerinin uzun vadeli klinik alevlenme sıklığı, yaşam kalitesi ve hastane yatış maliyetleri üzerindeki net etkilerini değerlendirecek geniş ölçekli, çok merkezli ve prospektif klinik çalışmalara odaklanması gerekmektedir.

KAYNAKALAR

1. Kasper, V.L. and D.N. Assis. (2024). Pathophysiology of Cystic Fibrosis Liver Disease. Pediatr Pulmonol, 59 Suppl 1, S98-S106. doi: https://doi.org/10.1002/ppul.26869

2. Anton-Păduraru, D.-T., et al. (2024). Diagnosing Cystic Fibrosis in the 21st Century—A Complex and Challenging Task. Diagnostics, 14(7). doi: https://doi.org/10.3390/diagnostics14070763
3. Savant, A.P. (2022). Cystic fibrosis year in review 2021. Pediatr Pulmonol, 57(7), 1590-1599. doi: https://doi.org/10.1002/ppul.25948
4. Swetland, D.V. and A.P. Savant. (2024). Cystic fibrosis year in review 2023. Pediatr Pulmonol, 59(12), 3106-3116. doi: https://doi.org/10.1002/ppul.27190
5. Carbone, A., et al. (2024). A New Frontier in Cystic Fibrosis Pathophysiology: How and When Clock Genes Can Affect the Inflammatory/Immune Response in a Genetic Disease Model. Curr Issues Mol Biol, 46(9), 10396-10410. doi: https://doi.org/10.3390/cimb46090618
6. Barbato, E., R. Darrah, and T.J. Kelley. (2022). The circadian system in cystic fibrosis mice is regulated by histone deacetylase 6. Am J Physiol Cell Physiol, 323(4), C1112-C1120. doi: https://doi.org/10.1152/ajpcell.00248.2022
7. White, N.M., et al. (2007). Altered cholesterol homeostasis in cultured and in vivo models of cystic fibrosis. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol, 292(2), L476-86. doi: https://doi.org/10.1152/ajplung.00262.2006
8. Gibbs, J.E., et al. (2009). Circadian timing in the lung; a specific role for bronchiolar epithelial cells. Endocrinology, 150(1), 268-76. doi: https://doi.org/10.1210/en.2008-0638
9. Barbato, E., R. Darrah, and T.J. Kelley. (2021). Tubulin Polymerization Promoting Protein Affects the Circadian Timing System in C57Bl/6 Mice. J Circadian Rhythms, 19, 5. doi: https://doi.org/10.5334/jcr.207
10. Rymut, S.M., et al. (2013). Reduced microtubule acetylation in cystic fibrosis epithelial cells. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol, 305(6), L419-31. doi: https://doi.org/10.1152/ajplung.00411.2012
11. Koronowski, K.B. and P.J.S. Sassone-Corsi. (2021). Communicating clocks shape circadian homeostasis. 371(6530), eabd0951. doi:
12. Barbato, E., R. Darrah, and T.J.J.A.J.o.P.-C.P. Kelley. (2022). The circadian system in cystic fibrosis mice is regulated by histone deacetylase 6. 323(4), C1112-C1120. doi:
13. Murillo, S.R., et al. (2025). Physical Training and Pulmonary Rehabilitation in Patients with Cystic Fibrosis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Trials. Healthcare (Basel), 13(16). doi: https://doi.org/10.3390/healthcare13162017
14. Radtke, T., et al. (2022). Physical activity and exercise training in cystic fibrosis. Paediatr Respir Rev, 44, 47-52. doi: https://doi.org/10.1016/j.prrv.2022.08.001
15. Hood, D.A. (2009). Mechanisms of exercise-induced mitochondrial biogenesis in skeletal muscle. Appl Physiol Nutr Metab, 34(3), 465-72. doi: https://doi.org/10.1139/h09-045
16. van Oorschot, J.W., et al. (2013). 31P MR spectroscopy and computational modeling identify a direct relation between Pi content of an alkaline compartment in resting muscle and phosphocreatine resynthesis kinetics in active muscle in humans. PLoS One, 8(9), e76628. doi: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076628
17. Williams, C.A., et al. (2025). The 2025 European Cystic Fibrosis Society position statement on physical activity assessment in cystic fibrosis. Eur Respir Rev, 34(177). doi: https://doi.org/10.1183/16000617.0279-2024
18. Assalve, G., et al. (2024). Advanced Wearable Devices for Monitoring Sweat Biochemical Markers in Athletic Performance: A Comprehensive Review. Biosensors (Basel), 14(12). doi: https://doi.org/10.3390/bios14120574
19. Ray, T.R., et al. (2021). Soft, skin-interfaced sweat stickers for cystic fibrosis diagnosis and management. Sci Transl Med, 13(587). doi: https://doi.org/10.1126/scitranslmed.abd8109
20. Lang, R.L., et al. (2020). Exercise testing for children with cystic fibrosis: A systematic review. Pediatr Pulmonol, 55(8), 1996-2010. doi: https://doi.org/10.1002/ppul.24794
21. Dhillon, S.S., et al. (2015). Physical Activity Measurement Accuracy in Individuals With Chronic Lung Disease: A Systematic Review With Meta-Analysis of Method Comparison Studies. Arch Phys Med Rehabil, 96(11), 2079-88 e10. doi: https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.05.015
22. Poulsen, M., et al. (2026). Co-Design of a Novel Telehealth Exercise Model of Care for Adults With Cystic Fibrosis. Pediatr Pulmonol, 61(3), e71554. doi: https://doi.org/10.1002/ppul.71554

23. Snop-Perkowska, D., et al. (2025). Tools used to measure quality of life in adults with cystic fibrosis- a systematic review. Health Qual Life Outcomes, 23(1), 10. doi: https://doi.org/10.1186/s12955-025-02338-2

LIVING WITH LIPEDEMA: A REVIEW ON THE EVOLVING ROLE OF PHYSIOTHERAPY

Assoc. Prof. Dr. Emine CİHAN
Department of Physiotherapy, Vocational School of Health Services, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0699-3771

Assoc. Prof. Dr. Cansu ŞAHBAZ PİRİNÇÇİ
Department of Physiotherapy and Rehabilitation, University of Health Sciences, Ankara, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-3921-0721

Abstract
Lipedema is a chronic, progressive adipose tissue disorder predominantly affecting women, characterized by symmetrical, painful subcutaneous fat accumulation in the limbs while sparing the hands and feet. Historically misidentified as obesity or lymphedema, the condition carries a profound psychosocial and physical burden, often delaying accurate diagnosis by up to a decade. Despite the absence of a definitive cure, physiotherapy has emerged as a central pillar in multimodal management. This review synthesizes current evidence on the evolving role of physiotherapy in lipedema, encompassing Complete Decongestive Therapy (CDT), compression therapy, structured physical exercise, and postoperative rehabilitation protocols. Evidence demonstrates that adapted CDT reduces limb volume, decreases capillary fragility, lowers pathological tissue sodium accumulation, and alleviates touch hypersensitivity. Structured exercise modulates inflammation, activates the myolymphokinetic pump, and improves mitochondrial function. In the surgical context, intensive postoperative physiotherapy significantly reduces pain, accelerates functional independence, and prevents complications such as seroma and fibrosis. Physiotherapy, while non-curative, is indispensable within an evidence-based, multidisciplinary care framework for lipedema.
Keywords: lipedema, physiotherapy, complete decongestive therapy, compression therapy, exercise, postoperative rehabilitation

Özet
Lipödem, ağırlıklı olarak kadınları etkileyen, elleri ve ayakları bağışık bırakarak ekstremitelerde simetrik ve ağrılı subkutan yağ birikimi ile karakterize, kronik ve ilerleyici bir adipoz doku bozukluğudur. Tarihsel olarak obezite veya lenfödem olarak yanlış tanımlanan bu durum, derin bir psikososyal ve fiziksel yük oluşturmakta; doğru tanının konulması çoğu zaman on yıla kadar gecikebilmektedir. Kesin bir tedavisi bulunmamakla birlikte, fizyoterapi çok modlu yönetimin merkezi bir bileşeni olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu derleme, lipödem yönetiminde fizyoterapinin gelişen rolüne ilişkin güncel kanıtları sentezlemekte; Kompleks Boşaltıcı Fizyoterapi (KBF), kompresyon tedavisi, yapılandırılmış fiziksel egzersiz ve postoperatif rehabilitasyon protokollerini kapsamaktadır. Mevcut kanıtlar, uyarlanmış KBF'nin ekstremite hacmini azalttığını, kılcal damar frajilitesini düşürdüğünü, patolojik doku sodyum birikimini gerilettiğini ve dokunma hipersensitivitesini hafiflettiğini ortaya koymaktadır. Yapılandırılmış egzersiz inflamasyonu düzenlemekte, miyolenfokinerik pompayı aktive etmekte ve mitokondriyal işlevi iyileştirmektedir. Cerrahi bağlamda yoğun postoperatif fizyoterapi ağrıyı anlamlı ölçüde azaltmakta, fonksiyonel bağımsızlığı hızlandırmakta ve komplikasyonları önlemektedir. Fizyoterapi, küratif olmamakla birlikte lipödem için kanıta dayalı çok disiplinli bakım çerçevesinde vazgeçilmez bir tedavi sütunudur.
Anahtar Kelimeler: lipödem, fizyoterapi, kompleks boşaltıcı fizyoterapi, kompresyon tedavisi, egzersiz, postoperatif rehabilitasyon

1. Introduction

Lipedema is a chronic and progressive adipose tissue disorder characterized by bilateral, symmetrical, painful subcutaneous fat accumulation in the lower limbs — and in some cases the upper limbs — while consistently sparing the hands and feet.[1] First described by Allen and Hines at the Mayo Clinic in 1940 and formally recharacterized by Wold et al. in 1951, the condition was only incorporated into the ICD-11 in 2019.[3]

Epidemiological estimates indicate that lipedema affects between 5% and 19% of the female population worldwide, reaching 39% among professional women in Germany and approximately 12.3% among Brazilian women.[3] Despite this substantial prevalence, the condition remains markedly underdiagnosed; in survey data from the Vascular Society of Great Britain and Ireland, only 46.2% of consultants correctly identified lipedema.[5] Diagnostic delays of up to 10 years are common, during which patients are subjected to ineffective weight-loss interventions.[1]

The pathophysiology involves a convergence of genetic predisposition, estrogen receptor dysregulation, primary microvascular dysfunction, adipocyte hypertrophy and hyperplasia, chronic low-grade inflammation, and progressive fibrosis.[3'5] A familial predisposition is reported in 60–64% of cases.[5] Syndromic forms have been associated with PIT-1 mutations, Sotos syndrome, and Williams syndrome.[1]

The psychosocial consequences are profound: depression prevalence ranges from 31% to 59%, and 30% of patients report having their condition dismissed as invalid by healthcare providers.[1]

Given this landscape, physiotherapy has assumed an increasingly central role — repositioned from a passive, volume-reduction modality into an active, disease-modifying intervention targeting the cellular, vascular, and functional consequences of lipedema.[10]

2. Pathophysiology: Implications for Physiotherapeutic Intervention

2.1 Microvascular Dysfunction and Capillary Fragility

Adipocyte hypertrophy in lipedema exerts mechanical compression on neighboring microvasculature, inducing endothelial dysfunction, tissue hypoxia, and VEGF release.[3] This triggers disorganized, leaky neo-angiogenesis, allowing protein-rich fluid to escape into the interstitial space.[5] The resulting capillary fragility manifests as easy bruising and drives ongoing localized inflammation.[6] This mechanism provides a direct rationale for CDT and compression therapy, which act to support capillary integrity and reduce interstitial fluid accumulation.

2.2 Tissue Sodium Accumulation and Inflammation

Sodium MRI studies have demonstrated pathologically elevated non-osmotic sodium concentrations within the extracellular matrix of lipedema tissue.[10] This bound sodium increases tissue turgor and exerts direct mechanical pressure on cutaneous nociceptors, contributing to touch hypersensitivity and chronic pain. Concurrently, adipocyte necrosis drives macrophage infiltration and the formation of crown-like structures — present in lipedema independently of obesity status.[9]

2.3 Lymphatic Compromise and Muscle Weakness

While lipedema is primarily an adipose tissue disorder, its structural consequences burden the lymphatic system even in early stages.[3] As disease progresses, expanding adipose tissue mechanically impairs lymphatic vessel function. Bilancini et al., cited by Okhovat and Alavi, demonstrated abnormal lymphoscintigraphic patterns with slowing of lymphatic flow in lipedema patients analogous to primary lymphedema.[7] In advanced stages, lipolymphedema — the coexistence of lipedema and secondary lymphedema — develops.[1]

Van Esch-Smeenge et al., cited by Annunziata et al., demonstrated that women with lipedema exhibit up to 30% reduction in lower extremity muscle strength, compromising the calf muscle pump and exacerbating hemodynamic stagnation.[8] Progressive joint hypermobility and valgus knee deformity further compound functional limitation as disease advances.[9]

3. Conservative Physiotherapy: Core Modalities

3.1 Complete Decongestive Therapy

CDT is the recognized gold standard for lymphatic disorders and has been adapted for lipedema with clinically meaningful results.[3] It integrates four components: Manual Lymphatic Drainage (MLD), compression therapy, myolymphokinetic exercise, and skin care.[3] Esmer et al. reviewed 15 eligible studies and concluded that CDT, gait training, hydrotherapy, aerobic exercise, and resistance training each have distinct value in lipedema management, though overall evidence quality remains limited and higher-quality trials are needed.[2]

In a randomized controlled trial cited by Kamamoto et al. and Annunziata et al., Atan and Bahar-Özdemir compared CDT plus exercise, intermittent pneumatic compression therapy (IPCT) plus exercise, and exercise alone in severe lipedema.[3,8]
DT combined with exercise produced significantly greater reductions in limb volume, pain (VAS), fatigue, depression, and physical function compared to the other groups.[3] IPCT added to exercise offered no significant advantage over exercise alone.[8]
Beyond volume reduction, Donahue et al., cited by Kamamoto et al. and the living with lipedema synthesis, demonstrated using tissue sodium MRI that intensive CDT significantly reduces pathological non-osmotic sodium within the extracellular matrix, directly alleviating nociceptor pressure and touch hypersensitivity.[3,10]

3.2 Compression Therapy

Compression increases hydrostatic pressure on blood and lymphatic vessels, optimizing venous and lymphatic return while reducing interstitial edema.[3] It additionally triggers proprioceptive stimuli providing neuromuscular support to deformed limbs.[3] American consensus guidelines cited by Kamamoto et al. recommend 10–20 mmHg for Stage 1, 20–40 mmHg for Stages 2–3, and multilayer bandaging for Stage 4 lipolymphedema.[3] Despite its clinical importance, adherence is challenging: Mortada et al. report that only 38% of patients comply consistently, likely due to pain sensitivity and fitting difficulties.[1] Flat-knitted fabrics are preferred for variable circumferential profiles.[4]

3.3 CDT and Capillary Fragility: Evidence from Szolnoky et al.

Szolnoky et al. conducted a controlled study in 38 women with bilateral leg lipedema, measuring capillary fragility using the vacuum suction method with Parrot's angiosterrometer before and after a 5-day CDT course.[6] CDT comprised once-daily MLD by Vodder's method, intermittent pneumatic compression at 30 mmHg, multilayer short-stretch bandaging, skin care, and twice-daily walking exercises.[6]
In the CDT group, mean petechiae count decreased significantly from 13.95 ± 10.17 to 8.78 ± 6.88 ($p < 0.001$), and limb volume reduced by $5.66 \pm 2.78\%$ ($p < 0.05$).[6] The control group receiving only moisturizers showed no significant change in either petechiae count or volume.[6] This study provided the first objective measurement of capillary fragility in lipedema and demonstrated that CDT's benefits extend beyond volume reduction to include direct microvascular wall strengthening — a finding with substantial implications for reducing the bruising and hematoma formation that impair daily functioning.[6,7]

4. Physical Exercise as a Therapeutic Tool

4.1 Physiological Rationale

The 2024 SISMeS-SIF consensus statement by Annunziata et al. establishes structured physical exercise as a mandatory therapeutic pillar in lipedema.[8] Exercise functions as a potent modulator of mitochondrial function within subcutaneous adipose tissue, improving lipid metabolism and countering aberrant lipid storage patterns.[8] At the cellular level, exercise induces phenotypic switching from pro-inflammatory M1 to anti-inflammatory M2 macrophages in adipose tissue through catecholamine secretion and AMPK activation.[8] It also stimulates myokine irisin release, promoting WAT browning through PGC-1α activation.[8] Muscle contractions during exercise activate the myolymphokinetic pump, increasing lymphatic transport and reducing interstitial fluid accumulation.[3,4] Enhanced tissue perfusion and oxygenation from exercise may mitigate the hypoxic conditions of advanced lipedema.[8]

4.2 Recommended Exercise Modalities

International guidelines converge in recommending low-impact activities minimizing joint stress.[8] Aquatic exercise — swimming, aqua jogging, and water aerobics — is particularly recommended; hydrostatic pressure acts as a natural compression garment while buoyancy reduces joint load.[5,8] Progressive resistance training addresses documented muscle strength deficits and reinforces the muscle pump mechanism.[8] Low-impact aerobic activities including walking, cycling, and elliptical training improve cardiovascular endurance without excessive joint loading.[4]
Exercise prescriptions must be individualized by professionals familiar with lipedema, incorporating gradual load progression and pain monitoring as fundamental aspects — exercise should not cause

significant pain.[4] Aerobic exercise has also been shown to increase pressure-pain tolerance and reduce depression and anxiety in lipedema patients.[8]

5. Emerging Physiotherapy Modalities

5.1 Intermittent Pneumatic Compression

In a pilot study, Szolnoky et al. compared CDT with and without IPC and found significant limb volume reduction in both groups (8.9% with IPC, 6.2% without; $p < 0.05$), confirming IPC is safe in lipedema without offering significant additional volume benefit over CDT alone.[7] IPC may nonetheless be useful for home-based self-management when combined with patient education.[1]

5.2 Extracorporeal Shock Wave Therapy

Siems et al., cited by Mortada et al. and Kamamoto et al., evaluated daily CDT combined with twice-weekly ESWT, demonstrating reductions in oxidative stress markers and fibrogenic cytokines alongside improved skin biomechanical properties.[1'3] Michelini et al., cited by Kamamoto et al., reported that defocused and radial ESWT combined with mesotherapy and Kinesio taping reduced pain, circumference, subcutaneous thickness, and improved echographic patterns and skin elasticity in Stage II lipedema.[3] These findings support ESWT as a promising adjunct, though controlled trials are needed.

5.3 Low-Frequency Vibrotherapy and Manual Therapy

Schneider, cited by Kamamoto et al., demonstrated that low-frequency vibrotherapy (15–42 Hz) combined with MLD produced substantially greater reductions in ankle, calf, and thigh circumferences than MLD alone in Stage II–III lipedema patients, through reduced interstitial pressure and enhanced lymphatic capillary opening.[3] Regarding manual subcutaneous adipose tissue therapy, Herbst et al. and Ibarra et al., both cited by Kamamoto et al., reported improvements in adipose tissue structure, limb volume, and fascia properties confirmed by DXA and ultrasound following manual adipose tissue mobilization protocols.[3] These approaches appear most relevant for addressing fibrotic components of lipedema that respond poorly to compression and MLD.

6. Postoperative Physiotherapy Following Liposuction

6.1 Surgical Context

For patients in whom conservative physiotherapy yields inadequate relief, tumescent and water-assisted liposuction remain the only treatments capable of physically removing pathological adipose tissue.[1] International consensus documents cited by Soares et al. stipulate that at least one year of comprehensive conservative treatment should precede surgical consideration, and that physiotherapy must continue postoperatively to consolidate results.[4] Liposuction causes extensive subcutaneous trauma creating void spaces highly susceptible to seroma, hematoma, edema, and dense fibrosis if not actively managed; this creates a critical role for immediate, intensive postoperative physiotherapy.[10]

6.2 The Río-González et al. Observational Study

Río-González et al. studied 293 women who underwent water-assisted liposuction for lipedema in Madrid between 2019 and 2023, applying a modified CDT protocol incorporating the Godoy Method from within 24–48 hours of hospital discharge.[9] The Godoy Method integrates cervical lymphatic stimulation (20–30 stimuli/minute for 15–20 minutes), MLD maneuvers adapted for the acute wound phase, mechanical lymphatic drainage with RAGodoy® device (50 minutes at 20–25 cycles/minute), multilayer compression bandaging, skin care, therapeutic education, and supervised early mobilization.[9] Pain VAS scores decreased from 7.04 ± 0.92 preoperatively to 3.98 ± 0.95 immediately post-treatment, and further to 2.34 ± 0.95 at 90-day follow-up ($p = 0.000$).[9] Regarding mobility, 96.23% of patients were fully dependent on Day 1; by Day 3, 47.24% had achieved complete functional independence ($p = 0.003$).[9] All participants (100%) reported satisfaction with the physiotherapy approach.[9]

Postoperative complications occurred in 40.96% of participants, most commonly fibrosis (52.9% of those with complications), seroma (20.48%), chafing (18.77%), persistent pain (17.41%), genital edema (14.68%), and wound infection (11.26%).[9] Sub-optimal compression compliance was documented in 36.52% of the sample and showed a statistically significant association with complication occurrence.[9] Patients receiving fewer than 5 sessions developed significantly more fibrosis than those with more

sessions (mean difference 0.446 sessions; 95% CI: 0.125–0.767; p = 0.007).[9] A significant dose-response relationship between session number and 90-day pain outcomes was also confirmed (p = 0.001).[9]

6.3 Principles of Postoperative Physiotherapy

Based on available evidence, postoperative physiotherapy in lipedema should adhere to the following principles: initiation within 24–48 hours of surgery; priority given to lymphatic drainage, then precisely fitted compression, meticulous skin monitoring, and early supervised mobilization; daily sessions during the first two weeks, tapering over four weeks; compression maintenance for 2–6 months; flat-knitted fabrics preferred for variable limb profiles; and particular vigilance regarding genital edema arising from poorly fitted thigh-region garments.[4,9]

7. Multidisciplinary Integration and Patient Education

Lipedema management requires a multidisciplinary team encompassing vascular surgery, plastic surgery, endocrinology, nutrition, physiotherapy, and psychology.[1,5] Soares et al., reviewing six international consensus documents published between 2020 and 2025, identify universal agreement on the following: lipedema is a distinct clinical entity requiring multidisciplinary management; diagnosis is essentially clinical; conservative treatment — including physiotherapy, compression, nutritional guidance, and low-impact exercise — is first-line therapy; liposuction is reserved for refractory cases; and psychosocial support is integral to care.[4]

Dietary intervention, while unable to directly reduce lipedema fat, plays a supportive role. Modified ketogenic and Mediterranean diets have demonstrated partial effectiveness in managing inflammation and secondary obesity.[1,4] Patient education regarding the chronic, progressive, and non-curable nature of lipedema must accompany all physiotherapy interventions.[3] Empowering patients in self-management — including compression adherence, home exercise, and skin care — is essential for sustaining therapeutic gains.[1]

8. Conclusions

Physiotherapy constitutes a disease-modifying intervention that significantly reduces pain, preserves mobility, strengthens capillary integrity, lowers pathological tissue sodium and inflammation, and enhances quality of life in lipedema. Szolnoky et al. demonstrated that CDT reduces petechiae count from 13.95 to 8.78 ($p < 0.001$), confirming direct microvascular benefits.[6] Donahue et al., cited across multiple reviewed sources, confirmed CDT's ability to clear tissue sodium and reduce touch hypersensitivity.[3,10] Annunziata et al. established structured exercise as a mandatory therapeutic element with clear anti-inflammatory, mitochondrial, and lymphatic benefits.[8] Río-González et al. demonstrated that intensive Godoy Method-based postoperative physiotherapy reduces VAS pain from 7.04 to 2.34 over 90 days, restores functional independence in 47.24% of patients by Day 3, and significantly reduces complication risk when compression is adequate.[9]

The consolidation of standardized physiotherapy protocols, specialized professional training, and high-quality randomized controlled trials remain urgent priorities. As Buso et al. conclude, a call to action for increasing awareness about this widespread and too often misdiagnosed disease is urgently needed.[5] Physiotherapy stands not at the periphery of lipedema care, but at its therapeutic center.

References

1. Mortada H, Alhithlool AW, AlBattal NZ, et al. Lipedema: Clinical Features, Diagnosis, and Management. *Arch Plast Surg.* 2025;52:185–196.
2. Esmer M, Schingale FJ, Unal D, Yazıcı MV, Güzel NA. Physiotherapy and Rehabilitation Applications in Lipedema Management: A Literature Review. *Lymphology.* 2020;53(2):88–95.
3. Kamamoto F, Baiocchi JMT, Batista BN, et al. Lipedema: exploring pathophysiology and treatment strategies – state of the art. *J Vasc Bras.* 2024;23:e20240025.
4. Soares ARMM, Morales BGD, Silva JMB, Barros SSS, Azevedo SGH. Indications and Outcomes of the Clinical and Surgical Treatments of Lipedema: A Literature Review. *Rev Bras Cir Plást.* 2026;41:s00461817169.

5. Buso G, Depairon M, Tomson D, Raffoul W, Vettor R, Mazzolai L. Lipedema: A Call to Action! *Obesity (Silver Spring).* 2019;27(10):1567–1576.
6. Szolnoky G, Nagy N, Kovács RK, et al. Complex Decongestive Physiotherapy Decreases Capillary Fragility in Lipedema. *Lymphology.* 2008;41:161–166.
7. Okhovat JP, Alavi A. Lipedema: A Review of the Literature. *Int J Low Extrem Wounds.* 2015;14(3):262–267.
8. Annunziata G, Paoli A, Manzi V, et al. The Role of Physical Exercise as a Therapeutic Tool to Improve Lipedema: A Consensus Statement from the Italian Society of Motor and Sports Sciences (SISMeS) and the Italian Society of Phlebology (SIF). *Curr Obes Rep.* 2024;13:667–679.
9. Río-González Á, Delgado-Pérez E, García-García E, et al. Physiotherapy Intervention in the Immediate Postoperative Phase of Lipedema Surgery—Observational Study. *J Clin Med.* 2025;14:2137.
10. Living with Lipedema: The Evolving Role of Physiotherapy. Physiotherapy and Rehabilitation Research Group. Synthesis document, 2025.

PARİS BARIŞ KONFERANSI'NA GİDERKEN BİRLEŞİK KRALLIK'IN TAAHHÜTLER AĞI ŞUBAT 1918 TARİHLİ GİZLİ İNGİLİZ SAVAŞ KABİNESİ BELGESİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

THE UNITED KINGDOM'S NETWORK OF COMMITMENTS LEADING UP TO THE PARIS PEACE CONFERENCE AN ANALYSIS OF A SECRET BRITISH WAR CABINET DOCUMENT DATED FEBRUARY 1918

Prof. Dr. Serap TAŞDEMİR
Faculty of Humanities and Social Sciences, Amasya University, Amasya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1559-828X

ABSTRACT

İtilaf Bloğu'nun emperyal temsilcileri gerek Birinci Dünya Savaşı öncesinde, gerekse savaş yıllarında yenecekleri ülkelere ilişkin paylaşımlar konusunda gizli anlaşmalar imzaladılar. Henüz nihai barış anlaşmaları imzalanmadan -Paris Barış Konferansı başlamadan- İngiltere'de 6 Şubat 1918 tarihinde, Dışişleri Bakanlığı tarafından Savaş Kabinesi için basılan; İngiltere ile belgede adı geçen devletler/ülkeler, topluluklar ve kişiler arasında var olan anlaşmaların/antlaşmaların ve genel yükümlülüklerin temel ayrıntılarını özetleyen "HGN" imzalı *Müttefiklerimize ve Diğerlerine Yönelik Yükümlülüklerimizin Özeti* başlıklı rapor sunuldu. Belgede Fransa, İtalya, Rusya, Romanya, Hicaz Kralı, Japonya, Çin Cumhuriyeti ve Sırbistan devletlerine; Polonyalılar, Yahudiler, Yugoslavlar, Çekoslovaklar, Arnavutlar ve Ermeniler gibi topluluklara ayrıca İran ve Afganistan'a verilen genel yükümlülüklerin temel ayrıntıları özetlenmektedir. Britanya Kütüphanesi Hindistan Ofisi Kayıtları'nda muhafaza edilen bu belge, savaş diplomasisinin iç işleyişinde, çakışan vaatlerin yarattığı gerilimi ve İngiliz dış politikasının yeniden oluşturulmasını somut biçimde gözler önüne sermektedir. Bu bildiride, söz konusu birincil kaynağın, üç ana nokta üzerinden incelenmesi hedeflenmektedir. İlk olarak bu belgenin kendisi (Sykes-Picot Anlaşması, 5 Eylül 1914 tarihli Londra Paktı, 26 Nisan 1915 tarihli İtalyan anlaşması gibi farklı anlaşmaların tek bir metinde nasıl bir arada tutulmaya çalışıldığı) incelenecektir. İkinci olarak, özellikle Arapların bağımsızlığına verilen sözler ile Fransa ve İtalya'ya yapılan bölgesel tavizler arasındaki gerilimin Paris Barış Konferansı müzakerelerini nasıl baştan sona kısıtladığı ele alınacaktır. Üçüncü olarak ise belgenin sonundaki karşılaştırmalı tablo, Amerikan, İngiliz, Fransız, İtalyan, Rus, Avusturya, Alman ve Osmanlı savaş hedeflerini yan yana getirerek dönemin çatışan jeopolitik vizyonlarının bir haritası şeklinde verilecektir. Belge, savaş sonrası düzenin müzakerecilerinin iyi niyetinden çok birikmiş vaatlerin ürünü olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, söz konusu belgenin kaynak analizi savaş dönemi diplomasisine ilişkin güncel tartışmalarla birlikte ele alınarak özgün bir katkı sunması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Birinci Dünya Savaşı, Birinci Dünya Savaşı Diplomasisi, Paris Barış Konferansı, Osmanlı Devleti.

Abstract:

The Allied Powers signed secret agreements regarding the division of territories both before World War I and during the war years. Before the final peace treaties were signed—and before the Paris Peace Conference began—on February 6, 1918, the Foreign Office prepared for the War Cabinet a report titled "Summary of Our Obligations to Our Allies and Others," signed "HGN." This report summarized the key details of the existing agreements and general obligations between the United Kingdom and the states, nations, communities, and individuals named in the document, namely France, Italy, Russia, Romania, the King of Hejaz, Japan, the Republic of China, and Serbia; communities such as the Poles, Jews, Yugoslavs, Czechoslovaks, Albanians, and Armenians; and Iran and Afghanistan. Preserved in the British Library's India Office Records, this document concretely illustrates the inner workings of wartime diplomacy, the tensions created by conflicting promises, and the reshaping of British foreign policy. This paper aims to examine this primary source through three main points. First, this document itself will be examined (specifically, how various agreements—such as the Sykes-Picot Agreement, the London Pact of September 5, 1914, and the Italian Agreement of April 26, 1915—were attempted to be consolidated into a single text).

Second, we will examine how the tension between the promises made regarding Arab independence and the territorial concessions granted to France and Italy constrained the negotiations at the Paris Peace Conference from start to finish. Third, the comparative table at the end of the document will be examined as a map of the era's conflicting geopolitical visions, juxtaposing the war aims of the United States, Britain, France, Italy, Russia, Austria, Germany, and the Ottoman Empire. The document clearly demonstrates that the postwar order was the product of accumulated promises rather than the negotiators' good faith. This study aims to offer an original contribution by examining the source in conjunction with current debates on wartime diplomacy.
Keywords: World War I, World War I Diplomacy, Paris Peace Conference, Ottoman Empire.

REF: AKADEMİK TEŞVİK

İLGİLİ MAKAMA

14. Uluslararası "Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar ve Küresel Uygulamaları" Kongresi 7-14 Eylül 2026 tarihleri arasında Vietnam'da 25 farklı ülkenin (Türkiye-72, Diğer Ülkelerden-143) akademisyen/araştırmacılarının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,

Saygılarımla

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Head of the Congress

T.C.
SİİRT ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Ziraat Fakültesi Dekanlığı
Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı

Sayı : E-36767001-051-181770
Konu : Toplantı ve Etkinlik İşleri
(14.Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar ve Küresel Uygulamaları kongresi)

ZİRAAT FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA

Üniversitemiz ve İktisadi Kalkınma ve Sosyal Araştırmalar Enstitüsü iş birliğinde 07-14 Eylül 2026 tarihleri arasında Viyetnam'da düzenlenecek olan "14.Uluslararası Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar ve Küresel Uygulamaları kongresi'nin Kongre Başkanı ve Düzenleme Kurulunun isimleri aşağıda sunulmuştur.

Bilgilerinize arz ederim .

KONGRE BAŞKANI Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN (Siirt Üniversitesi , TÜRKİYE)

DÜZENLEME KURULU BAŞKANI Dr. Öğr. Üyesi Şeyhmus TÜMÜR (Dicle Üniversitesi, TÜRKİYE)

DÜZENLEME KURULU ÜYELERİ
Doç. Dr. Arzu ALTUNTAŞ (Siirt Üniversitesi, TÜRKİYE)
Assist.Prof..Dr. Domenico SANTORO (Mercatorum University , ITALY
Prof. Dr.Luca GRILLI (Universıta di Foggia , ITALY)
Dr. Jaehyun PARK (Konkuk University, Department of Industrial Engineering, KOREA)
Prof. Dr. Natasa Vujica HERZOG (University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering, SLOVENYA)
Doç. Dr. Özlem KAYA - Uşak Universitesi, TÜRKİYE)
Dr. Öğretim Üyesi M. Osman ENGÜR - İstanbul Üniversitesi, TÜRKİYE)
Dr. Muhammed FAIZAN (A Central University, INDIA)
Prof. Dr. Yanlin LI (Hangzhou Normal University ,CHINA)

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Bölüm Başkanı

Ek:Kongre Afişi

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu :BSF5ZK3CSB Pin Kodu :23672 Belge Takip Adresi : https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5481&eD=BSF5ZK3CSB&eS=181770

Adres:Batman Yolu 10.km Merkez, 56100 Siirt/Türkiye
Telefon:+90 (484) 212 11 11 Faks:90 (484) 223 19 98
e-Posta:siu@siirt.edu.tr Elektronik ağ:www.siirt.edu.tr
Kep Adresi:siu@hs01.kep.tr

Bilgi için: Mehmet Fırat BARAN
Unvanı: Öğretim Üyesi

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır