

2. INTERNATIONAL CONGRESS ON CONSTRUCTION MATERIALS ENGINEERING AND ARCHITECTURE

PROCEEDINGS BOOK

EDITORS:

ASSOC. PROF. DR. ORHAN DOĞAN

ALINA AMANZHLOVA

May 24, 2021
Ankara, Turkey

ISBN: 978-605-70554-9-1

**II. INTERNATIONAL CONGRESS ON
CONSTRUCTION MATERIALS
ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

**May 24, 2021
Ankara, Turkey**

PROCEEDINGS BOOK

**Edited by
Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN
Alina AMANZHLOVA**

**All rights of this book belong to IKSAD GLOBAL.
Without permission can't be duplicate or copied.
Authors of chapters are responsible both
ethically and juridically.**

Issued: 29.05.2021

ISBN: 978-605-70554-9-1



CONGRESS ID

**II. INTERNATIONAL CONGRESS ON CONSTRUCTION
MATERIALS ENGINEERING AND ARCHITECTURE**

DATE and PLACE

**24 May 2021
Ankara, TURKEY**

EDITORS

**Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN
Alina AMANZHLOVA**

EVALUATION PROCESS

**All applications have undergone a double-blind peer review
process**

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Ömer KELEŞ - Gazi University

**Prof. Dr. Samir LADACI - National Polytechnic School of Constantine,
Algeria**

**Prof. Dr. Hacer Huseynova - Azerbaijani Tatlgot Pedagogical
University**

**Assoc. Prof. Dr. Nilay Özsavaş Uluçay - Bodrum Maritime Vocational
School**

Assoc. Prof. Dr. MUTEBER ERBAY - Karadeniz Technical University

Assoc. Prof. Dr. Ersoy YILMAZ - Çankırı Karatekin University

Assoc. Prof. Dr. Nurhan KOÇAN - Bartın University

Assoc. Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT - Erciyes University

Assist. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ - Recep Tayyip Erdogan University

Assist. Prof. Dr. Alper BODUR - Ondokuz Mayıs University

**Assist. Prof. Dr. Murat AKSEL - Alanya Alaaddin Keykubat University,
Civil Engineering Department**

Assist. Prof. Dr. Aydanur YENEL - Hasan Kalyoncu University

Assist. Prof. Dr. İpek MEMİKOĞLU - Atılım University

Assist. Prof. Dr. Arzu ERÇETİN - ISTANBUL CULTURAL UNIVERSITY

Assist. Prof. Dr. Gülin Feryal CAN - Başkent University

Elvan CAFEROV - Azerbaijan Tattoo Pedagogical University

COORDINATOR

Alina AMANZHLOVA

SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Dr. Ömer KELEŞ - Gazi University

Prof. Dr. Odette Arhip - Ecological University of Bucharest

Prof. Dr. Samir LADACI - National Polytechnic School of Constantine, Algeria

Assoc. Prof. Dr. Nilay Özsavaş Uluçay - Bodrum Maritime Vocational School

Assoc. Prof. Dr. MUTEBER ERBAY - Karadeniz Technical University

Assoc. Prof. Dr. Ersoy YILMAZ - Çankırı Karatekin University

Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN - Kırıkkale University

Assoc. Prof. Dr. Nurhan KOÇAN - Bartın University

Assoc. Prof. Dr. Sayiter YILDIZ - Sivas Cumhuriyet University

Assoc. Prof. Dr. Murat ORAL - Konya Technical University

Assoc. Prof. Dr. Ercan ŞENYİĞİT - Erciyes University

Assoc. Prof. Dr. Gülin Feryal CAN - Başkent University

Assist. Prof. Dr. K. D. Ahire - KTHM College, Nashik (MS), India

Assist. Prof. Dr. Çiğdem BOĞENÇ - Recep Tayyip Erdogan University

Assist. Prof. Dr. Alper BODUR - Ondokuz Mayıs University

Assist. Prof. Dr. Murat AKSEL - Alanya Alaaddin Keykubat University, Civil Engineering Department

Assist. Prof. Dr. Aydanur YENEL - Hasan Kalyoncu University

Assist. Prof. Dr. İpek MEMİKOĞLU - Atılım University

Assist. Prof. Dr. Arzu ERÇETİN - ISTANBUL CULTURAL UNIVERSITY

Assist. Prof. Dr. Ghanshyam Barman - Chemical Engg.

Department, C G Patel Institute of Technology, Uka Tarsadia University

Dr. Maria Kanwal - National University of Sciences and Technology, Pakistan

Dr. Kerem Asmaz - Yıldız Technical University

Dr. Mohamed El Malki - Laboratory of Materials, Waves, Energy and Environment (LaMOn2E), Oujda, Morocco



2. INTERNATIONAL CONGRESS ON CONSTRUCTION MATERIALS ENGINEERING AND ARCHITECTURE

May 24, 2021
ANKARA

CONGRESS PROGRAM



Meeting ID: 834 0315 2264
Passcode: 656606

Önemli, Dikkatle Okuyunuz Lütfen

- ❖ Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildirimler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.
- ❖ Online sunum yapabilmek için <https://zoom.us/join> sitesi üzerinden giriş yaparak “Meeting ID or Personal Link Name” yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.
- ❖ Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.
- ❖ Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.
- ❖ Uygulama tablet, telefon ve PC’lerde çalışıyor.
- ❖ Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden 5 dk öncesinde oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.
- ❖ Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir.
- ❖ Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

Dikkat Edilmesi Gerekenler- TEKNİK BİLGİLER

- ◆ Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun.
- ◆ Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz.
- ◆ Kabul edilen bildiri sahiplerinin mail adreslerine Zoom uygulamasında oluşturduğumuz oturuma ait ID numarası gönderilecektir.
- ◆ Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir
- ◆ Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- ❖ To be able to attend a meeting online, login via <https://zoom.us/join> site, enter ID “Meeting ID or Personal Link Name” and solidify the session.
- ❖ 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.
- ❖ The participant must be connected to the session 5 minutes before the presentation time.
- ❖ All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- ❖ Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

Points to Take into Consideration - 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.
- ◆ Requests such as change of place and time will not be taken into consideration in the congress program.

Before you login to Zoom please indicate your name_surname and HALL number:

exp. Hall-1, Seda BEYAZ

Ankara



Session-1, Hall-1

24.05.2021

Moderator: Prof. Dr. Eti Akyüz Levi

Meeting ID: 834 0315 2264 / Passcode: 656606

Ankara Local Time: 10:00 – 12:30 // Morocco Local Time: 11:00 – 13:30

Title	Author(s)	Affiliation
EFFECT OF EXPLOSION CHARGES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE	Aras DALGIÇ	Munzur University
	Assist. Prof. Dr. YILMAZER POLAT	Munzur University
BUCKLING OF A PARTIALLY FATIGUED COMPOSITE BEAM	Dr. Mustafa AKBULUT	Tübitak, MAM
EVALUATION OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) IN TERMS OF CONSTRUCTION MANAGEMENT	Emrah KUYTAN	Graduate Student, Düzce University, Institute of Science, Department of Architecture
	Nuray BENLİ YILDIZ	Assistant Professor, Düzce University Faculty of Art, Design and Architecture; Department of Architecture
AN INVESTIGATION OF RECYCLING POTENTIALS OF BORON WASTES IN BUILDING MATERIAL PRODUCTION	Assoc. Prof. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ	Gebze Teknik University
	Zeynep BEDİR	Gebze Teknik University
INVESTIGATION OF THE UTILIZATION OF VARIOUS WASTE LIME SOURCES ON GYPSUM-LIME-FLY ASH BASED MORTARS	Gamze KOYUTÜRK	Bartın University
	Dr. Muhammed Yasin DURGUN	Bartın University
CHIP ANALYSIS DURING MILLING OF STREX 1100 CONSTRUCTION STEEL UNDER MINIMUM QUANTITY LUBRICATION CONDITIONS	Dr. Mustafa KUNTOĞLU	Selçuk University
OCCUPATIONAL HEALTH AND IN CONSTRUCTION WORKPLACES SECURITY	Furkan ÇALIŞKAN	Yıldırım Beyazıt University
	Dilek ÖZTAŞ	Ankara Yıldırım Beyazıt University
	Assist. Prof. Dr. Abdullah Yıldızbaşı	Ankara Yıldırım Beyazıt University
	Prof. Dr. Ergün ERASLAN	Ankara Yıldırım Beyazıt University
OPTIMIZATION OF HEAT AND SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF BASALT AND CARBON FABRIC REINFORCED COMPOSITES WITH TAGUCHI GRAY RELATIONS ANALYSIS	Ertan Özgür	Çukurova University
	Prof. Dr. Emel Ceyhun Sabır	Çukurova University
USE OF KAROSIMAN IN HISTORICAL BUILDINGS (İZMİR SAMPLE)	Prof. Dr. Eti Akyüz Levi	Dokuz Eylül University

All participants must join the conference 10 minutes before the session time.

Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.

Kindly keep your cameras on till the end of the session.



Session-1, Hall-2
24.05.2021

Moderator: Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN

Meeting ID: 834 0315 2264 / Passcode: 656606

Ankara Local Time: 10:00 – 12:30 // Morocco Local Time: 11:00 – 13:30

Title	Author(s)	Affiliation
IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL AND DURABILITY PERFORMANCE OF KHORASAN MORTAR	Kemal Karakuzu	Bursa Uludağ University
	Tuğçe İsafça	Bursa Uludağ University
	Assist. Prof. Dr. Süleyman Özen	Bursa Teknik University
	Prof. Dr. Adem Doğangün	Bursa Uludağ University
THE EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF GRINDING AIDS ON GRINDING EFFICIENCY AND SOME FRESH STATE CHARACTERISTICS OF PASTE MIXTURES	Assoc. Prof. Dr. Ali Mardani Aghabaglou	Bursa Uludağ University
	Yahya Kaya	Bursa Uludağ University
	Veysel Kobya	Bursa Uludağ University
A RESEARCH ON THE TOMARZA PANAGHIA CHURCH CONSTRUCTION SYSTEM	Assoc. Prof. Dr. Ali Mardani Aghabaglou	Bursa Uludağ University
	Lect. Kevser LALELİ	Kayseri University
DESIGN AND DEVELOPMENT OF HOT ROLLED 60 DEGREE ANGLES	Assoc. Prof. Dr. Hayriye Hale KOZLU	Erciyes University
	Hakan ERÇAY	Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., İzmir, Türkiye
	Caner TUNA	Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., İzmir, Türkiye
EXPERIMENTAL DETERMINATION OF WALL SHEAR PERFORMANCE OF AN EXISTING MASONRY BUILDING UNDER COMBINED LOADS	Assoc. Prof. Dr. Tuncay DİKİCİ	Dokuz Eylül University
	Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN	Kırıkkale University
	Orhan Gazi ODACIOĞLU	Kırıkkale University
	Lect. Melek AKGÜL	Munzur University
DETERMINING THE PERFORMANCE OF A PREFABRICATED TEST-BEAM UNDER STATIC POINTED LOADS	Hale Nurefşan DOĞAN	ODTÜ
	Assoc. Prof. Dr. Orhan DOĞAN	Kırıkkale University
	Emre DURUKAN	Kırıkkale University
	Veda DURUKAN	
INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CALCIUM CARBONATE (CaCO ₃) USED IN MONOPOROSA WALL TILE BODY COMPOSITION ON CURING REDUCTION AND AUTOCLAVE CRACK	Furkan KOÇ	ODTÜ
	Derya ÖZTÜRK	NG Kütahya Seramik
	Yasin ÜRERSOY	NG Kütahya Seramik
ASSESSMENT OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL FEATURES OF LIMESTONE USED AS STRUCTURAL MASONRY MATERIAL IN A HISTORICAL URFA HOUSE	Yeşim BALTACI	NG Kütahya Seramik
	Betül Demirkol	Hasan Kalyoncu University
	Prof. Dr. Fevziye Aköz	Hasan Kalyoncu University
	Assoc. Prof. Dr. Kasım Mermerdaş	Harran University
SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS	Assist. Prof. Dr. Yusuif Işiker	Harran University
THE EFFECT OF SODIUM SILICATE/SODIUM HYDROXIDE RATIO ON THE PRODUCTION PROPERTIES OF WASTE GLASS POWDER BASED GEOPOLYMER MORTARS	Aysu SARI ÇETİN	Ankara, TURKEY
	Cemre AY	Nevşehir Hacı Bektaş Veli University
	Assist. Prof. Dr. İsmail İsa ATABEY	Nevşehir Hacı Bektaş Veli University

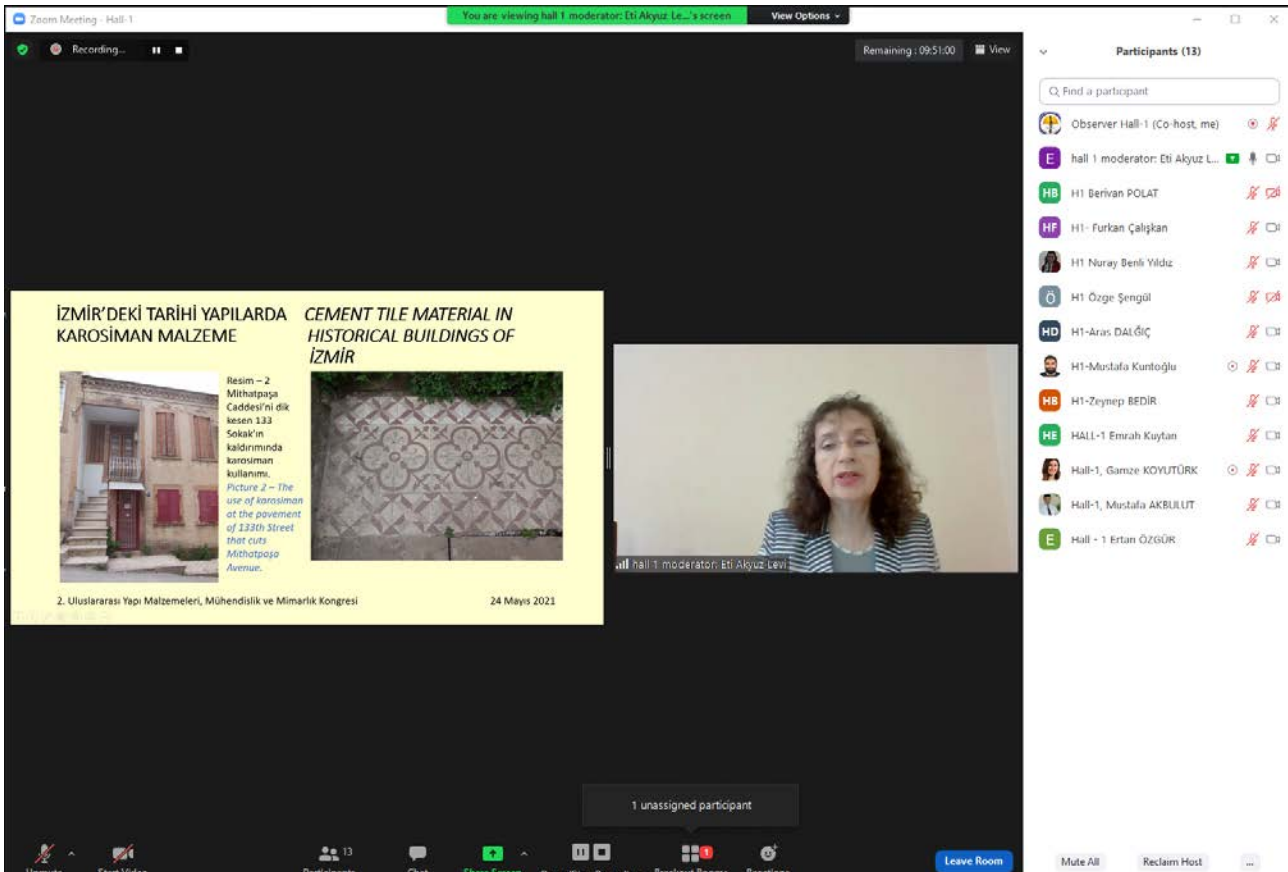
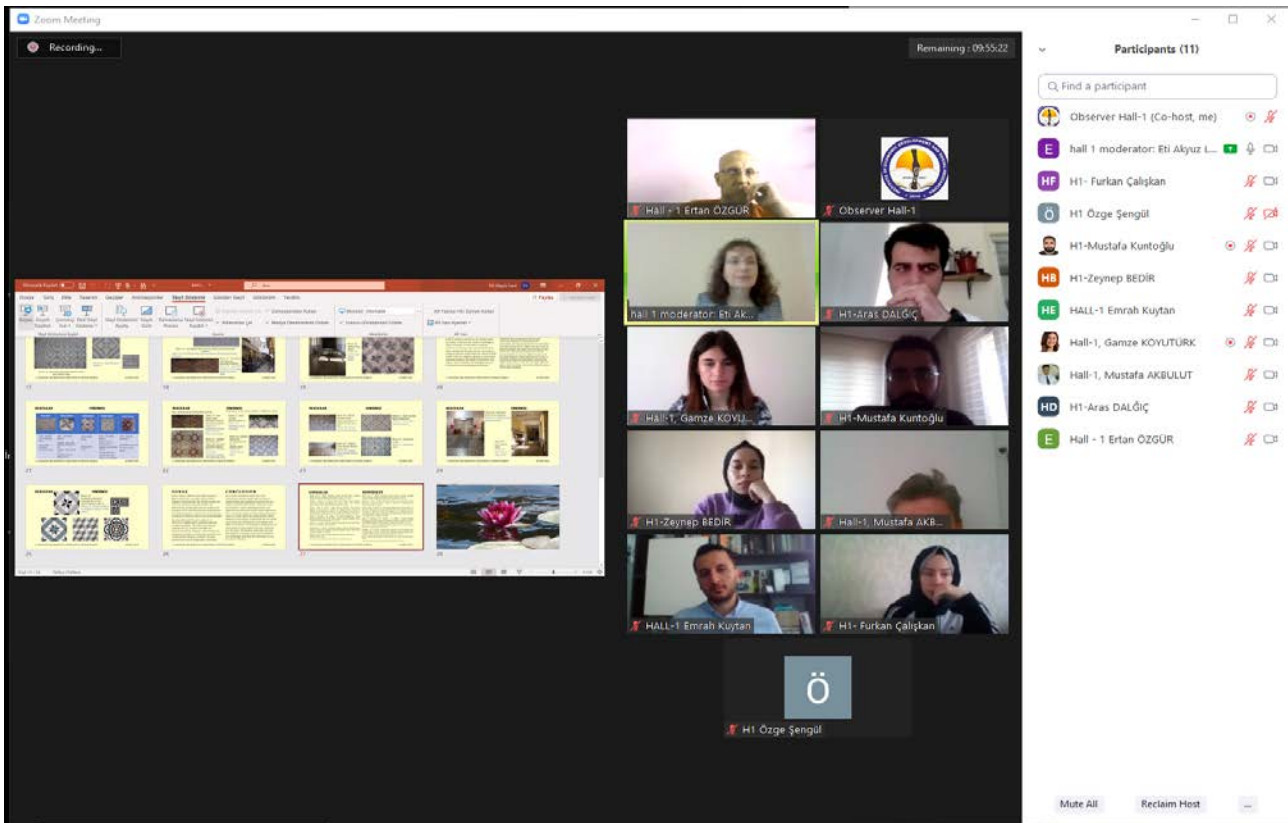
All participants must join the conference 10 minutes before the session time.

Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.

Kindly keep your cameras on till the end of the session.



PHOTO GALLERY




Zoom Meeting

Recording...

Remaining : 09:36:05

2. ÇELİK LİF TAKVİYELİ BETONLARIN PATLAMA YÜKLEMESİNE KARŞI DAVRANIŞI



Şekil 13. Normal betonarme plajın 1 kg TNT altında patlaması sonucu plak ön(46cm) ve arka yüzü(82 cm) (J. Li vd., 2016).

15/29

PATLAMA YÜKLEMESİNDE BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

H1-ARAS DALGIÇ

Participants (14)

Find a participant

- Observer Hall-1 (Co-host, me)
- H1-Aras DALGIÇ
- H1-Berivan POLAT
- H1-Furkan ÇALIŞKAN
- H1-Nuray Benli Yıldız
- H1-Özge ŞENGÜL
- H1-Mustafa Kuntoğlu
- H1-Zeynep BEDİR
- Hall - 1 Ertan ÖZGÜR
- hall 1 moderator: Eti Akyuz Levi
- HALL-1 Emrah Kuytan
- Hall-1 imran saty
- Hall-1, Gamze KOYUTÜRK
- Hall-1, Mustafa AKBULUT

Mute All Reclaim Host

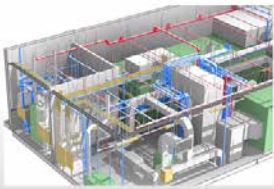
Zoom Meeting

Recording...

Remaining : 09:11:02

3D (MODELING)

The third dimension of BIM collects graphic data. It is the most well-known dimension as it refers to the visible part of a BIM model. Linking different discipline models to a unified master model allows a project to be developed without conflict.



3D Modeling, Top 100 Innovations, MIT Technology Review, 18 March 2011, 43-44

hall 1 moderator: Eti...

Observer Hall-1

H1-Aras DALGIÇ

Hall-1, Gamze KOYU...

H1-Mustafa Kuntoğlu

H1-Zeynep BEDİR

Hall-1, Mustafa AKBULUT

H1-Furkan ÇALIŞKAN

HALL-1 Emrah Kuytan

H1-Nuray Benli Yıldız

Hall-1 Ertan ÖZGÜR

H1-Özge ŞENGÜL

Participants (12)

Find a participant

- Observer Hall-1 (Co-host, me)
- HALL-1 Emrah Kuytan
- H1-Nuray Benli Yıldız
- Hall-1, Mustafa AKBULUT
- H1-Furkan ÇALIŞKAN
- H1-Özge ŞENGÜL
- H1-Aras DALGIÇ
- H1-Mustafa Kuntoğlu
- H1-Zeynep BEDİR
- Hall - 1 Ertan ÖZGÜR
- hall 1 moderator: Eti Akyuz Levi
- Hall-1, Gamze KOYUTÜRK

Mute All Reclaim Host

Zoom Meeting


Recording...

Remaining: 08:54:52


Observerlar Sayı Makamının Akademik ve Mesleki Kuruluşları, 24 Mayıs 2021, Ankara

Bor Nedir ?

Özellikler ve Kullanım Alanları



- Yöneltikülere toprak, kalsiyum ve sodyum ile birleşir.
- Doğada serbest bir element değildir, ancak elementlerle birleşik olarak bulunur.
- Saf kristal olarak kullanılmaz.
- Çok sert ve dayanıklı bir yapıya sahiptir.



H1-Zeynep BEDİR

Participants (13)

Find a participant

- Observer Hall-1 (Co-host, me)
- H1-Zeynep BEDİR
- hall 1 moderatör: Eti Akçöz Levi
- H1- Furkan Çalışkan
- H1 Nuray Benli Yıldız
- H1 Özge Şengül
- H1-Aras DALĞIÇ
- H1-Mustafa Kuntoğlu
- Hall - 1 Ertan ÖZGÜR
- HALL-1 Emrah Kuytan
- Hall-1 İmran SATIŞ
- Hall-1, Gamze KOYUTÜRK
- Hall-1, Mustafa AKBULUT

Mute All Reclaim Host

Zoom Meeting

Recording...


Remaining: 08:22:36

Sağlık ve Güvenlik Hedefleri

- Yıl boyunca sıfır ölümcül kazalar
- Yıl boyunca sıfır yaralanmaların azaltılması
- Kazaların dolayısıyla zaman kaybının azaltılması
- Eğya ve ekipman hasarı miktarının azaltılması
- Ramak kaza kazaları azaltılması
- Çalışanların güvenliğini artırarak eğitimlerine katılma oranını %100'e çıkarmak
- hedeflerden bir kaçadır

Health and Safety Goals

- Zero fatal accidents throughout the year
- Reduce work-related injuries
- To reduce the loss of time due to accident
- Reducing the cost of property and equipment damage
- To reduce non-miss accidents
- Increasing the participation rate of employees in safety training to 100%, are some of the goals.



Hall 1 moderatör: Eti...

Observer Hall-1

Hall-1, Gamze KOYU...

Hall-1, Mustafa AKB...

H1- Furkan Çalışkan

Hall-1 Ertan ÖZGÜR

HALL-1 Emrah Kuytan

H1 Nuray Benli Yıldız

H1-Aras DALĞIÇ

H1-Zeynep BEDİR

H1-Mustafa Kuntoğlu

Participants (11)

Find a participant

- Observer Hall-1 (Co-host, me)
- H1- Furkan Çalışkan
- H1 Nuray Benli Yıldız
- H1-Aras DALĞIÇ
- H1-Mustafa Kuntoğlu
- H1-Zeynep BEDİR
- Hall - 1 Ertan ÖZGÜR
- hall 1 moderatör: Eti Akçöz Levi
- HALL-1 Emrah Kuytan
- Hall-1, Gamze KOYUTÜRK
- Hall-1, Mustafa AKBULUT

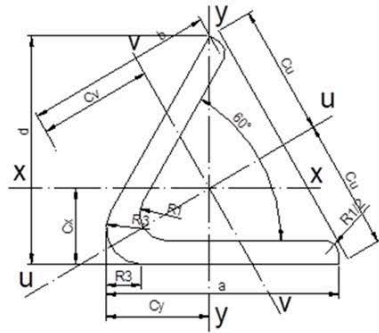
Mute All Reclaim Host



60° KÖŞEBENT TANIMI ve KULLANIM ALANLARI

60° Köşebent profili, iki kanat arasındaki açının 60° olduğu sıcak haddelenmiş profillerdir.

Köşebent açısının 60° olması sayesinde bu profiller telekomünikasyon, enerji nakli gibi 3 ayaklı her türlü direklerin imalatında kullanılmaktadır.



Запись... | Вы просматриваете экран H2 betül demirkol | Настройки просмотра | Осталось: 08:29:47 | Вид

Karaçelmeler Evi

Karaçelmeler Evi güney cephesi

Haremlik bölümüne, selamlıktan ve sokaktan basık kemerli kapılar ile ulaşılmaktadır. Sokaktaki giriş, geleneksel mimaride 'kapı arası' olarak adlandırılan dikdörtgen planlı, sivri tonoz örtülü geçide açılır. Kapı arasından 'hayat' denilen avluya ulaşılır.

Haremlik Bölümü Zemin Kat Planı

H2 betül demirkol

Включить звук | Включить видео | Участники | Чат | Демонстрация экрана | Пауза/остановить запись | Сессионные залы | Реакции | Выйти из зала

The screenshot shows a Zoom meeting interface. On the left, a presentation slide is displayed with the following text:

SOĐYUM SİLİKAT-SOĐYUM HİDROKSİT ORANININ ATIK CAM TOZU ESASLI GEOPOLİMER HARÇLARIN ÜRETİM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ
THE EFFECT OF SODIUM SILICATE/SODIUM HYDROXIDE RATIO ON THE PRODUCTION PROPERTIES OF WASTE GLASS POWDER BASED GEOPOLYMER MORTARS
Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY
Cemre AY
1 Nevşehir HBV Üniversitesi MİB-Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği
2 Nevşehir HBV Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

On the right, a video feed shows a woman with glasses and long dark hair, identified as Cemre AY-H2. The Zoom control bar at the bottom includes options like 'Vключить звук', 'Vключить видео', 'Участники', 'Чат', 'Демонстрация экрана', 'Пауза/остановить запись', 'Сессионные залы', 'Реакции', and 'Выйти из зала'.

The screenshot shows a Zoom meeting interface. On the left, a presentation slide is displayed with the following text:

SONUÇ

- Değerlendirme sistemleri ve sertifikalar çerçevesinde bakıldığında sürdürülebilir yapıları LEED, enerji seçimi, proje planlaması, çevre ve ekonomik esaslar, kültürel ve sosyal esaslar, servis kalitesi, konfor, tasarım ve arazi planlaması, çevresel Voller SERTİFİĞİ Uygulan ve farklılık, anak BREEAM, su etkinliği, enerji ve atmosfer malzeme ve kaynaklar iç mekan hava kalitesi, yenilik ve tasarım, bölgesel öncelikler LEED kavramı altında toplanmaktadır.
- Sürdürülebilir malzemeler standartları (TSE 14025 ve EN (Avrupa) 15804 standartları) takip edilmiştir. Bu koda alınan yeniler sürdürülebilir malzeme olarak sayılış görülmektedir.
- Kullanımın detaylı bilgiye sahip olmasından, malzemelerin kimliği bir araştırma sistemi altında toplanması görülmektedir. Ürün etiketlerine sürdürülebilir malzeme kodları yazılması, kullanıcıların satın alma sürecinde kodları kullanarak ürünleri bulmalarına olanak sağlamaktadır.

On the right, a grid of participants is shown. The participants are:

- Moderatör: H2, Orhan D...
- H2-Keşer LALELİ
- Observer Hall-2
- H2-Derya Öztürk
- Hall 2-Yahya Kaya
- Hall 2, Kemal Karakuzu
- H2 AYSU
- H2 betül demirkol
- H2 Kasım Mermerdaş
- hall 2 Hale Kozlu
- CEMRE AY-H2
- H2 Orhan Gazi ODAC...
- H2 yusuf işiker
- H2 Emre DURUKAN

The Zoom control bar at the bottom includes options like 'Vключить звук', 'Vключить видео', 'Участники', 'Чат', 'Демонстрация экрана', 'Пауза/остановить запись', 'Сессионные залы', 'Реакции', and 'Выйти из зала'.

CONTENT

CONGRESS ID	1
SCIENTIFIC COMMITTEE	2
PHOTO GALLERY	3
PROGRAM	4
CONTENT	5

PROCEEDINGS BOOK

Mustafa AKBULUT <i>BUCKLING OF A PARTIALLY FATIGUED COMPOSITE BEAM</i>	1
Emrah KUYTAN, Nuray BENLİ YILDIZ <i>EVALUATION OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) IN TERMS OF CONSTRUCTION MANAGEMENT</i>	13
Cahide AYDIN İPEKÇİ, Cahide AYDIN İPEKÇİ <i>AN INVESTIGATION OF RECYCLING POTENTIALS OF BORON WASTES IN BUILDING MATERIAL PRODUCTION</i>	28
Gamze KOYUTÜRK, Muhammed Yasin DURGUN <i>INVESTIGATION OF THE UTILIZATION OF VARIOUS WASTE LIME SOURCES ON GYPSUM-LIME-FLY ASH BASED MORTARS</i>	37
Mustafa KUNTOĞLU <i>CHIP ANALYSIS DURING MILLING OF STREX 1100 CONSTRUCTION STEEL UNDER MINIMUM QUANTITY LUBRICATION CONDITIONS</i>	53
Furkan ÇALIŞKAN, Dilek ÖZTAŞ, Abdullah Yıldızbaşı, Ergün ERASLAN <i>OCCUPATIONAL HEALTH AND IN CONSTRUCTION WORKPLACES SECURITY</i>	59
Orhan DOĞAN, Orhan Gazi ODACIOĞLU, Melek AKGÜL, Hale Nurefşan DOĞAN <i>EXPERIMENTAL DETERMINATION OF WALL SHEAR PERFORMANCE OF AN EXISTING MASONRY BUILDING UNDER COMBINED LOADS</i>	66
Orhan DOĞAN, Emre DURUKAN, Veda DURUKAN, Furkan KOÇ <i>DETERMINING THE PERFORMANCE OF A PREFABRICATED TEST-BEAM UNDER STATIC POINTED LOADS</i>	76
Betül Demirkol, Fevziye Aköz, Kasım Mermerdaş, Yusuf Işiker <i>ASSESSMENT OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL FEATURES OF LIMESTONE USED AS STRUCTURAL MASONRY MATERIAL IN A HISTORICAL URFA HOUSE</i>	90
Eti Akyüz Levi <i>USE OF KAROSIMAN IN HISTORICAL BUILDINGS (IZMIR SAMPLE)</i>	105
Cemre AY, İsmail İsa ATABEY <i>THE EFFECT OF SODIUM SILICATE/SODIUM HYDROXIDE RATIO ON THE PRODUCTION PROPERTIES OF WASTE GLASS POWDER BASED GEOPOLYMER MORTARS</i>	118

Kemal Karakuzu, Tuğçe İsafça, Süleyman Özen, Adem Doğangün, Ali Mardani-Aghabaglou	127
<i>IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL AND DURABILITY PERFORMANCE OF KHORASAN MORTAR</i>	
Derya ÖZTÜRK, Yasin ÜRERSOY, Yeşim BALTACI	130
<i>INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CALCIUM CARBONATE (CaCO₃) USED IN MONOPOROSA WALL TILE BODY COMPOSITION ON CURING REDUCTION AND AUTOCLAVE CRACK</i>	
Aras DALĞIÇ, Berivan YILMAZER POLAT	132
<i>EFFECT OF EXPLOSION CHARGES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE</i>	
Yahya Kaya, Veysel Kobya, Ali Mardani Aghabaglou	133
<i>THE EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF GRINDING AIDS ON GRINDING EFFICIENCY AND SOME FRESH STATE CHARACTERISTICS OF PASTE MIXTURES</i>	
Kevser LALELİ, Hayriye Hale KOZLU	135
<i>A RESEARCH ON THE TOMARZA PANAGHIA CHURCH CONSTRUCTION SYSTEM AND BUILDING MATERIALS</i>	
Hakan ERÇAY, Caner TUNA, Tuncay DİKİCİ	137
<i>DESIGN AND DEVELOPMENT OF HOT ROLLED 60 DEGREE ANGLES</i>	
Ertan Özgür, Emel Ceyhun Sabır	139
<i>OPTIMIZATION OF HEAT AND SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF BASALT AND CARBON FABRIC REINFORCED COMPOSITES WITH TAGUCHI GRAY RELATIONS ANALYSIS</i>	
Aysu SARI ÇETİN	142
<i>SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS</i>	

BUCKLING OF A PARTIALLY FATIGUED COMPOSITE BEAM

Mustafa AKBULUT

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, 41470, Gebze, Kocaeli, Turkey

ORCID ID: 0000-0003-4820-7601

ABSTRACT

Composite beams are employed in many engineering structures especially in applications, where high compression strength and low-weight properties are demanded. In some cases, these structures are subjected to cyclic fatigue loading particularly in moving vehicle and machinery parts. In These circumstances, both fatigue and buckling damage mechanisms are effective in catastrophic failure. Even though there are numerous studies dealing with the post buckling fatigue life performance of beam structures, the number of those studies taking the effect of fatigue damage into consideration in the buckling performance of beams are quit scarce. In this study, the buckling load of a partially fatigued composite beam has been computed at various percentages of its total fatigue life and compared to that of an undamaged beam. The fatigue calculation is based on a progressive approach and verified with the help of experimental results of a previously conducted research study available in literature. The buckling load computations have been carried out numerically and presented for a beam subjected to partial fatigue damage at predefined percentages of its total life.

Key words: Composite Beam, Fatigue, Buckling, Progressive Approach

INTRODUCTION

Fiber reinforced composite materials are used in many engineering applications due to their high specific strength, rigidity and high corrosion resistance. This type of composite materials are used in the manufacturing of beams, employed especially in structural applications where high compressive strength is required. The most important damage mode of composite beams is buckling under compression loads. This damage mode has been considered in many studies. Fiber reinforced composite beams have been analyzed in terms of buckling damage both analytically, numerically and experimentally in many studies [[1-10]. While, in some of these studies, normal beam structures are examined, in many others, structures containing discontinuity are considered as numerically [11, 13] and experimentally [12, 13].

The buckling behavior of beam structures is also discussed in various deformation and post-delamination situations. Kardomateas and Shumueser [14] studied the reduction in buckling load with an analytical approach, taking into account the effect of lateral shear loads on a statically crushed delaminated composite beam. In another study [15], the fatigue strength and buckling strength of a beam delaminated under impact load was investigated.

In some cases, beam structures are also subjected to cyclic loads [16, 17]. In this case, they are damaged by fatigue. Fatigue strength calculation of fiber reinforced composite materials is more complex compared to isotropic metals due to their anisotropic nature. The direction-dependent stress and strain conditions that occur, cause fiber breakage, matrix degradation and delamination within the structure. Fatigue damage has been considered for many different specific situations. Especially the examination of composite structures delaminated as a result of impact or crushing [18, 19, 20, 21] has been carried out frequently. Bisagni [19] investigated the effect of fatigue behavior on damage in beams delaminated after buckling. Similarly, Raimondo et al. [20] investigated the fatigue condition with cyclic compression loading after

delamination and local buckling after static loading, as a contrary to the methodology that the current study is trying to implement. Butler et al. [21] developed a calculation method to precisely estimate the fatigue limit strain values in composite structures delaminated by impact loading.

Approaches dealing with various damage modes are used to calculate the total fatigue strength. In recent years, progressive approaches [22, 23, 24] used in fatigue calculations of fiber reinforced composite structures, especially in geometries with discontinuity, have been used. Shabani et al. [22] calculated the fatigue life in a perforated composite ring using a progressive method and compared their results with an experimental study. Presenting yet another progressive approach, Wan et al. [23] numerically and experimentally investigated the fatigue life of the double-end circular perforated multi-layer carbon fiber composite plate, showing that the effect of hole was dependent on the hole depth, loading type and sequence. Rivera et al. [24] studied the distribution of damage in thin-walled beams in the progressive fatigue model they created using the Shokrieh model. In the progressive fatigue calculation approach, it is generally assumed that the strength and toughness properties of the fiber and / or matrix material of the fiber reinforced composite material weaken under cyclical loads and degrade completely or partially after a certain cycle.

In particular, there is no numeric and experimental analysis of the performance loss that will occur in the buckling load of the structure as a result of the fiber breakage, matrix degradation and degradation of the fiber-matrix interface bonds in the composite after a progressed phase of fatigue loading. Yu Feng [25] has experimentally studied the impact and buckling strength of the post-fatigue structure, but there is no comparative numerical approach. Within the scope of this study, finding the buckling strength of a beam that has been subjected to partial fatigue at different levels and comparing it with the buckling strength of a solid beam will be performed.

METHODOLOGY

Within the scope of this study, following the partial fatigue of the beams made up of infinite fiber reinforced composite with L length rectangular cross-section with different lay-ups (fiber orientations) given in Figure-1, the buckling loads will be calculated numerically and experimentally and compared with solid beams that have not undergone fatigue. Results for strength losses in buckling versus fatigue cycle rates will be reported in appropriate formats. Two analyzes constitute the core of the study; The first is the progressive fatigue analysis, in which the level of degradation that the fatigue loading will create in the composite structure, is simulated and the other is the numerically finite element analysis (SEM) and buckling analysis.

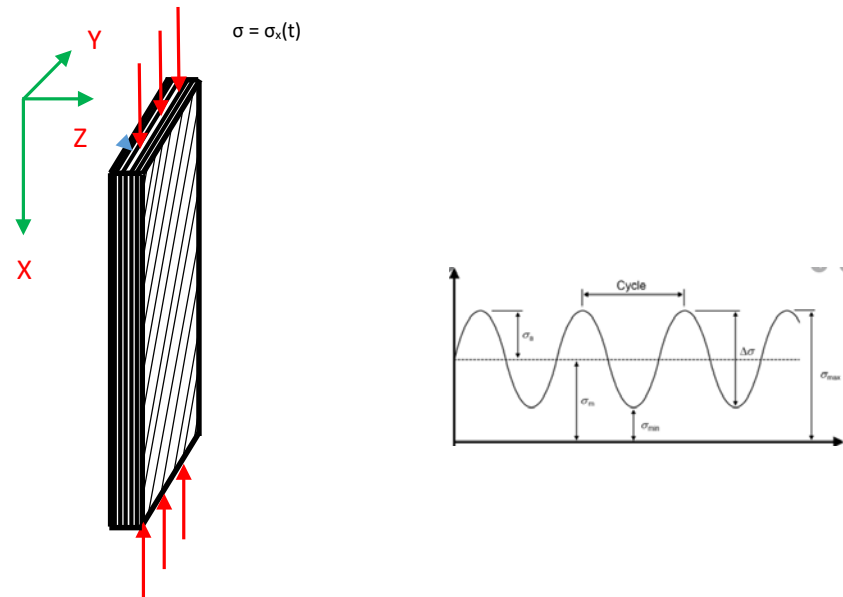


Figure -1 Composite Beam Subjected to Fatigue Loading

With the fatigue analysis, the static strength and elasticity values within the structure will either be completely diminished in element scale after a certain number of cycles or there will be a decrease in their absolute values. This procedure will be achieved using the method presented below.

PROGRESSIVE DAMAGE BASED FATIGUE MODEL

The fatigue part of the study will allow a quantitative study of the composite structure that is partially damaged under cyclic loads and will allow obtaining the material configuration of the damaged structure. Under fatigue loading conditions, the composite structure is generally exposed to stresses much lower than the static loads that would cause damage. With increasing number of cycles, the strength and rigidity of the material gradually weaken with slow degradation and finally result in catastrophic damage. It should be pointed out that the change in material properties caused by fatigue depends on the applied stress and strain rate, and these values alter with location. The fatigue degradation in this study was addressed using the Shokrieh and Lessard [26], [27] approach.

As a first step, the fatigue life N_f is obtained by the fatigue life equation [28] normalized at the lamina level.

$$u = \frac{\ln(a/f)}{\ln[(1-m)*(c+m)]} = A + B * \log N_f \quad (1)$$

Where $m = \sigma_m / \sigma_t$, $c = \sigma_c / \sigma_t$, $a = \sigma_{alt} / \sigma_t$, σ_t tensile stress, σ_c compressive stress, $\sigma_m = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2$ The average stress is $\sigma_{alt} = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2$ alternating stress f , A ve B are curve parameters determined empirically.

The residual strength R and rigidity E values change according to the expressions in equations 2 and 3 depending on the number of cycles n and the stress ratio k .

$$R(n, \sigma, k) = \left[1 - \left(\frac{\log(n) - \log(0.25)}{\log(N_f) - \log(0.25)} \right)^\beta \right]^{\frac{1}{\alpha}} (R_s - \sigma) + \sigma \quad (2)$$

$$E(n, \sigma, k) = \left[1 - \left(\frac{\log(n) - \log(0.25)}{\log(N_f) - \log(0.25)} \right)^\lambda \right]^{\frac{1}{\gamma}} \left(E_s - \frac{\sigma}{\varepsilon_f} \right) + \frac{\sigma}{\varepsilon_f} \quad (3)$$

Here R_s is material static strength, E_s is material static stiffness, σ is maximum applied stress value and λ , γ , β , α , ε_f are additional curve fitting parameters. The above equations are determined separately for each direction (normal, transverse, and shear).

The stress state in the material changes after gradual degradation. Based on the damage criteria, each element is instantly degraded if necessary, and the material properties in the degraded component are reset. Damage detection will be carried out according to maximum strain criterion. The flow chart summarizing the whole procedure is given in Figure 2.

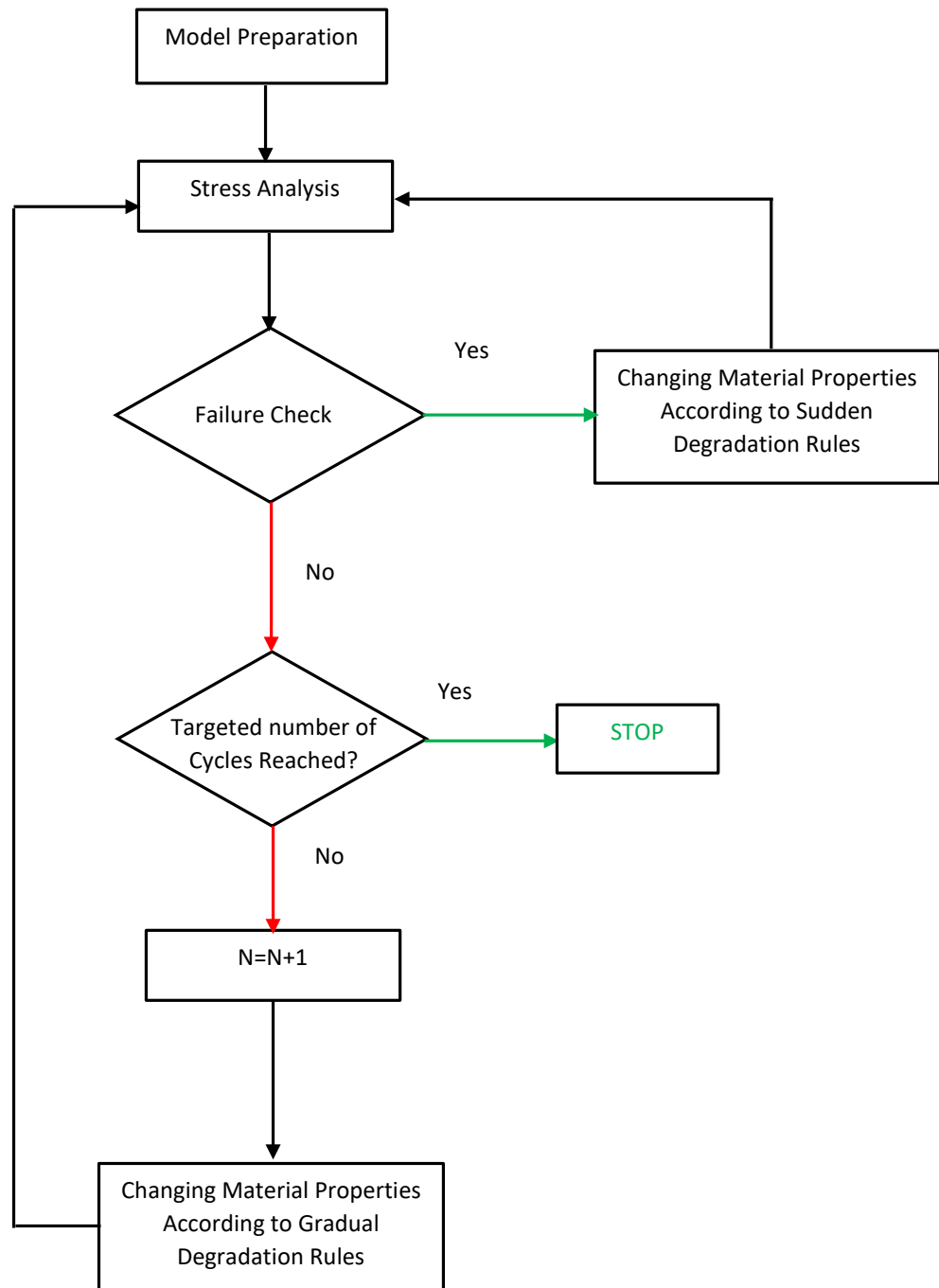


Figure-2 Flow Chart for Fatigue Model

After determining the material configuration of the composite beam, which has been subjected to fatigue for the specified number of N cycles, the axial buckling loads will be calculated by subjecting them to the buckling analysis, the formulation of which is briefly given below.

BUCKLING ANALYSIS

Various methods used in the buckling analysis of composite structures are summarized by Jifeng et al. [33]. Of these methods, Variational approach was selected and its formulations are presented below. Potential energy can be stated as in formula 4.

$$\pi = U_b + U_s + V \quad (4)$$

Here, U_b is the strain energy due to bending, U_s is the strain energy due to shear deformation, and V is the strain energy due to external loads applied. Rigidity matrices are obtained for an element by substituting the following displacement vector into the potential energy and applying the variation method.

$$\{\delta_{ni}\} = \{u_i^0, v_i^0, w_i, \Psi_{xi}, \Psi_{yi}\} \quad (5)$$

$$[K_{bj}] = \iint_R [B_{bi}]^T [D_b] [B_{bi}] dx dy \quad (6)$$

$$[K_{sj}] = \iint_R [B_{si}]^T [D_s] [B_{si}] dx dy \quad (7)$$

$$[K_{gj}] = \iint_R [B_{gi}]^T [D_g] [B_{gi}] dx dy \quad (8)$$

K_b bending, K_s shear and K_g are geometric rigidity matrices. The B and D matrix assemblies within the rigidity terms are presented as follows.

$$[B_{bi}] = \begin{bmatrix} S_{i,x} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{i,y} & 0 & 0 & 0 \\ S_{i,y} & S_{i,x} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{i,x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -S_{i,y} \\ 0 & 0 & 0 & S_{i,y} & -S_{i,x} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[B_{si}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{i,y} & 0 & S_i \\ 0 & 0 & S_{i,x} & S_i & 0 \end{bmatrix} \quad [B_{gi}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & S_{i,y} & 0 & S_i \\ 0 & 0 & S_{i,x} & S_i & 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$[D_b] = \begin{bmatrix} A_{ij} & B_{ij} \\ B_{ij} & D_{ij} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$[D_s] = \begin{bmatrix} k_1^2 A_{44} & 0 \\ 0 & k_2^2 A_{55} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$[D_g] = \begin{bmatrix} \bar{N}_1 & \bar{N}_{12} \\ \bar{N}_{12} & \bar{N}_2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Total stiffness and geometric stiffness matrices including boundary conditions can be presented in the form below by summing the terms computed for each element.

$$[K]\{\Delta\} = \lambda[K_g]\{\Delta\} \quad (14)$$

Here $[K] = [K_b] + [K_s]$ and Δ is the global displacement vector. The above set of linear algebraic equations can be put into the following form 15. The smallest eigenvalue λ of the following equation gives the critical buckling load N_{cr} .

$$([K] - \lambda[K_g])\{\Delta\} = \mathbf{0} \quad (15)$$

The A , B , and D matrix sets used in the above equations and their open forms are presented as follows.

$$\begin{Bmatrix} N_{xx} \\ N_{yy} \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{26} \\ A_{16} & A_{26} & A_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx}^0 \\ \varepsilon_{yy}^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa_{xx} \\ \kappa_{yy} \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} \quad (16)$$

$$\begin{Bmatrix} M_{xx} \\ M_{yy} \\ M_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{16} \\ B_{12} & B_{22} & B_{26} \\ B_{16} & B_{26} & B_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx}^0 \\ \varepsilon_{yy}^0 \\ \gamma_{xy}^0 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{16} \\ D_{12} & D_{22} & D_{26} \\ D_{16} & D_{26} & D_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \kappa_{xx} \\ \kappa_{yy} \\ \kappa_{xy} \end{Bmatrix} \quad (17)$$

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^{2m} (\bar{Q}_{ij})_k (z_k - z_{k-1}) \quad (18)$$

$$B_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{2m} (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^2 - z_{k-1}^2) \quad (19)$$

$$D_{ij} = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{2m} (\bar{Q}_{ij})_k (z_k^3 - z_{k-1}^3) \quad (20)$$

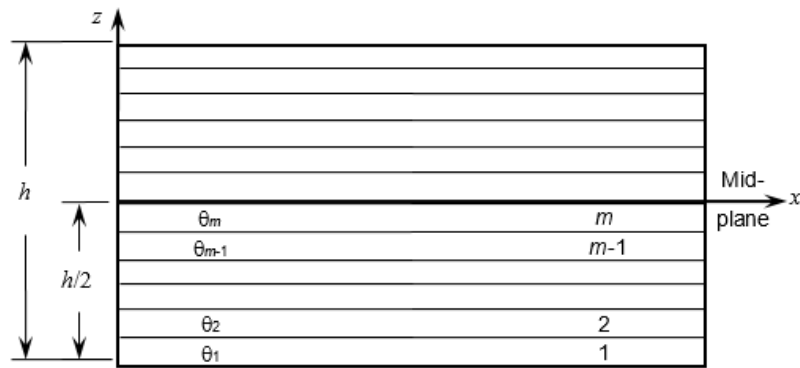


Figure 3. Stacking Order of Symmetrical Laminae

MODEL VALIDATION

The progressive fatigue calculation approach based on the studies [26, 27] were applied in an APDL code with certain simplifications. Since the fatigue failure of fiber reinforced composites is dominated mainly by fiber degradation [28], in the calculation scheme, only fiber degradations were taken into account by neglecting the matrix degradation. The developed program was applied to the problem handled by Shokrieh and Lessard [26]

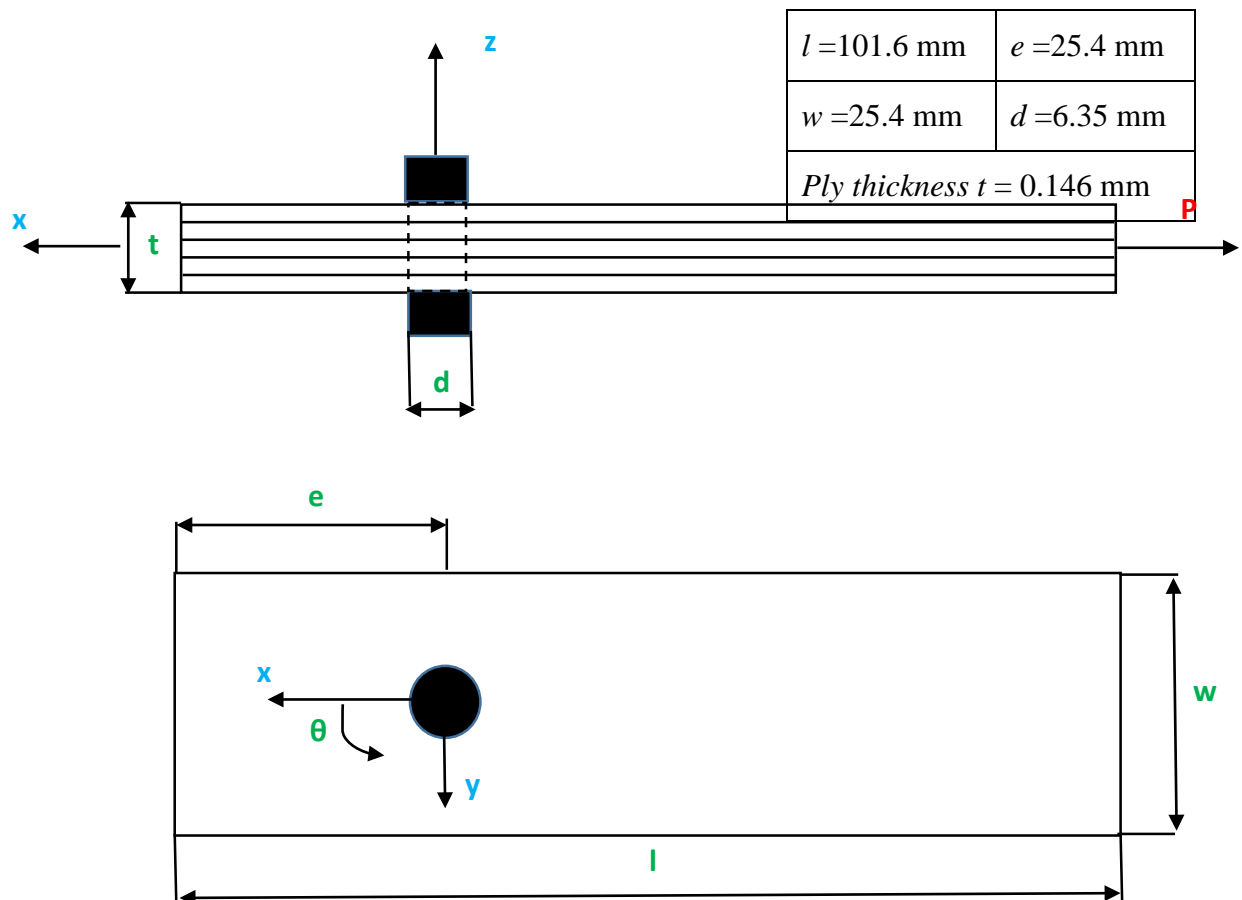


Figure 4. Pinned Joint Composite Slab [26]

Table 1. Material Properties for the Pinned Joint

E_{xx}	147.0 <i>GPa</i>	X_t	2004 <i>MPa</i>
$E_{yy}=E_{zz}$	9.0 <i>GPa</i>	X_c	1197 <i>MPa</i>
$E_{xy}=E_{xz}$	5.0 <i>GPa</i>	$Y_t=Z_t$	53 <i>MPa</i>
E_{yz}	3.0 <i>GPa</i>	$Y_c=Z_c$	204 <i>MPa</i>
$\nu_{xy}=\nu_{xz}$	0.3	$S_{xy}=S_{xz}$	137 <i>MPa</i>
ν_{yz}	0.42	S_{yz}	42 <i>MPa</i>

Experimental results of the two different stacking sequences applied to the geometry given in Fig 4. namely $[0_4/90_4]_s$ and $[90_4/0_4]_s$ were used to verify the performance of the developed fatigue computation approach. An important issue regarding the fatigue simulation is the determination of catastrophic failure, which leads to final breakout of the specimen. In some publications [29] particular loss in total stiffness is considered as an important indicator of fracture and some others [30] monitor the strain energy augmentation in the whole part, as we take up in our present study. Fig 5. presents both experimental data and computational outputs of the APDL code. As could be observed from the fig. 5, the simulation results are in a satisfactory concordance with the experimental data, even though only fiber breakage are taken into account omitting the contribution of the remaining degradations in other directions.

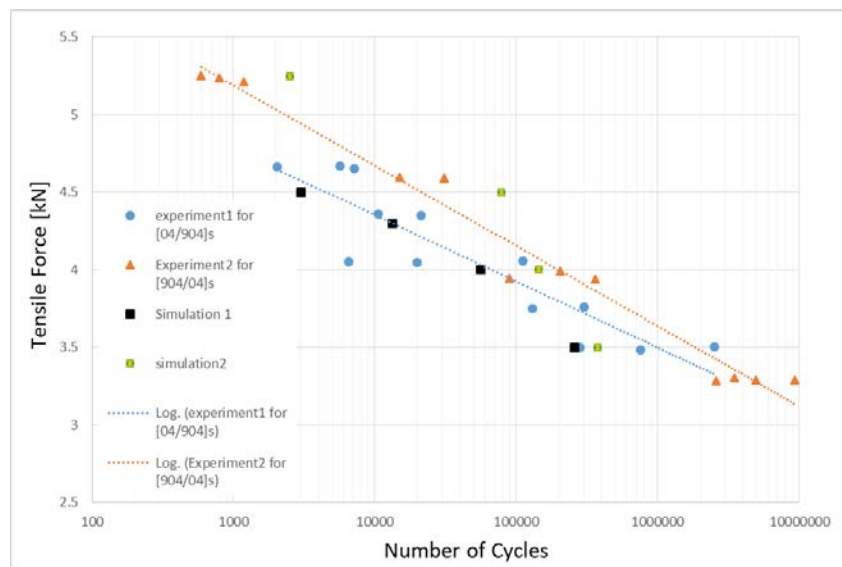


Figure 5. Fatigue life curve of the pinned joint for $[0_4/90_4]_s$ (experiment-1) and $[90_4/0_4]_s$ (experiment-2) along with simulation results.

BUCKLING OF FATIGUED COMPOSITE PLATES

In order to observe the effect of fatigue on the critical buckling load of the composite structures, the same samples employed in the model verification were used, as illustrated in Fig 6.

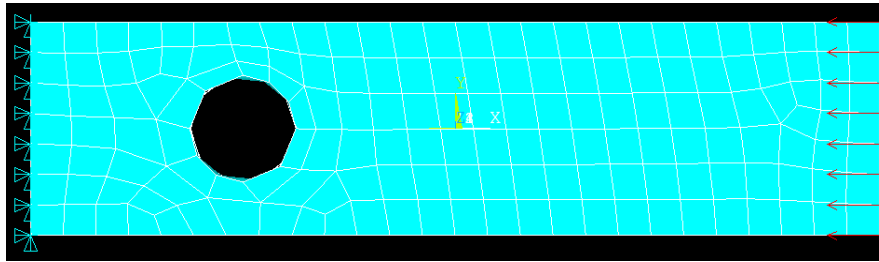


Figure 6. Fatigued Geometries for the Critical Buckling Load Computation with Pinned Hole.

First, the samples were fatigued up to the 20%, 40 % and 60% of their total fatigue life, then the critical buckling loads were numerically computed within the same APDL Code. In the computations both $[0_4/90_4]_s$ and $[90_4/0_4]_s$ stacking sequences were utilized. The computational results are presented in Table 2.

Table 2. Buckling Loads for Partially Fatigued Geometries

	Initial Buckling Load(N)	Buckling Load(N) at 20% of Nf	Buckling Load(N) at 40% of Nf	Buckling Load(N) at 60% of Nf
Plate with pinned hole $[0_4/90_4]_s$	343	326	326	320
Plate with pinned hole $[90_4/0_4]_s$	344	292	224	221

For both stacking sequence we obtained almost the same buckling load at undamaged state 343 N. In the case of $[0_4/90_4]_s$ the decrease in the buckling load is quite small, amounting about 5 % but at 60 % of Nf, it is 7% , as to the plate with pinned hole $[90_4/0_4]_s$, we observe substantial drop in the buckling load from the very beginning at 20 % of Nf , around 15% and approaching to 36% at 60% of Nf.

CONCLUSION

In order to observe the decrease in the buckling load for a partially fatigued composite plate with a pinned hole, a progressive fatigue calculation approach was implemented in ANSYS with an APDL code. The validity of the prepared computation method was checked with the help of experimental data available in the literature. Then partially fatigued plate at various percentage of its total fatigue life, was utilized for buckling load analysis. It was observed that stacking sequence plays an important role in the fatigue-dependent buckling load. It was also noted that a substantial drop in the buckling load occurred after 60 % of Nf, for the plate with pinned hole $[90_4/0_4]_s$. for a future work, experimental studies could be carried out to validate the buckling load drop in numerical computations, which will make it possible to complete the calculation scheme enabling to elucidate complex failure mechanisms related to structural components.

REFERENCES

1. Yap Chun Wee, Chai Gin Boay, “Analytical and numerical studies on the buckling of delaminated composite beams ” Composite Structures; 2007:80; 307–319.

2. Rund Ahmad Al-Masri, “Analytical and finite element buckling solutions of anisotropic laminated composite columns/plates under axial compression with various boundary conditions” PhD Thesis, Department of Civil Engineering College of Engineering KANSAS STATE UNIVERSITY Manhattan, Kansas 2017
3. Metin Aydogdu, “Buckling analysis of cross-ply laminated beams with general boundary conditions by Ritz method” *Composites Science and Technology*, 2006;66; 1248–1255
4. Gökmen Atlıhan, “Buckling analysis of delaminated composite beams” *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 2013;20; 276-282.
5. J. Lee, S.-E. Kim, K. Hong, “Lateral buckling of I-section composite beams ” *Engineering Structures*, 2002;24; 955–964.
6. Akos Sapk, L aszlo P. Koll , “Lateral-torsional buckling of composite beams” *International Journal of Solids and Structures*, 2002; 39; 2939–2963.
7. A. Bhimaraddi & K. Chanrashekhara “Some Observations on the Modeling of Laminated Composite Beams with General Lay-ups” *Composite Structures*, 1991; 19; 371-380.
8. H. Matsunaga, “Vibration And Buckling Of Multilayered Composite Beams According To Higher Order Deformation Theories” *Journal of Sound and vibration* ;2001; 246; 47-62.
9. Y. B. LIM and I. D. PARSON, “The Linearized Buckling Analysis Of A Composite Beam With Multiple Delaminations ” In, J. Sohde Srrucures , 1993;30; 3085-3099.
10. Jaehong Lee a, Seung-Eock Kim, “Lateral buckling analysis of thin-walled laminated channel-section beams ” *Composite Structures*, 2002; 56; 391–399.
11. Ahmet Pasinli, “Shape and position effects of double holes on lateral buckling of cantilever composite beams” *Composites: Part B*,2013; 55; 433–439
12. Ersin Eryigit, Mehmet Zor, Yusuf Arman, “Hole effects on lateral buckling of laminated cantilever beams” *Composites: Part B* 40; 2009; 174–179.
13. Ahmet Erklig , Eyüp Yeter, Mehmet Bulut, “The effects of cut-outs on lateral buckling behavior of laminated composite beams ” *Composite Structures*, 2013;104; 54-59
14. G.A.Kardomateas and D.W.Schmueser, “Buckling and Postbuckling of Delaminated Composites Under Compressive Loads Including Transverse Shear Effects” *AIAAJOURNAL*,1988;26;337-343.
15. L.G. Melin, J. Schon, T. Nyman, “Fatigue testing and buckling characteristics of impacted composite specimens” *International Journal of Fatigue*,2002; 24 263–272
16. David T. Fishpool, Emmanuel Guidon, Botshelo H. Maedza, Jaume Maso, Stephen L. Ogin, Anthony M. Thorne, Brian H. Le Page, and David A. Jesson, “Fatigue Failure Of A Composite Sandwich Beam Containing A Central Notch” Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Surrey, Guildford, GU2 7XH, United Kingdom
17. Mahsud Reimbayev, “Fatigue Behavior Of Continuous Fiber-Reinforced Composite Beams” University of North Dakota UND Scholarly Commons, PhD Thesis.
18. Andrew T. Rhead, Richard Butler , Giles W. Hunt, “Post-buckled propagation model for compressive fatigue of impact damaged laminates ” *International Journal of Solids and Structures* ,2008,45,4349–4361.
19. C. Bisagni, “Fatigue Life of Post-Buckled Composite Structures” TWENTY-SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS (ICCM22) August 2019.

20. A. Raimondo, S.A. Doesburg, C. Bisagni, “Numerical study of quasi-static and fatigue delamination growth in a post-buckled composite stiffened panel” *Composites Part B*, 2019; doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107589
21. R. Butler, D.P. Almond, G.W. Hunt, B. Hu, N. Gathercole, “Compressive fatigue limit of impact damaged composite laminates” *Composites: Part A* 38 (2007) 1211–1215
22. Shabani, FT. Behroz, S. Maleki, M. Hasheminasab, “Life prediction of a notched composite ring using progressive fatigue damage models”, *Composite Part B*, 2019, 165;754-763.
23. A. Wan, Y. Xu, J. Xiong, “Notch effect on strength and fatigue life of woven composite laminates”, *International Journal of Fatigue*, 2019,127;275-290.
24. J. Rivera, E.Aguilar, D. Cardenas, H. Elizalde, O. Probst. “Progressive failure analysis for thin-walled composite beams under fatigue loads”, *Composite Structures*,2016,154;79-91.
25. Yu Feng, Yuting He, Haoyu Zhang, Xiangfei Tan, Tao An, Jie Zhen, “Effect of fatigue loading on impact damage and buckling/post-buckling behaviors of stiffened composite panels under axial compression” 2016, *Composite Structures*; <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.12.069>
26. Shokrieh M. M., Lessard L. B., Progressive fatigue damage modeling of composite materials, Part I: Modeling. *Journal of Composite Materials*, Vol. 34 No. 13, pp. 1056-1080 (2000).
27. Shokrieh M. M., Lessard L. B., Progressive fatigue damage modeling of composite materials, Part II: Material characterization and model verification. *Journal of Composite Materials*, Vol. 34 No. 13, pp. 1081-1116 (2000).
28. Philippidis T, Passipoularidis V. Residual strength after fatigue in composites: theory vs. experiment. *Int J Fatigue* 2007;29(12):2104–16.
29. Mustafa Akbulut, “Optimization of progressive failure behavior of notched composite plates”, *Struct Multidisc Optim*, 2016; 54: 857–870.
30. Ch. Hochard, St. Miot, Y. Thollon, “Fatigue of laminated composite structures with stress concentrations” *Composites: Part B* 65 (2014) 11–16.
31. Adam T., Dickson R. F., Fernando G., Harris B. and Reiter, H., *The Fatigue Behaviour of Kevlar/Carbon Hybrid Composites*, in “Proceeding of IMechE (Institute of Mechanical Engineers) Conference”, Vol. 2, London, England, (1986).
32. Lin, C. C. and Kuo, C. S., “Buckling of Laminated Plates with Holes,” *Composite Materials*, 23: 536–553, 1989.
33. Jifeng Xu¹, Qun Zhao, Pizhong Qiao, “A Critical Review on Buckling and PostBuckling Analysis of Composite Structures” *Frontiers in Aerospace Engineering* , 2013,2,157-168.

YAPI BİLGİ MODELLEMESİNİN (YBM) İNŞAAT YÖNETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) IN TERMS OF CONSTRUCTION MANAGEMENT

Emrah KUYTAN

Yüksek Lisans Öğrencisi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Nuray BENLİ YILDIZ

Dr. Öğr. Üyesi, Düzce Üniversitesi Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
(Sorumlu Yazar)

ÖZET

İnşaat sektörü insanlık tarihinde insanların göçebe yaşamdan yerleşik yaşama geçmesiyle başlayıp günümüze kadar büyük hızla devam eden bir alandır. Yapım işleri yatırımcı açısından değerlendirildiğinde yapılan işten kar etmek ve yapının amortisman süresinin kısa olması birinci öncelik haline gelmeye başlamıştır. Amortisman süresinin kısa olması da, projelerin tutarlı çizilmesi, yapının zamanında bitmesi, iş kazası olmaması, malzeme siparişlerinin zamanında ve doğru miktarda verilmesi, imalatların hatasız yapılması, imalatlarda geri dönüş olmaması ve projesine uygun yapılar üretilmesi gibi temel etkenlere bağlıdır. Bu durumlar da mimar ve mühendisleri daha yenilikçi yöntemler ve teknolojiler geliştirmeye zorlamıştır. Bugüne kadar bu alanda pek çok fikir ve farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Gelinen son noktada Yapı Bilgi Modelleme(YBM) kavramı ön plana çıkmıştır. YBM, bir yapının tasarımdan, ömrünü tamamlayıp ortadan kaldırılmasına kadar olan tüm süreçleri içinde barındırır. Parametrik bir sistem olarak çalışmakta olup sürekli verilerin işlenmesiyle güncel tutulmaktadır. BIM'in en büyük faydası, inşa edilecek yapıyı dijital ortamda inşa edip, ileride olabilecek tüm problemleri gerek görsel gerek simülasyonlarla tespit edebilme özelliğidir. YBM 3D tasarımın yanı sıra 4D zaman, 5D maliyet, 6D sürdürülebilirlik ve 7D tesis yönetimi kavramlarını da barındırır.

Bu çalışmada, bir inşaat sürecince ortaya çıkan proje, metraj, koordinasyon gibi konulardan kaynaklı aksaklıklar ele alınacaktır. Alan çalışması olarak, 2015 yılında inşaatı tamamlanan Elazığ ilinde, 1226,85m² inşaat alanına sahip, süt ürünleri fabrikası kullanım amaçlı binanın, inşaat süreci analiz edilmiştir. Geleneksel yöntemlerle yürütülen vaka çalışmasında; proje aşamasında %0,954; ihale aşamasında %0,46, inşaat aşamasında %13,85 hakediş aşamasında ise %0,75 oranında maliyete etki ettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapı Bilgi Modellemesi (YBM), inşaat yönetimi, metraj çalışması, zaman ve maliyet

ABSTRACT

The construction sector is a field that started with the migration of people from nomadic life to settled life in the history of humanity and has been continuing rapidly until today. When the construction works are evaluated from the perspective of the investor, making a profit from the work done and the short depreciation period of the structure has become the first priority. The short depreciation period also depends on the basic factors such as the consistent drawing of

the projects, the completion of the construction on time, the absence of work accidents, the timely and correct amount of material orders, the error-free production, the lack of return in the production and the production of the structures suitable for the project. These situations forced architects and engineers to develop more innovative methods and technologies. Until today, many ideas and different methods have been developed in this field.

At the last point, Building Information Modelling (BIM) concept has come to the fore. BIM includes all processes from the design of a building to the completion of its life cycle and its disposal. It works as a parametric system and is kept up-to-date with continuous data processing. The biggest benefit of BIM is the ability to construct the building to be built in a digital environment and to detect all future problems both visually and with simulations. In addition to 3D design, BIM also incorporates the concepts of 4D time, 5D cost, 6D sustainability and 7D facility management.

In this study, problems arising from issues such as project, quantity, and coordination that occur during a construction process will be discussed. As a case study, the construction process of the dairy factory -purpose building, which has a construction area of 1226,85 m², in the province of Elazığ whose construction was completed in 2015, was analysed. In the case study conducted with traditional methods; 0,954% during the project phase; 0,46% during the tender phase, 13,85% during the construction phase and 0,75% difference in cost to the overall budget.

Keywords: Building Information Modelling (BIM), Construction management, Quantity surveying, time and cost

1. GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik gelişmelere ve nüfus artışına paralel olarak inşaat sektörü de gelişmekte ve gittikçe daha karmaşık ve kompleks yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Önceki dönemlere göre çok daha büyük, karmaşık ve yönetimi zor yapılar, inşa edilmeye başlanmıştır. Bina yapım projelerinde temel 4 proje olan mimari, statik, elektrik, mekanik projeleri artık karmaşık bir yapıyı verimli olarak yapmak için yetmemektedir. Bu temel projelerin haricinde sürdürülebilir yapılar için; enerji analiz modülleri, ışık gölge analizleri, yeşil bina tasarımları, akustik düzen tasarımları, yalıtım hesapları ve çevresel etmen analizleri gibi birçok veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca tasarlanan yapıların iş programına uygun sürede ve ön görülen yaklaşık maliyette bitirmesi de sürecin en önemli yapı taşlarından. Tüm bu etmenler göz önünde bulundurulduğunda bunların tamamını kapsayacak bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Bu noktada Yapı Bilgi Modelleme(YBM)- Building Information Modelling (BIM) ön plana çıkmıştır. En kısa tanımıyla, yapıyı fiziki olarak üretmeden önce sanal olarak inşa edip ortaya çıkabilecek sorunların önceden tespit edildiği sistemdir.

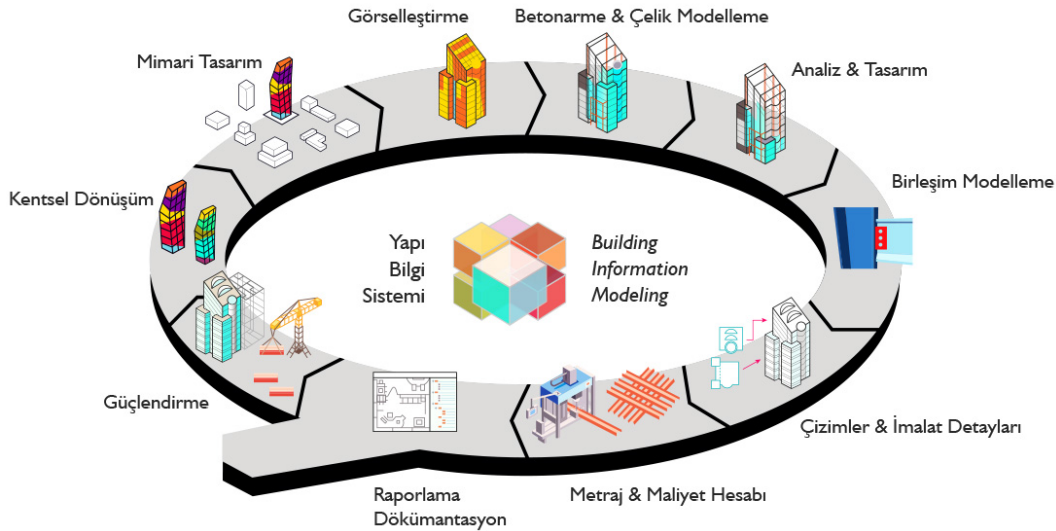
Bu çalışmada, geleneksel 2D yöntemler kullanılarak üretilen bir proje ile BIM kullanılarak üretilen bir projenin ihaleden kesin kabule kadar olan safhaları ele alınarak BIM kullanımının etkileri ele alınacaktır. BIM, bilinen 3D modellemenin ötesinde 4D zaman, 5D maliyet, 6D sürdürülebilirlik ve 7D tesis işletmesi yönetimini konu edinmektedir. Bu kitap bölümünde daha çok 4D, 5D konuları analiz edilerek sektör paydaşlarına bir gösterge olması hedeflenmektedir. Yurt içi ve yurt dışı inşaat yapım projelerinde ihaleden kesin kabule kadar olan süreçte proje paydaşları (proje müellifleri-işveren-idare-yüklenici-altyüklenici) arasında ortaya çıkan uyuşmazlıklara BIM kullanımının nasıl etki edeceği araştırılıp literatür taraması yapılarak, sorunlar sınıflandırılmıştır. İhaleden kesin kabule kadar olan süreçlerde ortaya çıkan uyuşmazlıkların kaynakları belirlenmiştir. BIM kullanılması durumunda projelerin zaman-maliyet-verimlilik etkisi ve paydaşlar arasındaki teknik iletişime nasıl etki edeceği araştırılmıştır.

2. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

2.1. BIM TANIMI

Yapı Bilgisi Modellemesi YBM (Building Information Modelling, BIM), yapının yaşam döngüsü boyunca verilerinin üretilmesi ve yönetilmesi sürecidir. Tipik olarak bu proses üç boyutlu ve gerçek zamanlı yapı modelleme yazılımı kullanır ve bu tasarım süreçleri için geometriyi, mekânsal ilişkileri, coğrafi bilgileri, miktarları ve diğer çeşitli özellikleri kapsar (Taştekin, 2019). Yapı Bilgi Modellemesi (BIM), tasarım süreçlerini, proje öncesi, proje yapımı ve proje sonrası süreçleri de destekleyebilen ve geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında avantajlar sunan bir teknoloji, metodoloji ve süreçler bütünü olarak tanımlanabilir (Taştekin, 2019). (Şekil-1)

Başka bir tanıma göre BIM, konsept proje öncesi, yapıyı oluşturan tüm elemanların özelliklerinin sayısal olarak inşa edilebildiği akıllı bir 3 boyutlu sanal bina modelinin düşük risk ve yüksek değerle yapımını optimize etmek üzere kullanılmaktadır (Akkoyunlu, 2015). BIM bir yapı projesinin sanal gerçek bir çevrede simüle edilmesidir. BIM teknolojisi ile yapı bilgi modeli olarak isimlendirilen kesin sanal-gerçek model sayısal olarak inşa edilir (Akkoyunlu, 2015). Bu model projenin tüm yaşam döngüsünü canlandırmak/göstermek için kullanılabilir.



Şekil 1. BIM Kullanım Süreçleri (Url-1)

Tasarım ve görselleştirme, performans analizi, planlama ve yapıyla ilgili belgelerin hazırlanması, süre ve maliyete ilişkin verilerin sağlanması, sürdürülebilirlik, bakım ve işletim konusundaki gereksinimlerden dolayı BIM, yapı üretim sürecinin temelinde yer almaya başlamıştır.

BIM'nin geniş kullanım alanları sistemin farklı boyutlarını temsil etmektedir. 2 boyutlu CAD uygulamaları BIM konseptinin temelini oluştururken, BIM kullanımlarını 7. boyuta kadar ulaştırmaktadır. BIM kullanım boyutları kısaca şu şekilde açıklanmıştır (Araç, 2018).

2.1.1. 3B (MODELLEME)

BIM'nin üçüncü boyutu, grafik verileri toplar. Bir BIM modelinin görünür kısmına atıfta bulunduğundan, en çok bilinen boyuttur. Farklı disiplin modellerinin birleşik bir ana modele bağlanması, çakışmasız bir projenin geliştirilmesine olanak tanır. Model izlenceleri, çakışma

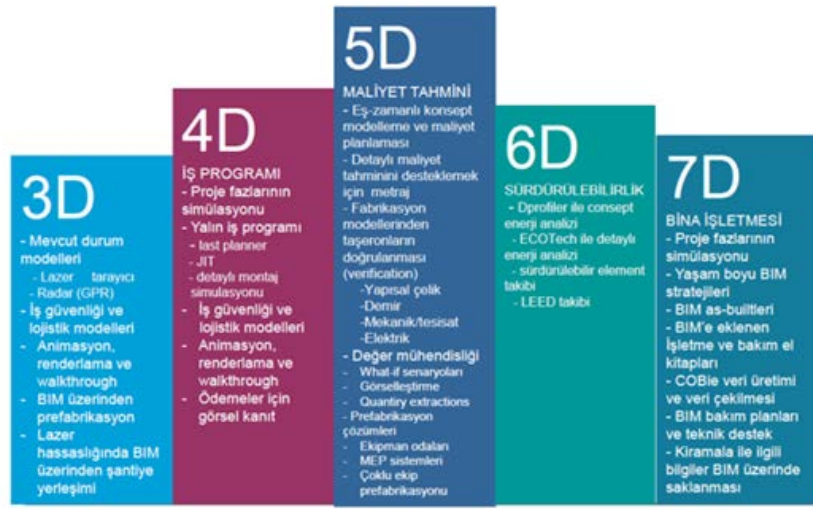
testleri, proje görselleştirmesi, sanal final simülasyonu (virtual mockup), ön üretim (prefabrikasyon) BIM modelinin bu boyutta sağladığı üretim çıktılarıdır (Url-2).

2.1.2. 4B (SÜRE)

BIM'nin dördüncü boyutu şantiye planlaması ile ilgili faaliyetlerde kullanılmaktadır. Aktivitelerin ilerleyişini projenin ömrü boyunca görselleştirmek ve kontrol etmek iş programının 3 boyutlu modele entegre edilmesiyle mümkündür. İnşaatçılar ve üreticiler faaliyetlerini optimize edebilirler: tüm teslimatlar tam zamanında gerçekleştirme yaklaşımıyla yönetilebilir, böylece depolama ihtiyaçları azalır (Url-2).

2.1.3. 5B (MALİYET)

BIM'nin beşinci boyutu, bütçe takibi ve maliyet analizi için kullanılır. Miktarlar doğrudan ve istenilen zamanda BIM modelinden yüksek doğruluk seviyesiyle çıkarılabilir. Modelden çekilmiş miktarlara birim maliyet eklenilerek, hassas ve güvenilir maliyet analizleri otomatik olarak elde edilebilir (Url-2).



Şekil 2. BIM Kullanım Boyutları (Url-2)

2.1.4.6B (SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK)

BIM'nin altıncı boyutu tasarım ve işletme aşamasında enerji değerlendirmesi için kullanılır. Binanın performansını daha iyi anlama ve binanın enerji (ısı, ışık, su) tüketimini optimize etmeyi amaçlayan bir strateji tanımlamayı sağlar (Url-2).

2.1.5.7B (TESİS YÖNETİMİ)

Yedinci boyut, yaşam döngüsü boyunca tesisin işletme ve bakım durumu ile ilgili bilgileri toplamak için kullanılır. 7B, BIM modeli verilerinin kesinlikle farkı yaratabilen ana alandır. As-built (son uygulanan projeleri) verilerinin işlendiği BIM modelinden sağlanan güvenilir datalarla başlayan tesis yönetimi bina yönetiminde en etkili çözümlerin sunulmasını sağlar. (Url-2). (Şekil 2)

2.2 BIM KULLANIMININ FAYDALARI

Bir yapının tasarım öncesi ve tasarım sonrası evreleri de dahil olmak üzere kontrolü ve yönetimi; o yapı ile ilgili bilgilerin ulaşılabilirliğine bağlıdır. BIM yapının hayat döngüsünde bu kritik bilgilere ulaşmayı sağlamaktadır (Akgün, 2016). BIM hızlı karar verme imkanı sağlar, proje görşelliğini artırarak proje koordinasyonu ve entegrasyonuna olanak sağlar (Gallaher, 2006).

CRC Construction Innovation 2007 tanımlamasına göre BIM'in en önemli olan faydası bilgiyle ve doğrulukla yoğrulmuş üç boyutlu olan modelidir. Modelin temel faydaları dışındaki diğer faydaları da aşağıda belirtilmiştir (Akkoyunlu, 2015).

- Bilgiye kolayca ulaşabilmek ve paylaşabilmek dolayısıyla hızlı ve etkin bir süreç yaratır.
- Model ile birlikte oluşabilecek etkiler de gözlemlenebilir hale gelir ve daha gerçekçi öngörülerde bulunmaya imkan sağlar.
- Sayısal bilgiler gerçekte uyumludur.
- Paydaşlara doğru ve görsel bilgiler sunar.
- Tasarım öncesi, yapım ve tasarım sonrası süreçlerde bilgiye ulaşmayı sağlar.

BIM kullanımının tasarım öncesi ve yapım aşamasındaki avantajları aşağıdaki gibidir (Eastman ve diğ., 2015 ve Kopuz, 2015).

Tasarım sürecinde;

- Tasarımın görselleştirilebilmesi,
- Her aşamada gerçekte uygun model çıkarılabilmesi,
- Disiplinler arası çalışma ve koordinasyonu
- Gerçekçi maliyet tahminleri yapılması.

Yapım sürecinde;

- İmalat kalemleri için gerçeğe uygun modeller çıkarılabilmesi,
- Revizyonlara hızlı adaptasyon,
- Tasarım ve yapım arasında uygunluk,
- Satın alma ile koordinasyon.

2.3 BIM KULLANIMININ DEZAVANTAJLARI

İnşaat firmalarının YBM kullanımına geçmedeki 5 beş temel endişesi aşağıda belirtilmiştir (Yer, 2017).

- BIM'e geçiş sürecinde üretkenliğin aksaması,
- BIM'den sağlanacak faydanın mimarlar, mühendisler, işveren ve yüklenicilerce eşit olarak paylaştırılmaması,
- BIM programlarının öğreniminin zor olması,
- Organize edilmeden uygulandığında BIM'in riskleri arttırması.

Statik projelerde hesapların BIM programlarında yapılamıyor olması da karşılaşılan eksikliklerdendir. BIM programlarında yapılan tasarımların üç boyutlu görüntülerini elde

edebiliyor olsak da statik analizler için başka programlara başvurmamız gerekmektedir. Bu da başka programların satın alınmasını gerektirmekte ve proje bütçesine ek bir maliyet kalemi olarak yansımaktadır.

İnşaat firmalarının BIM kullanımına geçmedeki 5 beş temel endişesi aşağıda belirtilmiştir (Yer, 2017).

- BIM'e geçiş sürecinde üretkenliğin zarar görmesi.
- BIM'den sağlanacak faydanın mimarlar, mühendisler, işveren ve yüklenicilerce eşit olarak paylaşmaması.
- BIM programlarının öğreniminin zor olması.
- Organize edilmeden uygulandığında BIM'in riskleri arttırması.

3. BIM KULLANIMININ İNŞAAT PLANLAMA VE ÜRETİM AŞAMALARINA KATKILARI:

3.1. Proje Çizimi Sürecinde BIM Kullanımı

Yapım işleri projelerinde paydaşlar tarafından oluşturulan bilgileri merkezi bir sistemde toplamak işin verimliliğini ve hızını etkin bir biçimde artırır. Projeler BIM tabanlı sistemlerle çalışmak, yapım işlerinin metrajlarını, keşiflerini ve iş akış sürecini etkin bir biçimde yapılmasını sağlayarak ihale sürecinde birçok faydalar sağlar. Modelin detaylı ve dinamik bilgiler içermesi proje paydaşları arasında çıkabilecek revizyonları hızlı yapma ve paylaşma imkânı sağlar. İngiltere'de yayınlanan 2011 yılı hükümet raporlarına göre BIM kullanılarak proje hazırlanması dökümantasyon ve ihale süreci maliyetlerinde %20 tasarruf sağlamaktadır (Efficiency and Reform Group of the Cabinet Office, 2011).

3.2. İhale Sürecinde BIM Kullanımı

Dünya'da inşaat sektörünün gelişimi hızla ilerlerken Türk İnşaat Sektörü de genel anlamda bu hıza yetişmiştir. Fakat BIM organizasyonu konusunda biraz daha geriden gelmektedir. Türkiye'de özellikle büyük ölçekli projeler için organize çalışacak bir sistem arayışı olması BIM ile tanışmanın sürecini hızlandırmıştır. BIM'in Kamu projelerinde kullanılması İngiltere, Amerika ve Kanada gibi başta gelişmiş ülkeler olmak üzere birçok Avrupa ve Okyanus Ülkeleri'nde devlet projelerinin tasarım ve uygulamasında ihale aşamasında zorunlu hale gelmiştir. Türkiye'de bazı kamu kurumlar, proje tasarım firmaları ve müteahhit firmalar BIM kullanımına başlayarak lokomotif rol oynamışlardır.

Anahtar teslimi ihalelere hazırlanan firmalardan kendi metrajlarını yapmaları ve maliyetleri hazırlamaları istenmektedir. İhale süreçleri, yapım işinin büyüklüğüne göre süreleri tanımlanmıştır. Bu süreler içerisinde doğru metrajlara ulaşılması, verilecek olan teklifin isabetliliği konusunda ayırt edicidir. İnşaat firmaları bu konularda, firma içi çözüm veya dışarıdan hizmet alımı şeklinde izleyecekleri iki yol bulunmaktadır (Kırzioğlu ve Gelişen, 2020) İhale süreçleri kısa sürelerde yoğunluk yarattığı için, hizmet alımı daha ekonomik bir çözümdür. Bu durumda da zamansal kaybın yanında, mali kayıp da söz konusu olmaktadır. Taboada ve Garrido-Lecca'nın çalışmasında ise geleneksel yöntemle BIM yöntemi adam/saat bazında karşılaştırılmış, zaman açısından %48; toplam süre açısından ise %64 oranında fayda sağladığı tespit edilmiştir (Taboada ve Lecca, 2016).

3.3. İNŞAAT YAPIM SÜRECİNDE BIM KULLANIMI

3.3.1. Bina Yaşam Döngüsü ve BIM Kullanımı

BIM'in inşaat proje tasarımlarında ve yapım sürecinde diğer yöntemlerden en önemli farklarından biri tek bir aşamayı ya da disiplini değil tüm yaşam döngüsünü barındırmasıdır.

BIM ile yapı tasarım evresi, projelendirme, yapım evresi ve tesis yönetim evresi olmak üzere

Toplam üç evre üzerinden değerlendirilebilir (Ofluoğlu, 2016). Bu yöntemle yapı yaşamı boyunca yıkımına kadar tek bir sistemden takip edilebilir .

3.3.2. Saha Aplikasyonunda BIM Kullanımı

Sahada karşılaşılan en büyük sorunlardan biri de yapıların birbiriyle ve komşu parsellerle applike edilirken yapılan hatalardır. Genellikle arazinin ve yapıların 3D modelleri olmadan sadece vaziyet planları ile çizim ve aplikasyon yapılır. Bu durum sahada çok farklı sorunlara sebep olmaktadır. Alanın topografyasının tam işlenmemesi, yapılarda kot farkından kaynaklı istenmeyen karanlık mahaller çıkması, komşu parsel ihlalleri, farklı bloklar arası kot ve kat geçişlerin hatalı olması bu sorunların başında gelmektedir. BIM kullanımı ile henüz proje tasarım aşamasında bu tür hataların önüne geçilmektedir.

3.3.3. Kazı Dolgu İşlerinde BIM Kullanımı

2D CAD programlarında yapıların araziye oturumları sadece vaziyet planı olarak görüntülenmektedir. BIM programlarında yapılan arazi ve bina modellemesi ile arazideki kazı dolgu kübaj hesapları net olarak görülmektedir. Bu sayede kazı dolgu kübaj hesaplarında ve yapılacak maliyet analizlerindeki hatalar ortadan kalkmaktadır. BIM tabanlı programların arazi modelleme yapabilmesi için alanın plankotesinin alınıp sisteme girilmesi gerekmektedir. Alan plankotesi GPS, station veya lazerli droneler ile yapılabilir. Doğru bir şekilde BIM yazılımlarına aktarılabilir.

3.3.4. Şantiye Mobilizasyonunda BIM Kullanımı

Şantiye kurulumlarında yaşanan başlıca problemlerden biri de mobilizasyondur. Yapı yapılacak alan, konaklama alanları, yönetim ofisleri, malzeme depoları, kule vinç kurulum noktaları, yükleme boşaltma rampaları gibi şantiyenin temel taşları olan alanlar iyi konumlandırılmalıdır. BIM programlarında işin uzun vadede imalat yapım akışı iş programlarına bağlanarak fiziki iş gidişatı baştan görülmektedir. Böylece şantiye kurulumu yapılırken ileride çıkabilecek konumsal sorunlar baştan ortadan kaldırılmış olmaktadır.

3.3.5. İmalatların 3D Kontrol ve Planlaması

BIM programları bulut sistemiyle entegre olarak çalışmaktadır. Projelerde yapılan revizeler aynı anda tüm proje paydaşlarına iletilmektedir. Böylece sahada çalışan teknik personeller ellerindeki tabletlerde imalatları güncel olarak kontrol etmekte ve gerekirse revizeleri anında projelere işlemektedirler. Böylelikle hem sahadaki hataların önüne geçilmekte hem de ileride yapılacak diğer imalatlar için doğru bilgi verilmektedir.

3.3.6. İş Programı Hazırlanması

BIM programları Yapılar BIM ile tasarlanırken aynı anda arka planda birçok veri işlenmektedir. BIM programları parametrik çalıştığı için yapıların tüm öğeleri birbiri ile etkileşmektedir. Tasarım aşamasında programa girilen verilerde iş programı oluşturulmaktadır. İş kalemlerinin fiyatları da girilerek program tarafından analizler yapılır. İşin hangi zamanda hangi ilerleme yüzdesine geleceği ve her aşama için ne kadar bütçe harcaması yapılacağı analiz edilir.

3.3.7. Malzeme Siparişinin Doğru Verilmesi

Malzeme siparişinin doğru verilmesinde; miktarı, cinsi ve zamanı olmak üzere üç temel bileşen vardır. Malzemeler siparişinin fazla ya da eksik verilmesi sorun teşkil eder. Fazla verilmesi gereksiz depo işgaline sebep olup zayıt miktarını attırmaktadır. Zayıt miktarı da hırsızlık olayları ve ustaların fazla bulup malzemeyi müsrifçe kullanmasıyla olmaktadır. BIM programlarıyla iş programına göre çıkarılan malzeme miktarları bu durumun önüne geçmektedir.

3.3.8. Sahayla Teknik Ofisin İletişimi

Malzeme siparişinin doğru verilmesinde; miktarı, cinsi ve zamanı olmak üzere üç temel bileşen Proje revizelerinin tüm paydaşlara aynı anda paylaşılması için kritik öneme sahiptir. Güncel projelerin paydaşlara zamanında iletilmesi, imalatların doğru yapılması ve siparişlerin doğru verilmesini sağlar. Sahadaki imalatların teknik ofise zamanında ve doğru verilmesi hakedişler için de büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

3.3.9. İmalatların Doğru Yapılması

İmalatların doğru yapılması tüm yapım sürecin temel taşıdır. Doğru imalat işin zamanında bitmesi ve maliyetlerin öngörülen miktarlarda bitmesine büyük fayda sağlar. BIM kullanılarak tasarlanan projelerde çakışma paftaları ve revize projeler güncel olarak saha ekibinin elinde olduğu için imalatlar miktar, mahal ve cins olarak doğru yapılmaktadır. Bu da büyük bir zaman ve finansal anlamda kazanç sağlamaktadır.

3.3.10. Çakışma Tespitine Göre İmalat Yapılması

Farklı disiplinler tarafından yapılan tüm imalatlar birbirine etkilemektedir. Bir sonraki iş kalemine ait imalatın doğru ve zamanında yapılabilmesi için her imalat doğru ve zamanında yapılmalıdır. BIM kullanılarak yapılan tasarımlarda çakışma analizi olduğu için imalatlar bu doğrultu da yapılmaktadır. Böylece sonraki aşamalarda yapılacak imalatların önü açılıp işin akışı rahatlatılarak geri dönüşlerin önüne geçilmiş olur.

3.3.11. İmalat Revizelerinin Projeye Hızlı Yansması

BIM kullanarak tasarlanan yapılarda saha ekibince imalat aşamasında tespit edilen uyumsuzluklar revize edilerek tüm paydaşlara iletilir. Böylece ilgili mahalde sonradan yapılacak diğer iş kalemleri için önceden revize bilgi verilmiş olur.

3.3.12. As-built Projelerin İşle Birlikte Tamamlanmış Olması

İnşaat yapım işlerinde iş bitimiyle birlikte as built (uygulanan nihai proje) projelerin çizimine başlanır. Bu projeler işletme aşamasında ortaya çıkabilecek yapısal sorunlara müdahale etmek ve yapının nihai halini bilmek için çizilir. As builtler, projenin büyüklüğüne bağlı olarak yaklaşık 2-30gün arasında tamamlanır. BIM kullanılarak tasarlanan ve uygulanan projelerde imalat aşamasında yapılan revizeler projeye anında yansıdığı için işin sonun terkardan bir proje çizmek gerekmez. Yapım işinin tamamlanmasıyla birlikte as built de tamamlanmış olmaktadır.

3.4. HAKEDİŞ VE KABUL SÜRECİNDE BIM KULLANIMI VE FAYDALARI

Hakediş, yapım esnasında işveren ile yüklenici arasında imzalanan sözleşmede ilgili maddelere uygun olarak, verilen hizmet karşılığında kazanılan hakkın belirli zaman aralıklarında talep edilmesi için takip edilen prosedürel işlemler bütünüdür. Yapım işini üstlenen katılımcıların, sağladıkları hizmetin sayısal/sözel açıklamalarını ve karşılığında hakettiklerine inandıkları maddi bedel oranını, onaylanmak üzere proje sahibine sundukları dosya bütünü olarak da anlandırılan hakediş, basit anlamıyla “Bugüne Kadar Yapılmış İşlerin Bedeli” (Price for Work

Done to Date) ya da “Yüklenicinin Payı” (Contractor's Share) olarak da adlandırılmaktadır (Abualdenien ve Borrmann, 2018). İşveren ile yüklenici arasındaki finansal ilişkinin yapım sürecinin başından itibaren sağlıklı bir şekilde yürütülebilmesi için, projenin karakterine uyumlu hakediş türünün belirlenmesi gerekir.

4. ÇALIŞMANIN AMACI VE YÖNTEMİ

Bu çalışmada geleneksel yöntemle proje, ihale ve inşaat süreçleri yürütülmüş bir binanın, bahsi geçen süreçler içerisinde karşılaştığı sorunlar ayrı kalemler olarak alınmıştır. Temel yaklaşımda projelerin hazırlanması, ihale dosyasının hazırlanması/hazırlanılması, yapım işlerinin devam ettiği süreç ve hakediş, kesin kabul süreçlerinde karşılaşılan zorluklar, sıkıntılar ve gecikmeler şantiye defterlerinden incelenmek suretiyle tespit edilmiştir. Makalenin yazarının bu inşaat süreçlerinde şantiye şefi olarak bilfiil çalıştığı için hem yazılı kayıtlardan hem de tecrübesi kaleme alınmıştır. Çalışma alanının detaylı bilgileri aşağıdadır. Kalem kalem ele alınan sıkıntıların anlatımından sonra durum maliyet ve zaman olarak ele alınarak, tablolaştırılmıştır (**Tablo 1**). Bu tablo oluşturulurken kaybedilen zamanın da parasal bir değer atamak istenmiştir, bu sebeple bahsi geçen projenin zamanında bitmemesi durumunda ödenecek olan cezai müeyyidesi üzerinden gidilmiştir. Bu tablonun incelenmesinin ardından BIM metodolojisi kullanılsaydı, ortaya çıkacak olan mali ve zamansal kazanım üzerinde yorum yapılmıştır.

5. VAKA ÇALIŞMASI: ELAZIĞ, PEYNİR ÜRETİM FABRİKASI VE SOĞUK HAVA DEPOSU

Proje Elazığ İli Merkez İlçesinde uygulanmıştır. Yapı fonksiyon olarak süt ürünleri ve peynir işleme tesisidir. İşletmeye alınan ham sütler gerekli içerik testleri yapıldıktan sonra pastörize kazanlarında ısıtılmaktadır. Mayalanarak peynir hammaddesine dönüşen ürün peynir kazanlarında yoğrulup paketlenildikten sonra işletmenin içinde yapılmış olan soğuk hava depolarına alıp -20 ile 0 derece aralığında bekletilip satışa sunulmaktadır. Toplam inşaat alanı 1226,85m² olup sözleşmeye göre işin tamamlanma süresi 150 takvim günüdür. Bir katlı betonarme olan yapı, 2015 yılında tamamlanmıştır.

İş kalemleri tanımlandığı numara koduyla açıklanmıştır. Yapılan saha çalışması sonucunda ortaya çıkan detaylı veriler **Tablo-1**'de verilmiştir.

3.1 Yapıda mimari tasarımdan kaynaklanan herhangi bir gecikme ya da revize yaşanmamıştır.

3.1 Tasarımı yapılırken son kullanıcı ile birebir çalışılarak tüm ihtiyaç programına göre ve resmi otoritelerin belirlediği standartlara göre tasarlanmıştır.

3.1 Statik ve mekanik projelerin tasarımı tamamlandıktan sonra havalandırma kanalları ile girişler arasında çakışma olduğu tespit edilip mekanik proje revize edilmiştir.

3.1. Üç boyutlu proje ile 2 boyutlu proje arasında farklılıklar çıkıp 3d proje revize edilmiştir.

3.2 Keşif metraj hataları projede gözlenmiştir. Özellikle hafriyat kübaj hesabında ve temel yalıtım bohçalama işlerinde metraj hataları çıkmıştır. Mimari projede yapılan birkaç pencere boyutlandırma revizeleri de metraj yapan ekibin gözünden kaçmış olup bunlar da revize edilmiştir.

3.3.2 Harita mühendisleri tarafından yapılan saha aplikasyonunda vaziyet planının parsele oturmadığı müştemilat olarak kullanılacak yapıların parsel yaklaşma sınırını ihlal ettiği tespit edilmiştir. Fakat bu tespit ilgili yapıların temel kazıları yapıldıktan sonra fark edilince kazılar tekrar doldurup vaziyet plan revize edilip kazılara başlanmıştır.

3.3.3 Vaziyet planında arazinin eğimli yapısı göz ardı edilerek kübaj hesabı yapılmıştır. Arazide yapılan kazılarda kot farkından kaynaklı olarak fazladan 253m³ harfiyat alınmıştır. Alınan bu harfiyatta beklenenden fazla derinliğe ulaşıldığı için kaya zemine denk gelip kırıcı eskavatör çalışmak zorunda kalmıştır.

3.3.4 Sahada vaziyet planına göre yerleşimler yapıp konteyner ofisler ve barınma alanları yerleştirilmiştir. Ancak müstemilat yerlerinin hatalı çıkmasından kaynaklı olarak tüm mobilizasyon yeniden yapılmıştır.

3.3.7 Proje safhasında yapılan metraj revizesine rağmen uygulama firmasının proje okumasından kaynaklı olarak anti asit seramik metrajı 115m² eksik sipariş verilmiştir. İl dışından özel siparişe gelen bu malzemenin gelmesi 15 gün işleri geciktirmiştir. Buna bağlı olarak devam edecek olan soğuk odalar ve havalandırma sistemleri de 15 gün gecikmeli olarak devam etmiştir.

3.3.10 Proje tasarım aşamasında fark edilip düzeltilen statik mekanik çakışmalarına rağmen uygulama sırasında uygulama hatalarından ve uygulama zorunluluklarında kaynakları çakışmalar çıkmıştır. Mekanik proje tasarımcılarının tasarladığı kanal ve boru hatları hesap hataları uygulama firması tarafından tespit edilip çap büyütme istenmiştir. Bu durumda ortaya çıkan çap büyümeleri kot düşmelerine ya da yatay büyümelere sebep olmuştur. Kot düşmeleri istenmediği için yatay kanal büyümeleri tercih edilmiştir, bu durum da elektrik tavalarında probleme sebep olmuştur. Zincirleme revizeler gerçekleşip yapıma devam edilmiştir. Ayrıca kirişlerin ölçüsüne göre sipariş verilir imal ettirilen soğuk hava odası panelleri de revize ölçüye göre kesilip montaj edilmiştir.

3.3.11 Saha ekibince imalat aşamasında tespit edilen uyuşmazlıklar imalat olarak revize edilmesine rağmen anında projede revize edilmediği için sonraki iş kalemini yapacak paydaşlar aynı revizyonları yapamamıştır. Bu durumda sonraki imalatları yapacak paydaşlara revize projelerin verilmesi için zaman istenip işleri zincirleme olarak geciktirmiştir.

3.3.12 As-built projelerin hazırlanmasına yapım işi tamamlandıktan sonra başlanmıştır. Tüm mahallerde yapılan 5 günlük ölçümler ve değerlendirmeler neticesinde as-built projeler tamamlanmıştır.

Tablo 1 Örnek alan çalışmasında zaman ve maliyet kayıpları ve gerekçeleri

	PROJE KİMLİK BİLGİLERİ	AÇIKLAMA	ZAMANA ETKİSİ	MALİYETE ETKİSİ				
				KAYIP GÜN SAYISI (a)	İŞGÜCÜ REVİZE KAYIP GÜN/TL (b)	MALZEME REVİZE BEDELİ/TL (c)	N ÇALIŞMASI NIN GEÇİKMESİ KAYIP GÜN/CEZALTL	TOPLAM KAYIP (a*(b+d))+c
İHALE DOSYALARINDA BIM KULLANILMAMASINDAN KAYNAKLI KAYIPLAR	YILDIRIMLAR SÜT ÜRÜNLERİ FABRİKASI Y.M.785.654,00 TL							
	3.1 Tasarımdan kaynaklanan hatalar		0	0		0	0	
	3.1 Proje çıkışmaları	Statik proje ile mekanik projede çakışma görüldü. Mekanik proje revize edildi.	2	500,00	0	1.000,00	3.000,00	
	3.1 Yönetmeliklere uyumsuzluk	Yangın projesinin hatalı görüldü revize edildi.	2	500,00	0	1.000,00	3.000,00	
	3.1 Yaklaşık metraj hesaplanması				0		0	
	3.1 3 boyutlu görselleştirme	3D proje ile 2D proje arasında farklılıklar çıkmış olup 3D revize edildi.	2	750,00	0	0	1.500,00	
	3.1 Zaman planlanması		0	0	0	0	0	
	3.1 Maliyet planlanması		0	0	0	0	0	
	3.2 Şartname	Projede belirtilen malzemeler şartnamede hatalı özelliklerde yazılmış olup şartname revize edildi	1	200,00	0	1.000,00	1.200,00	
	3.2 Metraj	Projede belirtilen malzemeler miktarları hatalı yazılmış olup metrajlar revize edildi	2	200,00	0	1.000,00	2.400,00	
YAPIM İŞLERİNDEN KAYNAKLI BIM KULLANILMAMASINDAN KAYNAKLI KAYIPLAR	3.2 Kesif		0	0	0	0	0	
	3.3.2. Saha Aplikasyonunda BIM kullanımı	Saha aplikasyonu hatalı olduğu müştenital kazaları yapıldıktan sonra anlaşılabilir kazalar kapatıldı	3	2.500,00	0	1.000,00	10.500,00	
	3.3.3. Kazı Dolgu İşlerinde BIM kullanımı	Kübaj hesabı hatalı yapıldı beklenenden fazla olarak 235m3 fazla hafriyat alındı.	4	2.500,00	0	1.000,00	14.000,00	
	3.3.4. Şantiye Mobilizasyonunda BIM kullanımı	Sahada şantiye çalışanlarının barınma alanlarının yerinin hatalı olduğu müştenimatalar yapılmaya başlanacağı zaman anlaşılabilir yer değişikliği yapıldı.	2	2.400,00	0	0	4.800,00	
	3.3.5. İmalatların 3D Kontrol ve Planlanması				0		0	
	3.3.6. İş Programı Hazırlanmasında				0		0	
	3.3.7. Malzeme Siparişinin Doğru Verilmesi	Sipariş verilen seramik özel imalat olup il dışında gelmektedir. 115m2 eksik sipariş verilmiş olup tekrar malzeme teslimi 15gün sürmüştür.	8		0	1.000,00	8.000,00	
	3.3.8. Sahayla Teknik Ofisin İletişimi				0		0	
	3.3.9. İmalatların Doğru Yapılması				0		0	
	3.3.10. Çakışma Tespitine Göre İmalat Yapılması	Proje revizesine rağmen yapılmı sırasında kirişler havalandırma kanalıyla çakışmış olup il soğuk oda tavan sandviç panelleri montaj edilemedi. Paneller yeniden ölçülendirip montaj edildi.	2	1.500,00	47.525,00	1.000,00	52.525,00	
3.3.11. İmalat Revizelerinin Projeye Hızlı Yansması	İmalat revizeleri projeye yansması sürecinde projelerin tüm plan-kesit-görünüşleri gecikmeli olarak revize edildi.	3	500	0		1.500,00		
Projelerin İşle Birlikte Tamamlanmış Olması	Yapım iş bittikten sonra as bult proje için proje ekibi 5 gün hizmet alımı yaptı.	1	500	0		500,00		
Hakediş ve Kesin Kabul Sürecinde BIM Kullanımı	3.4.1. Metraj Bilgisinin Sahadan Ofise Doğru ve Hızlı Aktarımı	Hakediş ofisine metraj bilgilerinin sahadan çok geç gelmesinden kaynaklı hakediş gecikmeleri yüklenici ile işveren arasında iş durdurma sorunlarına sebep olmuştur.	2	200	0	1.000,00	2.400,00	
	Yüklenici Arasındaki Metraj Savaşlarının Son Bulması	Hakediş ofisine metraj bilgilerinin hatalı gelmesi işverenle yüklenici arasında problemlere sebep olup tekrar tekrar ölçüye çıkmıştır.	1	500	0		500,00	
	Yüklenici Arasındaki Nakit Akış Hızının Artması	Hakedişler hazırlanıp nakit akışı hızlanması imalatları hızlandırmaktadır. Tam tersi durumlar her ay işleri 2 gün kadar geciktirmiştir.	2		0	1.000,00	2.000,00	
	3.4.4. Hakediş Yazılmalarına Veri Sağlama	Hakediş yazılmalarına doğru ve hızlı veri sağlamak hakediş ofisini aylık ortalama 6 günlük fazla işten kurtarmıştır. (hakediş birimi ile yapılan görüşmeler sonucunda alınan bilgi)	2	500	0		1.000,00	
		Toplam Kayıp Gün	39			Toplam Fazla Maliyet	108.825,00	

3.4.1 Metraj bilgisinin sahadan teknik ofise geç gelmesinin sebebi projelerde revizeler çıkması ve imalat ilerleme yüzdelerinin manuel olarak takip edilmesidir. Hakkediş birimine uygulanmış projelerin gitmesi ve bunların yerinde ölçümü zaman kayıplarına sebep olmuştur.

3.4.2 Hakkediş birimine gelen metrajlar ile yüklenici firmanın talep ettiği metrajlar arasında farklılıklar çıkmıştır. İş programlarında aksamalar olduğundan dolayı genellikle ilerleme yüzdeleri belirlendiği gitmemektedir ve işler geriden gelir. Fakat yükleniciler genelde işi iş programına göre yapmış gibi hakkediş talep eder. Aksi durumda bütün iş planı revize edilmelidir. Gerçek veriler BIM tabanlı olarak anlık işlenip tüm paydaşlar ile paylaşılıp hakkediş dönemlerinde de bu veriler kullanılsa bu sorunlar ortadan kalkacaktır.

3.4.3 Hakkedişlerin ve dolayısıyla nakit akışının hızlı olması işlerin yapım sürecine ivme katmaktadır. Zamanında yapılan hakkedişler ve imalatlar her zaman yüklenici firmalar için cazip bir durumdur. Bu durumlarda paydaşların işi zamanında veya daha önce bitirmek ister. Aksi durumlarda işlerde kısmi yavaşlamalar hatta ekonomik problemlerden dolayı durmalar dahi görülebilir.

3.4.4 Hakkediş yazılımlarına (Amp,Oska vb.) doğru ve hızlı veri sağlanması hakkediş ofisinin aylık ortalama 6 günlük fazla mesaiden kurtarmıştır. Hakkediş yazılımı olarak her kurumun kendine özgü formatı olmakla birlikte Türkiye’de kamu ile özel sektörün en büyük iki ortak paydası Amp ve Oska programlarıdır. Bu programlar olsun başka formatlar ya da programlar olsun tüm hakkediş formatları doğru ve hızlı geri beslemeye ihtiyaç duyar.

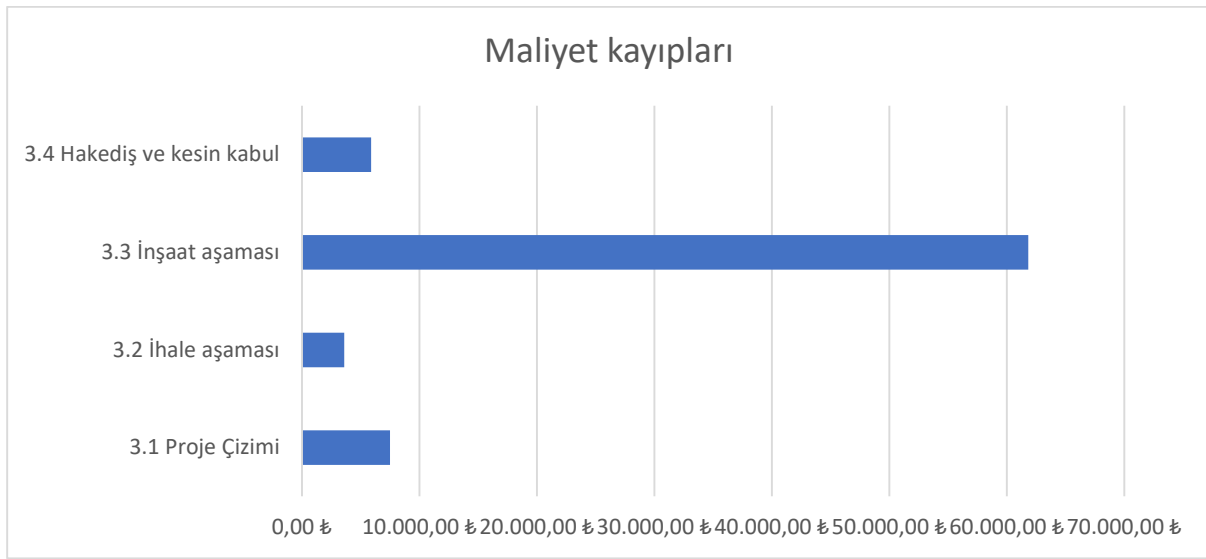
4.BULGULAR

Örnek vaka çalışmasının detaylı açıklamasının ardından Tablo 1’deki veriler üst başlıklarına göre gruplandırıldığında Tablo2 ‘deki çizelge ortaya çıkmaktadır. Bu çizelgenin de görselleştirilmesi sonu Tablo 3 elde edilmiştir.

Tablo 2 Ana iş aşamalarının zaman ve maliyet açısından değerlendirilmesi

	Zaman kayıpları (gün)	Zaman kayıpları %	Maliyet kayıpları	Maliyet kayıpları %
3.1 Proje Çizimi	6	4%	7.500,00 ₺	0,954%
3.2 İhale aşaması	3	2%	3.600,00 ₺	0,46%
3.3 İnşaat aşaması	23	15,33%	91.825,00 ₺	13,85%
3.4 Hakkediş ve kesin kabul	7	4,66%	5.900,00 ₺	0,75%
Toplam	43		108.825,00 ₺	

Tablo 3 Ana iş kalemlerinin maliyet kayıpları açısından değerlendirilmesi



Tablo 1,2 ve 3'den anlaşılacağı üzere iş planlamasında yapılan hatalar en çok inşaat aşamasında maliyete ve zamana etki etmektedir.

Alt ana başlıklar halinde konu incelendiğinde ise, proje aşamasında statik ve mekanik projenin çakışması düzeltilmiş olmasına rağmen, inşaat aşamasında da en büyük maliyet farkı bu kalemden kaynaklanmıştır. Bunlara ek olarak, yangın yönetmeliğine uymaması ve yapılan üç boyutlu görselle, inşaat sahasının uyumsuz olması gösterilmiştir. BIM yöntemiyle projeler hazırlanmış olsaydı, özellikle çakışma ve 3D uyumsuzluğunun rahatlıkla önüne geçilmiş olurdu.

İhale süresinde ise özellikle şartname ve metraj hataları olduğu görülmektedir. BIM'in en büyük avantajlarından birinin canlı metraj bilgisi almak olduğu söylenebilir. Parametrik olarak modellenmiş inşaat, elektrik ve makina ekipmanları, firma bilgisi, şartname ve metrajıyla BIM altlığından ulaşılabilmektedir. Böylece şartname veya metraj uyumsuzlukları ortadan kaldırılabilmektedir.

İnşaat aşamasında ise proje çiziminde yönetmeliğe aykırı yerleşim yapılmasının sonucu, yanlış yerin boşuna kazılması ve doldurulması işi ortaya çıkmıştır. Eksik metraj ve metrajın siparişe geçirilmesi sonucu özellikle zamansal kayıpla karşılaşmıştır. Proje aşamasında bahsedilen çakışma inşaat aşamasında da yansılar, proje değişiklikleri olarak devam etmiştir. Sonraki iş kalemlerinin taşeronları bu süreçten olumsuz etkilenmiştir. Bu gecikmeler 'as built' projelerin tamamlanması için hizmet alımı gerektirmiştir.

Hakediş ve kesin kabul aşamasında ise proje verilerinin sahada değişmesi sonucu ataçmanların çizilmesine ve ya projelere yansıtılmasına gerek duymaktadır. Bu da şantiye kontrolü dışında çizim işlerinin de devam etmesini zorunlu kılmaktadır. Bu süreç inşaat ve hakedişler arasında zamansal fark oluşmasına sebep olmaktadır. Bu da nakit akışını olumsuz etkilemektedir. Metraj farklılıklarının şantiye ve kontrol ekibi tarafından hem fikir olunması ise ayrı bir iş yükü ve zaman kaybına sebep olmaktadır.

Geleneksel yöntemlerle yürütülen vaka çalışmasında; proje aşamasında %9,51; ihale aşamasında %4,7, inşaat aşamasında %13,85, hakediş aşamasında ise %7,48 oranında maliyete etki ettiği tespit edilmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan saha çalışması sonucunda ortaya çıkan detaylı verilere bakıldığında artık günümüz yapılarında BIM kullanımının zorunluluğu anlaşılmaktadır. Global anlamda her sektörde büyük bir rekabet vardır. Rakiplerin ön plana çıkmak isteyen ve daha katma değerli işler yapmak isteyen kurum ve kuruluşlar teknolojinin getirdiklerine uyum sağlamalıdır. Günümüz koşullarında işlerin kar oranları eskiye nazaran çok gerilemiş olup artık karşımıza %15-20 civarında karlar çıkmaktadır. Bu oranların da yarsını geleneksel yöntemlere kullanarak proje uygulamaya harcamamak gerekir. Yatırım maliyeti, adaptasyon, nitelikli personel sayısının az olması gibi konular her ne kadar BIM'in dezavantajları olarak karşımıza çıksa da uzun vadede mutlaka daha karlı geri dönüşleri olacaktır.

Bir inşaat projesi ve inşaatı geleneksel yöntemlerle yapılması yerine BIM yöntemleriyle yürütülse hem zamandan hem de maliyetten büyük kazanç elde edilebilir. Bu elde edilecek olan kar, işi zamanında bitirme, iş verenin güvenini kazanma, iş bitirme belgesinin zamanında alınması, artan enflasyon, inşaat malzemelerine gelen zamlar ve döviz kurlarına bağlı ekipmanlarının alımları gibi unsurlar da eklenince elde edilen avantaj daha iyi anlaşılmaktadır.

İş yürütmenin zamansal kazanımları dışında psikolojik faydaları da bulunmaktadır. Her çakışma, yönetmeliğe uyumsuzluk, proje hatası inşaat alanında krize dönüşmektedir ve işin gecikmemesi için acil müdahale edilmesini gerektirmektedir. Bu da proje yöneticisi açısından oldukça büyük bir iş stresi ve kaygı sebebidir. BIM yöntemlerinde projenin dijital ikizi, inşaat başlamadan çok önce yapıldığı için bu tarz sorunlar inşaat başlamadan çok daha önce tespit edilmekte ve proje aşamasında çözülmektedir.

Müteahhit firmaların iş yapması açısından Dünya'da Çin'den sonra gelen 2. ülke olduğumuzu düşünürsek de, BIM yöntemlerinin ülke ekonomisindeki yeri hakkında daha iyi fikir sahibi olmuş oluruz. Örnek vaka çalışmasından da anlaşılacağı üzere, bu yöntem en çok inşaat aşmasını etkilemektedir. Bu yöntemle yapılacak olan çalışmalar israfı ve inşaat atığını azalttığını düşünürsek, yalın inşaat prensiplerini büyük ölçüde karşılamaktadır. Öte yandan daha sürdürülebilir bir inşaat sürecine öncülük etmektedir.

Hakkediş ve kabuller sırasında BIM yazılımlarının önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Yapılan iş kalemlerinin ortak veri tabanına zamanında işlenmesi ve her iş kaleminde günlük mütabık kalınarak ilerlenmesi sayesinde doğru ve hızlı bilgi ve nakit geri beslemesi sağlanmış olmaktadır. Müteahhit ve müşavirlik firmalarının yıllık planlama açısından önlerini daha rahat görmeleri söz konusu olmaktadır.

BIM'le proje yönetimi daha önce bahsedildiği gibi bazı ülkelerde zorunluluk olmaya başlamışken, Türkiye'de yasal düzenlemelerin yapılması, özellikle kamu ihalelerinde büyük avantaj sağlayacaktır. Böylece kamu bütçesiyle yapılan inşaatların daha iyi planlanması, zamanında bitirilmesi ve hizmete açılması söz konusu olabilecektir. Hem inşaat maliyeti hem de erken kullanım bakımından topluma katkıda bulunacaktır.

İnşaat aşamasından sonra işletme yönetimi konusunda da, BIM'in avantajları bulunmaktadır. Yapının içindeki özellikle inşaat, mekanik ve elektrik teçhizatlarının ne zaman, ne biçimde bakıma alınacağı veya değiştirileceği de bilgi modellemesine eklenebilmektedir. Bu şekilde hem yapıyı yapan ve işleten kuruluşların BIM konusuna daha önem vermesi gerekmektedir. Üniversitelerin yapı işleri ve teknik daire başkanlıkları, çeşitli kurumların lojmanları ve özellikle sağlık yapıları ağır mekanik teçhizatları gereği bu gruplar arasında sayılabilir.

İstihdam yaratması sebebiyle de BIM süreçleri takip edilmelidir, Ülkemizde pek çok mimarlık, mühendislik ve teknikerlik mezunlarının teknolojik gelişmeleri ve inşaatla dijitalleşmeyi yakından takip etmesi, kendilerini buna göre yetiştirmeleri hem kendilerine hem de ülke ekonomisine kazanç olarak dönecektir.

KAYNAKLAR

1. Taştekin, O. (2019), “Uluslararası İnşaat Projelerinde Yapı Bilgi Modellemesi İle İhale Süreçlerinin Yönetimi Üzerine Bir İnceleme”, İstanbul Teknik Üniversitesi.
2. Akkoyunlu, T. (2015), Kentsel Dönüşüm Projeleri İçin BIM Uygulama Planı Önerisi
3. Araç, E. (2018), “Türkiye’de Raylı Sistem Sektöründe Yapı Bilgi Modellemesine Geçiş Süreçleri Üzerine Bir Örnek Olay İncelemesi ve Yönetimsel Öneriler”, 63(2): 1–63.
4. Akgün, A. (2016), “Yüklenici İnşaat Firmalarında Hakediş Düzenlemeleri Ve Yapı Enformasyonu Modellemesi (BIM) Uygulamaları”, IOSR Journal of Economics and Finance, 3(1): 197.
5. Gallaher, M. P. O’Connor, A. C. Dettbarn, J. L. ve Gilday, L. T. (2004), Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry.
6. Yer, B. (2017), BIM Uygulamalarında Sözleşmelerden Kaynaklanan Sorunların İncelenmesi
7. Efficiency and Reform Group of the Cabinet Office, “Government Construction Strategy,” 2011
8. B. B. KIRZIOĞLU and G. GELİŞEN, “Yapı Bilgi Modellemesi’nin teklif süreçlerindeki katkıları,” *Tek. Bilim. Derg.*, vol. 10, no. 2, pp. 14–18, 2020.
9. J. A. Taboada and A. Garrido-Lecca, “Case study on the use of bim at the bidding stage of a building project,” *22nd Annu. Conf. Int. Gr. Lean Constr. Underst. Improv. Proj. Based Prod. IGLC 2014*, pp. 1473–1482, 2014.
10. S. Ofluoglu, “Yapı Bilgi Modelleme ve Kullanım Alanları,” *Timöb Derg.*, no. Kasım, pp. 1–5, 2016.
11. J. Abualdenien ve A. Borrmann, “Multi-lod model for describing uncertainty and checking requirements in different design stages”, içinde *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction - Proceedings of the 12th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM 2018*, 2018, sayı September, ss. 187–195.
12. Url-1. <https://www.idecad.com.tr/portfolio-type/ideidecad-yapi-ids-v10/daha-fazlasi/>
13. Url-2. <https://www.bimteknoloji.com/fikir/bim-nedir-insaat-sektorune-faydalari/>

YAPI MALZEMESİ ÜRETİMİNDE BOR ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM POTANSİYELLERİNE YÖNELİK BİR İNCELEME

AN INVESTIGATION OF RECYCLING POTENTIALS OF BORON WASTES IN
BUILDING MATERIAL PRODUCTION

Cahide AYDIN İPEKÇİ

Doç. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

ORCID NO: 0000-0003-3170-46282

Zeynep BEDİR

Yüksek Lisans Öğrencisi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık
Anabilim Dalı

(Sorumlu Yazar)

ORCID NO: 0000-0002-1713-350X1

ÖZET

Doğada serbest halde bulunmayan bor canlı yaşamının devamı için gerekli olan birçok elementten bir tanesidir. Farklı bileşikler oluşturabilme potansiyeli borun 230'dan fazla minerale sahip olmasında etkili olmuştur. Sayıca fazla olsalarda içerdikleri bor oksit (B_2O_3) oranı bu minerallerin ticari olarak önemini belirlemektedir. Ülkemizde de bulunan tinkal, kolemanit ve üleksit bu grubun öne çıkan mineralleridir. Bu minerallerin eldesinde farklı yöntemler kullanılsa da en yaygın ve ucuz olanı ülkemizde de uygulanan açık ocak madenciliğidir. Öne çıkan diğer bir konu ise ülkemizdeki rezervlerin dünya bor kapasitesinin büyük bir çoğunluğu oluşturmasıdır. Var olan bor rezervlerinin kullanılmasında en büyük payın cam ve seramik sektörüne ait olduğu bilinmektedir. Geri kalan kaynaklar ise tarım, temizlik, metalürji, yalıtım malzemesi, ahşap koruma gibi farklı alanlarda değerlendirilmektedir. Borun farklı sektörler tarafından talep görmesi atık oluşumunun da bu durumun bir sonucu olarak ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Üretim sonucu oluşan bu atıklar, içeriklerinde bor oksit (B_2O_3) ihtiva etmesi sebebiyle kullanılması gereken değerli bir kaynaktır. Konu ile ilgili uygulanan en uygun değerlendirme yöntemlerden biri olan bor atıklarının uygun sektörde kullanılması, ham maddeye olan ihtiyacın azaltılmasında ve çevre dostu ürünler üretilmesinde destek olacaktır. Buna yönelik olarak yapılan çalışmaların varlığı ise konuya gereken önemin verilmesinde rol oynamaktadır. Bu çalışma da konu ile ilgili inşaat sektöründe bor atıklarının kullanıldığı ulusal literatür üzerinden bir inceleme yapılmıştır. Bor atıklarının en çok çimento ve seramik sektörlerinde kullanıldığı belirlenmiştir. Bor atık türü bulgularına bakıldığında ise tinkal mineralinden elde edilen atıkların çoğunluğu oluşturduğu saptanmıştır. Ülkemiz bor rezervlerinin korunumu ve bor atıklarının kaynak olarak değerlendirilmesine yönelik genel durumu ortaya koymak üzere yapılan bu çalışmanın ileride yapılacak araştırmalara katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşüm, Yapı Malzemesi, Bor, Bor Atığı.

ABSTRACT

Boron, which is not found in free form in nature, is one of the many elements necessary for the survival of living things. The potential of forming different compounds has been effective in boron having more than 230 minerals. Even though they are large in number, the ratio of boron

oxide (B_2O_3) they contain determines the commercial importance of these minerals. Tincal, colemanite and ulexite, which are also found in our country, are the prominent minerals of this group. Although different methods are used to obtain these minerals, the most common and inexpensive one is open-pit mining, which is also applied in our country. Another prominent issue is that the reserves in our country constitute the majority of the world's boron capacity. It is known that the biggest share in the use of existing boron reserves belongs to the glass and ceramic industry. The remaining resources are used in different fields such as agriculture, cleaning, metallurgy, insulation material and wood protection. Demand for boron by different sectors causes waste generation to occur as a result of this situation. These wastes generated as a result of production are a valuable resource that should be used because they contain boron oxide (B_2O_3). The use of boron wastes, which is one of the most appropriate evaluation methods applied in the subject, in the appropriate sector will support the reduction of the need for raw materials and the production of environmentally friendly products. The existence of studies for this, on the other hand, plays a role in giving the necessary importance to the subject. In this study, a review has been made on the subject of the national literature in which boron wastes are used in the construction sector. It has been determined that boron wastes are mostly used in cement and ceramic sectors. When the findings of boron waste type are examined, it was determined that the waste obtained from tincal mineral constitutes the majority. It is expected that this study, which is conducted to reveal the general situation regarding the conservation of our country's boron reserves and the utilization of boron wastes as a resource, will contribute to future research.

Keywords: Recycling, Building Material, Boron, Boron Waste.

1. GİRİŞ

Bor eski zamanlardan beri çeşitli işlev ve amaçlarla kullanılan bir elementtir. Doğada serbest halde bulunmayan bor sahip olduğu farklı bileşikler oluşturabilme özelliği sayesinde birçok farklı sektörde kullanılmaktadır. Borun özellikle cam ve seramik alanlarındaki tüketim değerlerinin fazla olması inşaat sektörü açısından önemli bir kaynak olduğunun göstergesidir.

Bor ve bor ürünlerinin kullanım alanı ve sektör çeşitliliği beraberinde üretim sonucu oluşan atık miktarında artışa sebep olmaktadır. Bu atıkların değerlendirilmesi ise dünya bor rezervlerinin büyük bir çoğunluğuna sahip olan ülkemizin mevcut kaynaklarının korunumu açısından önemlidir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar bor atıklarının değerlendirilmesinde en uygun yöntemlerden birinin uygun sektörde kullanım olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada da bor atıklarının uygun sektörde değerlendirilmesi ile ilgili varolan genel durumu ifade etmek amacıyla konu ile ilgili ulusal literatür üzerinden bir inceleme yapılmıştır.

2. KURAMSAL ARKA PLAN

Dünyada en yaygın kullanım alanına sahip olan bor tüm canlıların yaşamının devamı için gerekli olan elementlerden bir tanesidir [1]. Yerküreyi oluşturan 92 elementten biri olan bor yeryüzünde su, toprak ve kayalarda yaygın bir şekilde bulunur [2], [3]. “Bor” sıklıkla kullanılan bir tanım olsa da doğada serbest halde bulunmaması sebebiyle oksijen ve diğer elementler ile birleşerek “boratlar” olarak adlandırılan inorganik tuzları oluşturur [4]. Farklı bileşikler oluşturabilme özelliği sayesinde doğada yaklaşık 230'dan fazla mineral çeşidi bulunan borun ticari değere sahip olan çeşitleri tinkal(boraks), kolemanit, üleksit, probertit, borasit, pandemit, szyabelit, hidroborasit ve kernit'tir [5], [1]. Doğal olarak oluşum gösteren bu bileşiklerin ticari önemlerinin değişiklik göstermesi içerdikleri bor oksit (B_2O_3) oranlarının farklı olmasından kaynaklıdır [5].

Ticari açıdan değerli olan boraksın tarihteki ilk kullanımının 4000 yıl önce olduğu ve Babilliler tarafından Uzak Doğudan ithal edilerek altın işletmeciliğinde akışkanlığı artırması sebebiyle kullanıldığı bilinmektedir [6], [7]. Zaman içinde keşfedilen farklı özellikleri sayesinde boraks temizlik maddesi, seramiklerde sır malzemesi ve tedavilerde mikrop öldürücü olarak kullanılmıştır [7]. Ayrıca Mısırlılar tarafından tıp, metalurji ve mumyalama gibi farklı uygulamalarda boratlar kullanılmıştır [6].

Çözelti olarak sulara veya doğada masif halde diğer kayaç ve minerallerle birlikte bulunan bor minerallerinin üretim yöntemleri bulunduğu yer ve derinliğe göre değişmektedir. Bu üretim yöntemleri açık ocak, kapalı ocak ve çözelti madenciliği olmak üzere üç başlık altında toplanmaktadır [2]. Üretim yöntemlerinin ilk adımı olan *madencilik* işlemleri sonucunda üretimi sağlanan bor mineralleri *kırma ve cevher zenginleştirme ve/veya rafinasyon* işlemlerinin uygulanmasından sonra pazara arz edilmektedir [2]. İlk aşamada elde edilen bor minerallerinin %10'luk bir kısmı doğrudan tüketilirken geri kalan kısım ise bor ürünleri eldesinde kullanılmaktadır [2], [8]. Günümüzde sanayinin bir çok dalında kullanılan bu ürünler *ham, rafine ve özel bor ürünleri* olmak üzere üçe ayrılmaktadır [7].

Bu ürünlerin sektörel tüketim değerleri %3 deterjan, %15 seramik-frit, %15 tarım ve %48 cam sektörü şeklinde dağılım göstermektedir. Geri kalan kısım ise böcek koruyucu, selülozik izolasyon, metalurji, kimya, alçıpan, bor bileşikleri ve çatı kaplama gibi sektörlerle aittir. Genel dağılımda büyük oranlara sahip olan cam ve seramik sektörü ülkemizde tüketimin yapıldığı başlıca sektörler arasındadır [5].

Bor ürünlerinin yaygın kullanımı üretim ihtiyacının dolayısıyla üretim sonucu oluşan bor atığının miktarında artışa sebebiyet vermektedir. Bor atıklarının içerisinde bulunan bor oksitin değerli bir kaynak olmasından dolayı bu atıkların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu değerlendirme şekilleri:

- Atıkların Uygun Bir Şekilde Depolanması
- Atıklardan Borun Tekrar Kazanılması
- Atıkların Uygun Sektörde Kullanılması olarak üçe ayrılmaktadır [9].

Depolama yönteminin uygulanmasına yönelik bor ihtiva eden sıvı atıkların sızdırmaz gölet veya barajlarda depolanması, katı formda olanların ise çevreyi kirletmeyecek şekilde muhafaza edilmesine özen gösterilmesi gerekmektedir [6]. Diğer bir yöntem olan uygun sektörde kullanım ise atıkların depolama yükünün ortadan kalkmasında ve çevre korunumunun sağlanmasında katkı sağlamaktadır [10]. Bu anlamda bor atıklarının değerlendirilmesinde uygun sektörde kullanımının daha uygun olduğu söylenebilir.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bor atıklarının uygun sektörde değerlendirilmesi ile ilgili varolan genel durumu ifade etmek amacıyla ulusal literatürün analiz edildiği bu çalışmanın yöntemi literatür taramasıdır. Bu anlamda Google Akademik, Dergipark, Google ve Ulusal Tez Merkezi veri tabanlarında üretilmiş olan akademik makale, bildiri ve tezler incelenerek analiz edilmiştir. Çalışmanın sınırları geçmişten günümüze dönük olarak yayınlanan yapı malzemesi üretiminde bor atıklarının kullanımını konu alan akademik yayımlar olarak belirlenmiştir. Yapı malzemesi üretimi dışında kalan konular çalışma kapsamına dahil edilmemiştir. Veri toplama sürecinde “*bor atığı*” anahtar kelimesini bir veya birden fazla içeren dokuz adet bildiri, 13 adet makale

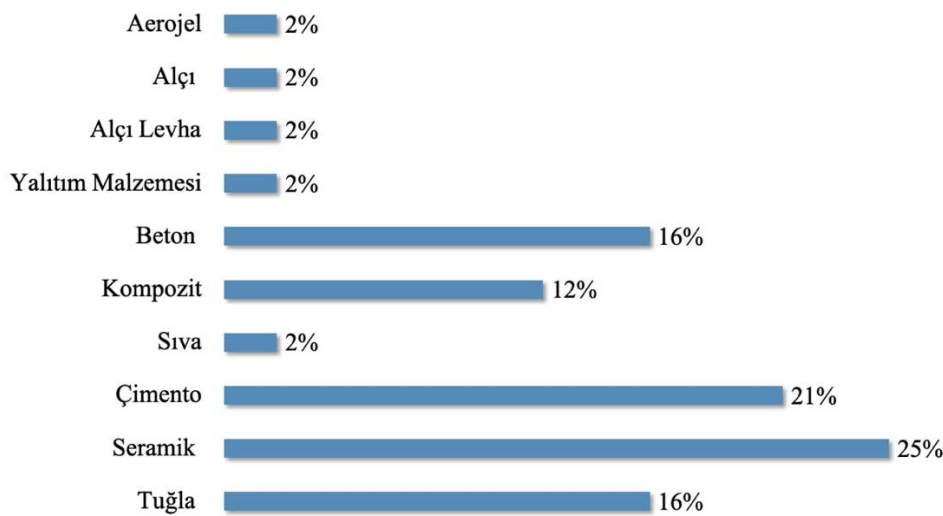
ve 22 adet tez olmak üzere 44 çalışmaya ulaşılmıştır. *Atığın kullanıldığı ürün, atık türü*, kriterleri üzerinden yapılan değerlendirmelerin bulguları aşağıda belirtilmiştir.

Atığın kullanıldığı ürüne göre yapılan değerlendirmede farklı çeşit kullanımlar geliştirilerek tek bir ürün olarak ifade edilmiştir (Tablo 1). Örneğin duvar karosu, yer karosu gibi alt uygulama alanları seramik başlığı altında verilmiştir. Buna göre *atığın kullanıldığı ürün* üzerinden yapılan değerlendirmede yalıtım malzemesi, alçı levha, alçı, arojel ve sıva için bir çalışma, kompozit için beş çalışma, tuğla ve beton için yedi çalışma, çimento için dokuz ve seramik için 11 çalışma yapıldığı bilgisine ulaşılmıştır [11-54].

Tablo 1. Atığın Kullanıldığı Ürüne Göre Çalışma Sayıları

Atığın Kullanıldığı Ürün	Makale	Bildiri	Tez	Toplam
Tuğla (harman tuğlası vd.)	3		4	7
Seramik (duvar karosu, yer karosu, porselen karo vd.)	2	5	4	11
Çimento (harç vd.)	1	4	4	9
Sıva	1			1
Kompozit(geopolimer harç vd)	2		3	5
Beton (asfalt betonu, harç, hafif beton agregası vd.)	3		4	7
Yalıtım Malzemesi	1			1
Alçı Levha			1	1
Alçı			1	1
Arojel			1	1
Toplam	13	9	22	44

Atığın kullanıldığı ürüne göre değerlendirme yapıldığında seramik, çimento, beton ve tuğlanın çoğunluğu oluşturduğu görülmektedir (Şekil 1). Bu durum bor atıklarının içerisinde yer alan kilin bu yapı malzemelerinin üretimi için gerekli ham maddelerden biri olması ile ilişkilendirilebilir. Daha düşük değerlere sahip olan alçı levha, alçı, arojel, sıva ve yalıtım malzemesi ile ilgili yapılan çalışmalara ağırlık verilmesi bor atıklarının değerlendirilebileceği malzeme çeşidinin artmasında katkı sağlayacaktır.



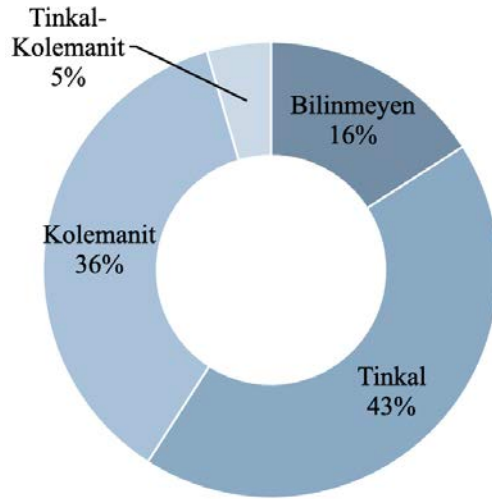
Şekil 1. Atığın Kullanıldığı Ürüne Göre Yüzde Dağılımları Grafığı

Çalışmalar incelendiğinde farklı türde atık kullanıldığı görülmüştür. Kullanılan atığın elde edildiği mineralin çeşidi belli olmayan çalışmalar “*bilinmeyen*”, tinkal mineralinden elde edilen atıkların kullanıldığı çalışmalar “*tinkal atığı*”, kolemanit mineralinden elde edilen atıkların kullanıldığı çalışmalar “*kolemanit atığı*” ve tinkal ve kolemanit mineralinden elde edilen atıkları birlikte kullanıldığı çalışmalar “*tinkal-kolemanit atığı*” başlığı altında ifade edilmiştir (Tablo 2). Buna göre atık türü bilinmeyen üç makale ve dört tez olmak üzere yedi çalışma, tinkal-kolemanit atığı kullanılan bir makale ve bir tez olmak üzere iki çalışma, tinkal atığı kullanılan beş makale, yedi bildiri ve yedi tez olmak üzere 19 çalışma ve kolemanit atığı kullanılan dört makale, iki bildiri ve 10 tez olmak üzere 16 çalışma olduğu görülmüştür [11-54].

Tablo 2. Atık Türüne Göre Çalışma Sayıları

Atık Türü	Atık Cinsi	Makale	Bildiri	Tez	Toplam
Bilinmeyen	Bor Atığı (atık bor vd.)	2		3	5
	Bor Türev Atığı			1	1
	Bor İçeren Atık Su	1			1
Bilinmeyen Toplam		3		4	7
Tinkal-Kolemanit Atığı	Kolemanit Konsantratör, Tinkal Konsantratör Atığı			1	1
	Kolemanit, Tinkal Atığı	1			1
Tinkal-Kolemanit Toplam		1		1	2
Tinkal Atığı	Boraks Atığı, Asit Borik Atığı			1	1
	Gölet Atığı			1	1
	Kil Pestili		1	1	2
	Kil Pestili(pestil ve dekanter atığı)			1	1
	Kil Pestili (1. ve 2.)		2		2
	Tinkal (boraks) Atığı			1	1
	Tinkal(boraks) Atığı /kalsine	1			1
	Tinkal(boraks) Şlamı	1		2	3
	DSM Elek Üstü Atığı		1		1
	Tinkal(boraks) Konsantre Atığı	2	2		4
	Tinkal(boraks)Konsantre Atığı, Boraks Türev Atığı		1		1
	II. Kademe Alt Atık, DSM Elek Üstü Atık	1			1
	Tinkal Toplam		5	7	7
Kolemanit Atığı	Baraj Atığı, Pasa			1	1
	Kolemanit Konsantre (konsantratör) Atığı	1	2	2	5
	Ham, Kalsine Kolemanit Atığı			2	2
	Kolemanit Atığı	1		4	5
	Bor İşlem Atığı			1	1
	Şlam	1			1
Kil Pestili	1			1	
Kolemanit Toplam		4	2	10	16

Atık türüne göre yapılan değerlendirmede çalışmalarda farklı türde atıkların kullanıldığı ve tinkal mineralinden elde edilen atıkların çoğunlukta olduğu görülmektedir (Şekil 2). En düşük değere sahip olan farklı minerallerden elde edilen atıkların birlikte kullanıldığı çalışmaların sayısının artması yapı malzemesi üretimi için gerekli olan en uygun atık türünün belirlenmesinde yarar sağlayacaktır. Ayrıca yapılan çalışmalarda atık türü bilgisine yer verilmesi konu tekrarına gidilmemesi açısından katkı sağlayacaktır.



Şekil 2. Atık Türüne Göre Yüzde Dağılımları Grafiği

4. SONUÇLAR

Bor atıklarının uygun sektörde değerlendirilmesi ile ilgili varolan genel durumu ifade etmek amacıyla yapı malzemesi üretiminde yayınlanan ulusal literatürün incelendiği bu çalışmada atığın kullanıldığı ürün, atık türü gibi kriterler üzerinden yapılan değerlendirmelerden elde edilen sonuçlar:

- Bor atıklarının yapı malzemesi üretiminde kullanımına yönelik ülkemizde farklı türde birçok çalışma olduğu ve tez türündeki yayınların daha fazla olduğu,
- Bor atıklarının değerlendirilebileceği birçok yapı malzemesi olduğu ve üretimi için gerekli ham maddelerden biri kil olan malzemelerin çoğunluğu oluşturduğu,
- Yapılan çalışmalarda farklı minerallerden elde edilen atıkların kullanıldığı ve tür açısından tinkal mineralinden elde edilen atık kullanımının daha fazla olduğu şeklindedir.

Çalışma kapsam ve sınırları dahilinde konu ile ilgili ülkemizde yapılan yayınlar bor atıklarının değerlendirilebileceği birçok yapı malzemesi olduğunu göstermektedir. Bu alanda yapılacak incelemelerin sayısının artması bor atıklarının uygun sektörde kullanımının daha iyi anlaşılmasında katkı sağlayacaktır. Bu durumda Türkiye'nin önemli kaynaklarından biri olan borun kaynak korunumu sağlanmasıyla aynı zamanda ülke ekonomisine katkıda bulunulacağı düşünülmektedir. Ulusal literatür üzerinden yapılan bu çalışmanın sınırlarının genişletilerek uluslararası literatürle birlikte analiz edilmesinin ileride yapılacak çalışmalara konu olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] MTA, (2021), Web Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/bor>, (Erişim Tarihi: 08.04.2021).
- [2] DPT, (2008), DPT: 2776-ÖİK: 705, Kimya Sanayii Özel İhtisas Komisyonu, Bor-Soda Külü, Krom Kimyasalları Çalışma Grubu Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı, Ankara.
- [3] TMMOB, (2016), "Bor Raporu", Web Adresi: https://www.spo.org.tr/resimler/ekler/65448651842b40f_ek.pdf, (Erişim Tarihi: 08.04.2021).

- [4] Brioché A.S., (2021), “Boron”, U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, USA.
- [5] EMİGM, (2020), “Bor Sektör Raporu”, Web Adresi: <https://www.etimaden.gov.tr/storage/2020/2019BORSEKTORRAPORU.pdf>, (Erişim Tarihi: 27.05.2021).
- [6] DPT, (2001), DPT:2608-ÖİK:619, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Kimya Sanayii Hammaddeleri, Çalışma Grubu Raporu Cilt-2 (Bor Tuzları – Trona -Kaya Tuzu-Sodyum Sülfat- Stronsiyum), Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Ankara.
- [7] Yılmaz, A., (2002), “Her Derde Deva Hazinemiz Bor”, Tübitak-Bilim ve Teknik Dergisi, Mayıs, 38-41, Ankara.
- [8] MTA, (2021), Web Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/maden-kullanim-alanlari#bor>, (Erişim Tarihi: 08.04.2021).
- [9] Bentli, T., Özdemir, O., Çetük, M.S., Ediz, N., (2002), “Bor Atıkları ve Değerlendirilme Stratejileri,” I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 250-258, Kütahya, 03-04 Ekim.
- [10] Oruç, F., Sabah, E., Erkan Z.E., (2004), “Türkiye’de Bor Atıklarını Sektörel Bazda Değerlendirme Stratejileri”, II.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- [11] Adıyaman, Y., (2006), “Etibor AŞ Hisarcık İşletmesi Atıklarının Porselen Karo Üretiminde Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [12] Akçaözöğlü, S., Akçaözöğlü, K., (2016), “Atık Kil Pestili Ve Atık Pet Şişe Kırıklarının Kompozit Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi”, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 218-226.
- [13] Aşkın S., Olgun A., Erdoğan Y., (2002), “An Investigation On The Possible Use of Boron Wastes in The Brick Construction”, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (003), 44-49.
- [14] Aygörmez Y., (2018), “Kolemanit Atığı Ve Silis Dumanı Katkılı Metakaolin Tabanlı Geopolimer Harcın Mekanik Ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [15] Aytekin M., (2019), “Kalsiyum Sülfat Esaslı Bor Atığının Alçı İçerisindeki Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [16] Akyıldız A., (2012), “Beton Üretiminde Bor Atıklarının Puzzolan Materyal Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” Doktora Tezi, Namık Kemal Üniversitesi.
- [17] Batar, T., Köksal, N. S., Yersel, Ş. E., (2009), “Atık Bor, Atık Kâğıt Ve Perlit Katkılı Sıva Malzemesinin Üretimi Ve Karakterizasyonu”, Ekoloji, 18(72), 45-53.
- [18] Coşkun A., Sarıışık A., (2021), “Bor Atıklarının Pomza Agregalı Hafif Harçların Mineralojik ve Termal Özelliklerine Etkisi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2021(2), 408-425.
- [19] Çağlar, A., (2018), “Geleneksel Kastamonu Evlerinde Kullanılan Harman Tuğlası Özelliklerinin Bor Atığı Katkısı İle İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Araştırma, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi.
- [20] Çelik A., (2019), “Sentetik Liflerle Güçlendirilmiş Bor Atığı Katkılı Metakaolin Tabanlı Geopolimer Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Davranışı Ve Mekanik Özellikleri”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.

- [21] Çimen S., (2019), “Bor Atığı Ve Perlit Katkılı Üretilen Tuğlanın Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi.
- [22] Çimen S., Çağlar H., Çağlar A., Can Ö., (2020), “Effect of Boron Wastes on the Engineering Properties of Perlite Based Brick”, Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9(2), 50-56.
- [23] Durmaz K., (2018), “Eti Maden İşletmeleri Hisarcık Barajı Atıklarının Seramik Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.
- [24] Ediz, N., Özdağ, H., (1995), “Kırka Boraks İşletmesi Atık Killerinin Tuğla Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Bilimsel Madencilik Dergisi, 34 (4), 27-38.
- [25] Ediz, N., Yurdakul, H., İssi, A., (2002), “Etibor Kırka Boraks İşletmesi DSM Elek Üstü Atığının Duvar Karosu Bünyesinde Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, Kütahya, 3-4 Ekim, 246-249.
- [26] Ediz N., H. Yurdakul, A. İssi, (2004), “Firitleştirilmiş Tinkal Atığının Çini Karo Bünye Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, 413-417, Eskişehir, 23-25 Eylül.
- [27] Erdoğan, Y., (2016), “Halı ve Bor Atıklarından İzolasyon Malzemesi Üretimi”, Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 152(201-206).
- [28] Erdoğan, E., Yılmaz B., Erdoğan Y., Avcıata, U., (2004), “Sodyum Karbonatın Kolemanit Konsantratör Atığı + Karabük Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi”, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, 425-430, Eskişehir, 23-25 Eylül.
- [29] Eyyüboğlu S., (2013), “Kolemanit Konsantratör Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.
- [30] Fındık A., (2007), “Kolemanit Konsantratör Atığının Beton Ve Harç Numunelerinin Bazı Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi.
- [31] Genç S., Kurt T., (2017), “Etibank Bandırma Boraks Fabrikası Atığının Aventurin Sır Bünyelerinde Alternatif Hammadde Olarak Kullanımı”, Art-e Sanat Dergisi, 10(19), 187-202.
- [32] Gürsoy M., (2019), “Bor Atıklarının Aerojel Üretiminde Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- [33] Keskin, M., Karacasu, M., (2018), “Atık Bor İçeren Asfalt Betonlarının Performanslarının Değerlendirilmesi”, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(2), 185-192.
- [34] Kaman, D.Ö., (2017), “Isıl İşlem Uygulanmış Bor Atığının Çimentolu Sistemlerde Kullanılabilirliği”, Doktora Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi.
- [35] Karasu, B., Gerede, E., (2002), “Firitleştirilmiş Boraks Konsantre Atığının Yer Karosu Sırlarının Özelliklerine Etkisi”, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 198-201.
- [36] Karasu, B., Kaya, G., Kozulu, R., (2002), “Konsantre Boraks Atığının Duvar Karosu Sırlarında K-Feldispat Yerine Kullanımı”, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 193-197, Kütahya, 03-04 Ekim.
- [37] Karasu B., Kaya G., Yurdakul, H., (2002), “Etibor Kırka Boraks İşletmesi Konsantre Ve Türev Atıklarının Duvar Karosu Bünye Özelliklerine Etkisi”, I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 224-228, Kütahya, 03-04 Ekim.
- [38] Koçak, H.Ş., (2010), “Kütahya Emet Borik Asit İşletmesi Bor Atıklarının Alçı Levha Üretiminde Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

- [39] Kula, İ., (2000), “Bor Endüstrisi Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- [40] Kurttepelı Y., (2009), “Bor Atıklarının Seramik Endüstrisinde Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [41] Mancı A., (2019), “Bor Atığı Kullanımının Pomza Agregalı Hafif Betonların Mühendislik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi.
- [42] Morova, N., Terzi, S., (2015), “Kolemanit Atıkların Sıcak Karışım Asfalt Betonda Agregası Olarak Değerlendirilmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(2), 8-15.
- [43] Murathan, A., Abdurrahman, A. S. A. N., Abdulkarem, T. A., (2013), “Çevresel Atıkların Yapı Malzemesinde Değerlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28(2).
- [44] Olgun, A., Erdoğan, Y., (2001), “Etibor Bandırma Borik Asit İşletmesi Atıklarının Seramik Endüstrisinde Kullanımı”, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, (002), 58-61.
- [45] Özdemir M., Uğurlu A., (2007), “Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi”, II. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 319-329, Ankara, 12-13 Nisan.
- [46] Sariağaç G., (2012), “Kırka Tinkal Bor Atıklarından Gözenekli Agregası Üretimi Ve Uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [47] Sayar A., (2007), “Ham Ve Kalsine Kolemanit Atığının Duvar Karosu Bünyesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- [48] Sur H., (1996), “Bor Konsantrasyon Atıklarının Seramik veya Tuğla Sanayiinde Kullanım Alanlarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [49] Şahin Ş. E., (2008), “Ham ve Kalsine Kolemanit Atıklarının Tuğla Yapımında Kullanım Olanaklarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi.
- [50] Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B., (2002), “Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi”, 1. Uluslararası Bor Sempozyumu, 259-266, Kütahya, 03-04 Ekim.
- [51] Özorak C., (2013), “Bor Atığı Katkılı Polimer Kompozitlerin Aşınma Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- [52] Uğurlu, A., Özdemir, M., Topçu İ.B., (2004), “Bor İçeren Kil Atıkların Çimento İçerisinde Değerlendirilmesi”, 2. Uluslararası Bor Sempozyumu, 405-417, Eskişehir, 23-25 Eylül.
- [53] Uğurlu A., (2009), “Boraks Üretiminde Ortaya Çıkan Atık Malzemenin Çimento İçerisinde Puzolanik Malzemeler İle Birlikte Kullanılmasının Çimento Üzerindeki Etkileri”, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- [54] Yılmaz, A., (2006), “Bor İçeren Atık Suların Portland Çimentosu Harcı Üretiminde Kullanılması”, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 18(54), 481-490

ALÇI-KİREÇ-UÇUCU KÜL ESASLI HARÇLARDA BAZI ATIK KİREÇ KAYNAKLARININ KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE UTILIZATION OF VARIOUS WASTE LIME SOURCES ON
GYPSUM-LIME-FLY ASH BASED MORTARS

Gamze KOYUTÜRK

Yüksek Lisans Öğrencisi, Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat
Mühendisliği Anabilim Dalı

ORCID NO: 0000-0002-7115-9508

(Sorumlu Yazar)

Muhammed Yasin DURGUN

Dr. Öğr. Üyesi, Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0003-4656-9430

ÖZET

Kireç bilinen en eski bağlayıcı malzemelerdendir. Günümüzde hala yaygın biçimde kullanılmaktadır. Kireç üretimi doğal bir kayaç olan kalker (kireçtaşı) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Hızlı nüfus artışı, yapılaşma ve sanayileşme nedeniyle doğal kaynaklar hızla tüketilmektedir. Doğal kaynakların hızla azalması farklı hammadde arayışlarına neden olmaktadır. Bu bakımdan günümüzde atıkların yeniden değerlendirilebilmesi ve hammaddelerin yerine kullanılabilmesi son derece önemli bir konu haline gelmiştir. Aynı zamanda atıkların yeniden değerlendirilebilmesi birçok çevresel problemin, depolama ve bertaraf sorununun da önüne geçmektedir.

Kireç harçlarının puzolanlar ile birlikte kullanılarak daha üstün özelliklere sahip bir hale getirildiği bilinmektedir. Böylece mekanik özellikleri iyileştirildiği gibi aynı zamanda su direnci de elde edilebilmektedir. Ancak kireç-puzolan harçlarının dayanım kazanması genellikle uzun sürmektedir. Bu durum kireç ve puzolanlar arasındaki reaksiyonların yavaşça gelişmesi ile bağlantılıdır. Literatürde kireç-puzolan harçlarının dayanım kazanma hızlarını artırmak için bir miktar alçı ile beraber kullanıldığı çalışmalara rastlanmaktadır.

Bu çalışmada puzolanik malzeme olarak Çatalağzı Termik Santrali'nden elde edilen F sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Bu uçucu kül ile alçı-kireç-uçucu kül üçlü bağlayıcı sistemleri kullanılarak harçlar üretilmiştir. Üretilen harçlarda kullanılan kireç yerine, içerisinde kireç barındırdığı bilinen bazı atık malzemeler %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılmıştır. Bunlar; Afşin-Elbistan termik santralinin bir atığı olan yüksek kireç içerdiği bilinen uçucu kül, şeker fabrikalarının atığı olan filtre keki, bor tesislerinin bir atığı olan kolemanit triyaj atığı ve gıda endüstrisinin bir atığı olan yumurta kabuklarıdır. Üretilen örnekler buhar kürüne tabi tutulmuştur. Buhar kürü sonrası örneklere eğilme dayanımı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, ultrasonik ses geçiş hızı, su emme, kılcal su emme ve görünür porozite testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar kullanılan atıkların basınç dayanımlarını olumsuz etkilediğini göstermiştir ancak referans örneğine yakın veya daha yüksek eğilme dayanımları elde etmek mümkün olmuştur. Birim hacim ağırlık ve ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinde belirgin değişiklikler gözlenmemiştir. Ancak Afşin-Elbistan uçucu külü kullanılan örneklerin görünür porozite değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum atmosferik su emme değerlerini de benzer şekilde etkilemiştir.

Anahtar Kelimeler: Kireç, Alçı, Uçucu Kül, Harç, Kolemanit Atığı, Filtre Keki, Yumurta Kabuğu

ABSTRACT

Lime is one of the oldest binders. It is still widely used today. Lime production is carried out using limestone, which is a natural rock. Natural resources are consumed rapidly due to rapid population growth, construction and industrialization. The rapid decrease in natural resources leads to the search for different raw materials. In this respect, it has become an extremely important issue to reuse wastes and use them instead of raw materials. At the same time, the recycling of wastes prevents many environmental, storage and disposal problems.

It is known that lime mortars are sometimes used together with pozzolans to have superior properties. Thus, as well as improving its mechanical properties, water resistance can also be achieved. However, strength gain of lime-pozzolan mortars usually takes a long time. This is due to the slow development of reactions between lime and pozzolans. In the literature, there are studies in which lime-pozzolan mortars are used together with some gypsum in order to increase the strength gaining speed.

In this study, F class fly ash obtained from Çatalağzı Thermal Power Plant was used as pozzolanic material. With this fly ash, mortars were produced using gypsum-lime-fly ash triple binder systems. Instead of lime used in the mortars, some waste materials which are known to contain lime were used at the rates of 10%, 20% and 30%. These waste lime sources are; Afşin-Elbistan thermal power plant fly ash, which is known to contain high lime, filter cake, which is the waste of sugar factories, colemanite triage waste, which is a waste of boron plants and eggshells, which is a waste of the food industry. The samples produced were subjected to steam curing. After steam curing, bending strength, compressive strength, unit weight, ultrasonic pulse velocity, water absorption, capillary water absorption and apparent porosity tests were applied to the samples. The results obtained showed that the wastes used negatively affect the compressive strength, but it was possible to obtain bending strengths close to or higher than the reference sample. No significant changes were observed in the unit weight and ultrasonic pulse velocity values. However, a decrease was observed in the apparent porosity values of the Afşin-Elbistan fly ash containing samples. This situation similarly affected the water absorption values.

Keywords: Lime, Gypsum, Fly Ash, Mortar, Colemanite Waste, Filter Cake, Eggshells

1. GİRİŞ

Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden, çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede yapıların inşasında kireçli harçlar kullanılmıştır. Kireç harcı, bağlayıcı olarak kireç, su ve dolgu malzemesinin karıştırılması ile elde edilir. Yapı üretiminde kullanılan bilinen en eski bağlayıcılar alçı ve kireçtir. Mısırlıların kireç kullanarak harç ürettikleri sanılmaktadır. Romalılar, kirece puzolan denilen maddeyi katarak elde ettikleri bağlayıcı ile zamanımıza kadar dayanan yapılar üretmişlerdir (Aubert vd., 2012).

Günümüze kadar ayakta kalan tarihi harçlar arasında alçı, kireç ve kireç puzolan bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Agrega malzemesi olarak lif görevi gören saman, at kılı ve keçi kılı ile nehir kumu, çakıl taşları, tuğla parçaları ve tozları kullanılmıştır. Ülkemizde Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerine ait yapılarda değişen karışım oranlarında Horasan harcı ile karşılaşırız. Bu tip harç, beton kadar güçlüdür ve kireç ile agrega olarak kullanılan farklı oranlarda nehir kumu ve tuğla parçaları ve/ veya tozu birleştirilerek yapılır. Horasan

harcı, özellikle 15. yüzyıla ait yapılarda ve sonraki dönemde Osmanlı yapılarında yaygın olarak kullanılmıştır. 18. ve 19. yüzyıllarda İtalyan puzolanından yapılmış " kraliyet harcı " olarak adlandırılan kireç harcı kullanılmıştır. Kireç harcı aslında puzolan ile birleştiğinde suya dayanıklı olan hidrolik olmayan kireçten oluşur. Bu sayede aynı zamanda sert ve suya dayanıklı hidrolik kireç oluşur. Bu nedenle tarihte Horasan betonu olarak da bilinir. Puzolan ve tuğla parçalarından yapılan kireç harcı Romalılar tarafından 'opus sementicium' olarak adlandırılmış ve günümüze kadar varlığını sürdürmüştür. Ayrıca bu harçlar, günümüz çimento teknolojisinin gelişmesine hizmet etmiştir (Arioğlu ve Acun, 2005). Bilinen en eski bağlayıcılardan kireç ve alçı, günümüzde de inşaat sektöründe oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir.

Günümüzde insan nüfusundaki artışla birlikte insanların gereksinimleri de artmıştır. Hızla artan endüstrileşme, sağlıksız kentleşme, tarımda bilinçsiz kullanılan kimyasal maddeler, gerekli önlemler alınmadan yoğun üretime geçen sanayi tesislerinin yarattığı kirlilik, birçok tesisin arıtma ve filtreleme sisteminin olmayışı ya da yetersiz kalması sonucunda önüne geçilemeyen çevre kirliliğine sebep olurken bilinçsiz kullanımdan dolayı hammadde kaynaklarının azalması söz konusudur. Hammadde kaynağı olarak geri dönüşüm ile kullanılan hammaddelerin tekrar kullanılması gibi atık yönetimi konuları gün geçtikçe daha da önem kazanmaya başlamıştır. Doğal kaynakların tüketimini azaltmak, çevre kirliliğini en aza indirme ve enerji maliyetlerini olabildiğince azaltmak amacıyla endüstriyel atıkların yeniden kullanımı gün geçtikçe önemi daha da artan bir konu olmaktadır. Ayrıca atıkların depolanma zorunluluğu da ilave maliyet getirmektedir (Damar Tekin, 2014).

Mineral ilaveler uzun zamandır çeşitli yapı malzemelerinde kullanılmaktadır. Bu ilaveler ya doğal ya da yapaydır ve bunların çoğu endüstrinin yan ürünleridir (örn. öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı veya uçucu kül). Bu minerallerin kullanım nedenlerinin başında ekonomik etkileri gelmektedir. Çünkü bu tür malzemeler genellikle asıl malzemeden çok daha ucuzdur. Kimi zaman ise sadece bir atık olduğu için ücretsiz şekilde ulaşılabilmektedir. Bütün bunlar da maliyetin azalmasına olanak sağlamaktadır. Bir diğer neden ise çevreye zararları olan atıkların değerlendirilmesidir.

ASTM C 618' e göre kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak sulu ortamda ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelere puzolan denir. (Alkaya D, 2009)

Daha önce yapılmış olan çalışmalarda da kireç, alçı ve puzolan bir arada kullanılmış ve bu sayede hedeflenen mekanik özelliklere ulaşılmıştır. Puzolanik reaksiyonların erken dayanıma etki etmediği ve 28. Gün dayanımından sonra etkisinin görüldüğü bildirilmiştir.

Uçucu kül, yakıt olarak kömür ve linyit kullanılan termik santrallerde, kömür kullanarak demir, çelik ve diğer metal üretimi yapan ısı ve kazan tesislerinde atık veya yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Yan ürün olarak kullanılabilen bu atıkların büyük miktarlara ulaşması ile ekonomik ve çevresel etkilerden dolayı büyük sorunlar oluşturmaktadır. (Alkaya D, 2009)

Linyit kömürü yakılması ile elde edilen uçucu külde kireç oranı genellikle yüksek olmakta ve C sınıfı uçucu kül adını almaktadır. Taş kömürünün yakılması ile oluşan F sınıfı uçucu küller ise puzolanik reaksiyon göstermektedir. (Türker P vd.,2009)

Bu çalışmada kireç ikame malzeme olarak, C sınıfı Afşin Elbistan Uçucu Külü; puzolan olarak ise, F sınıfı Çatalağzı Uçucu Külü kullanılacaktır.

Şeker fabrikalarında şerbet arıtım bölümünden atılan kireç çamuru artıkları; şlempe vb. (Şlempe; ana çözüldüden alkol distile edildikten sonra geriye kalan çözüldüdür. Bu çözüldü,

melastan gelen bütün tuzlarla maya üretimi sırasında katılmış olan mineral tuzların ve mayalanmayı yapmış olan maya kütesini kapsar. (ÇED, B37, Ek I-24)

Şeker fabrikalarında ortaya çıkan bu atık CaO içermesi sebebiyle kireç ikame malzeme olarak kullanılabilir.

Birçok endüstri dalında yaygın bir kullanım alanı bulunan bor minerallerinin ve türevlerinin, 21. yüzyılın petrolü olarak adlandırılmakta ve yaşam standartlarının yükseltilmesindeki önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bir bor ürünü bazı durumlarda başka bir ürünün yerini tutabilmesine rağmen, günümüz koşullarında bor ürünlerinin yerini aynı kalite ve ucuzlukta tutabilecek başka bir mineralin bulunmayışı ve stratejik anlamda da değerli olması bor minerallerine özel bir konum kazandırır. Bu stratejik önemden dolayı bor üretimi dünya çapında çok büyük bir yere sahiptir. Türkiye bor mineralleri üretiminde dünyada birinci sırada yer almaktadır. Buna rağmen bor atıkları değerlendirilememektedir. Bu atıklar ekonomik kayıplara ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kolemanit, bor mineralleri arasında en yaygın bulunan cevherdir. Kolemanit triyaj atığı, bor fabrikalarında ortaya çıkan bir miktar bor minerali içeren atıklardır. (Söylemez H., 2019)

Yumurta kabuğu gibi biyolojik atıkların kontrolsüz olarak çevreye çöp olarak atılması kötü koku yanında çok daha önemli mikrobiyal gelişme ve kirliliklere yol açmakta bu da insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Oysa yumurta kabuğu sahip olduğu bileşim öğelerinden özellikle kalsiyum karbonat açısından oldukça zengindir. Yumurta kabuğu, kalsit formunda ağırlıkça %95 kalsiyum karbonat ve ağırlıkça %5 organik materyal içeren bir biyo-materyaldir. Bu özellikleri yumurta kabuğunun uygun dönüşüm işlemleri ve farklı karışım reçeteleriyle yeni malzemelerin üretiminde kullanılabilir, araştırılmaya değer nitelikte olduğunu göstermektedir (Akpınar Borazan, A. vd, 2019). Kireç ikame malzeme olarak kullanılacaktır.

Bu çalışma kapsamında kireç esaslı sıva harcının geliştirilmesi ve doğal kaynak kullanımının azaltılması sağlanarak daha çevreci bir malzeme ortaya çıkarmak hedeflenmiştir. Hedef doğrultusunda mekanik özelliklerin geliştirilmesi adına puzolan olarak Çatalağzı termik santralinde bir atık olarak ortaya çıkan uçucu kül kullanılmıştır. Bilindiği üzere kireç, kireçtaşının kalsine olmasıyla meydana gelmektedir. Bilinçsizce artan bir tüketim doğal kaynakların tükenmesine neden olacaktır. Bunun önüne geçilmesi adına kireç ikamesi olarak ise Afşin-Elbistan Uçucu Külü, şeker fabrikası atığı, kolemanit triyaj atığı ve yumurta kabuğu tozu kullanılmıştır. Bu katı atıkların kullanılması çevreye verilen zararı da minimuma indirecektir. Mekanik özelliklerin karşılaştırılması ve en iyi oranların oluşturulabilmesi için yayılma, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, birim ağırlık, UPV (Ultrasonik Ses Geçiş Hızı), kılcal su emme, atmosferik su emme ve ısı iletkenlik testleri yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan kireç ve alçı ticari olarak temin edilmiştir. Puzolanik katkı olarak kullanılan uçucu kül Çatalağzı Termik Santrali'ne ait F sınıfı uçucu küldür. Şeker fabrikası atığı Elbistan'da faaliyet gösteren bir şeker fabrikasından temin edilmiştir. Kolemanit atığı, Etimaden işletmelerinin Kütahya / Emet tesislerine ait triyaj atıklarından temin edilmiştir. Yumurta kabukları ise Bartın'da faaliyet gösteren pastanelerden toplanmıştır. Şeker fabrikası atığı, kolemanit atıkları ve yumurta kabukları bilyeli değirmende öğütülerek 45 µm'lik elekten geçecek boyuta getirilmiştir. Diğer malzemeler ise temin edildikleri haliyle yeterli inceliğe sahip olduklarından herhangi bir işleme tabi tutulmamışlardır. Kullanılan kireç TS EN 459-1 standardına uygundur ve yoğunluğu 2,24 g/cm³'tür. Kullanılan alçı ise TS EN

13279-1 standardına uygundur ve yoğunluğu $2,93 \text{ g/cm}^3$ Şekil 1’de kullanılan malzemelerin görselleri verilmiştir. Kullanılan malzemelerin özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

2.2. Metot

2.2.1. Örneklerin Üretilmesi

Alçı-kireç-uçucu kül üçlü bağlayıcı karışımlarının oranları çeşitli deneme üretimleri sonucu kararlaştırılmıştır. Buna göre toplam bağlayıcı oranının %100 olduğu kabul edilirse alçı-kireç-uçucu kül oranları sırasıyla ağırlıkça %16,8-%43,4-%39,8 şeklindedir. Bu karışımda kireç yerine %10, %20 ve %30 oranlarında atık malzemeler ikame edilmiştir. Üretilen her bir taze karışımın yayılma değeri TS EN 1015-3’e göre belirlenmiştir. Karışımların kıvamı 15-18 cm aralığında sabit olacak şekilde ayarlanmış ve karışım suyu miktarı buna göre ayarlanmıştır. Üretilen örneklerde kullanılan karışım dizaynı Tablo 2.’de verilmiştir. Örneklerin kodları kullanılan atığa ait kod ve karışımda kullanılan atık miktarına göre hazırlanmıştır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan malzemeler **a)** Şeker fabrikası atığı **b)** Kireç **c)** Çatalağzı uçucu külü **d)** Alçı **e)** Afşin-Elbistan uçucu külü **f)** Yumurta kabuğu **g)** Kolemanit atığı

Tablo 1. Çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri

Bileşen (%)	Çatalağzı UK	Afşin-Elbistan UK	Şeker Fabrikası Atığı	Kolemanit Atığı	Yumurta Kabuğu
<i>Kimyasal Analiz Sonuçları</i>					
SiO ₂	58,70	22,73	2,55	18,03	0,02
Al ₂ O ₃	24,37	9,67	0,83	7,23	0,02
Fe ₂ O ₃	5,65	4,63	0,35	0,34	0,02
CaO	1,96	42,94	37,66	23,45	52,34
MgO	1,87	1,99	1,21	18,98	0,48
SO ₃	0,43	9,01	0,21	0,40	1,39
Na ₂ O	3,38	0,28	0,31	0,32	0,10
B ₂ O ₃	-	-	-	2,30	-
Kızdırma Kaybı	3,44	5,21	54,84	54,84	45,35
<i>Fiziksel Analiz Sonuçları</i>					
Yoğunluk (g/cm ³)	2,23	2,91	2,11	2,14	2,56
İncelik	<45 µm	<45 µm	<45 µm	<45 µm	<45 µm

Tablo 2. Karışım dizaynı (% , ağırlıkça)

Numune Kodu	Alçı	Kireç	Çatalağzı UK	Kum	Afşin-Elbistan UK	Şeker Fabrikası Atığı	Kolemanit Atığı	Yumurta Kabuğu
R	5,6	14,4	13,3	66,7	-	-	-	-
AE10	5,6	12,96	13,3	66,7	1,44	-	-	-
AE20	5,6	11,52	13,3	66,7	2,88	-	-	-
AE30	5,6	10,08	13,3	66,7	4,32	-	-	-
ŞF10	5,6	12,96	13,3	66,7	-	1,44	-	-
ŞF20	5,6	11,52	13,3	66,7	-	2,88	-	-
ŞF30	5,6	10,08	13,3	66,7	-	4,32	-	-
KA10	5,6	12,96	13,3	66,7	-	-	1,44	-
Ka20	5,6	11,52	13,3	66,7	-	-	2,88	-
KA30	5,6	10,08	13,3	66,7	-	-	4,32	-
YK10	5,6	12,96	13,3	66,7	-	-	-	1,44
YK20	5,6	11,52	13,3	66,7	-	-	-	2,88
YK30	5,6	10,08	13,3	66,7	-	-	-	4,32

Karışımları hazırlamak için laboratuvar tipi çimento mikseri kullanılmıştır. Bütün toz malzemeler mikserde konularak 60 s boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra karışım suyu eklenerek 180 s boyunca homojen bir karışım elde edilebilmesi için karıştırılmıştır. Üretilen örneklerin TS EN 1015-3'e uygun olarak kıvam tayinleri yapılmıştır. Örnekler 40x40x160 mm³ boyutlarında kalıplara yerleştirilmiş ve vibrasyona tabi tutulmuştur. Kalıplara yerleştirilmesi tamamlanan örnekler streç film ile sarılmıştır. Bu şekilde nem kayıpları

engellenerek 3 gün boyunca kalıpta bekletilmişlerdir. 3. günün sonunda kalıplardan çıkartılan örnekler 70 °C’de 6 gün buhar kürü uygulanmıştır.

2.2.2. Örneklerin Test Edilmesi

Kürleme işlemleri tamamlanan örnekler etüve konularak 40 °C’de 24 saat bekletilmiştir. Kurutulan örneklerin ağırlıkları ölçülmüştür. Örnekler ASTM C597’ye uygun şekilde ultrasonik ses geçiş hızı testine tabi tutulmuş ve daha sonra hazırlanan örneklerin bir kısmına kapiler su emme testi uygulanmıştır. (ASTM C1585). Aynı zamanda örnekler su emme ve görünür porozite testlerine tabi tutulmuştur (ASTM C20). Son olarak üretilen örnekler eğilme ve basınç dayanımı testleri uygulanmıştır (TS EN 196-1). Şekil 2.’de test aşamasından bazı görselleri verilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Birim Ağırlık

Birim ağırlığı testlerinin sonuçları Şekil 3.’de verilmiştir. Birim ağırlık sonuçları 1,71 – 1,98 g/cm³ arasında değişmektedir. Örnekler arasında çok belirgin farklılıklar görülmemekle beraber sadece 2 örnek referans örneğinden elde edilen birim ağırlık değerinin üzerindedir. Bunlar AEUK’nın %20 ve %30 oranında kullanıldığı örneklerdir. En yüksek değer AEUK’nın %30 oranında kullanıldığı örnekten elde edilmiştir. Referans örneği 1,90 g/cm³ birim ağırlığa sahiptir. ŞF, KA ve YK kullanılan örnekler referans değerinden düşük olmakla birlikte birbirlerine benzer değerlere sahiptirler. En düşük birim ağırlık ise %10 oranında ŞF içeren örnekten elde edilmiştir. Bu sonuçlar kısmen kullanılan atık malzemelerin yoğunlukları ile ilişkilendirilebilir. AEUK kullanılan atıklar arasında en yüksek yoğunluğa sahipken, ŞF en düşük yoğunluk değerine sahiptir. Görhan yaptığı çalışmada uçucu kül %75 UK ve %25 kireç kullanarak ürettiği harçların birim ağırlığının 1,15 g/cm³ olduğunu belirtmiştir (Görhan, 2006). Beydemir ise %30 UK ve %70 kireç kullanarak hazırladığı kireç harçlarının birim ağırlık değerini 1,88 g/cm³ olarak bulmuştur (Beydemir, 2007). Damar Tekin, sabit miktarda alçı kullanarak farklı oranlarda uçucu kül-kireç kombinasyonları ile ürettiği harçlardan 1,39 – 1,59 g/cm³ arası birim ağırlık değerleri elde etmiştir (Damar Tekin, 2014)



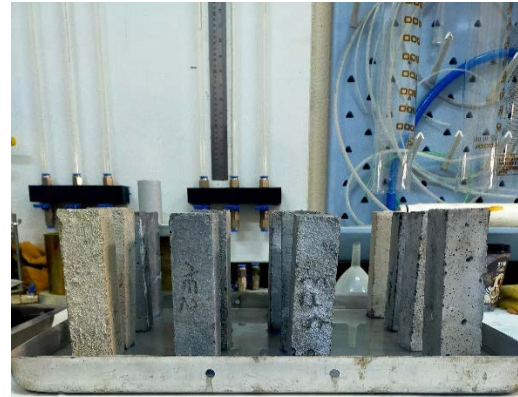
a) Örneklerin üretimi



b) Buhar kürü



c) Ultrasonik ses geçiş hızı testi



d) Kılcal su emme

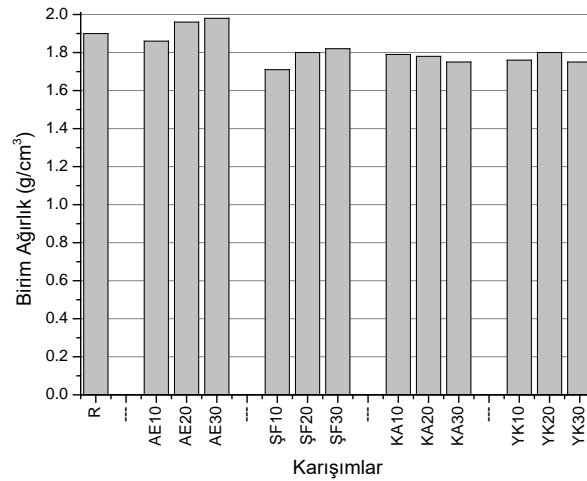


e) Eğime dayanımı testi



f) Basınc dayanımı testi

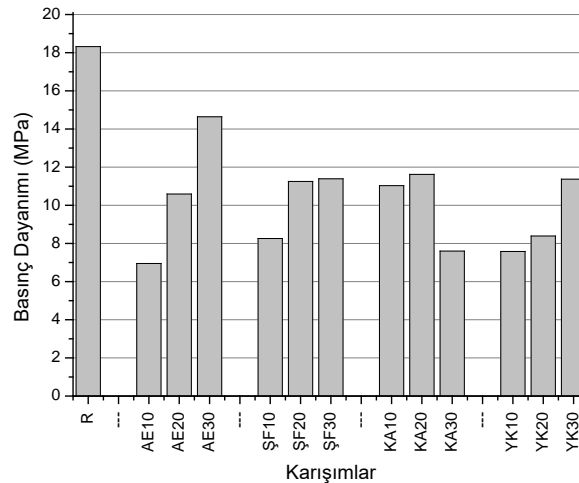
Şekil 2. Deney aşamasından görüntüler



Şekil 3. Birim ağırlık sonuçları

3.2. Basınç Dayanımı

Örneklere uygulanan basınç dayanımı test sonuçları Şekil 4'te verildiği gibidir.



Şekil 4. Örneklerin basınç dayanımları

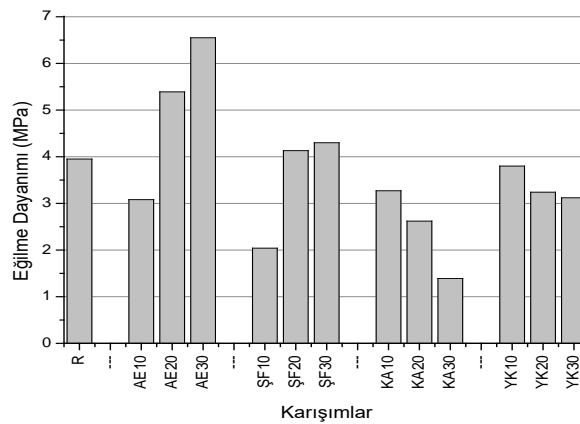
Örneklerin basınç dayanımı değerleri 6,95 – 18,32 MPa arasında değişmektedir. Atık içeren örneklerin tamamının referans örneğinden daha düşük değerler verdiği görülmüştür. En düşük değer ise %10 AEUK içeren örnekte elde edilmiştir. Ancak elde edilen değerlerin tamamına yakını EN 998-1 standardında kagir harçları için verilen en yüksek sınır olan 7,5 MPa'nın üzerindedir. Basınç dayanımı değeri en düşük olan AE10 örneği ise 6,95 MPa ile bu üst sınıra oldukça yakındır. Aynı standardın en düşük dayanım sınıfı olan CSI'in alt limiti ise 0,4 MPa'dır ve bu çalışmada üretilen örnekler bu değerden çok üzerinde sonuçlar vermiştir. Aynı zamanda üretilen örnekler EN 13279-2 standardınca belirlenmiş sıva alçılarından beklenen 2 MPa'lık alt sınırı da sağlamaktadır. Bu standartta sadece B7 sınıfı alçılardan 6 MPa'lık minimum basınç dayanımı beklenmektedir. Örneklerin bu değerinde üzerinde olduğu görülmektedir. Atık içeren örnekler arasında en yüksek dayanım 14,64 MPa ile %30 oranında AEUK içeren örnekte elde edilmiştir. AEUK katkısı düşük oranlarda basınç dayanımını oldukça düşürürken, kullanım oranının artmasıyla basınç dayanımında önemli ölçüde yükselme sağlamıştır. AEUK her ne kadar beton için kullanıma uygun olmayan bir uçucu kül

olsa da yapısında CaO'nun yanı sıra önemli miktarda silika ve alümina bulunmaktadır. Bu bileşenlerin kireç ile reaksiyona girerek puzolanik etki gösterdiği ve dayanıma katkı sağladığı bilinmektedir. AEUK kullanımının meydana getirdiği bu önemli artış belirtilen durum ile ilişkilendirilebilir. Benzer şekilde KA'nın da bir miktar silika ve alümina içerdiği görülmektedir. Ancak dayanıma katkısının AEUK kadar olmadığı görülmektedir. %10 ve 20 oranlarında kullanıldığında 11 MPa'nın biraz üzerinde sonuçlar elde edilebilirken %30 oranında kullanılmasıyla dayanım 7,6 MPa'ya kadar düşmüştür. Bu durumun KA'nın yüksek MgO içeriği ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Potgieter vd. (Potgieter et al., 2003) yaptıkları çalışmada MgO içeriğinin kirecin reaktivitesine etkisini incelemişler ve MgO içeriğinin artmasıyla reaktivitenin düştüğünü gözlemlemişlerdir. Nitekim, TS EN 495-1 standardına göre yapı kireçlerinde maksimum MgO oranı %5 ile sınırlandırılmıştır. ŞF ve YK katkısı kullanımı ile basınç dayanımının önce düştüğü, kullanım oranları arttıkça da bir artış meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durum yapılarında bulunan kirecin reaksiyonlara katılımı ile açıklanabilir.

İstanbul Büyük Şehir Belediyesi Koruma Uygulama ve Denetim Bürosu (KUDEB) tarafından yürütülen bir projede birçok farklı harç karışımının özellikleri etraflıca incelenmiştir. Bu proje kapsamında sadece kireç kullanılarak üretilen harçlardan en yüksek 0,96 MPa, kireç-puzolan harçlarından en yüksek 7,5 MPa ve alçı-kireç harçlarından ise 1,14 MPa elde edilmiştir. (Ersen et al., 2016). Eriç, hava kireçlerinin 0,7 MPa basınç dayanımı vermesi gerektiğini, daha karmaşık bir yapıya sahip olan su kireçlerinin ise 48 saatlik basınç dayanımının 6-8 MPa arasında olması gerektiğini ifade etmiştir (Eriç, 2014). Demir ve Başpınar, 6 saat buhar kürü uyguladıkları uçucu kül-alçı-kireç harcından 8 MPa basınç dayanımı elde etmişlerdir (Demir and Baspınar, 2008). Damar Tekin, uçucu kül-kireç-alçı karışımlarına buhar kürü uygulayarak 90 günlük süre sonunda 9 MPa'nın üzerinde değerler elde edebilmiştir (Damar Tekin, 2014). Vimrová alçı-kireç karışımında puzolan olarak metakaolin kullanmış ve 16 MPa'nın üzerinde basınç dayanımı elde edebilmiştir (Vimrová et al., 2014). Kireç-alçı karışımlarında puzolan olarak %30 uçucu ve %40 metakaolinin beraber kullanıldığı bir başka çalışmada ise yaklaşık 27 MPa basınç dayanımına ulaşılabileceği ifade edilmiştir (Morsy et al., 2012).

3.3. Eğilme Dayanımı

Örneklere uygulanan eğilme dayanımı test sonuçları Şekil 5'te verildiği gibidir.



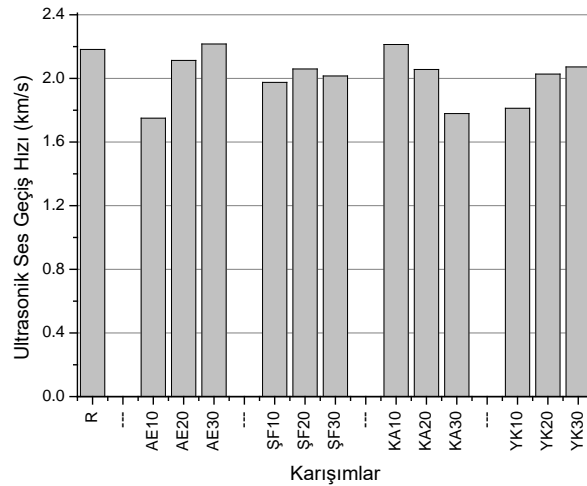
Şekil 5. Örneklerin eğilme dayanımları

Örneklerin eğilme dayanımı değerleri 1,39 – 6,55 MPa arasında değişmektedir. Referans örneği 3,95 MPa dayanım değeri vermiştir. En yüksek dayanım değeri %30 oranında AEUK

İçeren örnekten elde edilmiştir. Dayanım gelişiminin atık katkı oranlarıyla ilişkisi incelendiğinde eğilimlerin genel olarak basınç dayanımı sonuçları ile paralel olduğu gözlenmiştir. %20 ve %30 oranlarında AEUK kullanımı referans değerinden daha yüksek eğilme dayanımı değerleri verirken, aynı oranlarda ŞF kullanımı referans örneğine çok yakın sonuçlar vermiştir. Bunun dışında kalan örnekler referans örneğinden daha düşük eğilme dayanımına sahiptirler. Genel olarak en düşük dayanım KA katkılı örneklerden ve en düşük dayanım %30 KA kullanılan örnekten elde edilmiştir. Damar Tekin, buhar kürü uygulanmış uçucu kül-kireç-alçı karışımlarından 90 gün sonunda maksimum 4,32 MPa dayanım elde edebilmiştir (Damar Tekin, 2014). Beydemir, tek başına kireç kullanarak ürettiği harçlardan 365 gün sonunda 0,80 MPa basınç dayanımı elde ederken, uçucu kül kullanarak neredeyse aynı sonucu elde edebilmiştir (0,81 MPa) (Beydemir, 2007). Vimmrova, kireç-alçı karışımında puzolan olarak metakaolin kullanarak maksimum 5,79 MPa eğilme dayanımına ulaşmıştır (Vimmrová et al., 2014). Morsy ise çalışmasında kireç-alçı karışımlarında puzolan olarak uçucu kül ve metakaolini birlikte kullanarak 4 MPa'nın biraz üzerinde eğilme dayanımı elde edebilmiştir (Morsy et al., 2012).

3.4. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı

Ultrasonik ses geçiş hızı testleri sonucunda elde edilen veriler Şekil 6'da verildiği gibidir.



Şekil 6. Ultrasonik ses geçiş hızı sonuçları

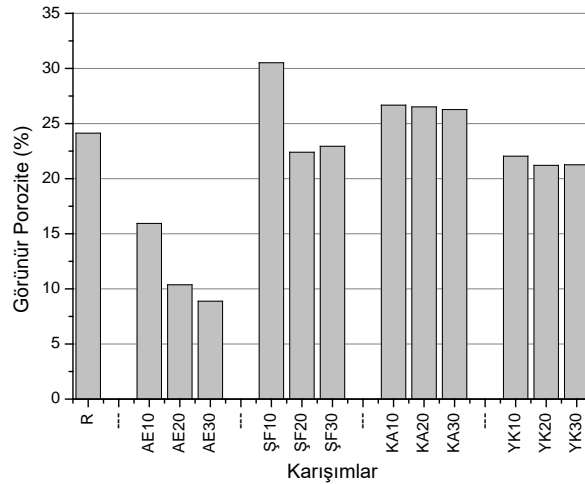
Ultrasonik ses geçiş hızı değerleri 1,75 – 2,22 km/s değerleri arasında değişmektedir. Referans örneğinin ultrasonik ses geçiş hızı değerleri 2,18 km/s'dir. En düşük değer %10 oranında AEUK içeren örnekten elde edilmiştir. Örneklerin büyük kısmı referans örneğinden daha düşük ultrasonik ses geçiş hızı değeri verirken %30 AEUK ve %10 KA içeren örnekler referanstan yüksek değerler vermiştir. Bu değerler sırasıyla 2,21 ve 2,22 km/s'dir.

Bir örneğe ultrasonik ses dalgası gönderildiğinde, bu ses dalgası örneğin yapısında bulunan bir hava dolu boşluk veya çatlak ile karşılaştığında, ses dalgası bu kusurun dışına doğru itilir böylece boşluklu bir ortamda ses dalgasının ilerleme hızı daha yavaş olur (Concu and Trulli, 2018). Az miktarda AEUK kullanımı geçiş hızını düşürürken, miktarın artırılması geçiş hızını yükseltmiştir. AEUK'nın bir miktar puzolanik etki gösterdiği düşünülmektedir. Dolayısıyla puzolanik reaksiyonlar sebebiyle ekstra hidrasyon ürünleri meydana geldiği ve boşluk yapısının giderek azaldığı düşünülebilir. ŞF kullanımı ile ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinde ciddi bir değişim gözlenmemiştir. KA kullanımının artması ise ultrasonik ses geçiş hızı değerlerini düşürmüştür. Bulut, yaptığı çalışmada 91 günlük perlit içeren kireç

harçlarına ultrasonik ses geçiş hızı testi uygulamış ve oda sıcaklığında kürlenmiş örneklerde 2,83 km/s, 55 °C'de kürlenmiş örneklerde ise 2,03 km/s değerlerini elde etmiştir (Bulut, 2007). Mavi, 270 günlük kireç harçlarında 1,54 km/s değeri elde ederken, yüksek oranda doğal puzolan katkılı kireç harçlarından ise 1,52 km/s değerini elde etmiştir (Mavi, 2000).

3.5. Görünür Porozite

Örneklerin görünür porozite değerleri Şekil 7.'de verildiği gibidir.



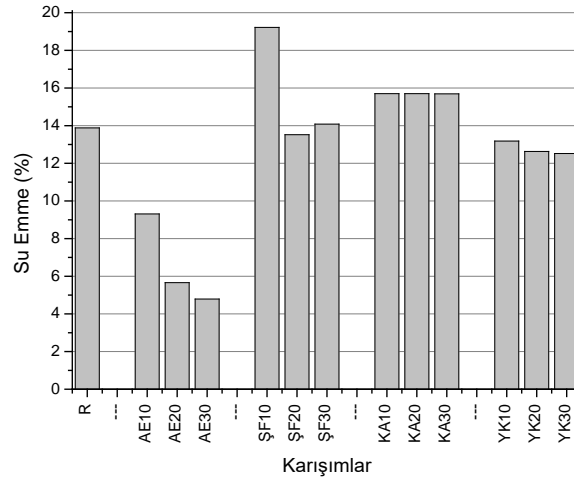
Şekil 7. Görünür porozite sonuçları

Örneklerin görünür porozite değerleri %8,88 - %30,52 arasında değişmektedir. En yüksek porozite değeri %10 oranında ŞF kullanılan örnekten elde edilirken, en düşük porozite değeri ise %30 oranında AEUK kullanılan örnekten elde edilmiştir. Referans örneğinin porozite değeri ise %24,13 olarak ölçülmüştür. AEUK kullanımı ile referans örneğinden belirgin şekilde düşük porozite değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda AEUK oranının artmasıyla değerler azalmıştır. Bu durum AEUK'nın puzolanik özellik göstermesi ve meydana gelen reaksiyon ürünleri ile boşlukları doldurması ile açıklanabilir. ŞF kullanımı %10 oranında porozite değerini yükseltirken, %20 ve %30 oranlarında referansa yakın değerler vermiştir. KA kullanımı ile porozite değeri hafifçe referansın üzerine çıkmış ancak kendi içerisinde çok büyük bir değişiklik göstermemiştir. YK kullanımı porozite değerini bir miktar azaltmış ancak YK miktarının değişiminin büyük bir değişiklik meydana getirmediği görülmüştür. Porozite değerleri ile basınç dayanımı değerlerinin eğilimlerinde bir benzerlik görülmekle birlikte ultrasonik ses geçiş hızı ile aynı derecede kuvvetli bir ilişki görülememiştir. Görhan, ürettiği kireç-uçucu kül harçlarında yaklaşık %46-47 porozite olduğunu ifade etmiştir (Görhan, 2006). Bulut ise ürettiği perlitli kireç harçlarında %18 porozite olduğunu gözlemlemiştir (Bulut, 2007). Vimmrova, alçı-kireç-metakaolin harçlarında en düşük %50,3 porozite değerine ulaşmıştır (Vimmrová et al., 2014). Demir ve Başpınar ise ürettikleri uçucu kül-alçı-kireç üçlü karışımında %55,8 porozite olduğunu belirtmişlerdir (Demir and Baspinar, 2008).

3.6. Su Emme

Örneklerin su emme değerleri Şekil 8.'de verildiği gibidir. Örneklerin atmosferik basınç altındaki su emme değerleri %4,79 - %19,22 arasında değişmektedir. Sonuçlar görünür porozite sonuçları ile iyi şekilde örtüşmektedir. En düşük su emme değeri %30 AEUK içeren örneklerden elde edilirken, en yüksek su emme değeri %10 ŞF içeren örnekten elde edilmiştir.

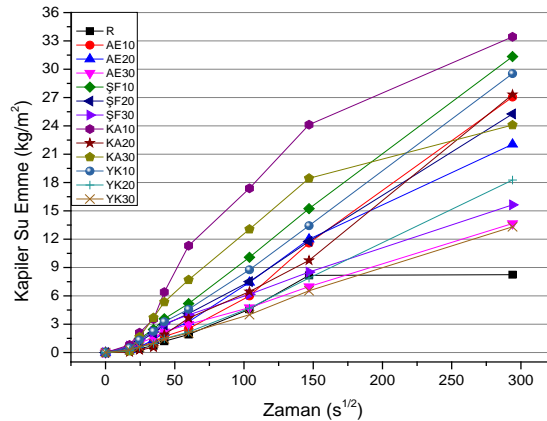
Referans örneğinin su emme değeri ise %13,88 olarak tespit edilmiştir. Mavi, ürettiği kireç harcında %12,3 su emme tespit ederken, puzolan içeren kireç harçlarında bu değer %11,7- %11,8 olduğunu görmüştür (Mavi, 2000).



Şekil 8. Su emme sonuçları

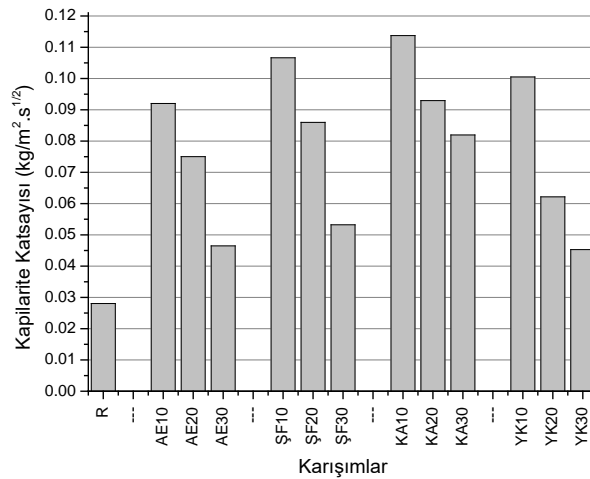
3.7. Kapiler Su Emme

Kapiler su emme testinde zamana bağlı kapiler su emme miktarları Şekil 9.'da gösterilmiştir. 24 saatlik süre sonunda elde edilen kapilarite katsayılarının karşılaştırması ise Şekil 10'da gösterildiği gibidir.



Şekil 9. Kapiler su emme miktarının zamanla değişimi

Örneklerin 24 saatlik kapilarite katsayıları $0,028 - 0,114 \text{ kg/m.s}^{1/2}$ arasında değişmektedir. En yüksek kapilarite katsayısı KA10 örneğinden elde edilmiştir. En düşük kapilarite katsayısı ise referans örneğinden elde edilmiştir. KA10 örneği 24 saatlik süre sonunda kapiler yolla $33,42 \text{ kg/m}^2$ su emmişken, AE30 örneği $8,24 \text{ kg/m}^2$ su emmiştir. Bütün oranlarda atık kullanımı kapilariteyi artırmıştır. Bu durum atık kullanımının bünyede referans örneğine göre daha yüksek oranda kapiler boşluk ağı meydana getirdiğini ifade etmektedir. AEUK, ŞF ve YK içeren örneklerde aynı orana denk gelen karışımlar arasında çok ciddi kapiler su emme farklılıkları bulunmamaktadır. KA içeren örnekler diğer gruplara göre bir miktar daha yüksek kapiler su emme göstermiştir. Bütün atık grupları için atık miktarının artışının kapilarite katsayısında bir düşüş meydana getirdiği görülmektedir.



Şekil 10. 24 saatlik kapiler su emme sonunda örneklerin kapilarite katsayıları

4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Birim ağırlık değerleri kullanılan malzemelerin yoğunlukları ile ilişkilendirilebilir. AE20 ve AE30 örneklerinin birim ağırlık değerleri Referans numunesinden daha yüksek sonuçlar vermiştir. En düşük birim ağırlık değerini ŞF10 numunesi vermiştir.
- Basınç dayanımı değerleri 6,95 – 18,32 MPa arasındadır. Bütün örneklerin basınç dayanım değerleri referans örneğinden daha düşük olmuştur. En düşük basınç dayanımı veren numune AE10 örneği olurken, katkılı örnekler arasında en yüksek değer AE30 örneğinden elde edilmiştir. Bu durumun AEUK'nın puzolanik etkisi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.
- Eğilme dayanımı değerleri 1,39 – 6,55 MPa arasındadır. En düşük eğilme dayanım değeri KA30 örneğinden elde edilirken, en yüksek değer AE30 örneğinden elde edilmiştir.
- Ultrasonik ses geçiş hızı Değerleri 1,75 – 2,22 km/s değerleri arasındadır. En yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri veren numuneler KA10 ve AE30, olurken, en düşük ultrasonik ses geçiş hızı değeri veren numune ise AE10'dur.
- Görünür porozite değerleri %8,88 - %30,52 arasındadır. En düşük görünür porozite değeri veren numune AE30 olurken, en yüksek görünür porozite değeri veren numune ŞF10 olmuştur.
- Su emme değerleri %4,79 - %19,22 arasındadır. En düşük su emme değeri veren numune, AE30 ve en yüksek su emme değeri veren numunenin ŞF10 olduğu görülmüştür.
- Örneklerin 24 saatlik kapilarite katsayıları 0,028 – 0,114 kg/m.s^{1/2} arasındadır. En düşük kapilarite katsayısı Referans numunesinden elde edilmiştir. Katkılı örnekler arasında düşük kapilarite katsayısı veren numune YK30 olmuştur. En yüksek kapilarite katsayısı veren numune ise KA10'dur.

Çalışma kapsamında üretilen örnekler basınç dayanımı gibi önemli özellikleri referans örneğinden düşük olsa da kabul edilebilir değerler elde edildiği söylenebilir. Yapılan çalışma farklı puzolanlar ile geliştirilerek atıkların bertaraf edilmesi ve çevresel kirliliğin önüne geçilebilmesi sağlanabilir. Böylece daha ekonomik ve çevre dostu bir malzeme üretilmesi sağlanabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Bartın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2021-FEN-CY-001).

KAYNAKLAR

Akpınar Borazan, A. , Kuru, D. , Sert, S.(2019). Atık Yumurta Kabuğu Katkısının Polyester Kompozit Malzeme Üretimine Etkisi, BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi 6. Cilt - Prof. Dr. Fuat Sezgin Bilim Yılı Özel Sayısı, 135-145.

Alkaya D.,(2009). Uçucu Küllerin Zemin İyileştirmesinde Kullanılmasının İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 5, No: 1, 61-72.

Arıoğlu N., Acun S. (2005). A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach, Building and Environment 41, 1223–1230.

Aubert J.E., Segui P., Husson B., Measson M., (2012). A method developed to quantify lime and gypsum consumed by mineral additions, Cement & Concrete Composites 34, 874–880.

Beydemir, K., (2007). Puzolan katkılı kireç harçlarının mekanik özellikleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bulut, Ü., (2007). Perlitin puzolanik aktivitesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Concu, G., Trulli, N., (2018). Concrete Defects Sizing by Means of Ultrasonic Velocity Maps. Buildings 8, 176. <https://doi.org/10.3390/buildings8120176>

Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi), (2017). Kitapçık B37, (Ek I – 24), Şeker Fabrikalarının Çevresel Etkileri.

Damar Tekin, S., (2014). Uçucu kül-kireç bağlayıcısının alçı ile aktivasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demir, I., Baspınar, M.S., (2008). Effect of silica fume and expanded perlite addition on the technical properties of the fly ash–lime–gypsum mixture. Constr. Build. Mater. 22, 1299–1304. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.01.011>

Eriç, M., (2014). Building Materials and Physics. Literature Bookstore, İstanbul.

Ersen, A., Gürdal, E., Güleç, A., Alkan, N., Ersan, H.Ö., Eruş, M., Çağırın, E., Baykır, M., Akıncı, G., (2016). Geleneksel Harçlar ve Koruma Harçları. Restorasyon ve Konserv. Çalışmaları Derg. 36–50.

Görhan, G., (2006). Hafif yapı blokları üretiminde uçucu külün kireç ve çimento ile birlikte kullanımının araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mavi, Ö., (2000). Kireç harç ve sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Morsy, M.S., Alsayed, S.H., Salloum, Y.A., (2012). Development of eco-friendly binder using metakaolin-fly ash-lime-anhydrous gypsum. *Constr. Build. Mater.* 35, 772–777. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.142>

Potgieter, J.H., Potgieter, S.S., De Waal, D., (2003). An empirical study of factors influencing lime slaking Part II: Lime constituents and water composition, *Water SA* 29, 157–160. <https://doi.org/10.4314/wsa.v29i2.4850>

Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, B., Yeğınobalı, A., (2009), Türkiye’deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Tçmb / Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.

Vimmrová, A., Keppert, M., Michalko, O., Černý, R., (2014). Calcined gypsum-lime-metakaolin binders: Design of optimal composition. *Cem. Concr. Compos.* 52, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.05.011>

**STRENX 1100 YAPI ÇELİĞİNİN MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
KOŞULLARINDA FREZELENMESİNDE OLUŞAN TALAŞLARIN ANALİZİ**
CHIP ANALYSIS DURING MILLING OF STRENX 1100 CONSTRUCTION STEEL
UNDER MINIMUM QUANTITY LUBRICATION CONDITIONS

Mustafa KUNTOĞLU

Arş. Gör. Dr., Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-7291-9468

(Sorumlu Yazar)

ÖZET

Strenx 1100 yapı çeliği, sahip olduğu çekme ve akma mukavemeti gibi benzersiz mekanik özellikler sayesinde ağır araçlar, gemi mühendisliği ve vinç gibi yük taşıma uygulamalarının içinde bulunduğu birçok sektörde yaygın olarak tercih edilmektedir. Strenx 1100, geniş kapsamlı uygulama alanı olmasına karşın, yüksek mukavemetli olması dolayısı ile işlenmesi zor malzemeler grubunda yer almaktadır. Günümüzde, sert malzemeler endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bununla birlikte sert malzemeler, kesme esnasında yüksek kesme kuvvetlerine ihtiyaç duyulması, düşük yüzey kalitesi meydana gelmesi ve takım ömrünü kısıtlaması sebebiyle işlenebilirliği zor olarak kabul edilmektedir. Bu sebeple, kesme bölgesindeki sıcaklıkları azaltmak ve kesme işlemini kolaylaştırmak için minimum miktarda yağlama (MMY) sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler bir püskürtücü vasıtasıyla kesme sıvısını kesme bölgesine hava ile birlikte ileterek gereğinden fazla sıvı tüketimini önleyen ve ayrıca bu kimyasalların meydana getirdiği çevresel etkileri de en aza indirmeyi amaçlayan bir teknolojidir. Klasik yağlama sistemlerinin aksine, yeterli miktarda sıvı pulverize halde kesme bölgesine gönderilirken, kesici takım ve iş parçası arasındaki sürtünme katsayısının en aza indirilmesi hedeflenir. Talaş kaldırma esnasında oluşan talaşlar ise kesme mekanizması ve kesme parametrelerinin uygunluğu hakkında önemli bir bilgi kaynağı olmaktadır. Bu bilgilerin ışığında, bu çalışma kapsamında Strenx 1100 yapı çeliğinin MMY koşullarında frezelenmesi işleminde meydana gelen talaşların analizi yapılmıştır. Deneysel kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği 3'er seviyeli olarak belirlenmiş, Taguchi deneysel tasarımı kullanılarak L₉ ortogonal dizisine göre fiziksel testler yapılmıştır. Deneysel sonuçlarda oluşan talaşlar toplanarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, istikrarlı bir talaş üretiminde talaş kaldırma oranının oldukça etkili olduğu görülmüştür. Talaşların kendi kendine kırılması arzu edilen bir sonuç olduğundan, kesici takıma ya da iş parçasına çarpma sonucunda meydana gelebilecek talaş kırılmaları düşük yüzey kalitesi ve aşırı kesici takım aşınmasına sebep olabilmektedir. Talaş kaldırma oranı arttığında talaşlarda testere dişi yapının oluştuğu ve talaş şeklinin istikrarsız olduğu görülmektedir. Yapılan deneysel çalışmanın, söz konusu malzemenin endüstriyel uygulamaları için bir rehber olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Strenx 1100 Yapı Çeliği, Minimum Miktarda Yağlama, Frezeleme, Talaş Analizi

ABSTRACT

Thanks to its unique mechanical properties such as tensile and yield strength, Strenx 1100 structural steel is widely preferred in many industries including load-carrying applications such as heavy vehicles, ship engineering, and cranes. Despite Strenx 1100 has a wide range of

applications, it is in the group of difficult-to-machine materials due to its high strength property. Today, hard materials are frequently preferred in industrial applications. However, hard materials are considered difficult to machine owing to the need for high cutting forces during cutting, low surface quality and limitation of tool life. For this reason, minimum quantity lubrication (MQL) systems are used to reduce the temperatures in the cutting zone and facilitate the cutting process. These systems are a technology that prevents excessive fluid consumption by transmitting the coolant to the cutting zone with air through a sprayer and also aims to minimize the environmental effects caused by these chemicals. Contrary to conventional lubrication systems, it is aimed to minimize the friction coefficient between the cutting tool and the workpiece while a sufficient amount of fluid is sent to the cutting zone in pulverized form. Chips formed during chip removal are an important source of information about the cutting mechanism and the suitability of cutting parameters. In the light of this information, the analysis of the chips generated during the milling of Strenx 1100 structural steel under MQL conditions was carried out within the scope of this study. In the experiments, cutting speed, feed and depth of cut were determined in 3 levels, and physical tests were performed according to L₉ orthogonal array using Taguchi experimental design. The chips formed as a result of the experiments were collected and analyzed. According to the results, it has been seen that the material removal rate is quite effective in a stable chip production. Since the chips break by themselves is a desirable result, chip breakages that may occur as a result of crushing the cutting tool or the workpiece can cause low surface quality and excessive cutting tool wear. When the metal removal rate increases, it is observed that the saw tooth structure is formed in the chips and the chip shape is unstable. It is thought that the experimental study will be a guide for the industrial applications for the handled material.

Keywords: Strenx 1100 Structural Steel, Minimum Quantity Lubrication Yağlama, Milling, Chip Analysis

1. GİRİŞ

Yapısal çelikler kullanım alanları gereği hafif ve güçlü özelliklere sahip malzemeler olarak imal edilirler. Özellikle taşımacılık ile ilgili alanlarda büyük parçaların elde edilmesi için bu malzemelerden üretilmiş sacların kaynakla birleştirilmesi gerektiğinden, kaynaklanabilme kabiliyetlerinin yüksek olması beklenir. Kaynak işleminin gerçekleştirilebilmesi için bu malzemelere kaynak ağzı açılması gerektiğinden ilave talaşlı imalat işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Strenx 1100 sahip olduğu akma ve çekme mukavemeti özellikleri ile yapısal çelikler arasında önemli bir yere sahiptir. Strenx 1100, tipik olarak yük taşıma uygulamalarını içerisinde barındıran gemi mühendisliği ve vinç sektörü gibi alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir [1, 2].

Kullanım alanı oldukça geniş ve sahip olduğu özellikler bakımından önemli fırsatlar sunmasına karşın, içerdiği elementler sebebiyle işlenmesi zor malzemeler sınıfında kabul edilebilir. Sert malzemelerin işlenmesi esnasında yüksek kesme kuvvetleri gerektirmesi, buna bağlı olarak takım ve iş parçası arasında yüksek sürtünme kuvveti meydana gelmesi yüksek kesme sıcaklıklarına sebep olmaktadır [3-5]. Bunun sonucunda kesici takım ömrü kısıtlanmakta ve buna bağlı olarak düşük yüzey kalitesi ortaya çıkmaktadır. Bu gibi zorluklarla başa çıkmak için, son yıllarda ortaya atılan önemli teknolojilerden birisi minimum miktarda yağlamadır (MMY).

MMY, geleneksel soğutma/yağlama metodunun aksine akışkan kesme bölgesine yüksek debili olarak değil, basınçlı hava yardımı ile püskürterek gönderme prensibine dayalıdır. Bu şekilde gereksiz yağlayıcı kullanımından kaçınılmış olmakla kalmayıp, bu sıvıların yarattığı çevresel etkiler de en aza indirilmiş olur. Geçmişte, geleneksel yağlama sistemleri, MMY

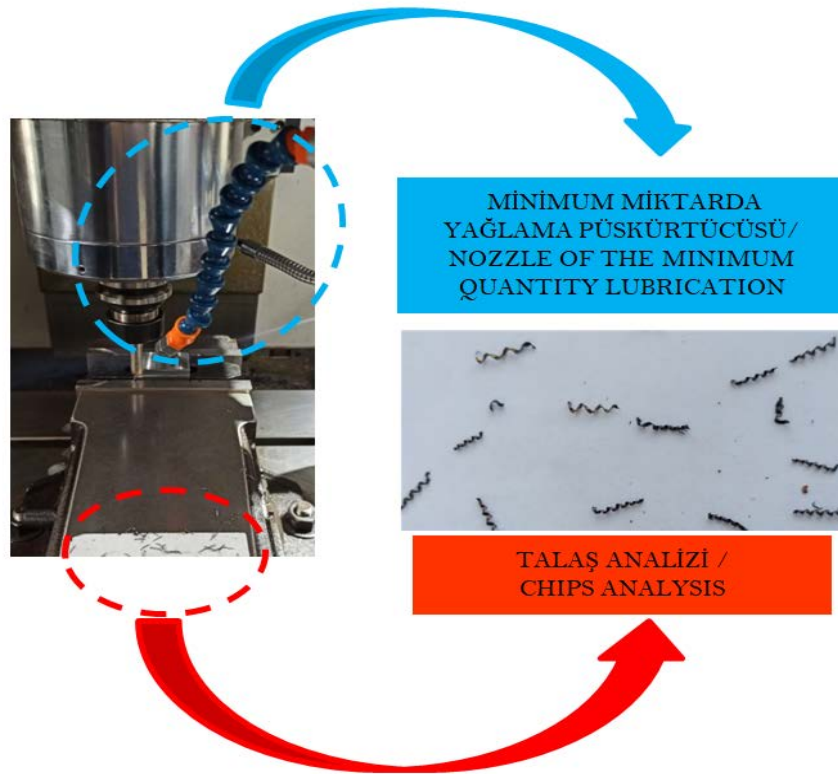
sistemleri ve kuru işleme koşulları çeşitli malzemeler üzerinde kıyaslanmış ve MMY'nin üstünlüğü ortaya konulmuştur [6-9].

Talaşlı imalatta pek çok girdi ve cevap parametresi bulunmaktadır. Girdi parametreleri kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, soğutma/yağlama koşulları, kesici takım malzemesi ve geometrisi, iş parçası özellikleri ve malzemesi olarak sayılabilir. Bunun yanında cevap parametreleri arasında kesme kuvvetleri, kesme sıcaklıkları, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, tırlama titreşimleri ve talaşlar örnek olarak gösterilebilir [10-12]. Talaş şekli, bir talaşlı imalat işleminde talaş kaldırma mekanizması, diğer cevap parametreleri ve işleme parametreleriyle ilgili oldukça önemli ipuçları vermektedir.

Bu çalışmada, Strenx 1100 yapı çeliğinin MMY şartlarında frezelenmesi esnasında oluşan talaşlar analiz edilmiştir. Deneylerde kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği üç farklı değerde seçilmiştir. Daha önce bu malzemenin işlenebilirliği üzerine açık literatürde sadece bir adet çalışma bulunması sebebiyle, yapılan çalışmanın endüstriye önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Deneyler bir CNC freze tezgâhında (DAHLIL) gerçekleştirilmiştir. APXT 1604 PDSR-MM TIN (Korloy) kodlu kesici uçlar kullanılmıştır. Strenx 1100 çeliği 32 HRC sertlikte olup, 100 x 100 x 40 mm ölçülerindedir. Üç kesme hızı (75-150-225 m/dak), ilerleme (0.075-0.15-0.225 mm/dev) ve talaş derinliği (0.25-0.5-0.75 mm) değerleri kullanılmış olup, Taguchi tasarımına dayalı ortogonal diziye dayalı L₉ serisinden yararlanılmıştır. MMY sistemi 4 bar basınçta, 0.1 s yağlama süresinde ve 0.0012 ml miktarda yağ püskürterek çalışmaktadır. Şekil 1'de tezgâhın kesme bölgesinden bir kesit ile birlikte, talaşların bir örneği, MMY püskürtücüsü gösterilmiştir. Tablo 1'de deneysel plan ve kesme parametreleri gösterilmiştir.



Şekil 1. Tezgâhın bir kesiti, MMY püskürtücüsü ve toplanan talaşlar

Tablo 1. Deneysel plan ve kesme parametreleri

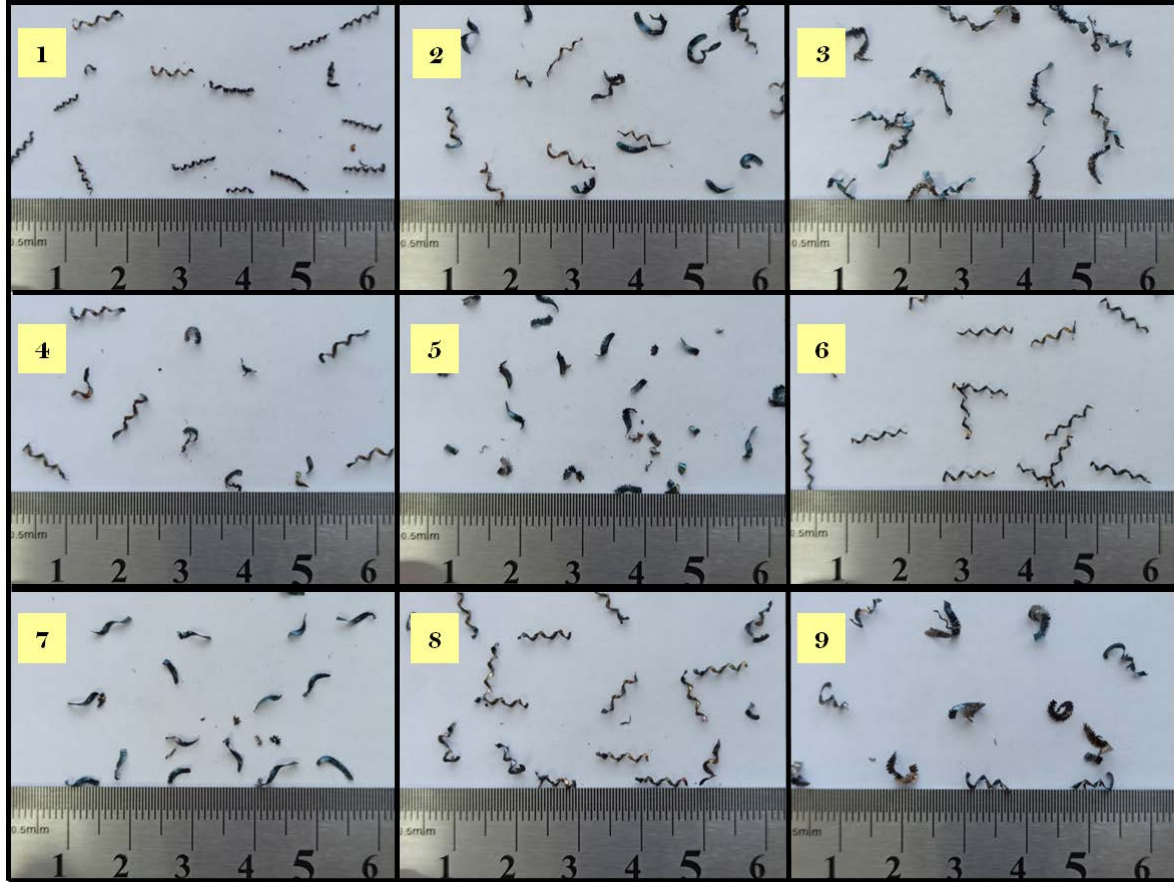
DENEY NUMARASI	KESME HIZI (m/dk)	İLERLEME (mm/dev)	TALAŞ DERİNLİĞİ (mm)
1	75	0.075	0.25
2	75	0.15	0.5
3	75	0.225	0.75
4	150	0.075	0.5
5	150	0.15	0.75
6	150	0.225	0.25
7	225	0.075	0.75
8	225	0.15	0.25
9	225	0.225	0.5

3. SONUÇLAR

Talaşlı imalatta talaş oluşumu işlemin başlangıcında tayin edilen kesme koşullarının sürdürülebilmesi için oldukça önemli bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Çıkan talaşların şekli ve yapısı işlemin gerçekleştirildiği kesme parametrelerinin doğruluğu hakkında önemli bilgi kaynağı olmaktadır. Bozulmuş yapıdaki talaşlar kesici takım ve iş parçası temas şartlarını etkileyerek takımın ömrünü erken tamamlamasına yol açabilir, ileri safhalarda iş parçası yüzeyinden malzemenin kesilerek değil, kazınarak ya da sıyrılarak ayrılmasına neden olabilir. Esasen, talaşların belirli bir uzunluğa erişmeden kendi kendine kırılması istenir. Aksi halde talaş, kesici takıma ya da iş parçasına çarparak kırılabilir ve bu durumda kesme geometrisi olumsuz etkilenebilir. Talaş çarpması esnasında bir sonraki talaşın malzemenin ayrılma şeklini etkileyebilir ve ardışık olarak düzensiz talaş oluşumuna sebebiyet verebilir. Tüm bu etkenler nihayetinde bozulmuş ve düşük kaliteli bir yüzey oluşmasına neden olabilir. Talaş oluşturmanın temelinde kesme bölgesinde meydana gelen yüksek sıcaklıkların azaltılması için çıkan talaşı bir an evvel ortamdan uzaklaştırarak ısının büyük bölümünü kolayca ortadan kaldırmak yatar. Bu sayede iş parçası ve kesici takım aşırı sıcaklıklardan ve buna bağlı malzeme deformasyonu ve kalıntı gerilmelerden uzak durmuş olur. Tüm bu sebeplerle talaş analizi ve sınıflandırması en iyi işlenebilirliğe gidilen yolda en uygun şartların belirlenmesi açısından hayati öneme sahiptir.

Şekil 2’de deneylerde elde edilen talaşlar gösterilmiştir. Kesme parametrelerinin talaş şekli üzerinde ayırt edici bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte, talaş kaldırma oranları hesaplandığında yüksek talaş kaldırma oranına sahip deneylerde (3, 5, 7, 9) dişli yapıya sahip talaşların oluştuğu (3, 9) görülmüştür. Bu durum talaş oluşumu esnasında malzemenin sıyrılma olduğunu göstermektedir. Diğer yandan talaş şeklinin değiştiği ve düzensiz şekilli talaş oluştuğu (5, 7, 9) görülmektedir. Bazı deneylerde (5, 7) çok kısa şekilli talaşların oluştuğu ve bu talaşların malzemenin ayrılma esnasında takıma ya da iş parçasına çarparak meydana geldiği düşünülmektedir. Orta miktarda talaş kaldırma oranına sahip deneylerde ise (2, 4) düzensiz talaş oluşumu gözlenmiştir. Bunların dışındaki deneylerde (1, 6, 8) talaş kaldırma oranına bağlı olarak düzenli ve spiral şekilli talaşların oluştuğu görülmektedir. Frezeleme, kesintili kesme işlemi olduğundan kesici takımın iş parçasına ilk ve son teması arasında geçen sürede bu talaşların oluştuğu tahmin edilebilir. Buradan hareketle talaşların kendi kendine kırıldığı sonucuna varılabilir.

İşlenen malzemenin oldukça sert olması sebebiyle yüksek talaş kaldırma oranlarında kesici takımın malzemeyi kesmekte zorlanması ve bu durumun talaş şekline yansıdığı görülmektedir. MMY destekli işlemenin oluşan talaşların genel yapısını olumlu yönde etkilediği söylenebilir.



Şekil 2. 9 deneyde toplanan talaşlar

4. TARTIŞMA

- MMY sistemi yardımı ile yüksek sertlikte bir malzeme olan Strenx 1100 çeliğinin geniş bir işleme aralığında kabul edilebilir düzeyde talaş oluşumuna imkân verdiği görülmüştür.
- Talaş kaldırma oranı ile talaş tipi arasında bir ilişki olduğu, belirli bir talaş kaldırma oranından sonra bir deney içerisinde standart şekilde talaş oluşmadığı gözlenmiştir. Düşük talaş kaldırma oranlarında ise standart talaş oluştuğu görülmüştür.
- Sert malzemelerin işlenmesinde talaş kaldırma oranının etkili bir parametre olduğu gözlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

[1] A. Kurc-Lisiecka, J. Piwnik, A. Lisiecki, Laser welding of new grade of advanced high strength steel STRENX 1100 MC, Archives of Metallurgy and Materials, 62 (2017).

- [2] SSAB,
<https://www.ssab.com.tr/api/sitecore/Datasheet/GetDocument?productId=6A0A9E9AF58C4AA2A29FC15CA0CE2590&language=en>, 2021.
- [3] A. Das, O. Pradhan, S.K. Patel, S.R. Das, B.B. Biswal, Performance appraisal of various nanofluids during hard machining of AISI 4340 steel, *Journal of Manufacturing Processes*, 46 (2019) 248-270.
- [4] J.P. Davim, *Machining of hard materials*, Springer Science & Business Media, 2011.
- [5] A.P. Kene, S.K. Choudhury, Analytical modeling of tool health monitoring system using multiple sensor data fusion approach in hard machining, *Measurement*, 145 (2019) 118-129.
- [6] W. Khaliq, C. Zhang, M. Jamil, A.M. Khan, Tool wear, surface quality, and residual stresses analysis of micro-machined additive manufactured Ti-6Al-4V under dry and MQL conditions, *Tribology International*, 151 (2020) 106408.
- [7] K.K. Joshi, An experimental investigations in turning of Incoloy 800 in dry, MQL and flood cooling conditions, *Procedia Manufacturing*, 20 (2018) 350-357.
- [8] Y. Kaynak, T. Lu, I. Jawahir, Cryogenic machining-induced surface integrity: a review and comparison with dry, MQL, and flood-cooled machining, *Machining Science and Technology*, 18 (2014) 149-198.
- [9] N. Khanna, P. Shah, Comparative analysis of dry, flood, MQL and cryogenic CO₂ techniques during the machining of 15-5-PH SS alloy, *Tribology International*, 146 (2020) 106196.
- [10] M. Kuntoğlu, A. Aslan, D.Y. Pimenov, Ü.A. Usca, E. Salur, M.K. Gupta, T. Mikolajczyk, K. Giasin, W. Kapłonek, S. Sharma, A Review of Indirect Tool Condition Monitoring Systems and Decision-Making Methods in Turning: Critical Analysis and Trends, *Sensors*, 21 (2021) 108.
- [11] E. Şap, Ü.A. Usca, M.K. Gupta, M. Kuntoğlu, M. Sarıkaya, D.Y. Pimenov, M. Mia, Parametric optimization for improving the machining process of cu/mo-sicp composites produced by powder metallurgy, *Materials*, 14 (2021) 1921.
- [12] E. Şap, U.A. Usca, M.K. Gupta, M. Kuntoğlu, Tool wear and machinability investigations in dry turning of Cu/Mo-SiC p hybrid composites, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114 (2021) 379-396.

İNŞAAT İŞYERLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ
OCCUPATIONAL HEALTH AND IN CONSTRUCTION WORKPLACES
SECURITY

Furkan ÇALIŞKAN

Yüksek Lisans Öğrencisi, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ORCID NO: 0000-0002-3755-8839

Dilek ÖZTAŞ

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı A.D.

ORCID NO: 0000-0002-8687-7238

Abdullah Yıldızbaşı

Dr. Öğt. Üyesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ORCID NO: 0000-0001-8104-3392

Ergün ERASLAN

Prof. Dr. Öğt. Üyesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ORCID NO: 0000-0002-5667-0391

ÖZET

Son yıllarda uluslararası ve ulusal düzeyde alınan önlemlere rağmen, birçok çalışan iş yerlerinde çeşitli tehlikelere maruz kalmaktadır. İnşaat sektörü, iş kazası riski en yüksek olan iş kollarından biri olarak kabul edilir. Kaza, beklenilmeyen ve tahmin edilemeyen bir olaydır ve sonucunda kişinin/kişilerin yaralanması veya mala/teçhizata zarar gelmesi ile sonuçlanır. İnşaat sektöründe yaşanan iş kazaları; ihmal, yeterli tedbirlerin alınmaması veya tedbirsizlik, dikkatsizlik veya yapılan işte gereken yeterliliğin eksik olması sonucu, istemeden ve aniden meydana gelir. İnşaat sektöründe yaşanan iş kazaları maddi ve manevi kayıplara yol açtığı gibi çok ciddi ruhsal ve bedensel zarara neden olabilir. Meydana gelen iş kazalarının nedenleri araştırılmış, alınacak önlemler hakkında bilgiler verilmiştir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili ciddi çalışma ve kampanyalara rağmen, istatistiki veriler, her yıl çok sayıda işçinin işgöremez hale geldiğini veya hayatını kaybettiğini göstermektedir. İnşaat sektörünün işçi sağlığı ve iş güvenliği konusundaki performansı diğer sektörlerle nazaran daha da düşüktür. Sosyal Güvenlik Kurumu verilerinde, inşaat sektöründe kazaların, tüm kazaların %23'nü oluşturduğu gözlenmektedir. İnşaat sektöründe, işle ilgili hastalık, yaralanma, işgöremezlik ve ölümlerin en aza indirilebileceği ve önlenilebileceği bir gerçektir. Ayrıca, işten ve işçiden kaynaklanan sebeplerin yanı sıra inşaat projelerinde işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili ciddi bir yönetim becerisi zaaflarının da olduğu bilinmektedir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili olarak, inşaat şantiyelerindeki geleneksel sorumlular, müteahhitler ve onların şantiyedeki proje ve üretim yöneticileridir. Ancak, şantiyelerdeki bu yöneticiler çoğu kez işçi sağlığı ve iş güvenliği ile ilgili hukuksal ve mevzuatla ilgili sorumluluklarının farkında olmadıkları ve gerekli bilgilere de sahip olmadıkları bilinmektedir. Bu çalışma, inşaat sektörü şantiyelerinde işçi sağlığı ve iş güvenliği yönetiminin ana belirteçlerini bir literatür incelemesi sonucu olarak ortaya koymayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat Sektörü, İş Sağlığı, İş Güvenliği Önlemleri

ABSTRACT

Despite the measures taken at international and national levels in recent years, many employees are exposed to various dangers in their workplaces. The construction industry is considered to be one of the lines of business with the highest risk of occupational accidents. An accident is an unexpected and unpredictable event that results in injury to the person (s) or damage to property / equipment. Occupational accidents in the construction industry; It occurs unintentionally and suddenly as a result of negligence, failure to take adequate precautions or recklessness, carelessness or lack of competence in the work performed. Occupational accidents in the construction sector can lead to material and moral losses as well as serious mental and physical damage. The causes of occupational accidents were investigated and information was given about the measures to be taken. Despite serious studies and campaigns on occupational health and safety, statistical data show that many workers become incapacitated or die every year. The performance of the construction sector in terms of occupational health and safety is even lower than other sectors. In the Social Security Institution data, it is observed that accidents in the construction sector constitute 23% of all accidents. It is a fact that work-related illness, injury, incapacity and deaths can be minimized and prevented in the construction industry. In addition, it is known that there is a serious weakness in management skills related to worker health and occupational safety in construction projects, as well as reasons arising from work and workers. With regard to occupational health and safety, the traditional responsibilities at construction sites are the contractors and their project and production managers on the construction site. However, it is known that these managers at construction sites are often unaware of their legal and regulatory responsibilities regarding occupational health and safety and do not have the necessary information. This study aims to reveal the main indicators of occupational health and safety management in construction sector construction sites as a result of a literature review.

Keywords: Construction, Work Safety, Occupational Safety Precautions

1.GİRİŞ

İnşaat sektörü son yüzyılda gelişen teknoloji ile birlikte önemli değişiklikler geçirmiştir. Eskiden çok daha uzun zaman alan işler, makinaların ve özel inşaat malzemelerinin kullanılmaya başlaması ile birlikte çok daha kısa sürer olmuş ve insanoğlunun belki de bundan 150 yıl önce hayal bile edemeyeceği büyüklükte binalar, barajlar, havaalanları, gökdelenler ve sanayii tesisleri, kısa zaman dilimlerinde, yapılmaya başlanmıştır. Teknoloji de yaşanan gelişmeler elbette inşaat sektöründe kullanılan malzemelerin de çeşitlenmesine yol açmıştır. Isı izolasyonunun yapıldığı, depreme, rüzgara, fırtınalara karşı çok daha dayanıklı yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. İnşaat sektöründe ve inşaat sektörünün beslediği diğer yan sektörlerde pek çok insan çalışmaktadır. Bunların çok büyük bir kısmı vasıfsız sıradan işçilerdir; ancak vasıflı işçilerin sayısı da azımsanamayacak kadar çoktur. İnşaat işkolunun faaliyet alanları maden ocakları hariç olmak üzere, yerüstü veya yeraltında, su üstü veya su altında yapılan bina, set, baraj, yol, demiryolu, havai hat, tünel, metro, köprü, çelik yapı ve montajı, iskele, liman, gemi inşaatı, dalgakıran, kanalizasyon, lağım, kuyu, kanal, duvar ve benzeri inşaat, tamirat tadilat ve yıkım işlerini; toprak kazı, yarma ve doldurma işlerini; elektrik, sıhhi tesisat ve kalorifer tesisatı işlerini; dülgerlik, marangozluk, sıva, badana ve boya işlerini; bu işlerde kullanılan sabit ve hareketli makina ve tesislerin kullanılmasını kapsamaktadır.

2. İNŞAAT İŞYERLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

- Kazı
- Hafriyat
- İnşa
- Prefabrike elemanların montajı ve sökümü
- Değişirme veya donatma
- Tadilatlar
- Yenileme
- Tamir
- Sökme
- Yıkım
- Restorasyon
- Bakım, boyama ve temizleme
- Drenaj

2.1.Yapı İşleri: İnşa ve inşaat mühendisliği işlerinin yürütüldüğü iş koludur.

- Geçici işlerdir.
- Çalışmalar belirli sürelidir.
- Çalışma süreleri düzensizdir.
- 220
- Eğitimsiz ve vasıfsız işçiler çoktur.
- Çalışanlar sirkülasyonu çok fazladır.
- Üretim şekli ve kullanılan malzemeler çok çeşitlidir.
- Çalışma alanı genellikle geniş ve dağınıktır.
- Termal konfor şartları genelde olumsuzdur.

2.2.Yapı İşine Başlamadan Önce:

Yapı işi 30 günden fazla sürecek ve devamlı olarak en az 20 işçi çalışacak veya işin büyüklüğü 500 yevmiyeyi aşacak durumda ise; ilgili yönetmeliğin EK-III bölümünde belirtilen bilgileri içeren bildirim yazısı işyerinin bağlı bulunduğu Bölge Müdürlüğü'ne verilecektir.

2.3.Yapı İşlerinde Görevliler

2.3.1.Proje Sorumlusu

İşveren tarafından görevlendirilen ve işveren adına projenin hazırlanmasından ve uygulamanın kontrolünden sorumlu gerçek veya tüzel kişidir.

2.3.2.Hazırlık Koordinatörü

Projenin hazırlık aşamasında işveren veya proje sorumlusu tarafından sorumluluk verilen, işin teknik ve İSG ile ilgili görevleri yapan gerçek veya tüzel kişidir.

2.3.3.Uygulama Koordinatörü

Projenin uygulanması aşamasında işveren veya proje sorumlusu tarafından sorumluluk verilen ve aşağıdaki işleri yapan gerçek veya tüzel kişidir.

- İSG
- Teknik – Mimari uygulamalar
- İşverenler arasında koordinasyon

2.3.4.Yapı İş Defteri

İşveren, birinci sayfası Çalışma Bakanlığınca saptanacak örneğe uygun ve diğer sayfaları bir asıl ve bir suret olacak şekilde bir yapı iş defterini, işyerinde bulundurmaya yükümlüdür.

Bu defter işveren tarafından işyerinin bağlı bulunduğu bölge çalışma müdürlüğüne her sayfası mühürlenmek suretiyle onaylatılır.

Yapı iş defteri 4'üncü maddede belirtilen sorumlu kişi tarafından tutulur.

Yapı iş defterine bu Tüzüğün ilgili maddelerinde belirtilen hususlar ve gerekli diğer

bilgiler işlenir. Yapı iş defterinin, istenmesi hâlinde, işyerini teftiş ve kontrole yetkili memurlara gösterilmesi zorunludur. Yetkililer gerekli gördükleri tavsiyeleri bu defterlere yazabilirler.

3.SAĞLIK VE GÜVENLİK POLİTİKASI

İşyerinde sağlık ve güvenlikle ilgili idari taahhüt kritik önem taşır. İdari taahhüdün varlığının kanıtı yazılı bir sağlık güvenlik planıdır ve bu çeşit bir planın en önemli bileşeni sağlık ve güvenlik politikasıdır. Bu politikaya ek olarak politikayı ölçülebilir eylemlere dönüştüren hedefler planda yer almalıdır.

Bir güvenlik politikası, yüksek kalitede çalışma çevresi için idarenin taahhüdünün bildirimidir. Taahhüde vurgu yapmak için, şirketin en üst idarecisi tarafından imzalanmalıdır.

İyi yazılmış bir sağlık ve güvenlik politikası en azından aşağıdaki mesajları iletir;

- Şirket sağlıklı ve güvenli bir çalışma çevresi sağlamayı ve bu çeşit bir çalışma çevresinin yüksek önceliğe sahip olduğunu taahhüt eder.
- Tüm çalışanların sağlıklı ve güvenli hal ve tavır içinde çalışacağı beklenir.
- Sağlık ve güvenlik kuralları ve nizamnameleri uygulanır.

3.1.Sağlık ve Güvenlik Hedefleri

İdarenin taahhüdü genel ifadelerle sağlık ve güvenlik politikasını belirler. Sağlık ve güvenlik hedefleri bir sonraki adımdır ve taahhüdü daha belirli ve ölçülebilir ifadelerle tanımlar.

Bir şirket tarafından belirlenen herhangi bir hedef gibi, sağlık ve güvenlik hedefleri organizasyonu yarışmaya itici bir meydan okuyuş gibi yeterince azametli ama inanılır olması bakımından yeterince gerçekçi olmalıdır. Hedefler aşırı düşük tutulursa çaba harcamaya ve dikkat göstermeye değmeyecek hedefler olarak görülür. Hedefler çok yüksek tutulursa erişilmesi mümkün olmayan, bu yüzden inanılabilirliğe sahip olmayan boş vaat hedefleri olarak görülür. İnşaat şirketlerinin sağlık ve güvenlik planlarında yer alabilecek hedef çeşitlerine örnek olarak,

- Yıl boyunca sıfır ölümcül kaza
- İşle ilgili yaralanmalarda %25 azalma
- Kaza dolayısıyla zaman kaybında %40 azalma
- İşçilerin tazminat taleplerinde %30 azalma
- Eşya ve ekipman hasar masrafında %20 azalma
- Ramak kala kazalarda %25 azalma
- Çalışanların güvenlik eğitimlerine katılma oranını %100'e çıkarma verilebilir.

3.2.Görev ve Sorumluluklar

Güvenli bir çalışma ortamı sürdürmede herkesin bir görevi vardır. Kapsamlı bir sağlık güvenlik planının bu kısmı idarecilerin, denetçilerin, sağlık ve güvenlik uzmanlarının ve çalışanların sorumluluklarını ortaya koyar. Ayrıca her seviyede çalışanların sorumluluklarını yerine getirmek için nasıl sorumlu tutuldukları ve sorumluluklarını yerine getirmede başarısız olduklarında ne olacağı burada açıklanır.

3.2.1.İdarenin Sorumluluğu

- Sağlık ve güvenlikle ilgili şirketin taahhüdünü tesis etmek ve yürütmek
- Sağlık ve güvenlik politikası geliştirmek
- Hedefleri belirlemek
- Gerekli kaynakları sağlamak
- Olumlu örnekler sergilemek
- Organize etmek, yönetmek, kontrol etmek, değerlendirmek ve tüm sağlık ve güvenlik planını revize etmek

3.2.2.Denetçilerin Sorumluluğu

- Tüm ilgili kural ve nizamnamelere uyulması
- Güvenliğin diğer faktörlerin önüne konması
- Periyodik güvenlik toplantı ve münazaralarına katılmak
- Güvenlik eğitimlerine katılmak
- Kişisel koruyucu donanımları doğru kullanmak
- Kazaları ve ramak kala kazaları bir an önce rapor etmek

- Gündelik güvenlik işlerini yapmak
- Güvenliğe doğru olumlu tutumu sürdürmek
- Güvensiz davranışlarda bulunan işçiler olduğunda bunu dile getirmek

3.2.3.Çalışanların Sorumluluğu

- Tüm ilgili kural ve nizamnamelere uymak
- İdareciler, denetçiler ve güvenlik uzmanlarından gelen talimatları takip etmek
- Bir eylemin icrası esnasında şüpheye düştüklerinde açıklığa kavuşturmak için sorular sormak
- Tehlikeli şartlar olduğunda denetçi ve güvenlik uzmanının dikkatini çekmek
- Tüm kazaları ve ramak kala kazaları denetçi ve güvenlik uzmanına bildirmek
- Şirketin mallarına ve ekipmanlarına zarar geldiğinde denetçiye zararı bildirmek
- Gündelik güvenlik işlerini yapmak
- Güvenliğe doğru olumlu tutumu sürdürmek

3.2.4.Güvenlik Uzmanlarının Sorumluluğu

- Güvenlik denetimleri
- İşyeri teftişleri
- Tehlike analizi
- Kaza incelemesi
- Kayıt tutmak
- Bildirimde bulunmak
- Eğitim

4. GÜVENLİK VE SAĞLIK HEDEFLERİ

- Kalifiye bir güvenlik uzmanı istihdam etmek
- Şantiyede düzenli güvenlik incelemeleri yapmak
- Koruyucu donanımların kullanımını tatbik etmek
- Güvenlik prosedür ve kurallarını takip etmek
- Sürekli güvenlik eğitimi sağlamak
- Güvenlik kurallarını tatbik etmek ve uygun yaptırımları kullanmak

5. İŞ GÜVENLİĞİ UZMANI

- Potansiyel tehlikeler hakkında bilgili olmak
- Mevzuata uygunluğu sağlamak
- Düzenli güvenlik denetimleri yapmak

- Güvenlik prosedürlerini oluşturmak
- Düzenli güvenlik eğitimleri vermek
- Kayıt tutmak

6. ACİL DURUM PROSEDÜRÜ

- İletişim metodu belirlenmelidir, telefon, telsiz vs.
- Acil durum telefonları asılmalıdır.(polis, yangın, ilk yardım)
- Şantiye adresi bildirilmelidir.
- Şantiyedeki ilk yardım elemanları duyurulmalıdır.
- İlk yardım görevlileri atanmalıdır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İş kazalarının azaltılması için aşağıda bir takım öneriler anlatılmıştır. İş sağlığı ve güvenliği hizmetleri bütün iş yerlerini ve tüm çalışanları kapsamalıdır. İş yerlerinde kurulan İş Sağlığı ve Güvenliği birimleri göstermelik olmamalı, yasal olarak düzenlenip, yaptırım gücüne sahip olmalıdır, ayrıca özlük hakları yönünden işverene bağımlı olmamalıdır. Çalışan odaklı bir iş sahası meydana getirmek için tüm işçi ve işverenin, yetkili kurum ve kuruluşlarca iş güvenliği konusunda bilinçlendirilmesi çalışmaları yapılmalıdır. Kayıt dışı işçi çalıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Bu konuda gerekli merciler denetimlerini özenle yerine getirmelidir. Yaptığı işin bilincinde, iş sağlığı ve güvenliği konusunda bilgi sahibi işçiler çalıştırmak için belli aralıklarla meslek içi eğitimler verilmeli ve iş güvenliği konusunda çalışmalar yapılmalıdır. Sonuç olarak, inşaat sektörü yüksek oranda riskli bir çalışma grubu olup, bu riskleri mümkün olan en aza indirmek için devlet, işveren ve işçilere düşen bir takım görevler vardır. Devlet iş sağlığı ve güvenliği konularında iş sahalarını sık aralıklarla denetlemek ve aksi durumlarda caydırıcı yaptırımlar uygulamalıdır. İşveren ise, iş güvenliği konusunu sürekli gündemde tutarak, işçilerin güvenlik kurallarına uyup uymadığını, gerekli koruyucu materyalleri kullanıp kullanmadığını kontrol etmek, işçileri bu konuda bilinçlendirmek ve çalışma sahalarında iş güvenliği konusunda uzman kişiler çalıştırmak zorundadır. İşçilere gelince öncelikle kendi hayatlarını her şeyin üstünde tutup, iş güvenliği ile ilgili tüm kurallara hassasiyetle uymalıdır, kendine aşırı güven ve bana bir şey olmaz mantığı ile hareket etmemeli, her durumda dikkatli ve temkinli davranmalıdır. Bu konudaki yasal düzenlemeler teorik olarak Avrupa Birliği standartlarında olsa da uygulamada çıkan aksaklıklar giderilmelidir, sıkı denetimler, taviz verilmeyen tutum ve caydırıcı cezalarla sorunun üstesinden gelinmeye çalışılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/385536>
2. <https://www.isguvenligi.net/iskollari-ve-is-guvenligi/insaat-sektorunde-is-sagligi-ve-guvenligi/>
3. <http://www.ilkmak.com/dokuman/12.pdf>
4. https://ailevecalisma.gov.tr/medias/11978/2017_yap%C4%B1-i%C5%9Fyerlerinde-isg_press.pdf

MEVCUT YIĞMA BİR BİNANIN KOMBİNE YÜKLER ALTINDA DUVAR KESME PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF WALL SHEAR PERFORMANCE OF AN EXISTING MASONRY BUILDING UNDER COMBINED LOADS

Orhan DOĞAN

Doç. Dr., Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-4942-1725

(Sorumlu Yazar)

Orhan Gazi ODACIOĞLU

Arş. Gör., Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-6838-1183

Melek AKGÜL

Öğr. Gör., Munzur Üniversitesi Tunceli MYO, İnşaat Programı

ORCID NO: 0000-0001-8815-3762

Hale Nurefşan DOĞAN

Yüksek Lisans Öğrencisi, ODTÜ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID NO:0000-0001-6431-0700

ÖZET

Yığma duvarlar malzeme bakımından farklı dayanımlarda örgü harcı, sıva harcı ve tuğlalardan oluşması itibariyle anizotropik bir yapıya sahiptir. Yığma duvarlar, binanın kendi ağırlığından oluşan düşey ve depremde oluşan yatay doğrultuda etkiyen bileşke/kombine bir yüke maruz kalmaktadır. Yığma duvarların basınç dayanımını, örgü harcı tuğla oranlığına oranla çok ince olması nedeniyle genel olarak tuğlanın basınç dayanımı belirlerken, kesme dayanımını zayıf halka olan örgü harcının belirlediği görülmektedir. Yığma binalarda taşıyıcı sistem davranış kat sayısının $R=1$ olması nedeniyle duvarlara etkiyen diyagonal kombine yük duvarlarda diyagonal kesme çatlaklarına neden olmaktadır.

Yığma duvarların basınç dayanımını belirlemede, doğrudan tuğlanın basınç dayanımını veren derzlere dik yükleme yerine, derzlere 45 dereceyle etkiyen kombine yüklerin etki ettirilmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Bu yüzden laboratuvar ortamında farklı türde ve ebatlarda malzemelerle, farklı açılarda birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu çalışmaların mevcut bina üzerinde kombine yük etkisi altında duvar dayanımının bulmaya yönelik çalışma tarafında eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında mevcut bir binanın yığma duvarlarında boşluklar açarak, kombine yük etkisi altında duvar kesme performansının deneysel olarak belirlemek için 2 adet farklı yükleme deneyi yapılmış olup, daha önceki yapılmış laboratuvar deneyleri ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yığma Duvar, Harman Tuğlası, Basınç Dayanımı, Kesme Dayanımı, Diyagonal Kombine Yük

ABSTRACT

Masonry walls have an anisotropic structure as they consist of mortar, plaster and bricks with different strengths. Masonry walls are subjected to a diagonal/combined load which is the combination of the vertical load caused by the building's weight and the horizontal load caused by the earthquake. It is seen that the compressive strength of the masonry walls is determined by the compressive strength of the brick in general due to the fact that the masonry mortar is very thin compared to the thickness of the brick, while the shear strength is determined by the mortar, which is the weakest joint. Since the load-bearing system behavior coefficient is $R = 1$ for masonry buildings, the diagonal combined load acting on the walls causes diagonal shear cracks in the walls.

In determining the compressive strength of the masonry walls, instead of vertical loading directly on the mortar joints that give the compressive strength of the brick, it would be a more realistic approach to apply combined loads acting at 45 degrees to the mortar joints. For this reason, many studies have been carried out experimentally with different types and sizes of materials in different angles. However, there is a lack of these studies on the study side to find the wall strength under the effect of combined load on an existing building. Within the scope of this study, 2 different loading tests were carried out to determine the wall shear performance under the effect of combined load by opening gaps in the masonry walls of an existing building and the results obtained from the tests were compared with the previous laboratory tests results.

Keywords: Masonry, Clay Brick, Compressive Strength, Shear Strength, Diagonal Combined Load

1. GİRİŞ

Yığma yapılar, taşıyıcı sistemi tuğla ve doğal taşlar gibi farklı kargir malzemelerden yapılmış hem mimari hem de taşıyıcı özelliği olan düşey duvarlardan oluşan yapılardır [1, 2]. Bölgeye özgü, kolay temin edilen ve ekonomik olma özelliği taşıyan malzemelerin kullanımı gibi sebeplere bağlı olarak betonarme yapılara nazaran yığma yapılar daha köklü ve eski bir tarihe dayanmaktadır. Yığma binaları oluşturan yapı malzemelerinin basınç dayanımları yüksek olmasına rağmen çekme dayanımları düşüktür [3, 4]. Kullanılan malzeme bakımından incelendiklerinde, basınca çalışan elemanlar olarak tasarlandıkları için düşey yükleri taşıma kapasitesi bakımından daha yüksek olduğu, yatay doğrultudaki yüklere karşı kesme kapasitesinin nispeten düşük olduğu görülmektedir. Yığma duvarların homojen olmayan anizotropik yapısı ve maruz kaldığı kombine yükler nedeniyle kesme ve normal gerilme performanslarının belirlenmesini ve statik analizini karmaşık hale getirmektedir [5]. Yığma duvarların yatay derz düzlemi boyunca etkiyen yatay yüklere kesme dayanımı düşük olduğu için enerji yutma kapasiteleri de düşük olmaktadır. Bu yüzden deprem bölgelerinde inşa edilmiş olan yığma duvarların kesme dayanımı, bina davranışını belirleyen en önemli parametredir.

Binaya gelen yatay yüklerin duvarların rijitlikleri oranında dağılacağı ve bu yüklerin duvarda oluşan diyagonal basınç bloğu boyunca tek eksenli olarak aktarımı gerçekleşmektedir. Bu basınç bloğunun eğimi ve genişliği, duvarın boyutları, uygulanan yükler ve sınır koşullar tarafından belirlenmektedir [6]. Kombine yük etkisiyle oluşan normal ve kesme gerilmeleri altında yatay ve düşey derzin farklı deformasyonlar ve göçme tipleri göstermesi önemli rol oynamaktadır. Bu yüzden bir duvarın basınç dayanımının yalnızca harç kalınlığına ve tuğlanın dayanımına bağlı olarak tek eksenli yükleme yaparak belirlenmesinden yerine, yükleme eksenini açısını 45° değiştirerek oluşacak maksimum kayma gerilmesini de dikkate alınmalıdır. Duvarın performansını belirlemede daha güvenilir veri elde edilmesi adına, derzin ebat-kalitesinin dikkate alan tuğla ve harç arayüzeyine dik olmayan yükleme şekli önem kazanmaktadır [7, 8].

Literatürdeki yığma binalarda kombine yük altında çift eksenli olarak tasarlanmış duvarlar üzerinde yapılan araştırmalar incelendiğinde, örgü harcı kalitesinin kesme dayanımı ve sünekliğin belirlenmesinde etkin olduğu görülmektedir [7]. Ayrıca duvar dayanımının belirleyici unsurlarından biri olan derz kalınlığının artmasının, kombine yüklü duvar modellemesi çalışmasında duvar dayanımı yönünde olumsuz etki yaptığı saptanmıştır [8]. Oluşan çatlakların öncelikle derzlerin ara yüzlerinde olduğu belirlenmiş olup, [7, 9] maksimum kesme gerilmesinin olduğu açının diğer açışal yükleme kombinasyonlarıyla karşılaştırıldığında gevrek göçmenin olduğu durumlar tespit edilmiştir [10]. Tuğla büyüklüğüne ve örüm şekillerine bağlı olarak yatay ve düşey derzlerin yüzey alanının artması durumunun duvar dayanımının düşmesinde etkili olduğu vurgulanmaktadır [9, 10].

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde deneysel çalışmaları ve bunların nümerik/sonlu elemanlarla modellemeleri şeklinde olduğu gözlemlenmektedir. Yapılan deneysel çalışmaların laboratuvar ortamında olması ve mevcut bina üzerinde yapılmayışı, durumun gerçekliği yönünde eksiklik oluşturmaktadır. Bu eksikliğı gidermek üzere mevcut yığma bina üzerinde, maksimum kesme gerilmesinin oluşacağı açıda, tek eksen ve çift eksen yük olacak şekilde kombine yüklemeler yapılmıştır. Bu çalışmayla sıradan bir işçilikle yapılmış mevcut bir binanın duvarları üzerindedeneysel çalışmalar yapılarak, duvarda oluşan gerçek kesme gerilmelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Yapı Bilgisi

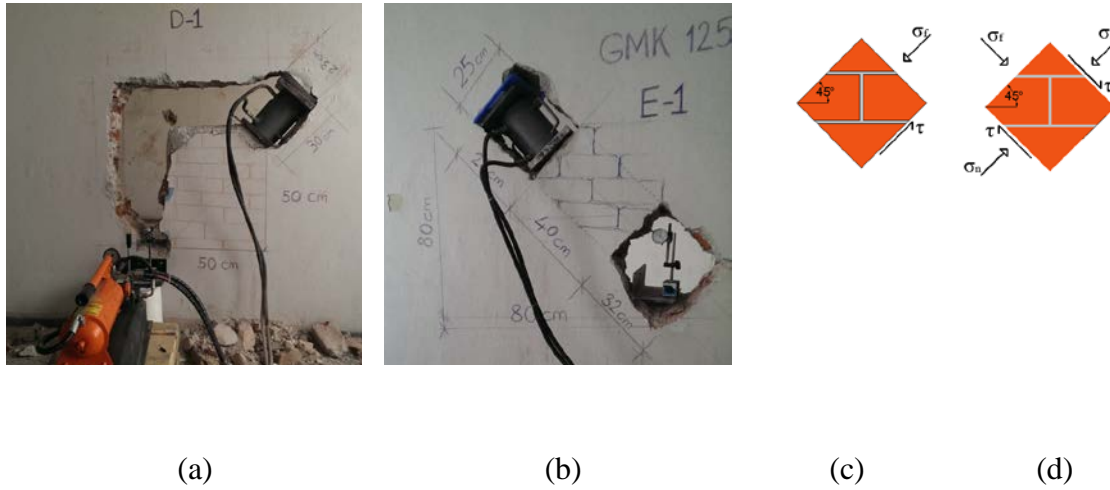
Mevcut bir yığma bina üzerinde diyagonal kombine yük altında maksimum kesme gerilmesinin bulunmasına yönelik yapılan bu çalışmanın yapıldığı bina 20. yy. ortalarında Ankara'nın Çankaya ilçesinde 5 katlı olarak inşa edildiği bilinmektedir. Binada yapılan incelemeler sonucunda, deneyin yapılmış olduğu 3 ve 4. katta çift sıra örgü şeklinde 215x102x65 mm boyutunda dolu harman tuğlası kullanılmış ve duvarın sıva dahil kalınlığı 27 cm olduğu, derz örgü harcı kalınlığı 1,5-2 cm ve duvar örtüsü sıva harcı kalınlığı 2-3 cm arasında olduğu görülmüştür.

2.2. Yöntem

Binanın duvarlarında delikler açmak suretiyle; duvarın ağırlığından kaynaklı düşey gerilmeleri ortadan kaldırılarak hazırlanan tek eksenli ve bina ağırlığından dolayı oluşan normal gerilmeleri dikkate alan çift eksenli kombine yüklerin etkidiği iki farklı deney düzeneği hazırlanmıştır.

Bina ağırlığıyla oluşacak normal gerilmelerin numuneye aktarılmadığı, yani Şekil 1(a)'da görüldüğü üzere numunenin üst bölgesi ve hareket yönünde boşlukla açılmak suretiyle tek taraflı olarak mesnetlenmiş 50x50 cm ebatlarında numune tasarlanmış ve tek eksenli 45 derece açıyla diyagonal kombine yük uygulanmıştır.

Bina ağırlığıyla oluşacak normal gerilmelerin düşey eksenli numuneye aktarıldığı, Şekil 1(b)'de görüldüğü üzere yer değiştirmesinin sınırlanmaması için hareket yönünün boşluk açmak suretiyle çift taraflı mesnetlenmiş 40x25 cm ebatlarında numune hazırlanmış ve diğer eksenli 45 derece açıyla diyagonal kombine bir yük uygulanmıştır.



Şekil 1. (a) Bina yükünü ihmal eden tek mesnetli kombine yük deney düzeneği,
(b) Bina yükünü dikkate alan çift mesnetli kombine yük deney düzeneği,
(c) Tek mesnetli kombine gerilmeler etkisi altındaki duvar modeli,
(d) Çift mesnetli düşey ve kombine gerilmeler etkisi altındaki duvar modeli

Mesnetlenme ara yüzeylerinde normal gerilme oluşmaması ve oluşması gibi durumlar göz önüne alındığında normal gerilme olmaması durumunda, kombine yük etkisinde duvarın doğrudan diyagonal kesme dayanımının bulunması, normal gerilme oluşması durumunda ise kombine yük etkisinde kesme dayanımının bulunması hedeflenmektedir. Duvarda oluşan gerilmelerin model üzerindeki gösterimi Şekil 1(c ve d) verilmektedir.

Deney öncesi kuvvet mekanizmasını yerleştirmek adına boşaltılan bölgede numunenin üzerine gelen kuvvetin üniform olarak dağılması için, numune yüzeyinin düzeltilmesi ve tamir harcı ile kaplanması gerekmiştir. Ayrıca düzeltme işleminde kaplama yüzeyinde oluşabilecek bozukluklar düşünülerek, gerilmenin üniform dağıtılabilmesi için hidrolik kriko başlığı ile numune yüzeyi arasına elastomer malzeme yerleştirilmiştir. Her iki deneyde de hareket yönüne dik olacak şekilde deformasyonları ölçmek için komparatör yerleştirilmiştir.

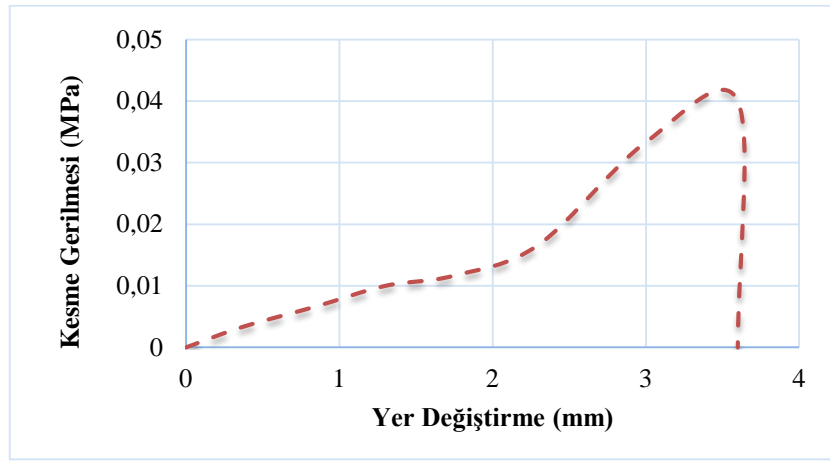
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Binanın duvarlarında delikler açmak suretiyle; duvarın ağırlığından kaynaklı düşey gerilmeleri ortadan kaldırılarak hazırlanan tek eksenli ve bina ağırlığından dolayı oluşan normal gerilmeleri dikkate alan çift eksenli kombine yüklerin etkideği iki farklı deney yapılmıştır.

Birinci yükleme deneyinde duvarın diyagonal kesme dayanımını bulmak için 50x50 ebatlarında ve 27 cm kalınlığındaki numuneye üzerine herhangi bir eksenel kuvvet etki etmeden diyagonal yüzeyi üzerine uygulanan 7,6 kN kuvvet etkisi altında, Şekil 2'de görüldüğü üzere çatlak örgü harcı derzlerini takip etmiş olup, gevrek göçme gözlemlenmiştir. Numune Şekil 3'te verilen grafiğe göre 0,04 MPa çatlama dayanıma ulaşırken, 3,6 mm ötelendiği tespit edilmiştir. Deney numunesi normal kuvvet etkisi olmadan çok küçük bir kuvvet etkisi altında duvarın örgü harcı doğrultusu boyunca ani olarak çatladığı ve dayanımını sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2. Bina yükünü ihmal eden tek mesnetli kombine yük altında duvar göçme şekli

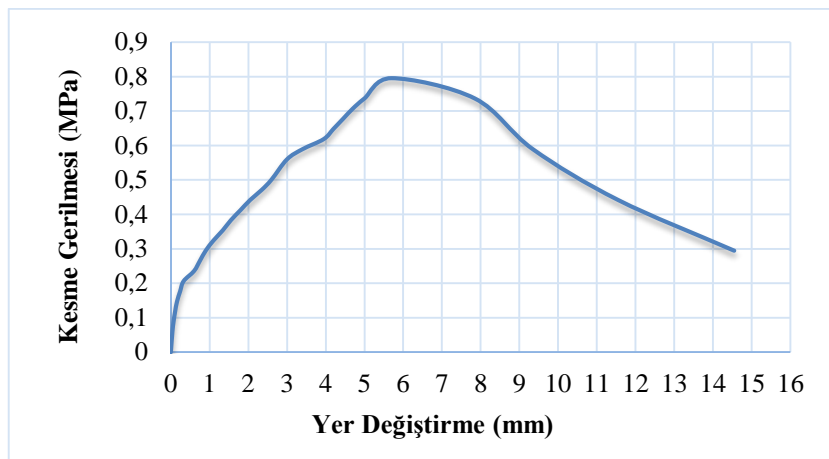


Şekil 3. Bina yükünü ihmal eden tek mesnetli kombine yük altında kesme/yer değiştirme grafiği

İkinci yükleme deneyinde kesme dayanımını bulmak için 40x25 cm ebatlarında ve 27 cm kalınlığındaki numunenin üzerine binanın kendi ağırlığından dolayı etkiyen aksenal kuvvet 23.2 kN olarak hesaplanmıştır. Bu da numune üzerinde 0,21 MPa düşey basınç gerilmesi (σ_n) olduğu anlamına gelmektedir. Şekil 4'de gösterildiği üzere şekil değiştirmenin 3 mm'ye ulaşması ile numune mesnet ara yüzeyine paralel olarak düşey ve yatay derzleri takip eden öncü sıva çatlakları belirmiş ve sıvanın düştüğü görülmüştür. Daha sonra diyagonal kombine yükün 172 kN'a ulaşmasıyla duvarın hidrolik krikodan basınç alan yüzeyinde ezilmelerle birlikte kesme arayüzeylerinde kayma şekil değiştirmeleri meydana gelmiştir. Numune Şekil 5'de verilen grafiğe göre 0,8 MPa duvar karakteristik kesme dayanımına (f_{vk}) ulaştığındayyer değiştirmenin 5,7 mm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Bina yükünü dikkate alan çift mesnetli kombine yük altında duvar göçme şekli



Şekil 5. Bina yükünü dikkate alan çift mesnetli kombine yük altında kesme/yer değiştirme grafiği

Doğan ve Odacıoğlu (2019) çalışmasında örgü harcı basınç dayanımının düşük kaliteye sahip olduğunun tespitine dayalı olarak [11] TDBY 2018 'de verilen ampirik denkleme [12] göre M2,5-M9 kalitesindeki örgü harcının 0,21 MPa normal gerilme kuvveti altında 0,284 MPa duvar karakteristik kesme dayanımına ulaştığı belirtilmektedir. Deney sonucu ile yönetmeliğin vermiş değer karşılaştırıldığında numune küçültülmesinden dolayı gerilmelerin takip edeceği derz boyutu azaldığından, tuğla ve örgü-sıva harcı malzemelerinin tümünün kesme dayanımına etkidiği tespit edilmiştir.

Hernoune ve arkadaşlarının (2020) yapmış olduğu bir çalışmada düşük dayanımlı örgü harcına sahip duvar numunesine kombine yük etkisi altındaki kesme gerilmelerinin 0,82-1,08 MPa arasında değişiklik gösterdiği bulunmuş olup [7], bu çalışmadaki bulunan kesme gerilmesi değerleri ile yakınlık göstermesi dikkat çekici bir durumdur.

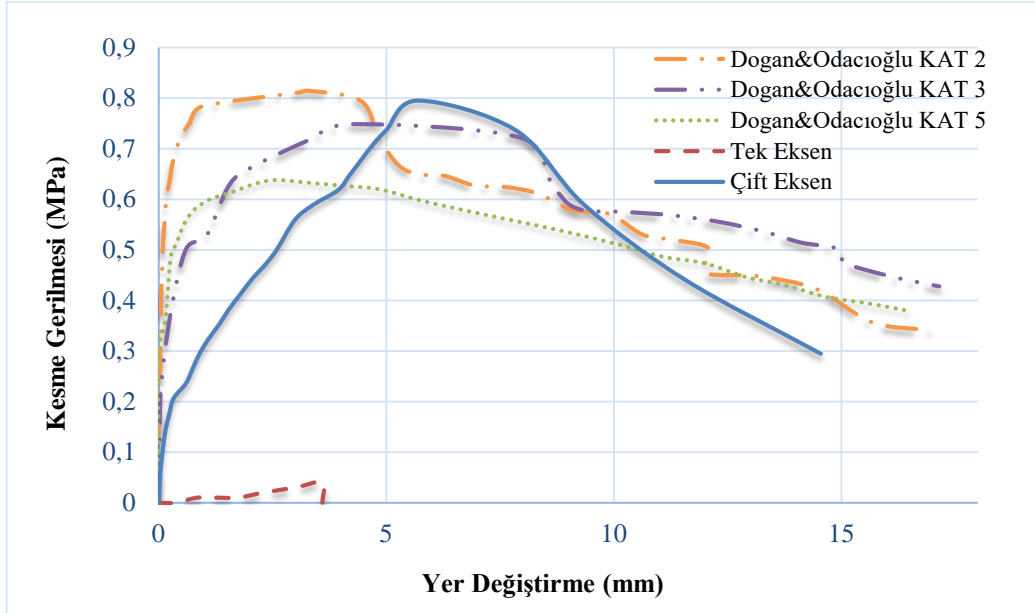
Numunede oluşan dayanım kayıpları incelendiğinde kesme gerilmesinin oluştuğu, ancak duvar yüzeyinde oluşan çatlaklara göre, numunenin basınç elemanı olarak da çalıştığı ve mesnet ara yüzeylerin basınç dayanımına katkı verdiği tespitinden bulunulmuştur. Odacıoğlu (2018) yaptığı mevcut bina üzerinde duvar aksenal dayanımının tespiti çalışmasında duvarın 1,72 MPa basınç dayanımına sahip olduğu görülmektedir [13]. Bu noktadan yola çıkılarak sistemin tam

anlamıyla basınca çalışmadığı görülmektedir. Numunede oluşan kesme ve basınç gerilmelerinin bileşiği olan kombine yük olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca burada duvar kesme gerilmesini belirleme üzere, Doğan ve Odacıoğlu (2019) çalışmasında yapmış oldukları Şekil 6'da gösterilen shove test sonuçlarıyla [11] yukarıda yapmış olduğumuz iki farklı deney düzeneğinin sonuçları karşılaştırılmıştır (Şekil 7). İki eksenli deneyi ile shove test deneyi düzenek bakımında düşey duvar yükünü dikkate alan düzenekler olup, shove test düzeneğinde göçmeler sadece örgü derzleriyle sınırlı kalacak şekilde tasarlanmışken, iki eksenli deney düzeneğinde derzden çok tuğlada göçmeyi hedefleyen bir deney düzeneği şeklinde tasarlanmıştır.



Şekil 6. Bina yükünü dikkate alan shove test düzeneği



Şekil 7. Bina yükünü dikkate alan çift mesnetli kombine yük altında kesme/yer değiştirme grafiği

2., 3. ve 5. katlarda yapılan shove test deney sonuçlarına bakıldığında, en üst katta düşey duvar yükünün az olması nedeniyle kesme gerilmesinin yaklaşık 0,6 MPa olurken, 3. katta yaklaşık 0,75 MPa, 2. katta yaklaşık 0,8 MPa olarak bulunmuştur. 4. katta yapılan 2 eksenli deney düzeneği sonuçlarına bakıldığında yaklaşık 0.8 MPa olduğu bunun nedeninin de kesme arayüzeyinde sadece sıva yerine dayanımı daha yüksek olan tuğlalarında bulunuyor olması sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada mevcut binanın duvarlarında delikler açmak suretiyle; duvarın ağırlığından kaynaklı düşey gerilmeleri ortadan kaldırılarak hazırlanan tek eksenli ve bina kendi ağırlığından dolayı oluşan normal gerilmeleri dikkate alan çift eksenli kombine yüklerin etkidiği iki farklı deney yapılmıştır.

Sonuç olarak elde edilen veriler karşılaştırıldığında;

- Tek eksenli kombine yük etkisi altında kesme dayanımını bulmak üzere yapılan deneyde, duvarın ağırlığından kaynaklı düşey gerilmeleri ortadan kaldırdığı içinduvarın oldukça düşük yük etkisi altında göçtüğü tespit edilmiş olup, çatlamanın tuğlaya kıyasla zayıf olan örgü harcında yani derzleritakip ettiği ve tuğlanın ise duvar kesmekapasitesine katkısının bulunmadığı gözlemlenmiştir. Tek eksenli deney düzeneğinin sebep olduğu eğilme momenti nedeniyle çok düşük değerler verdiği, bu nedenle de hatalı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Bina kendi ağırlığından dolayı oluşan normal gerilmeleri dikkate alan çift eksenli kombine yükün etkisi altında numunenin kesme dayanımının yönetmeliklerde belirtilen duvar karakteristik kesme dayanımınınçok üzerine çıkmıştır. Normal duvar kesme deneylerinde katkı veren sıva ve örgü harcı bu deneyde erken dayanımını kaybettiği, bu aşamadan sonra maksimum kesme kapasitesine ulaşıldığı dikkate alındığında örgü ve sıva harcının dayanıma katkısının olmadığı görülmüştür. Böyle bir yüklemde duvar kesme kapasitesini belirleyen tek etkenin tuğlanın mekanik özelliklerinin olduğu anlaşılmıştır.
- Shove ve çift eksenli kombine deney düzenekleri karşılaştırıldığında, kesme gerilmesi kapasitesi bakımından birbirine yakın sonuçlar verirken, yer değiştirme bakımında iki eksenli deney düzeneğinin daha yüksek şekil değiştirme değerinde maksimum kesme gerilmesi kapasitesine ulaştığı görülmüştür. Bu iki deney düzeneği karşılaştırıldığında, yaklaşık sonuçlar vermesinin yanında, deney düzeneğinin hazırlanması bakımından iki eksenlinin daha zahmetli olması nedeniyle yığma duvarların kesme gerilmesi kapasitelerinin belirlenmesinde, shove test deney düzeneğinin tercih edilmesi önerimizdir.
- Ayrıca burada elde edilen duvar kesme dayanımına ilişkin deney sonucuyla daha önce kombine yükler altında yapılmış laboratuvar deney sonuçları arasında yakın bir benzerlik olduğu görülmüştür.

Yapılan bu deneysel çalışmalara ek olarak;

- Tek eksenli kombine yükleme deneyi esnasında kesme ara yüzeyinde kesme gerilmesine ek olarak, yükleme merkeziyle ara yüzey arasındaki mesafe nedeniyle ara yüzeyde oluşan momentten kaynaklı çekme gerilmeleri, numunenin kesme kapasitesine ulaşmadan erken göçmesine neden olmuştur. Bu bakımdan kesme ara yüzeyinde moment oluşturmayacak şekilde bir yükleme düzeneğinin hazırlanması önerilmektedir.
- Binanın kendi ağırlığından dolayı oluşan düşey kuvvetinin neden olduğu, düşey duvar yükünün numune ara yüzeyine dik bileşeninden kaynaklanan sürtünme kuvvetinin duvarın

kesme kapasitesine katkı verdiği ve paralel bileşeninde kombine yüke katkı verdiği daha sonra yapılacak deneylerde dikkate alınması önerilmektedir.

- Farklı katlarda mesnet ara yüzeylerinde oluşacak farklı normal gerilmelerin duvarın diyagonal kesme dayanımına etkisinin araştırılması önerilmektedir.
- Duvar elemanının tıpkı betonarme kirişlerdeki gibi en uç mesnet noktasından 45°'lik açıyla kemerleneme etkisi yaptığı varsayıldığında, kuvvet uygulanan nokta basınç bloğunun içerisinde kalmaktadır. Bu yüzden sistem kesme kapasitesine ulaşmadannumunenin basınç yüzeyinde ezilmeler gözlemlendiği için numune yükleme yüzeyi genişliğinin yani duvarda açılan boşlukların genişliğinin $2 \cdot \cos 45^\circ \cdot 40 = 57$ cm'den daha geniş tutulması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Akgül, M., Doğan, O. (2020), "4 Nisan 2019 Elazığ-Sivrice Depreminin Yığma Yapılara Etkisinin Değerlendirilmesi", International Journal of Engineering Research and Development, 12 (1), 265-277. doi: 10.29137/umagd.621701.
2. Doğan, O., Pelen, A.M. (2020), "Farklı Bina Parametrelerine Bağlı Olarak Kil Tuğla Duvarlı Binaların Risk Oranlarının Rbte-2013 ve RYTEİE-2019 Yönetmeliklerine Göre Belirlenmesi", Anadolu 5. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 26 - 27 Aralık 2020, Diyarbakır.
3. Akgül, M., Doğan, O. (2020), "Altındağ/Ankara Özelinde Tipik Yığma Binaların Deprem Risklerinin 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre İncelenmesi", Engineering Sciences, 15 (1), 1-14. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsaeng/issue/51947/601915>.
4. Çelik, F., Doğan, O. (2021), "Güçlendirme Ankrajlarının Kesme Performansının Mevcut Yığma Duvarlar Üzerinde Belirlenmesi", Journal of the Institute of Science and Technology, 11 (2), 1230-1242. DOI: 10.21597/jist.784257.
5. Tomaževič, M. (2009), "Shear resistance of masonry walls and Eurocode 6: shear versus tensile strength of masonry", Materials and structures, 42(7), 889-907.
6. Mojsilović, N. (2011), "Strength of masonry subjected to in-plane loading: A contribution", International Journal of Solids and Structures, 48(6), 865-873.
7. Hernoune, H., Benabed, B., Kanellopoulos, A., Al-Zuhairi, A. H., & Guettala, A. (2020), "Experimental and Numerical Study of Behaviour of Reinforced Masonry Walls with NSM CFRP Strips Subjected to Combined Loads", Buildings, 10(6), 103.
8. Milani, G., Taliercio, A. (2015), "In-plane failure surfaces for masonry with joints of finite thickness estimated by a Method of Cells-type approach", Computers & Structures, 150, 34-51.
9. Malomo, D., DeJong, M. J., Penna, A. (2019), "Influence of bond pattern on the in-plane behavior of URM piers" International Journal of Architectural Heritage, 1-20.
10. Thamboo, J. A., Dhanasekar, M. (2016), "Behaviour of thin layer mortared concrete masonry under combined shear and compression", Australian Journal of Structural Engineering, 17(1), 39-52.
11. Doğan, O., Odacıoğlu, O.G. (2019), "An Experimental Study To Determine Sliding Shear Strength And Internal Frictional Coefficient Of Clay Brick Wall In A Masonry Building", International Journal of Engineering Research and Development, 11 (2), 670-676. doi: 10.29137/umagd.545396.

12. TBDY-2018, (2018), “Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
13. Odacıoğlu, O.G. (2018), “Yığma binalarda yatay yük hesabına esas kesme performansının deneysel olarak belirlenmesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.

PREFABRİK BİR ÖNGERİLMELİ TT-KİRİŞİN STATİK NOKTASAL YÜKLER ALTINDA PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

DETERMINING THE PERFORMANCE OF A PREFABRICATED TEST-BEAM UNDER
STATIC POINTED LOADS

Orhan DOĞAN

Doç.Dr., Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-4942-1725

(Sorumlu Yazar)

Emre DURUKAN

Yüksek Lisans Öğrencisi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği
ABD.

ORCID NO: 0000-0001-5299-6792

Veda DURUKAN

Yüksek İnşaat Mühendisi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği ABD.

ORCID NO:0000-0001-8932-0534

Furkan KOÇ

Yüksek Lisans Öğrencisi, ODTÜ Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID NO:0000-0002-7976-8420

ÖZET

Öngerilmeli ve donatılı veya sadece donatılı olarak da üretilebilen prefabrik elemanlardan olan TT-kirişler, yerli ve uluslararası standartlara göre tasarlanırlar ve üretilirler. Tasarım, üretim ve montaj süreçlerinde kalite yönetim sistemleri şartlarına göre kontrol edilirler. Geleneksel yerinde dökme döşemelere kıyasla inşaat süresini kısaltmak ve hafif olması nedeniyle geniş açıklıkları geçebilmek için özellikle ağır yükler etkisindeki sanayi yapılarında tercih edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, örnekleme yöntemiyle seçilen gerçek boyutlarda bir öngerilmeli prefabrik bir TT-kirişin statik noktasal yükler altında performansının deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Öncelikle TT-kirişin topping betonu (yapısal kaplama betonu) dökülerek gerçek kullanım durumuna getirilmiştir. Deney numunesine eşit aralıklı 4 noktadan tekil yükleme yapabilmek için bir aynı boyutlarda ikinci bir TT-kiriş ve beton bordür paletleri kullanılmıştır. Deney numunesine birinci aşamada yükleme yapıldıktan sonra kiriş ortasındaki kalıcı deformasyonlar ölçülmüş ve meydana gelen çatlaklar işaretlenmiş ve ikinci kiriş hariç palet yükleri tamamen boşaltılmıştır. İkinci aşamada deney numunesinde göçme meydana gelinceye kadar yüklemeye devam edilmiştir. Kiriş performansının TS500 şartlarını ve tasarım şartlarını sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik TT-kiriş, betonarme prefabrik TT-kiriş, öngerilmeli TT-kiriş, TT-kirişlerin tasarımı, Noktasal yüklerle yüklü TT-kirişlerin performans deneyi

ABSTRACT

TT-beams, which are prefabricated elements that can be produced as prestressed and reinforced or only reinforced, are designed and produced according to domestic and international standards. They are controlled according to the conditions of quality management systems in design, production and assembly processes. Compared to traditional cast-in-place floors, it is preferred especially in industrial buildings under heavy loads in order to shorten the construction period and to pass wide openings due to its lightness.

In this study, it is aimed to experimentally determine the performance of a prestressed TT-beam with real dimensions selected by sampling method under static point loads. First of all, the topping concrete (structural lining concrete) of the TT-beam has been cast and to achieve the real use case. A second TT-beam with identical dimensions and concrete border pallets were used to load the test sample individually from 4 points at equal intervals. In the first stage, after the test sample was loaded, permanent deformations in the middle of the beam were measured and the cracks occurred were marked and the pallet loads were completely unloaded, except the second beam. In the second stage, loading was continued until the collapse occurred in the test specimen. It has been observed that the beam performance provided the TS500 requirements and design conditions.

Keywords: Prefabricated TT-beam, reinforced concrete prefabricated TT-beam, prestressed TT-beam, design of TT-beams, Performance test of TT-beams with pointed loads

1. GİRİŞ

Geleneksel betonarme kirişlerle uzun ve geniş açıklıkları geçmek çoğu zaman zordur. Kesit boyutlarının büyük olması, sehim şartlarının, mimari şartların sağlanamaması veya ekonomik çözüm oluşmaması gibi dezavantajlar oluşabilmektedir. Öngerilmeli beton tekniği ve bu teknikte üretilen prefabrik taşıyıcı elemanlar bu şartlar için kolay çözümler sağlamayabilmektedir. Daha küçük yapıli kesitler ile daha uzun ve geniş açıklıklar geçilebilmekte, tasarım şartlarına göre daha ağır yükler taşınabilmektedir.

Prefabrik öngerilmeli betonarme kirişler üzerinde yapılan eğilme ya da kesme yükleri altında yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Ünal (2016) yaptığı deneysel çalışmada gerçek boyutlarda üretilmiş farklı kesme donatı oranlarına sahip ve birbirinden farklı a/d (yükleme noktası mesafesi/kesit yüksekliği) oranına sahip betonarme kirişlerin basit ve ankastre şekilde mesnetlenmesi ile 4 noktadan noktasal olarak yüklenmesiyle kiriş davranışlarını incelenmiştir [1]. Afrida ve Asamoah (2016), yaptığı deneysel çalışmada filit ve granit agregasıyla etriyeli ve etriyesiz olarak üretilmiş benzer donatı şartlarını sağlayan betonarme kirişleri iki noktadan, tek yüklemeye ile ve yüklemeye-boşaltma (çevrim yüklemeye) yaparak kesme dayanımı ve çatlak oluşumlarını incelemiştir [2]. Yüksel vd. (2017), öngerilmeli boşluklu betonarme kirişler üzerine yüklemeye deneyi yaparak topping beton ile kiriş ara yüzeyindeki aderansa etki eden yüzey faktörlerinin önemi araştırmıştır. Deney elemanına her biri eşit değerde olacak şekilde 4 noktadan yük uygulamıştır [3]. Sertkaya (2017), yaptığı çalışmada öngerilmeli beton kirişlerin kesme kapasitelerinin tahminine yönelik YSA modellemesi ile araştırmada bulunmuştur. Çalışmasında öncelikle bu konuda yapılmış deneysel çalışmaları derlemiş ve bunları gruplandırmıştır. Daha sonra ise MATLAB programı aracılığı ile yapay sinir ağıları modellemeleri yapmıştır [4]. Yuva (2018), yaptığı çalışmada öngerilmeli betonarme boşluklu döşeme kirişlerini yüklemeye deneyine tabi tutmuştur. Deneyinde yükleri yalın ve kompozit kirişler üzerine düzgün yayılı şekilde yüklemiş ve deney sonucunda kirişlerin performans değerlendirmesini yapmıştır [5]. Durukan (2021), yaptığı deneysel çalışmada prefabrik öngerilmeli TT-Kiriş üzerinde düzgün yayılı yüklemeler yaparak kirişin performansını

değerlendirmiştir. Eğilme ve kesme kuvvetlerinin kiriş üzerindeki etkilerini gözlemleyerek, yükler altındaki davranışını açıklamıştır [6].

Bu çalışmada, TS500, TBDY-2018, TS-3233 ve TS-9967 standartlarına uygun şekilde hesaplamaları yapılarak, gerçek bir yapıda kullanılmak üzere üretilmiş, açık hava şartlarına maruz stok sahasında bekletilmiş bir TT-Kiriş kullanılmıştır [7-10]. Deney elemanı stok sahasında örnekleme yöntemi ile seçilmiştir. TT-Kiriş üzerine yerinde uygulandığı şekilde yapısal kaplama betonu dökülmüştür. Bu önerilmeli TT-kirişe, hesaplanan yükler altında TS500 [7] ve Beton Prefabrikasyon El Kitabı ışığında deney iki aşamada yapılmıştır [11].

TT-Kiriş düzgün yayılı yük esası ile tasarlandığı için bu tasarım momentlerini verecek noktasal yükler tekrar hesaplanmıştır. Hesaplanan bu yükler 2 aşamada statik noktasal yükleme ve boşaltma şeklinde uygulanmış ve performansı belirlenmiştir. Her yükleme sonrasında kiriş açıklık ortasından düşey deplasman miktarı ölçülmüş ve oluşan deformasyonlar belirlenmiştir. İlk deneyde eleman üzerine hedef yükleme yapıldığında 24 saat yüklü olarak bekletilmiştir. 24 saat sonrasında yükler boşaltılmış ve yük olmayan duruma ait kalıcı deplasman ölçülerek belirlenmiştir. İlk kontrol kriteri olan Pd_{max} ile devamında kritik çatlama momentini veren Pd_{cr} ile, sonrasında tasarım eğilme momentinin %85'ini oluşturan $0,85 \times Pd_{max}$ ile nihai olarak da tasarım eğilme momentini oluşturan Pd_{max} ile yüklenerek 1. yükleme aşaması tamamlanmıştır. 2. aşamada $1,27 \times Pd_{max}$ değerine kadar yüklenerek elemanın göçmesi sağlanmış ve performansı değerlendirilmiştir.

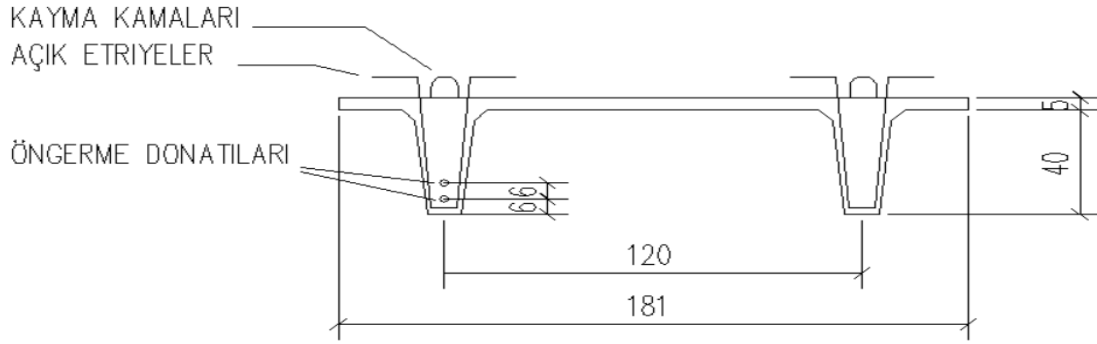
2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Eleman Özellikleri

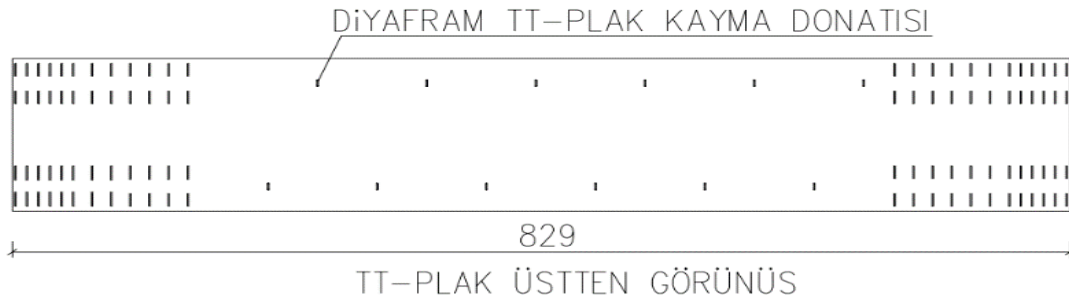
TT-kiriş kompozit kesit durumunda üzerinde $17,66 \text{ kN/m}^2$ (1800 kg/m^2) hareketli yük taşıyabilecek kapasitede tasarlanmıştır. Tablo 1'de kesit ve ölçüsel özellikleri verilen prefabrik betonarme önerilmeli TT-kiriş C40/50 beton sınıfı ile imal edilmiştir. İmalatında B420C sınıfı donatı çeliği, R106 tipi hasır donatı çeliği ve 270K düşük gevşemeli öngerme halatı kullanılmıştır. TT-Kiriş tabliye yüzeyinde yapısal kaplama betonu ile aderans sağlanması için pürüzlendirme ve donatı çeliğinden oluşturulmuş, kayma kamaları kullanılmıştır (Şekil 1-3). Ayrıca Şekil 3 ve Şekil 4'te yalın ve kompozit durumuna ait görseller bulunmaktadır.

Tablo 1. Elemanın Kesit ve Ölçüsel Özellikleri

Özellik	Yalın Durum	Kompozit Durum
Döşeme yüksekliği (cm)	45	60
Döşeme genişliği (cm)	181	181
Döşeme boyu (cm)	829	829
Kesit alanı (cm^2)	1705	4132
Kesit ağırlık merkezinin alt kısma uzaklığı (cm)	31.94	43,61
Atalet momenti (cm^4)	323522	792228



Şekil 1. Yalın TT-Kiriş En Kesiti



Şekil 2. Yalın Durumdaki TT-Kirişin Üst Görünüşü

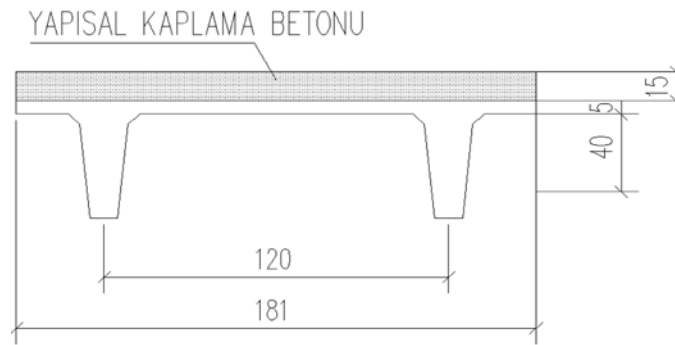
Yapısal kaplama betonu C30/37 beton sınıfında olup, eleman üzerine 15 cm kalınlığında uygulanarak, kompozit kesit tamamlanmıştır (Şekil 4, 5).



Şekil 3. Yalın Durumdaki TT-Kiriş



Şekil 4. Kaplama Betonlu TT-Kiriş



Şekil 5. Kaplama Betonlu Kompozit TT-Kiriş En Kesiti

Deney numunesi yapısal kaplama betonu ve zati yükü altında 12 mm ters sehime sahiptir. Eleman 100x100x11 mm ebatlı kauçuk elastomer mesnet bantları üzerine mesnetlenmiştir. Yükleme sonrasında elemanda oluşan deplasman miktarları açıklık ortasına yerleştirilen bir adet komparatörle, olası mesnet çökmelerinin tespiti için mesnet kısmına bir adet komparatör yerleştirilmiştir.

2.2. Deney Düzenegi ve Kullanılan Ekipmanlar

Bu çalışmadaki amaç üzerine 4 noktadan yük yüklenmiş prefabrik donatılı ve öngerilmeli bir TT-kirişin performansını değerlendirmektir. Bu amaçla, test edilecek deney elemanı üzerine, 4 noktadan tekil yük aktaracak şekilde ikinci bir TT-Kiriş yerleştirilmiştir. Bu kiriş hem 96,88 kN ağırlığı ile ilk yük hem de noktasal yük aktarım elemanı olmuştur. Sonrasında eleman üzerine ikişer palet şeklinde her biri 16,87±0,2 kN (1720±20 kg) ağırlığında 1000x1000 mm ölçülerinde paletlere bağlanmış beton bordür taşları koyularak yükleme yapılmıştır. Deneyde 33,75 kN yük ve oluşturacağı moment kadar yükleme belirsizliği bulunmaktadır. Bu belirsizlik deney numunesinin aleyhinde değerlendirilmiştir. Lehine kullanıldığında performansında bir miktar daha artış olacaktır.

Deney numunesine birinci aşamada yükleme ve boşaltma yapıldıktan sonra kiriş ortasındaki kalıcı deformasyonlar ölçülmüş ve meydana gelen çatlaklar işaretlenmiştir. Deneysel yük değerleri (P_{dser} , P_{dcr} , P_{dmax}), yayılı yük olarak tasarlanan TT-Kirişte oluşacak moment değerleri (M_{ser} , M_{cr} , M_{dmax}) esas alınarak belirlenmiştir. Bu moment değerlerini veren noktasal yükler tekrar hesaplanmış ve deneysel yük değerleri olarak belirlenmiştir.

Birinci aşamada; deney elemanı üzerine ağırlığı 96,88 kN olan 1 adet TT-kiriş ve her bir paletin ağırlığı 16,87 kN olan 23 adet bordür taşı paleti yüklenmiştir (Şekil 6). TT-kiriş, proje servis momentine (M_{ser}) ulaştığında, dönüştürülmüş kritik eğilme çatlama yükünün (P_{dcr}) oluşturduğu moment değerine (M_{cr}) ulaştığında, dönüştürülmüş tasarım yükünün %85'inin ($0,85 \times P_{dmax}$) oluşturduğu moment değerine ($0,85 \times M_{dmax}$) ulaştığında ve P_{dmax} yükünün oluşturduğu M_{dmax} değerine ulaştığında deformasyon ölçümleri ve kontrolleri yapılmıştır. Birinci yükleme sonrasında kiriş 24 saat P_{dmax} yükü altında bekletildikten sonra deplasmanı ölçülmüş ve yük boşaltıldıktan sonra 24 saat beklenmiş ve kalıcı deplasmanı ölçülmüş ve var olan çatlaklar kaydedilmiştir.

Birinci Aşama: Yükleme - Tasarım Momentlerini Oluşturan $0.85xP_{max}$ ve $1.0xP_{max}$ Yükleri Etkisindeki TT-Kiriş Deneyi

4 noktadan statik yüklerle yapılan bu çalışmadaki yük miktarları, düzgün yayılı yükleme halinin oluşturduğu momentler temel alınarak hesaplanmıştır. Deney numunesi TT-kirişin kendi ağırlığı ihmal edilerek hesaplanan tasarım momentleri ve bu momentlere ait yükler ile uygulanan deneysel yükler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Tasarım Moment Değerleri ve Uygulanan Deneysel Yük Değerleri

	Servis	Kritik Çatlama	$0,85xP_{max}$	$1,0xP_{max}$
Tasarım momentleri (referans değerleri) (kN.m)	261,64	268,01	388,37	456,90
Tasarım momentlerine ait yükler (kN)	264,96	271,40	393,28	462,68
Uygulanan deneysel yükler (kN)	248,40	254,44	368,70	433,77

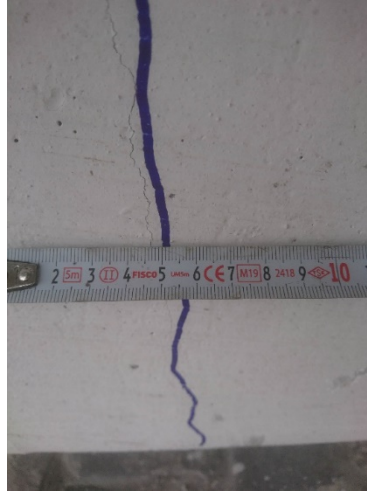
TT-kiriş kompozit yükleme öncesinde 96,88 kN (9876 kg) olan kendi ağırlığı altında 12 mm ters sehime sahiptir. Deney numunesi üzerine yük dağıtmak için koyulan 96,88 kN (9876 kg) ağırlığındaki ikinci TT-Kirişin konması ile 1 mm deplasman oluşmuş olup, ters sehim -11 mm’ye düşmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Deney Elemanı Üzerine Yüklenen ikinci TT-Kirişin Yerleştirilmesi

İkinci TT-Kiriş üzerine 10 adet bordür paleti konulmuş ve servis yüküne yakın olan 265,62 kN yük değerine ulaşılmıştır. Açıklık ortasında toplam 4 mm deplasman ölçülmüş olup, ters sehim -8 mm’ye düşmüştür. Bu yük ile kritik çatlama momentinin aşılmış olmasına rağmen açıklıkta ve mesnete yakın kısımlarda herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.

İkinci TT-Kiriş üzerine 14 adet bordür paletin konulmasıyla 333,11 kN yüke ulaşılmış ve açıklık boyunca ilk eğilme çatlakları oluşmuştur (Şekil 9). Çatlaklar kılcal yapıya, yaklaşık 50 cm aralıklı ve yaklaşık 0,1 mm genişliğindedir. Açıklık ortasında toplam 9 mm deplasman ölçülmüştür. Mesnete yakın kısımlarda kesme çatlakları gözlenmemiştir.

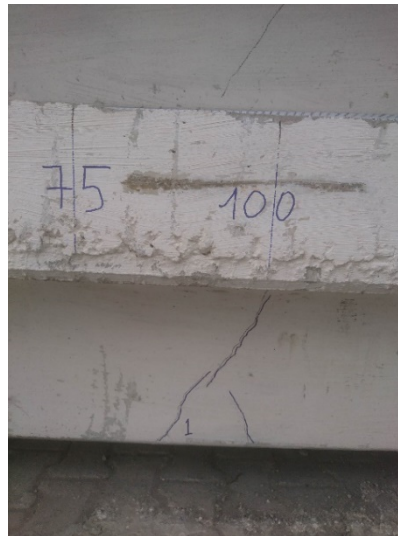


Şekil 9. Kirişin Orta Bölgesinde Alttan Yukarı Doğru Gelişen İlk Eğilme Çatlağı

Hesap yükü olan 368,7 kN olan 0,85xP değerine ulaşmak için ikinci TT-kiriş üzerine 16 adet palet konulması ile deney elemanı üzerinde yaklaşık 366,85 kN yük yüklenmiştir. Açıklık ortasında toplam 10 mm deplasman ölçülmüş olup, ters sehim -2 mm'ye düşmüştür. Açıklıkta yeni çatlak oluşmamış ve mesnete yakın kısımlarda kesme çatlağı gözlenmemiştir.

Hesap yükü olan 433,77 kN olan 1,0xP değerine ulaşmak için ikinci TT-Kiriş üzerine 20 adet palet koyulması ile deney elemanı üzerinde yaklaşık 434,35 kN yük yüklenmiştir. Açıklık ortasında toplam 15 mm deplasman ölçülmüş olup, pozitif yönde deplasman +3 mm'ye çıkmıştır. 1,0xP yük altında kesitte 216,9 kN kesme yükü oluşurken 216,02 kN olan kritik kesme dayanımına da ulaşılmıştır. Fakat açıklıkta yeni çatlaklar oluşmazken, mesnetlere yakın kısımlarda hiçbir kesme çatlağı gözlenmemiştir.

TT-kiriş üzerinde 22 adet paletin yüklenmesi ile üzerindeki toplam yük 468,09 kN olurken, mesnetlerdeki kesme yükü 234 kN çıkmış, yani kritik kesme dayanımı olan 216,02 kN aşılmıştır. Bu yükleme altında açıklık ortasındaki deplasman 19 mm'ye, kirişin orta bölgesindeki eğilme çatlağı yaklaşık 35 cm derinliğe ulaşırken, soldaki mesnetten yaklaşık 85 cm ve 105 cm uzaklıklarda başlayan ve birbirine yönelen iki adet yeni eğik kesme çatlağı belirmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Sol Mesnete Yakın Oluşan İlk Kesme Çatlakları

TT-kiriş üzerinde 23 adet bordür paleti yüklenerek toplamda 484,97 kN yüke ulaşılması ile kiriş ortasındaki toplam deplasman 21 mm olarak ölçülmüş olup, pozitif yönde sehim +9 mm'ye çıkmıştır. Kiriş üzerindeki bu yük ile 24 saat bekletilmiş, yük boşaltılmadan önce deplasman tekrar ölçülmüş ve deplasmanın 2 mm daha artarak, toplamda 23 mm'ye çıkarken, pozitif yönde sehim +11 mm'ye çıkmıştır. Mevcut çatlaklardan başka yeni bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir (Şekil 11).

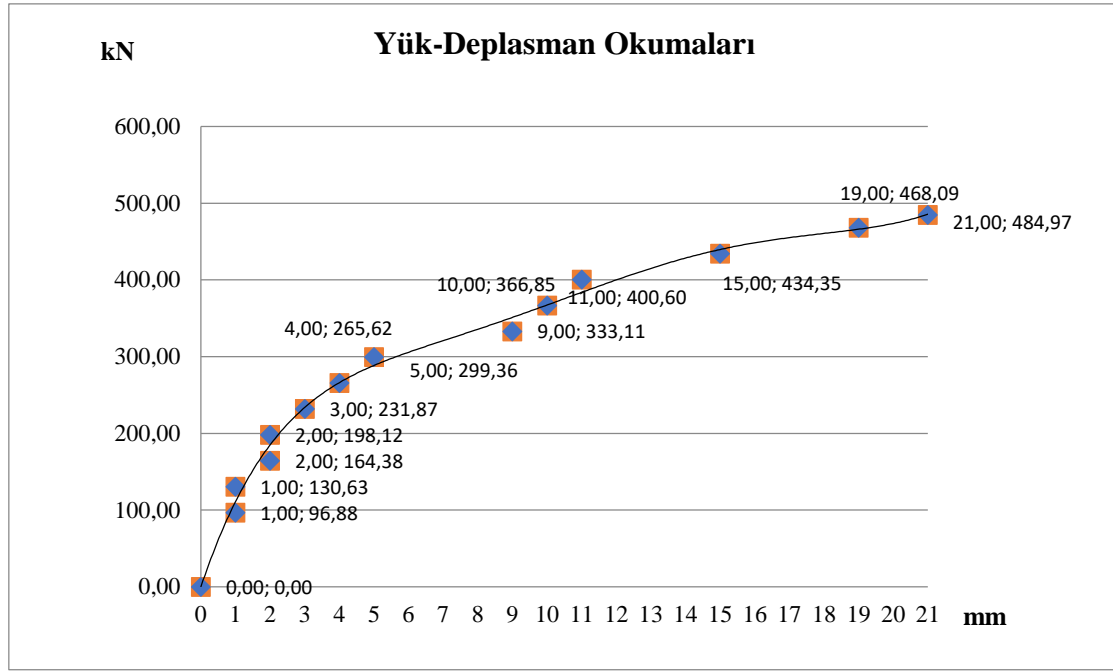


Şekil 11. İkinci TT-Kiriş ve 23 Bordür Paleti ile Yüklenmiş Durumu

Birinci yükleme sonrasında tüm bordür paletleri boşaltılmış, kirişin orta noktasında ters sehim 10 mm olarak ölçülmüş yani 2 mm kalıcı deplasman meydana gelmiştir. Deneyi sürecinde yapılan yükler ve bu yükler altında meydana gelen deplasmanlar Tablo 3 ve Şekil 12'de verilmiştir.

Tablo 3. Birinci Aşamadaki 23 Paletli Yüke Kadar Yük-Deplasman Değerleri

Yükleme Sırası	Komparatör Okumaları (mm)	İp Okumaları (mm)	Kümülatif Yük ($\pm 0,196$ kN)
0	0,00	0,00	0,00
TT-Kiriş	1,00	1,00	96,88
1-2	1,40	1,00	130,63
3-4	2,05	2,00	164,38
5-6	2,65	2,00	198,12
7-8	3,70	3,00	231,87
9-10	4,70	4,00	265,62
11-12	5,82	5,00	299,36
13-14	10,00	9,00	333,11
15-16	12,70	10,00	366,85
17-18	13,60	11,00	400,60
19-20	20,00	15,00	434,35
21-22	25,00	19,00	468,09
23	27,00	21,00	484,97



Şekil 12. Birinci Aşama 23 Paletli Yüke Kadar Yük-Deplasman Grafiği

İkinci Aşama: Yükleme $-1,25xM_{max}$ Momentini Oluşturan Yük Etkisinde TT-Kiriş Deneyi

Yükleme TT-kirişin sol mesnetinden ikişerli paletlerle başlanarak, ilk deneye benzer şekilde yüklemeye devam edilmiştir. Deney elemanı üzerine 1 adet TT-Kiriş elemanı (yaklaşık 96,88 kN) ve 27 adet beton bordür paletleri (yaklaşık 455,58 kN) olmak üzere toplam 552,46 kN yük yüklenmiştir. Deney elemanı, üzerindeki TT-Kiriş yükü altında 9 mm ters deplasman yapmıştır.

Deney elemanı üzerine yükler ilk deneyde olduğu gibi sıfırdan tekrar yüklenmiştir. Her yüklenme sonrasında çatlak oluşumları ve gelişimleri takip edilmiştir.

- 22. palet yüklemesine kadar mevcut çatlaklar, ilk yüklemedeki formlarını korumuşlardır. Bu yüklenme sonucunda açıklık ortasında toplam deplasman 22 mm olarak ölçülmüştür. Bu değer yaklaşık olarak ilk deneydeki deplasman değeriyle yaklaşık aynıdır.
- 24. paletin yüklenmesi ile ilk deneyde oluşmuş kesme çatlakları yaklaşık 0,6 mm genişliğe, açıklık ortasında toplam deplasman ise 25 mm'ye ulaşmıştır.
- 26. paletin yüklenmesi ile kesme çatlakları yaklaşık 1.0 mm genişliğe, açıklık ortasında toplam deplasman ise 26 mm'ye ulaşmıştır.
- 27. paletin yüklenmesi ile kesme çatlakları yaklaşık 2 mm genişliğine, açıklık ortasında toplam deplasman 32 mm'ye ulaşmıştır. Bu yükün yüklenmesinin ardından kesikli şekilde çatlama sesleri duyulmuş ve sonrasında TT-kirişin taşıma kapasitesini kaybetmesi ile ani ve tam bir göçme şeklinde gerçekleşmiştir (Şekil 13, 14).



Şekil 13. 27. Palet Yüklenmesi Yapılmadan Hemen Önce

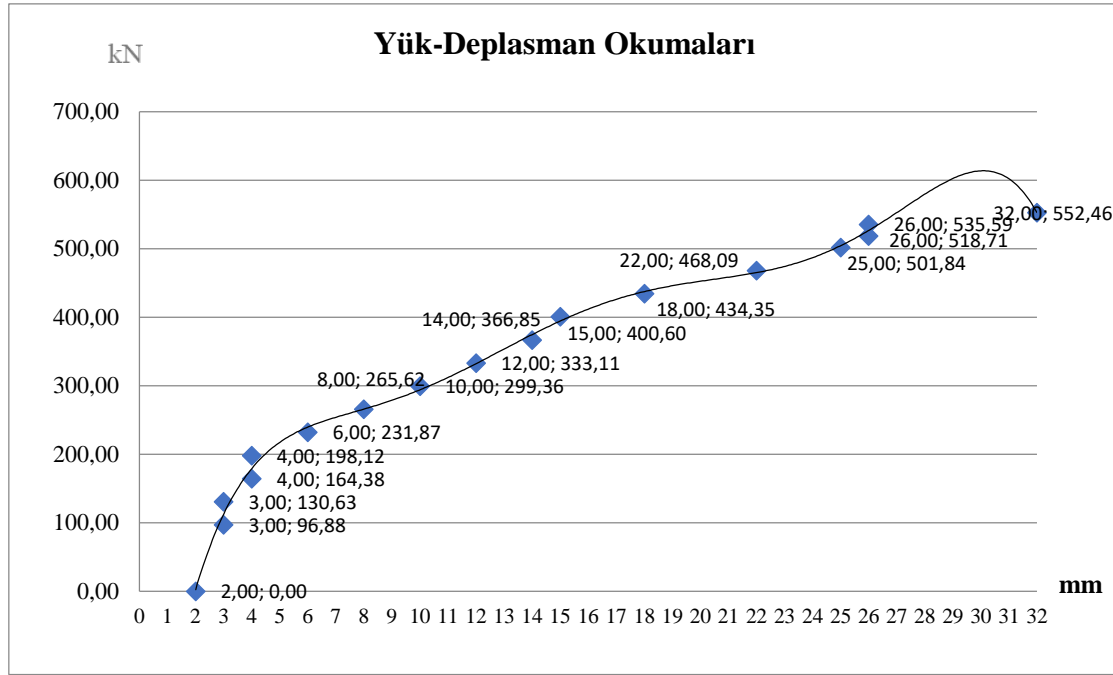


Şekil 14. 27. Palet Yüklendikten Sonrası Göçme Durumu

İkinci yükleme sürecinde yapılan yükler ve bu yükler altında meydana gelen deplasmanlar Tablo 4 ve Şekil 15’te verilmiştir. Tablo 4’teki deplasman verileri kirişin tüm yüklemeler öncesindeki 12mm ters sehimi referans alınarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

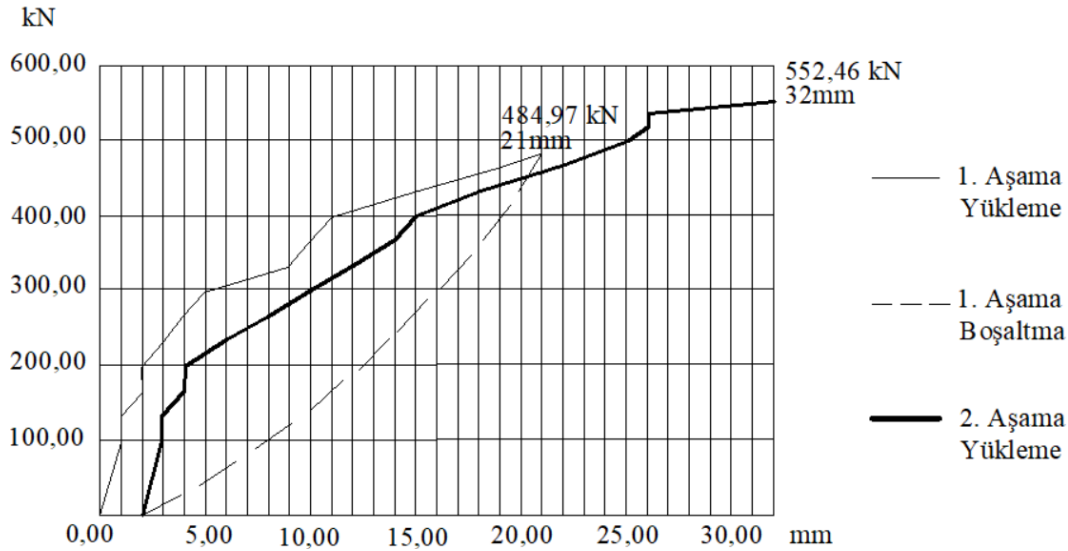
Tablo 4. İkinci Aşamadaki 27 Paletli Yüke Kadar Yük-Deplasman Değerleri Tablosu

Yükleme Sırası	Komparatör Okumaları (mm)	İp Okumaları (mm)	Kümülatif Yük ($\pm 0,196$ kN)
0	2,00	2,00	0,00
TT-Kiriş	2,00	3,00	96,88
1-2	2,95	3,00	130,63
3-4	4,35	4,00	164,38
5-6	5,45	4,00	198,12
7-8	7,00	6,00	231,87
9-10	9,00	8,00	265,62
11-12	11,50	10,00	299,36
13-14	13,80	12,00	333,11
15-16	16,00	14,00	366,85
17-18	18,00	15,00	400,60
19-20	21,20	18,00	434,35
21-22	25,10	22,00	468,09
23-24	28,80	25,00	501,84
25	29,80	26,00	518,71
26	30,50	26,00	535,59
27	36,00	32,00	552,46



Şekil 15. İkinci Aşamadaki 27 Paetli Yüke Kadar Yük-Deplasman Grafiği

Ayrıca birinci aşama yükleme-boşaltma ile ikinci aşama yükleme grafikleri karşılaştırıldığında, ikinci yüklemde kirişin aynı yükler altında birinci yüklemeye benzer deplasmanlar göstermiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Birinci ve İkinci Aşama Deneylere ait Birleştirilmiş Yük-Deplasman Grafiği

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada gerçek boyutta önerilmeli ve donatılı bir prefabrik TT-kirişin statik noktasal yükler altında performans deneyi yapılmıştır. TS-500, TBDY-2018, TS-3233 ve TS-9967 standartlarına uygun şekilde hesaplamaları yapılarak imal edilmiş bir önerilmeli TT-kirişe, hesaplanan yükler altında iki aşamada yükleme-boşaltma deneyleri yapılmıştır.

Sonuç olarak;

- Statik yayılı yükleme durumuna göre %6,25 daha düşük yükler ile tasarım momentlerine ulaşılmıştır. Servis yükü $17,66 \text{ kN/m}^2$ olarak tasarlanmış olan TT-Kiriş, bu yükleme yöntemi ile $16,58 \text{ kN/m}^2$ yükleme servis yükü momentlerine ulaşacaktır.
- İlk kontrol noktası olan “servis yükü” miktarınca yapılan yükleme sonucunda deney elemanında taşıma kapasitesini düşürecek herhangi bir hasar görülmemiştir. $0,85 \times P_{dmax}$ ve $1,0 \times P_{dmax}$ yüklemesinde de sadece kılcal yapıli eğilme çatlakları görülmüş, kesme çatlakları görülmemiştir. Ancak P_{dmax} yükünden hemen sonraki yükleme yapıldığında ilk kesme çatlaklı kılcal olarak belirlemiştir. Göçme $1,27 \times P_{dmax}$ yükünde gerçekleşmiştir. Göçme durumundaki $1,27 \times P_{dmax}$ yükü, yayılı olarak hesaplanan tasarım yükü olan P_{max} değerinden %19 fazladır.
- İkinci kontrol noktası olan M_{cr} momentine bağıli eğilme çatlakları, $333,11 \text{ kN}$ yüklemesi sonrasında oluşmuştur. Çatlaklı oluşturan yük bir önceki yükleme olan $299,36 \text{ kN}$ olarak kabul edilmiştir. Bu yük, M_{cr} moment yükü olan $254,44 \text{ kN}$ 'ın yaklaşık %18 üzerindedir.
- Üçüncü kontrol noktası olan $0,85 \times P_{dmax}$ yüküne ulaşıldığında TT-Kirişte eğilme çatlakları dışında başka çatlak gözlenmemiştir. Eleman yük altında yaklaşık olarak yatayda düzlemsel forma ulaşmıştır. 22. palet yükü ile açıklık ortasında $493,06 \text{ kN.m}$ eğilme momenti oluşmuştur. Tasarım açıklık momenti $456,85 \text{ kN}^2$ 'dur. Açıklıkta tasarım şartları karşılanmış olup TT-Kiriş taşıma gücü performansını sağlamıştır.
- 22. palet yükünün ($468,09 \text{ kN}$) koyulmasıyla mesnete yakın kısımda oluşan çatlakın başladığı mesafelerdeki moment değerleri incelenirse, 105 cm açıklıktaki çatlakın başladığı noktada $245,74 \text{ kN.m}$, 85 cm açıklıktaki çatlakın başladığı noktada $198,95 \text{ kN.m}$ eğilme momenti oluştuğu görülmektedir. İlgili kesitte $234,05 \text{ kN}$ kesme kuvveti oluşmaktadır. Kritik çatlama momenti $268,01 \text{ kN.m}$, kritik kesme yükü ise $216,02 \text{ kN}$ 'dur. Oluşan kesme çatlaklı kritik kesme dayanımı aşıldığı için oluşmuştur. Kesmede tasarım şartları karşılanmış olup TT-Kiriş kesme taşıma gücü performansını sağlamıştır.
- Yayılı yüke göre ilgili kesitte kritik kesme dayanımı için deney numunesi üzerine etkilmesi gereken toplam yük $578,2 \text{ kN}$ 'dur. Bu şekildeki noktasal yükleme ile elemana $431,6 \text{ kN}$ yük yüklendiğinde kritik kesme gücüne ulaşılmıştır. Böylece elemanın taşıyabileceği yük kapasitesi yaklaşık %25 azalmıştır.
- Kiriş performansının TS500 şartlarını ve tasarım şartlarını sağladığı görülmüştür. Ancak düzgün yayılı yüklemelerden farklı olarak, 4 noktadan uygulanan noktasal yükler altında daha erken kesme dayanım sınırına ulaşılmış ve açıklıkta eğilme taşıma gücüne (M_{res}) ulaşılmadan kesme gerilmesi altında göçme meydana gelmiştir.
- Yapı içerisinde bilinçsiz olarak yapılabilecek tekil yüklemelerin aynı miktardaki yayılı yükten daha büyük kesme kuvvetleri oluşturabileceği ve buna bağıli olarak asal gerilmelerde artış oluşturabileceği ve sonuçta kullanıcılar için beklenilmeyen hasar durumlarının oluşabileceği deneysel olarak ortaya konulmuştur.

Tekil yükler altında yapılan bu çalışmaya ek olarak, donatı ve beton sınıfı bakımından benzer tasarım şartlarında aynı taşıma gücüne sahip bir önerilmeli TT-kirişin yayılı yükler altında da performansının incelenmesi ve ayrıca, eğilme veya kesme dayanımının üzerinde yüklenmiş, az, orta veya ileri hasar düzeyine ulaşmış TT-kirişlerin, servis yükleri alındıktan sonra, yapılacak onarım ve güçlendirmelerle taşıma kapasitesine ulaşabilme performansının araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ünal, A. (2016), “Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitelerinin Araştırılması”, Yayınlanmış Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
2. Afrida, Asamoah, (2016), “Shear Strength Characteristics of Reinforced Concrete (RC) Beams Made From Phyllite Aggregates”, Kwame Nkrumah University of Science and Technology Department of Civil Engineering, Kumasi, Ghana.
3. Yüksel, E., Durgun, Y., Güllü, A., Saruhan, H. (2017). “Yapısal Kaplama Betonu Uygulanan Önretim Boşluklu Döşeme Sistemlerin Eğilme Davranışı”, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 124.
4. Sertkaya M. (2017), “Betonarme ve Öngerilmeli Beton Kirişlerin Kesme Kapasitelerinin Tahminine Yönelik Bir Araştırma”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
5. Yuva, Y. (2018), “Öngerilmeli Boşluklu Döşeme Elemanlarının Yükleme Deneyi ile Performansının Değerlendirilmesi”, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 125.
6. Durukan, V. (2021), “Prefabrik Öngerilmeli TT-Kirişin Yükleme Deneyi ile Performansının Değerlendirilmesi”, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
7. TS500, (2000), “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
8. TBDY-2018, (2018), “Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara.
9. TS 3233, Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
10. TS 9967, Yapı Elemanları Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
11. Beton Prefabrikasyon El Kitabı. (2018), Türkiye Prefabrik Birliği.

**TARİHİ BİR URFA EVİNDE TAŞIYICI MALZEME OLARAK KULLANILAN
KİREÇTAŞININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

ASSESSMENT OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL FEATURES OF LIMESTONE
USED AS STRUCTURAL MASONRY MATERIAL IN A HISTORICAL URFA HOUSE

Betül Demirkol

Yüksek Lisans Öğrencisi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Mimarlık
Fakültesi, Mimarlık Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-2614-7102

Fevziye Aköz

Prof. Dr., Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-0042-4079

Kasım Mermerdaş

Doç. Dr., Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-1274-6016

Yusuf Işiker

Dr. Öğr. Üyesi, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0002-6777-0080

ÖZET

Şanlıurfa ili Göbeklitepe, Balıklıgöl, Harran Harabeleri gibi önemli kültür varlıkları nedeniyle ülkemizde ve dünyada dikkat çeken önemli şehirlerimizden biridir. Kireçtaşından yapılmış olan tarihi yapıların korunması ve aslına uygun olarak restore edilmesi Şanlıurfa geleneksel mimarisinin kültürel miras olarak korunması açısından önem arz etmektedir.

Binalar, zaman içinde çeşitli bozulma etkilerine maruz kaldığından, taşlar da performans kaybına uğramaktadır. Yapılacak restorasyon çalışmalarında; yapıdaki taşların ve yenilemede kullanılacak taşların birbirine uygun olması ve fiziksel ve mekanik bakımdan belirli uygunluk kriterlerini taşıması beklenir.

Bu çalışmada, kriterlerin karşılaştırılması amacı ile Şanlıurfa İlinde bulunan “Tarihi Urfa Evi” olarak tescil edilmiş, Karaçizmeliler Evinin alt ve üst katından taş örnekleri alınmış, Akabe bölgesindeki taş ocağından kireçtaşı örnekleri temin edilmiş, laboratuvarında numuneler hazırlanmış, taşların donma çözölmeye karşı dayanıklılığı hızlandırılmış ve şiddetlendirilmiş tekrarlı sodyum sülfat testleri ile araştırılmıştır. Doğal taşların su emmesi, ultrases geçiş hızı, termal iletkenliği ve basınç dayanımı araştırılmıştır. Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre; binanın alt ve üst katından alınan taş numunelerde çok az fark olduğu, üst kattan alınan numunelerin bozulmalardan daha çok etkilendiği ancak tamamen bozulmadığı ve halen kullanılabilir durumda olduğu, binadan ve ocaktan alınan numunelerin birbirinden anlamlı düzeyde farklı olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tarihi Urfa Evi, Kireçtaşı, Yığma Yapı, Fiziksel deneyler, Mekanik Özellikler

ABSTRACT

Due to its location in the center of the Southeastern Anatolia Project (GAP) and existence of important cultural assets such as Göbeklitepe, Balıklıgöl and Harran Ruins, Şanlıurfa is one of the most remarkable cities in our country and in the world. Especially in the last 40 years, despite the accelerating rate in construction of reinforced concrete buildings, historical structures made of limestone still attract attention. The preservation of these structures and their restoration in accordance with their originals is important in terms of conserving the cultural heritage of Urfa Houses, which are one of the local architectural and cultural elements of Şanlıurfa.

In order to provide an image of historical texture, Urfa Stone, which has also been used as a structural material in traditional masonry buildings, is used as a coating material in reinforced concrete buildings, especially in touristic areas. Since buildings are exposed to various deterioration effects over time, stones also lose performance. In the restoration work to be done; it is expected that the stones in the structure and the stones to be used in the renovation are compatible with each other and meet certain physical and mechanical suitability criteria.

In this study, in order to compare the criteria, limestone samples were taken from the lower and upper floors of the Karaçizmeli House, which was registered as the "Historical Urfa House" in Şanlıurfa Province. Limestone samples were obtained from a local quarry and samples were prepared in the laboratory for testing. The resistance of the stones against freezing and thawing was monitored by an accelerated sodium sulfate attack method. Water absorption, ultrasound pulse velocity, thermal conductivity and compressive strength of natural stones have been investigated. According to the results obtained from the experiments, it was observed that there was little difference in the stone samples taken from the lower and upper floors of the building. It was also determined that the samples taken from the upper floor were affected more than those than from lower floor but were not completely deteriorated and still usable. Moreover, it was also observed that the samples taken from the building and the quarry were not significantly different from each other in terms of performance.

In the paper, the building will also be introduced by details and the properties of Urfa Stone taken from the building and the quarry be compared.

Keywords: Historical Urfa House, Limestone, Masonry Building, Physical Experiments, Mechanical Properties

1. GİRİŞ

Binlerce yıl ayakta kalabilen doğal taş yapılar, geçmişteki uygarlıkların yeni nesillere aktarılmasında ve irdelenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Anadolu, geçmişten bugüne birçok uygarlığa ev sahipliği yapmıştır. Tarihsel süreç incelendiğinde, insan eli ile yapılmış en eski ve en kalıcı yapılar, taş yapılardır. Milattan yaklaşık 9600 yıl öncesine dayanan, çevresindeki kireçtaşıdan yapılmış olan Göbeklitepe bilinen en eski kült yapıdır (Schmidt, K., 2018).

Doğal taş, kolay bulunması ve çeşitliliği nedeni ile Anadolu'da en yaygın kullanılan yapı malzemesi olmuş, kolay işlenebilmesi ve atmosfer etkilerine dayanıklı olmasından dolayı 20. yüzyıla kadar yapıların ana malzemesi olma özelliğini korumuştur. Endüstri devrimi sonrasında yeni inşaat teknolojileri ve malzemelerinin ortaya çıkması ve kullanımı nedeni ile özellikle taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasında doğal taşta ilgi azalmış, ancak son dönemlerde çevre bilincinin gelişmesi, doğaya dönüş isteği ve sürdürülebilirlik kavramının irdelenmesi gibi nedenler ile kullanım alanı ve miktarı tekrar artmaya başlamıştır.

Taşın çeşidi, kalitesi ve bölgesinde bulunabilirliği kullanım alanlarını belirleyen en önemli etkenlerdir. Bir bölgede, yapıda kullanılacak taşın seçiminde taşın dayanımı, sertliği, kolay işlenmesi ve başta su olmak üzere çevresel etkenlere karşı dayanıklılığı en önemli özellikleridir.

Doğal taşlar ülkemizdeki geleneksel yapılarda hemen hemen tüm bölgelerde kullanılmıştır; en yoğun kullanıldığı bölgelerden biri Güneydoğu Anadolu bölgesidir. Kireçtaşı bölgede bulunan ve yoğun olarak kullanılan en önemli taşlardan biridir. Şanlıurfa'da kireçtaşı yüz yıllardır ocaklardan temin edilmiş, taş yapıların inşa edilmesinde yapı malzemesi olarak kullanılmıştır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, son yıllarda başta Göbeklitepe olmak üzere birçok tarihi zenginliği ile dünyanın dikkatini üzerine çekmekte, bölgeye olan ilgiyi artırmaktadır. Bu da bölgedeki tarihi yapıların gözden geçirilmesini, yeniden işlevlendirilmesini ve restorasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Taşın dokusu ve rengi ile tanımlanan bu yapıların restorasyonunda bölgedeki kireçtaşına olan talep artmıştır.

Bu çalışmada, yapıların restorasyonu nedeni ile artan talep doğrultusunda bölgedeki taşların bilinçli ve doğru şekilde kullanılabilmesi için Şanlıurfa tarihi yapılarının restorasyonunda kullanılacak ocaktan alınan taş örneklerinin özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi, eski ve yeni taşların özellikleri karşılaştırılarak zamanın eskitici etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu amaç ile inceleme konusu binada görsel inceleme yapılmış, binanın son durumu fotoğraflarla tespit edilmiş, alt ve üst kattan taş örnekleri alınmıştır. Restorasyonda kullanılacağı düşünülen ve hala faaliyet gösteren ocaktan da örnek alınmış, laboratuvarında hazırlanan numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, binadan ve ocaktan alınan taş özellikleri karşılaştırılmıştır.

2. ŞANLIURFA

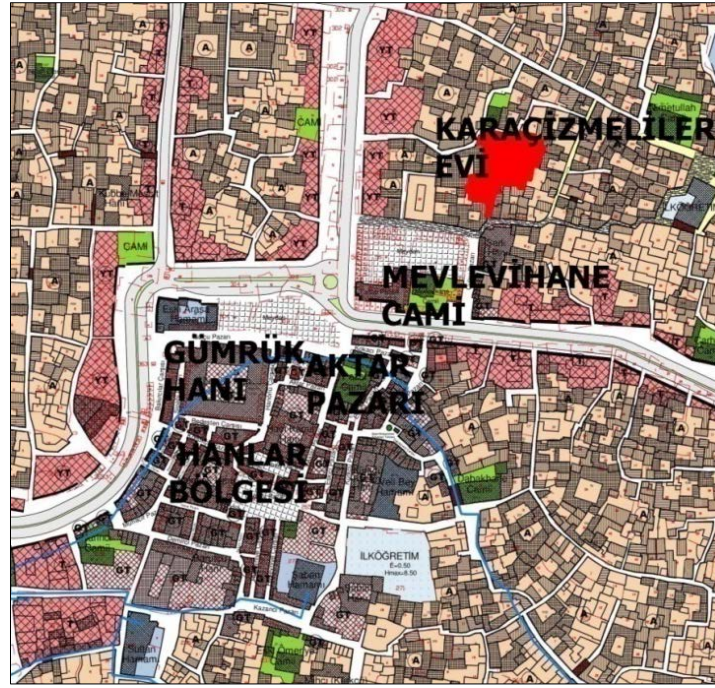
Türkiye'nin en kalabalık sekizinci şehri olan Şanlıurfa'nın doğusunda Mardin, batısında Gaziantep, kuzeyinde Adıyaman, kuzeydoğusunda Diyarbakır illeri yer almakta, güneyinde Suriye sınırı bulunmaktadır.

Şanlıurfa ve civarına Cilalı Taş Devri'nden beri yerleşildiği bilinmektedir. Göbeklitepe Höyüğü, MÖ 11000 yıllarında kullanılan Dünya'nın bilinen en eski mabetinin bulunduğu yerdir.

Şanlıurfa'da karasal iklim görülmektedir, yazlar sıcak, kışlar soğuk geçer. Karasal iklimden dolayı nem oranı azdır ve Türkiye'nin en sıcak ilidir. Yılın 25 günü sıcaklık 0°C'nin altındadır, yıllık ortalama sıcaklık farkı 40 derecedir. Karlı ve donma olan gün sayısı azdır (URL 1).

Şanlıurfa sivil mimarisinin Anadolu'da kendine özgü bir yeri vardır. Bu mimari yörenin iklim koşullarından ve yüzyıllar boyunca süre gelmiş bir gelenekten kaynaklanır. Geçmişteki birçok medeniyetin etkisiyle oluşan mimaride; kalın ve yüksek taş duvarlı dar sokaklar, düz damlı, eyvan ve avlulu yapı tipleri bulunmaktadır.

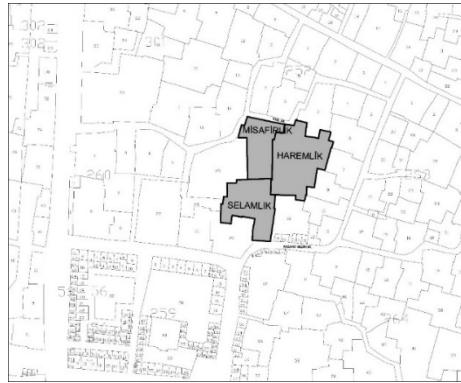
Alan çalışması kapsamında eski yerleşimin bulunduğu bölgede yer alan Karaçizmeli Evi incelenmiştir. Şanlıurfa'da geleneksel yapıların büyük çoğunluğunun ana malzemesi kireçtaşıdır. Karaçizmeli Evi'nin çevresinde Şekil 1'de görüldüğü gibi Gümrük Hanı ve diğer hanlar, Mevlevihane Camii, Aktar Pazarı olmak üzere birçok tescilli tarihi bina bulunmaktadır.



Şekil 1. Karacımeliler Evi'nin çevresindeki tarihi yapılar.

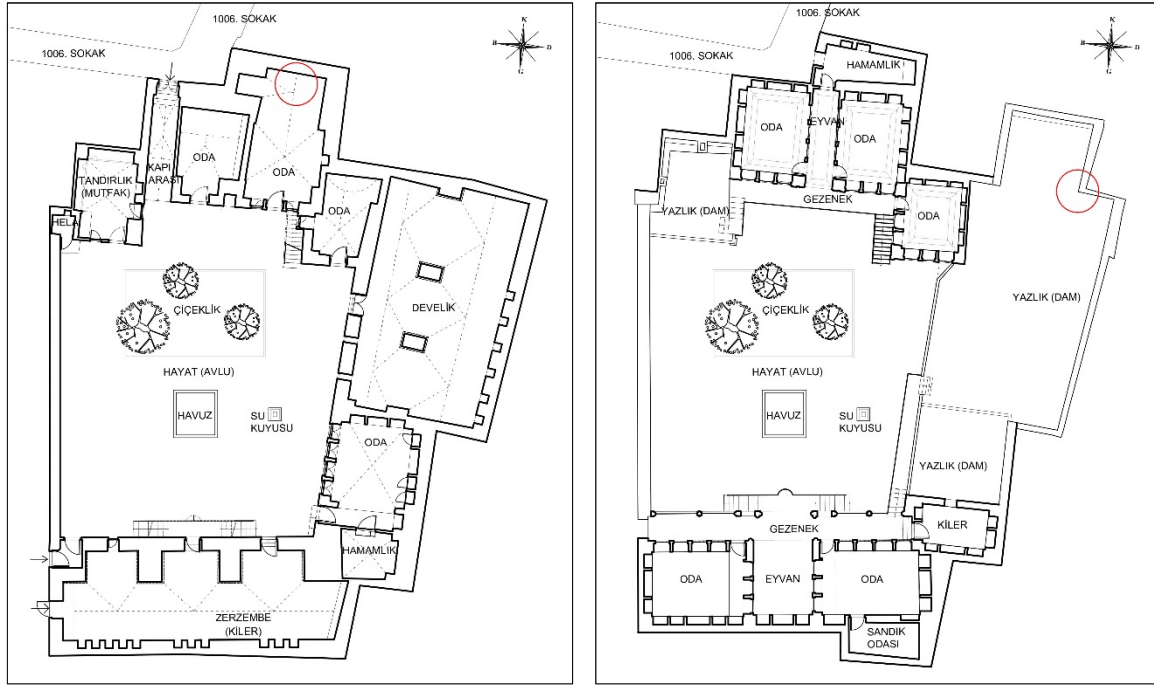
2.1. Karacımeliler Evi

Karacımeliler Evi Şanlıurfa'nın tescilli geleneksel evlerinden biridir. Yapım tarihi ile ilgili kesin bir bilgiye rastlanmamıştır. Bina ile ilgili bilgilere '*Geleneksel Urfa Evlerinin Mimari Özellikleri*' adlı kitaptan ulaşılmıştır. Binanın iki farklı sokaktan girişi bulunmaktadır. İnceleme konusu bina Şekil 2'de gösterildiği gibi haremlik, selamlık ve misafirlik olarak üç bölümden oluşmaktadır. Ancak bugüne haremlik bölümü ulaşabilmiş diğerlerinin yerine vasıfsız binalar yapılmıştır. Bina farklı dönemlerde onarım geçirmiş olduğundan özgün durumu ile ilgili bilgiler, binanın bugüne ulaşan bölümünden ve izlerinden elde edilmektedir.



Şekil 2. Karacımeliler Evi vaziyet planı.

Şekil 3'te görülen haremlik bölümüne, selamlıktan ve sokaktan basık kemerli kapılar ile ulaşılmaktadır. Sokaktaki giriş, geleneksel mimaride 'kapı arası' olarak adlandırılan dikdörtgen planlı, sivri tonoz örtülü geçide açılır. Kapı arasından 'hayat' denilen avluya ulaşılır. Avluda dikdörtgen planlı çiçeklik, kare planlı havuz ve su kuyusu bulunmaktadır. Avlu, evin bölümlerine ulaşımı sağlayan ana kısımdır.



Şekil 3. Karaçizmeliler Evi zemin kat ve birinci kat planı.

Avlunun batı cephesinde düzgün kesme taş ile inşa edilmiş yalın duvar ve selamlık kısmına açılan kapı mevcuttur. Şekil 3'deki kat planlarında ve Şekil 4'teki fotoğrafta görüldüğü gibi güney cephesinde avlu kotunun yaklaşık bir metre altında zerzembe, üstünde çift taraflı merdiven ile ulaşılan eyvan ve iki oda bulunmaktadır. Doğu cephesinde dikdörtgen planlı, çapraz tonoz örtülü develik ve oda yer almaktadır, odanın içinde hamamlık mevcuttur.

Şekil 3'deki kat planlarında ve Şekil 5'teki fotoğrafta görüldüğü gibi avlunun kuzey cephesinde zemin katta tandırlık, hela, üç oda ve kapı arası ile ulaşılp, sokağa açılan giriş kapısı bulunmaktadır. Avludan merdiven ile birinci katın gezeneğine ulaşılmaktadır. Burada eyvan, üç oda ve hamamlık yer almaktadır.



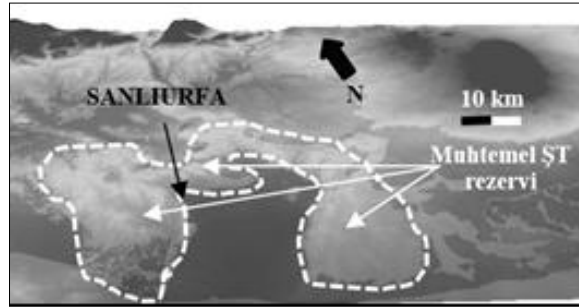
Şekil 4. Karaçizmeliler Evi güney cephesi.



Şekil 5. Karacizmeliler Evi kuzey cephesi.

2.2. Şanlıurfa Kireçtaşı Ocakları

Şanlıurfa kireçtaşı yaklaşık 18.500 km²'lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 6). Şanlıurfa'da antik ve yeni (Şekil 7) olmak üzere bazı taş ocakları bulunmaktadır. Bilinen en eski yeraltı taş ocağı Bazda taş ocaklarıdır, 3.000 yıl önce yapılmış Harran kalesinin inşasında kullanılan taşlar bu ocaklardan çıkarılmıştır. Şanlıurfa'da terk edilmiş taş ocaklarının yerinde irili ufaklı, doğal veya yapay olmak üzere 430 mağara bulunmaktadır. Bu mağaralar halen yazlık ev, besin deposu, kar deposu ve ahır olarak kullanılmaktadır (Ağan, C., vd, 2018).



Şekil 6. Şanlıurfa kireçtaşı yüzlekleri (Ağan, C., vd, 2018).



Şekil 7. Şanlıurfa'daki antik Bazda Mağaraları (URL 2) ve yeni taş ocağı.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Şanlıurfa'da Karaçizmeliler Evi'nden Şekil 3'deki planlarda ve Şekil 8'deki fotoğraflarda görüldüğü gibi alt ve üst kattan olmak üzere iki, ocaktan bir kireçtaşı örneği alınmış, bu örneklerden hazırlanan numuneler, Tablo 1'de verildiği gibi kodlanmıştır.



Şekil 8. Karaçizmeliler Evi'nin alt ve üst katından taş örneklerinin alındığı bölgeler.

Tablo 1: Örneklerin alındığı yer ve numune kodları

Numune Kodu	Taşın alındığı yer
YÜ	Binanın üst katından
YA	Binanın alt katından
O	Ocaktan

Alınan örneklerden 70X70X70 mm boyutlu numuneler hazırlanmış, numunelerin ağırlığı kapasitesi 6000 g, duyarlılığı 0,1 g olan hassas terazide tartılmış, boyutları dijital kumpas ile ölçülmüş, 105±5 °C sıcaklığındaki etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur.

Numuneler hazırlandıktan sonra boşluklu birim hacim ağırlık, su emme, ultrases geçiş hızı, ısı iletimi, sodyum sülfat çözeltisine dayanıklılık, tek eksenli yük altında basınç deneyleri uygulanmıştır.

3.1. Boşluksuz Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Ocaktan ve binadan alınan numuneler etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş, suya doymuş hale getirilen numunelerin hacmi, Arşimet Prensibinden yararlanılarak tespit edilmiş, birim ağırlığı aşağıdaki bağıntıdan (1) hesaplanmıştır.

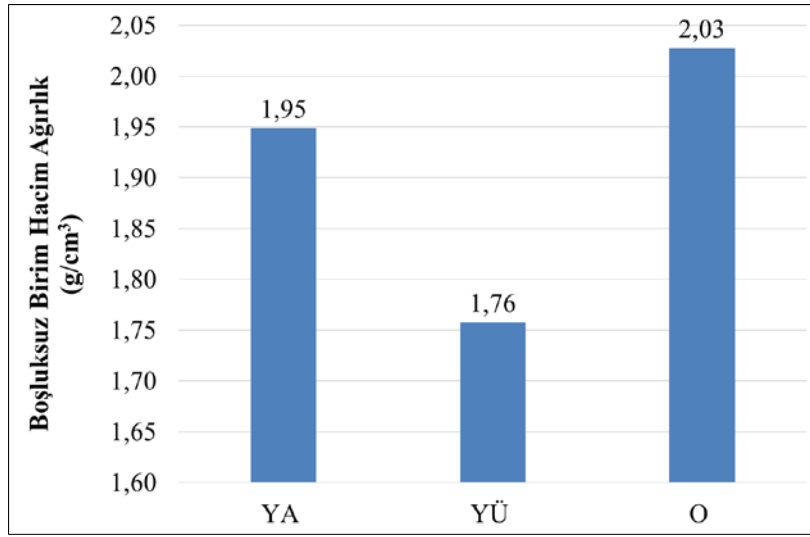
$$d = G_o / (G_o - G_d) \dots \dots \dots (1)$$

Bağıntıda;

d: Yoğunluk (g/cm³)

G_d: Taşın su içindeki ağırlığı (g)

G_o: Etüv kurusu ağırlık (g)



Şekil 9: Boşluksuz birim hacim ağırlık deneyi sonuçları.

Şekil 9'daki grafik incelendiğinde üst kattan alınan taşın boşluklu birim hacim ağırlığı en düşük, ocaktan alınan taşın boşluklu birim hacim ağırlığı en yüksektir. Binanın alt katından alınan taşın birim ağırlığı ocaktan alınan taşınkine yakın değerdedir.

3.2. Su Emme ve Kuruma Hızı Deneyi

Örneklerde su emme oranını ve kuruma hızını belirlemek için aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

3.2.1. Su Emme Deneyi:

Binadan ve ocaktan elde edilen numuneler, (105 ± 5) °C sıcaklığındaki etüvde sabit ağırlığa (G_o) ulaşıncaya kadar kurutulmuş, daha sonra oda sıcaklığındaki suya batırılmış, 24., 48., 72. ve 168. saatlerde sudan çıkarılarak tartılmıştır. Numunelerin ağırlıkça su emme oranları ($S_k, \%$) aşağıdaki bağıntıdan (2) hesaplanmıştır.

$$S_k = (G_d - G_o) / G_o \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Bağıntıda;

S_k : Su emme (%)

G_d : Taşın doygun haldeki ağırlığı (g)

G_o : Etüv kurusu ağırlık (g)

3.2.2. Kuruma Hızı Deneyi:

Numuneler 168. saatin sonunda sudan çıkartılmış, rüzgârız laboratuvar ortamına bırakılmış, 24., 48., 72. ve 168. saatlerde tartılmış, ağırlıkları belirlenmiş, numunelerin kuruma hızı ($K_h \%$) aşağıdaki bağıntıdan (3) hesaplanmıştır.

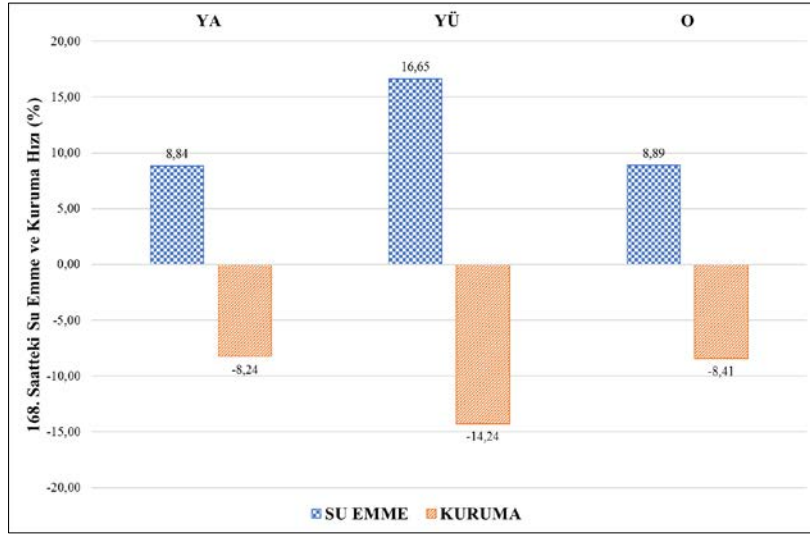
$$K_h = (G_k - G_d) / G_d \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

K_h : Kuruma hızı (%)

G_d : Taşın doygun haldeki ağırlığı (g)

G_k : Taşın 24 saatte su kaybetmiş ağırlığı (g)

Deney sonuçlarına göre 168. saatteki su emme ve kuruma hızı grafiği (Şekil 10) hazırlanmıştır. Ocaktan alınan örnek ile binanın alt katından alınan örneğin su emme ve kuruma hızı yakın değerdayken, binanın üst katından alınan örneğin su emme ve kuruma hızı diğer iki örnekten yüksektir.

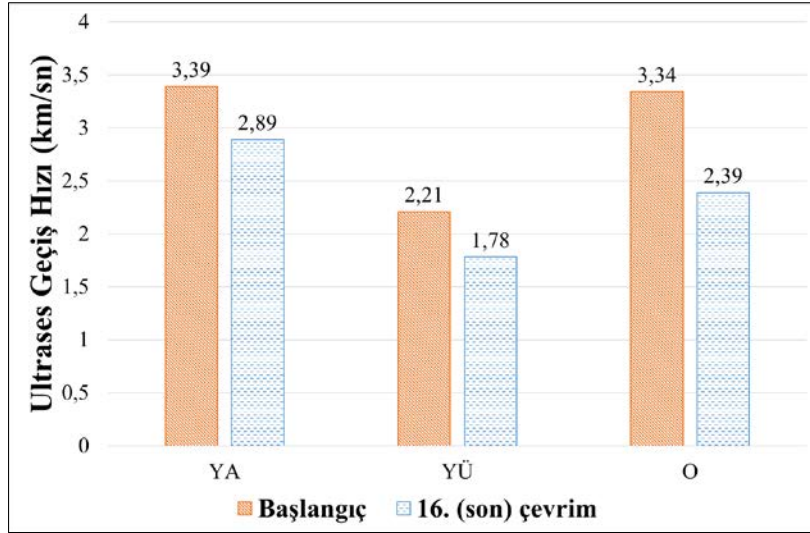


Şekil 10: 168. Saatte su emme ve kuruma hızı

3.3. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyinde etüv kurusu numunelerde, frekansı 55 Hz. olan ultrases aleti ile karşılıklı yüzeylerde doğrudan ölçüm yapılmış, ses geçiş süresi (t, μ s) ölçülmüştür. Ses geçiş hızı (V, km/s), numunelerin ölçüm yapılan boyu (L, mm), ultrases geçiş süresine (t, μ s) oranlanarak belirlenmiştir.

Ultrases ölçümü sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerde de her bir çevrimde uygulanmış, ses geçiş hızı (V, km/s) hesaplanmıştır. Numunelerin deney başlangıcındaki etüv kurusu değerleri ve 16. Çevrim sonundaki değerleri grafiğe aktarılmış (Şekil 11), birbirleriyle kıyaslanmıştır. Üç örnekte de 16 çevrim sonrası ultrases hızının düştüğü gözlenmiştir, bu da numunelerde gözle görülemeyen çatlaklar oluştuğunun göstergesidir.



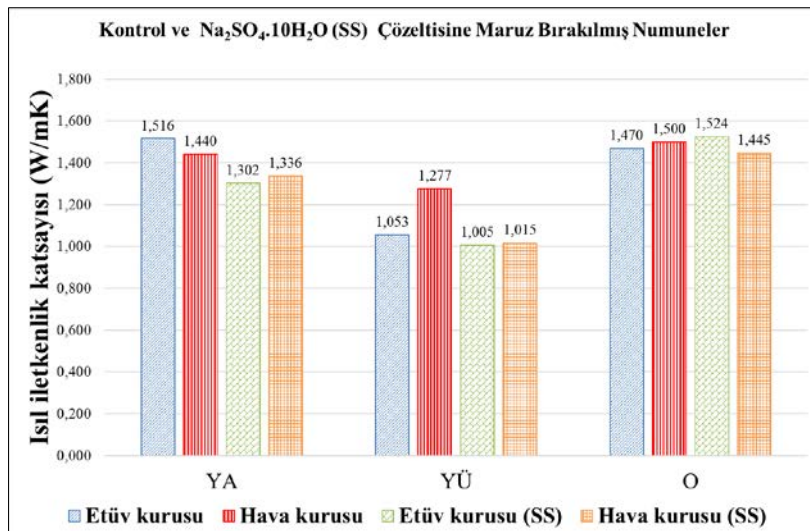
Şekil 11. Ultrases geçiş hızı değerleri

Binanın üst katından alınan taşın; su emmesinin yüksek, ultrases geçiş hızının düşük olması bu numunedeki gözeneklerin diğerlerine göre fazla olduğunun göstergesidir. Ocaktan alınan örnek ile binanın alt katından alınan örneğin değerleri birbirine yakındır.

3.4. Isı İletimi Deneyi

Binadan ve ocaktan alınan numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri, standart ölçüm cihazında ölçülerek disk ısı kaynağı yöntemiyle (Hot Disk) belirlenmiştir. Deneyde, ısı iletim katsayısı, özgül ısı değeri ve ısı difüzyon ölçümü yapabilen Hot Disk TPS 500 S Termal Özellik Analizörü kullanılmıştır. Bu deneyde aynı özellikteki iki numune arasına hot disk sensörü yerleştirilir, arada hava boşluğu kalmaması için sıkıştırılır. Program üzerinden malzemenin sıcaklığı, ölçüm zamanı, ısıtıcı gücü verileri sisteme girilir ve hangi sensörün kullanılacağına karar verilir ve ölçüm başlatılır.

Isı iletimi deneyi, sodyum sülfat çözeltisine (SS) maruz bırakılan numunelere ve kontrol numunelerine uygulanmıştır. Numunelerin etüv kurusu ve hava kurusu olarak ısı iletim katsayısı değerleri Şekil 12'deki grafikte belirlenmiştir.



Şekil 12. Isıl iletkenlik katsayısı değerleri

Numunelerin genelinde hava kuru olanların ısı iletim katsayısının etüv kuru olanlardan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ocaktan alınan numunelerin ısı iletim katsayısı değeri en yüksek, binanın üst katından alınan numunelerinki en düşüktür, binanın alt katından alınan ile ocaktan alınan numunelerinki yakın değerdedir.

Isıl iletkenlik değerleri, birim hacim ağırlık, su emme ve ultrases hızı ile birlikte değerlendirildiğinde binanın üst katından alınan örneğin binanın alt katından ve ocaktan alınan örneklerden daha gözenekli ve/veya çatlaklı olduğu sonucu çıkartılabilir.

3.5. Sodyum Sülfat Çözeltisine Dayanıklılık Deneyi

Ocaktan ve binadan elde edilen örneklerden hazırlanan 70X70X70 mm boyutlu küp numunelerden 2'şer tanesi, 105±5°C sıcaklığındaki etüvde sabit ağırlığa ulaşmaya kadar bekletilmiş, sodyum sülfat etkisinin araştırılması için TS EN 12370 standardına göre deneye başlanmıştır. Deneyde numuneler, 2 saat süre ile çözelti içinde tutulmuş, çözeltiden çıkarıldıktan sonra 20 saat süre ile sıcaklığı 100 °C olan etüvde kurutulmuş, etüvden çıkarılan numuneler soğuması için 2 saat süre ile laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Eskitme süreci olarak tanımlanan ve toplam 24 saatte tamamlanan bu süreç, bir tekrar/bir çevrim kabul edilmiş, numunelere toplam 16 çevrim uygulanmıştır.

Sodyumsülfat etkisinde bırakılan numunelerin, her çevrim sonunda; ağırlığı ve ultrases geçiş süresi ölçülmüş, zamana bağlı değişimi araştırılmış, 16. tekrar sonunda ısı iletim katsayısı incelenmiştir. Numunelerin her çevrimdeki ağırlık değişimi oranları (a_d ,%) aşağıdaki bağıntıdan (4) hesaplanmıştır.

$$a_d = (G_d - G_o) / G_o \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

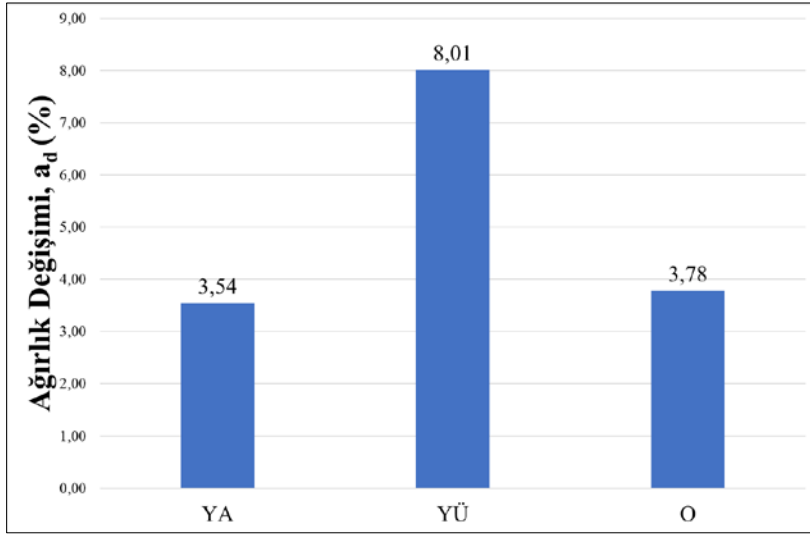
Bağıntıda;

a_d : Ağırlık değişimi (%)

G_d : Son etüv kuru ağırlık (g)

G_o : İlk etüv kuru ağırlık (g)

Belirlenen ağırlık değişimi oranlarını gösteren grafik Şekil 14'te verilmiştir. Su emme ile benzer sonuçlar gözlenmiş, bu deneyde en çok tuz emilimi binanın üst katından alınan örnekte gerçekleşmiştir. Ocaktan ve binanın alt katından alınan örneklerin değerleri birbirine yakındır.



Şekil 14: Sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerin ağırlık değişimi oranları.

Belirlenen ağırlık değişimi oranlarını gösteren grafik Şekil 14'te verilmiştir. Su emme ile benzer sonuçlar gözlenmiş, bu deneyde en çok tuz emilimi binanın üst katından alınan örnekte gerçekleşmiştir. Ocaktan ve binanın alt katından alınan örneklerin değerleri birbirine yakındır.

Her çevrimde ve 16. çevrim sonrasında numunelerde görsel inceleme yapılmış, fotoğrafları çekilmiş, tartılmış, ultrases geçiş süreleri ölçülmüştür. Numuneler 16. çevrimin sonunda bu ölçümlerden sonra 24 saat süre ile suda bırakılmış, sudan çıkarılmış, kuruması için laboratuvar ortamında 48 saat süre ile bekletilmiştir. Yapılan görsel incelemede 16 çevrim sonrasında hasar görmemiş olan numunelerde, bu işlem sonrasında Şekil 13'te görüldüğü gibi hasar meydana gelmiştir.



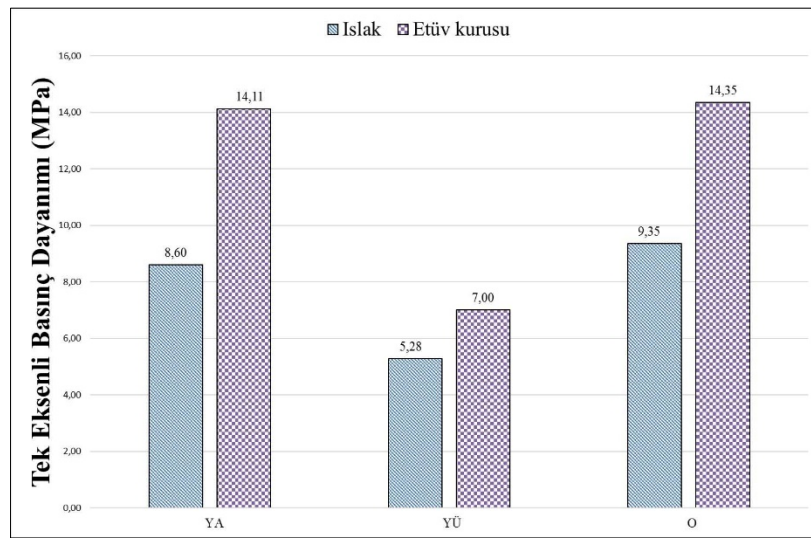
Şekil 13: Numunelerinin başlangıçtaki ve eskitme süreci sonundaki görünüşleri.

3.6. Tek Eksenli Yük Altında Basınç Deneyi

Basınç deneyi, etüv kurusu ve suya doymun numunelerde, kapasitesi 3000 kN olan preste, 0,25 MPa/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler, presin yükleme başlıkları arasına yerleştirilmiş, yük uygulanmış, yüklemeye numune kırılincaya kadar devam edilmiş, kırılmanın gerçekleştiği en büyük yük (Pk, kN) kaydedilmiştir. Bu değer hassas olarak ölçülen basınç yüzey alanına bölünerek maksimum gerilme değeri/dayanım belirlenmiştir.

Örneklerin basınç dayanımı değerleri Şekil 15'deki grafikte verilmiştir. Etüv kurusu numunelerin basınç dayanımı ıslak numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Bu durum boşlukların içerisinde bulunan suyun, çatlayan yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltarak çatlak ilerlemesini kolaylaştırıp numunelerin daha düşük yük etkisinde hasar durumuna ulaşması ile açıklanabilir. Ocaktan alınan örneklerin basınç dayanımı en yüksek, binanın alt katından ve

ocaktan alınan örneklerin basınç dayanımı yakın değerlerde, binanın üst katından alınan örneğin basınç dayanımının ise en düşük değerde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 15: Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şanlıurfa'daki ocaktan ve Karaçizmeliler Evi'nin alt ve üst katından alınan örneklerden hazırlanan numunelerde boşluklu birim hacim ağırlık, su emme, ultrases geçiş hızı, ısı iletimi, sodyum sülfat çözeltisine dayanıklılık, tek eksenli yük altında basınç deneyleri yapılmış, deney verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuç ve öneriler aşağıda verilmiştir.

- 4.1 Boşluksuz birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde ocaktan alınan taş ile binanın alt katından alınan taş yakın değerlerde iken, binanın üst katından alınan taşın birim ağırlığı diğer iki taştan daha düşüktür. Bu durum;
 - 4.1.1 Alt kattan alınan örnek korunduğu için ocaktan alınan örnek ile benzer değerler gösterdiği, üst kattan alınan örneğin ise atmosfer etkilerine maruz kaldığı ve hasar gördüğü için daha düşük performans gösterdiği şeklinde yorumlanabilir.
 - 4.1.2 Binadan alınan örneklerde; alt ve üst kat arasındaki farklar, eski dönemlerdeki yapı ustalarının malzemeyi tanıdıklarını ve bilinçli bir şekilde kullandıklarını da göstermektedir. Zamanın taş ustaları, zayıf veya boşluklu malzemeleri üst katlarda, yüksek kalitedeki malzemeyi ise daha büyük yük etkilerine maruz kalacağı için alt katlarda kullanılmış olabileceğini düşündürmektedir. Örneklerdeki farklar Aköz vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada belirtilen duruma uymaktadır.

Sonuç olarak tarihi yapıların onarım ve restorasyon çalışmalarında yapının mimari özelliklerine ve kullanılacak malzeme özelliklerinin özgün malzemeye uygun olmasına dikkat edilmeli, seçilecek malzemelerin özgün malzemeye uyumu için; özellikleri fiziksel ve mekanik deneyler ile araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Ağan, C., Őit, M., Şanlıurfa Taşının Bazı Mühendislik Özellikleri ve İktisadi Yönden İncelenmesi, Academic Platform Journal of Engineering and Science 6-3, 145-152, 2018.

Akkoyunlu, Z., Geleneksel Urfa Evlerinin Mimari Özellikleri, Kültür Bakanlığı Yayınları:1060, 1989, Ankara.

Aköz, F., Seçkin, N., Yüzer, N., Erzurum Hatuniye (Çifte Minareli) Medresesi Ve Malzeme Özelliklerinin Araştırılması, 4. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, İMO, 301-311, İstanbul, 27-29 Kasım 2013.

Schmidt, K., Göbekli Tepe, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, 2018, İstanbul.

URL 1. <https://www.cografya.gen.tr/tr/sanliurfa/iklim.html>

URL 2. <https://www.sanliurfa.bel.tr/icerik/234/625/bazda-magaralari#images-3>

TARİHİ YAPILARDA KAROSİMAN KULLANIMI (İZMİR ÖRNEĞİ) USE OF KAROSİMAN IN HISTORICAL BUILDINGS (IZMIR SAMPLE)

Eti Akyüz Levi

Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü

ORCID NO: 0000-0003-3113-686X

ÖZET

Yapı malzemeleri yapıların dayanım ve kullanımlarını etkilemeleri yanısıra, onları karakterize eden en önemli unsurlardandır. Bu çalışmada 19. yüzyıl ortalarında Fransa'da üretilen ve özellikle Levanten evlerinde kullanılacak diğer yapı malzemeleri ile yurtdışından ithal edilerek ülkeye ticaret yoluyla gelen karosiman (carreaux de cement) malzemenin kullanımı örneklerle ele alınmaktadır.

Hijyen ve kullanım pratikliği sağlayan söz konusu malzeme Akdeniz ticareti ile Dünya'da geniş bir coğrafyaya yayılarak evrensel bir nitelik kazanmış, geniş desen yelpazesi farklı yerleşimlerde belirli örneklerin daha yoğun kullanımına, adeta o desenlerin yerleşmesine neden olmuştur. Anadolu'da da farklı coğrafyalar ve değişik yapı türlerinde yer yer aynı desenlerdeki malzemenin kullanımı görülmektedir. Önceleri ithal edilen malzeme, sonraları Rum ve Ermeni ustalar tarafından Anadolu'da üretilmeye başlamıştır.

Çalışmanın amacı, karosiman malzemenin kullanımına yönelik örneklerin belirlenmesi ve aynı desenlerin döşeme dışında dekoratif amaçlı, ya da farklı yapı türlerinde döşeme malzemesi olarak kullanıldığını ortaya koymaktır. Bu bağlamda gözlem ve yerel incelemelerle yapılan saptamalar yanısıra literatürel araştırmalar ışığında konu irdelenmiştir.

Çalışmada, İzmir'de gerek geleneksel evlerde, gerekse diğer tarihi yapılarda söz konusu malzemenin kullanımına ilişkin örnekler ele alınmaktadır. 1960'lara dek yoğun olarak kullanılan karosiman malzemenin yakın geçmişte yalnızca tarihi yapı onarımları için özel imalatla üretilen restorasyon malzemesi olarak değil, aynı zamanda güncel yapılarda da kullanılmak üzere yeniden üretilmeye başlanması dikkat çekmektedir. Özellikleri yanısıra, dekoratif algısı ile de yapıları ve mimari öğelerini zenginleştiren bir nitelik yansıtmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaplama, Süsleme, Çimentolu Karo, Karosiman, İzmir

ABSTRACT

Building materials, in addition to that they effect the strength of the buildings and their use, are the most important elements that characterize them. In this study, it is discussed with examples the use of the karosiman (Cement tile - Carreaux de Cement) which was produced in France and imported from overseas with other building materials that will be used in Levantine houses.

The material in question, which provides hygiene and practicality of use, has gained a universal qualification by being spread in a wide geography with Mediterranean Trade, resulting in a more intensive use of certain samples in different settlements, localizing those patterns. In Anatolia, in different geographies and different types of buildings, the use of materials with same pattern can be seen. The previously imported material has started to be produced in Anatolia by the Greek and Armenian craftsmen later.

The aim of the study is to determine the samples of karosiman that has been used and to demonstrate that the same patterns were used for decorative purposes, or in different building

types. In this context, the subject was examined in the light of literatural research as well as observations and local examinations.

In the study, examples of the use of the material in traditional houses in Izmir, and other historical buildings are discussed. It is noteworthy that the karosiman material that was used intensively until the 1960s, is not only produced with custom manufacturing as restoration material for historical building repairs, but also is reproduced in order to be used in current buildings. In addition, it enriches buildings and architectural elements with its decorative perception.

Keywords: Covering, Ornament, Cement Tile, Karosiman, İzmir

1. GİRİŞ

19. yüzyılda ilk olarak Güney Fransa'da üretilip ticaret yolu ile Akdeniz Ülkelerine, ardından tüm Dünya'ya gönderilen çimentolu karolar (carreaux de ciment) yoğun bir kullanım bulmuştur. Anadolu'da da özellikle Levanten aileler evlerinin yapımında yurtdışından diğer yapı malzemeleri ile birlikte karosiman da getirtmişlerdir. Başlangıçta ithal edilen bu malzeme sonraları Rum ve Ermeni ustalarca Anadolu'da üretilmiştir.

Karosiman, hijyen ve kullanım pratikliği yanısıra, geniş desen yelpazesi ile neredeyse her zevke hitap eden dekoratif bir yapı malzemesi olarak da evler yanısıra çok farklı işlevli kamusal yapılarda da özellikle zemin döşeme malzemesi olarak kullanılmıştır.

Bu çalışmada karosiman malzemenin kullanım yerleri, yerel gözlemler bağlamında yapılan saptamalar yanı sıra literatür araştırmaları ışığında ele alınmaktadır. Farklı boyut ve formlardan ziyade, özellikle çok geniş desen yelpazesi ile dikkat çeken karosimanların İzmir'de görülen örneklerine yer verilmektedir. Ayrıca aynı desenin farklı yerleşimlerdeki örnekleri ile karşılaştırmalar sunulmaktadır.

2. KAROSİMAN VE ÖZELLİKLERİ

Fransızca *carreaux de ciment* sözcüğünden gelen karosiman kelimesi çimentolu karolar anlamındadır. Pigmentli ve beyaz çimento, mermer tozu yanısıra minerallerin de katkısı ile oluşturulur. Üç katman olarak hazırlanan karosiman malzemenin en üstte olan, ancak ilk olarak yapılan katmanı desen içeren kısımdır. Presleme sistemi ile üretilen malzeme, bir gün dinlendirilip bir saat suda tutulmakta, bir ay bekletildikten sonra da kullanıma uygun duruma gelmektedir (Orhun, 2011; Uçar, 2014).

Karosimanlar, farklı boyut ve formlar içermekle birlikte, en yaygın olarak 20/20 boyutundakiler kullanılmıştır. Kare dışında, dikdörtgen ve altıgen formlu karosimanlar da vardır. Malzeme, 10/10, 15/15, 20/20, 25/25, 10/20, 15/25 boyutlu dörtgen ve 11,5 veya 15 cm kenarlı altıgen formludur.

Üretildiğinde çok geniş bir desen yelpazesi ile çalışılmış, bu bağlamda kataloglar oluşturulmuş, malzeme geniş bir coğrafyaya yayılım göstererek evrensel bir nitelik kazanmıştır. Bununla birlikte ülkelerin belirli desenleri tercih etmeleri bazı desenlerin adeta yerelleşmesi sonucunu yaratmıştır.

Karosiman malzemedeki desenler, genellikle geometrik olmakla birlikte, bitkisel ya da geometrik ve bitkisel desenin birlikte kullanıldığı örnekler şeklindedir. Her ikisinin birlikte kullanıldığı örneklerde çeperde geometrik, merkezde bitkisel desenlerin kullanımı yaygındır. Desenin malzeme üzerindeki durumuna göre:

- Bütüncül desenin tek karoda yer aldığı örnekler (bütüncül desen),
- Bütüncül desenin modül tekrarı ile oluştuğu örnekler (modül tekrarlı)

olmak üzere gruplanabilir. İlki daha küçük mekânlarda, diğeri ise geniş alanlarda uygulanır. Bunda yerleştirme, modülü bütünleyecek şekilde olmaktadır. Söz konusu düzenlemede daha büyük bir motif, bazen de birden fazla motif ya da karoyu farklı şekillerde kullanarak pano da oluşturulmaktadır. Bu sistemde homojen bir yüzey deseni oluşturulabildiği gibi, çok farklı düzenlemeler, tasarımlar da gerçekleştirilebilmektedir.

3. İZMİR'DEKİ TARİHİ YAPILARDA KAROSİMAN MALZEME

İzmir'in liman ve ticaret kenti olarak önemi, özellikle de 17. yüzyılda Anadolu'nun ipek ticaret merkezi durumuna gelmesi şehre Dünya'nın her köşesinden gezgin ve tüccarların gelmesine ve yerleşimin çok kültürlü bir nitelik kazanmasına neden olmuştur. Bu durum, çeşitli toplulukların konsoloslukları, hastaneleri, dini yapıları, okulları ve evleri ile kentte aynı fiziki şartlar altında farklı mimari karakterler oluşturmalarına da yol açmıştır. Farklı toplumların varlığı, Avrupalı yaşam, dünyanın ünlü mağazalarının şubelerinin bulunması gibi özellikler de kentin dışı açılan yüzünü yansıtmıştır. Bu bağlamda Levantenler, özellikle dönemin banliyöleri Buca, Bornova gibi yerleşimlerde büyük bahçeler içinde ülkelerinin güçlerini yansıtmak istercesine cephe mimarisinin hakim olduğu, ihtişamlı köşkler yaptırmışlar ve yapı malzemelerinin birçoğunu yurtdışından getirtmişlerdir. Karosiman da bu bağlamda diğer malzemelerle ithal edilmiştir.

Karosiman malzemenin İzmir'de tarihi yapılarda kullanımı (1850-1960), tarihi evlerde (geleneksel orta büyüklükteki örnekler ve Levanten köşkleri) ve kamusal yapılarda olmak üzere iki grupta ele alınabilir.

3.1. Tarihi Evlerde Karosiman Kullanımı

Karosiman malzeme, özellikle zemin kaplama malzemesi olarak mekân içinde; mekân dışında da kaldırımlarda, ya da cephede dekoratif amaçlı olarak kullanılmıştır. Evlerde malzemenin kullanımı bağlamında özellikle giriş holü olmak üzere, mutfak, merdiven, diğer ıslak mekânlar ile Levanten köşkerin terasları belirtilebilir.

Dış mekândaki kullanım, genellikle bezeme elemanı olarak cephede yer alması şeklindedir. Bu amaçla, saçak bordürü, saçak altı, kat bordürü, pencere altı panosu, kapı/pencere söve üstlerinde, giriş merdiveni rıhtlarında, Batı etkisindeki evlerin yarı açık mekânını sınırlandıran duvar yüzeyinde subasman seviyesi altında kullanılmıştır.

Kare formlular genellikle yüzeyde; dikdörtgen olanlar bordür, süpürgelik, kat ve saçak bordüründe; altıgenler ise genellikle pano desenlerde uygulanmıştır.

Örnekler:

Anadolu Apartmanı, İzmir'in ilk apartmanı olması açısından önem taşımaktadır. 1905 yılında Mısırlı bir tüccarın yaptırdığı, daha sonra Devres'e devrettiği yapı onun iki kat eklemesi sonucu bodrumlu ve dört katlı bir bina durumuna gelmiştir. 16 dairesi ve iki girişli yapıda dairelerde 20/20 boyutunda kare formlu, geometrik desenli ve modül tekrarı ile desenin oluştuğu düzende karosiman kullanımı görülmektedir (Resim 1-3).



Resim 1-3. Anadolu Apartmanı'nda karosiman malzeme kullanımı

Mithatpaşa Caddesi'ni dik kesen sokaklardan 133 Sokak, tarihi ev dokusu korunmuş yokuş niteliğinde bir akstır. Sokaktaki evler, yükseltilmiş bodrum ve tek katlı, ya da iki katlı ve cumbalı örnekler niteliğinde olup cepheleri beton tuğladır. Cephe öğeleri bağlamında saçak bordürleri, kapı, pencere söve üstü bezemeleri dikkat çeker. Eğim nedeniyle kaldırımlar kademeli düzende şekillenmiştir.

Kaldırım döşeme malzemesi olarak karosimanın kullanıldığı 133 Sokak'taki örneklerde, 20/20 boyutunda kare formlu, desen bütününün tek karoda yer aldığı örnekler görülür. Çalışmada yer verilen iki örnekte, aynı birimin tekrarı görülürken, diğer örnekte iki ayrı birim kullanılmıştır. Bunlardan biri geometrik desen bütününün tek karoda yer aldığı, diğeri ise modül yinelenmesi ile bitkisel desenin oluştuğu düzendedir. Geometrik desenliler çerperde bordür niteliğinde kullanılmıştır (Resim 4-7).





Resim 4–7. Mithatpaşa Caddesi’ni dik kesen 133 Sokak’ta kaldırım karosiman malzeme kullanımı

141 Sokak köşesindeki evin pencere altı panosunda da karosimanın orta kısımda modül tekrarlı, çeperde bordür düzende (meander motifi) kullanıldığı görülür (Resim 8-10).



Resim 8–10. 141 Sokak köşesindeki evde karosiman pencere altı panosu kullanımı

Mithatpaşa Caddesi’ndeki evlerden deniz tarafında konumlanan üçüz ev, aynı aile tarafından yaptırılmış olup, önünde giriş terası içermektedir. Evlerin girişi, yoldan birkaç basamakla yükseltilmiştir. Bodrumlu ve iki katlı yapıların cephe kurgusunda alt katta yanda giriş, diğer yanda iki pencere; üst katta ise ortada cumba yanlarda birer pencere vardır. Cephe öğeleri bağlamında köşe silmesi, kat ve saçak bordürü belirtilebilir. Güzelyalı Parkı karşısında konumlanan üçüz evde, karosiman malzemenin cephede bezeme unsuru olarak kullanıldığı

görülmektedir. Kapı ve pencere üstlerinde (her iki katta) söve ile silme arasında ve saçak bordüründe bir sıra olarak karosiman dizilmiştir (Resim 11-14).

Resim 11–13. Üçüz ev cephesinde kullanılan karosiman örnekleri



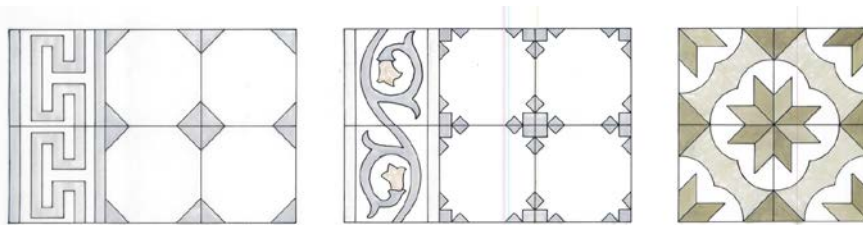
Resim 14. Üçüz ev cephesinde karosiman kullanımı

Alsancak evleri, genellikle aynı plan ve cephe kurgusu görülen, detay özellikleri ile ayrışan bir nitelik yansıtır. Doku olarak korunmuş bazı sokaklar dikkat çekmektedir. Alsancak'taki Levanten evlerinde ıslak mekânlarda döşeme malzemesi olarak, cephede ise dekoratif amaçlı kullanımlar görülmektedir. Bu bağlamda, merdiven rıhtlarında, giriş mekânının yanıl yüzeylerinde subasman seviyesi altında, çıkmalarda pencere altı panosu düzeninde kullanımına ilişkin örnekler belirtilebilir (Resim 15-16).



Resim 15–16. Alsancak 1450 Sokak'taki evin cumbasının pencere altı panosunda karosiman kullanımı

Löhner Köşkü, Karşıyaka Yalı Caddesi 264 numarada konumlanmakta olup, 20. yüzyıl başlarında Alman Löhner ailesi tarafından yaptırılmıştır. Ön ve yan bahçeli yapı, dar cephesi ile yola bakmaktadır. Cephe kurgusunda alt katta giriş terasına açılan üstü kemerli iki kapı, üst katta ise cumba ve Fransız balkon vardır. Yapı ön cephesinde köşe silmeleri, tuğla ve seramik malzeme ile oluşturulmuş dekoratif panolar, kat ve saçak bordürü, yatay bantlar çarpıcı öğeler niteliğindedir. Yapı içinde ıslak mekânlardaki kullanım yanı sıra, teras döşemesinde karosiman kullanımı belirtilebilir. Karosiman malzeme 20/20 kare formu, geometrik desenlidir. Mekânlar bağlamında farklılıklar görülür. Mekân çeperlerinde ise, aynı boyutta yer yer Menderes (Meander) motifli veya bitkisel desenli bordür kullanımı dikkat çekmektedir (Çizim - 1).



Çizim 1. Löhner Köşkü'nde karosiman malzemenin kullanımı

3.2. Kamu Yapılarında Karosiman Kullanımı

Karosiman malzemenin kullanımı yalnızca farklı ölçekteki evlerle sınırlı kalmamış, değişik işlevli kamu yapılarında da görülmüştür. Söz konusu kullanım, daha çok zemin kaplama malzemesi şeklindedir.

İzmir'de bu bağlamdaki örnekler arasında Konak ilçesinde ve semtinde yer alan eski *Guraba-ı Müslümin Hastanesi* belirtilebilir. Yapı tarihsel süreçte Memleket Hastanesi, Dr. Hayrettin Üstündağ Kadın Hastalıkları ve Doğum Hastanesi, Kuzey Kamu Hastaneleri Birliği adlarını almış günümüzde de İl Sağlık Müdürlüğü olarak hizmet vermekte ve bir kısmı Sağlık Müzesi olarak düzenlenmektedir. Müessesenin kurucusu, İzmirli Emin Muhlis Paşa'dır. 1850 yılında yapılan yapı, 1896 yılında Vali Kamil Paşa'nın çabasıyla onarım görmüştür (Sami ve Hüsnü, 2000: 141).

Birbirine paralel, farklı büyüklüklerdeki dikdörtgen formlu kütleler ile bunu dik kesen dörtgen bir kütlede oluşan tarak formlu bir yapıdır. Bodrum ve iki kat olmak üzere üç katlıdır. Karosiman malzeme yapıda birçok mekânda kullanılmış olmakla birlikte, en çarpıcı kullanım ana giriş holündedir. Bunda altıgen formlu birimlerle oluşturulan homojen bir desen ile belirli aralıklarla yerleştirilmiş pano desenler dikkat çekmektedir. Pano desen farklı karo birimlerle oluşturulmuştur (Akyüz Levi, 2004) (Resim 17-18).



Resim 17-18. Eski Guraba-i Müslümin Hastanesi giriş holünde karosiman malzeme kullanımı

Meserret Hanı, Kemeraltı Anafartalar Caddesi üzerinde konumlanmakta olup, 1911 yılında yapılmış, iki katlı simetrik cephele bir yapıdır. Özgün durumda üstü açık olan orta avlunun üstü, restorasyon sürecinde kapatılmıştır. Yapıda kare formlu karosiman birimler kullanılmıştır. Giriş mekânı vurgusunda farklı birimlerle oluşturulan beyaz zemin üzerine dairesel form içine yerleştirilmiş bitkisel motifli pano desen dikkat çekmektedir. Zemin genelinde kullanılan karolar ise, sarı, bej, gri, kahverengi renklerinin uygulandığı geometrik formlu, bütüncül desenli örneklerdir. Kenarlarda da yine geometrik formlu bordür kullanılmıştır (Resim - 19).



Resim 19. Meserret Hanı giriş holünde karosiman malzeme kullanımı

Silahçioğlu Hanı, Gazi Bulvarı köşesinde konumlanan I. Ulusal Mimari Dönemi yapılarından olup 1927 yılında yapılmıştır. Yapı cephesinde dönem mimarisinin özelliği olarak köşede konumlanan dairesel kule ile oluşturulmuş köşe vurgusu, her katta farklılaşan pencere düzeni, çini panolar çarpıcı ögeler niteliğindedir. İç mekânında orta mekâna açılan galeri koridorlar ve yoğun bezeme dikkat çekmektedir. Handa kare formlu, beyaz zemin üzerine kırmızı ve siyah renk kullanımı ile oluşturulmuş, birbiri içine geçen kareler ve sekiz köşeli yıldız motifi içeren geometrik desenli, modül tekrarlı karosiman kullanılmıştır (Resim 20-21).



Resim 20–21. Silahçioğlu Hanı'nda karosiman malzeme kullanımı

Yeni Şükran Oteli, Kemeraltı'nda Anafartalar Caddesi üzerinde konumlanmakta olup özgünlüğünü korumaktadır. İki katlı yapının alt katında avluyu saran revaklar vardır. Üst katta avluya bakan ikiz pencereler, yol cephesinde ise cephe boyunca devam eden açık çıkma dikkat çekmektedir. Yapının avlusunda geometrik desenli, altıgen formlu homojen nitelik yansıtan karosiman kullanılmıştır. Otel lobisinde ise karolar, geometrik desenli, modül tekrarlı olarak kullanılmıştır.

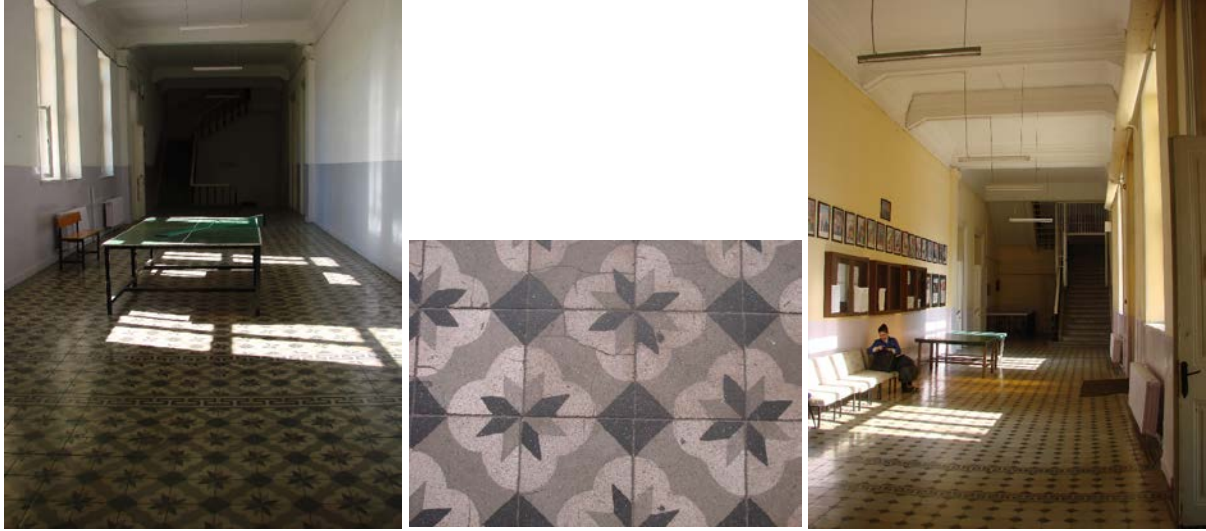
Basın Müzesi, İzmir'in Kapılar semtinde yer alan Aya Vukla Kilisesi parseli içinde aynı bahçede konumlanmaktadır. Açık mekânda kare formlu, beyaz ve gri renkle oluşturulmuş, modül tekrarlı olarak karosiman kullanılırken, çerperdekiler meander motifli bordür niteliğindedir (Resim 22).



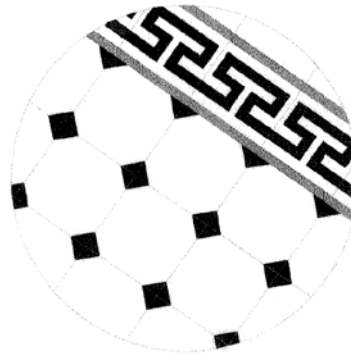
Resim 22. Basın Müzesi'nde karosiman kullanımı

Atatürk Lisesi, 1888 yılında Konak'ta Vilayet Konağı yanındaki İzmir Adliyesi'nin olduğu yapıda açılmış olup, Alsancak'ta şu anda kullanılan yapı 1909 yılında yapılmıştır. Yapının farklı hol ve salonlarında değişik desenli karosimanlar kullanılmıştır. Bir holde oldukça yalın

yalnız bir köşede modül tekrarı ile desen bütünleştiğinde küçük kareler oluşturan nötr zemin etkisi ortaya çıkmaktadır. Diğer mekânlarda ise, modül tekrarlı, beyaz, siyah ve gri rengin kullanımı ile oluşturulmuş geometrik desenli karolar kullanılmıştır. Dört yarım daire ile oluşturulan dairesel çerçevede sekiz yapraklı yıldız motifi algılanmaktadır (Resim 23-25).



Resim 23–25. İzmir Atatürk Lisesi’nde karosiman kullanım örnekleri







Çizim 2. Atatürk Lisesi ve Gazi İlkokulu’nda (Ortaokulu) görülen karosiman döşeme detayı

4. BULGULAR

Başlangıçta ithal olarak gelen, sonraları Rum ve Ermeni ustalarca üretilen ve 19. yüzyılın ikinci yarısından 1960'lara dek kullanım pratikliği ve hijyen açısından tercih edilen karosiman malzeme moda olup evler yanısıra farklı işlevli kamu yapılarında da kullanılmıştır.

Geniş desen yelpazesi görülen malzemede aynı desenin farklı renkleri yanısıra, değişik coğrafya ve işlevlerdeki yapılarda kullanımı da dikkat çekmektedir. Aynı yapının farklı mekânlarında da değişik desenli karosimanların kullanıldığı görülmektedir.

Tablo 1. Karosiman malzemede desen yelpazesi bağlamında çakışma örnekleri

Desen		Konut yapısı	Kamu yapısı
	Pano desen (altıgen formulu)	İzmir – Bayraklı 1631 Sokak'taki köşk	Eski Guraba-i Müslümin Hastanesi (İzmir)
	Bütüncül desen - 20/20 (kare formulu)	İzmir – 133 Sokak (MPCyi kesen dik sokaklar) - kaldırım	İstanbul - Güney Han (Şair Ziya Paşa Sok. no 20)
	Modül tekrarlı	Löhner Köşkü (İzmir)	Atatürk Lisesi (İzmir)
	Modül tekrarlı	İzmir – 133 Sokak (MPCyi kesen dik sokaklar)-kaldırım İstanbul- Dolapdere Caddesi no253	Balıkesir Havran Belediye Binası Antakya Fevzi Çakmak İlkokulu İstanbul İliç İş Hanı
	Modül tekrarlı	İzmir – Anadolu Apartmanı	Silahçioğlu Hanı (İzmir) Yeni Şükran Oteli (İzmir)

Zemin rengi olarak genellikle beyaz tercih edilmişse de, farklı renklerin kullanıldığı da görülmektedir. Aynı üretim yerinde bile yeniden üretimde aynı rengin tam olarak tutmasının olanaklı olmaması da zeminde beyaz rengin tercihinde etkili olmuş olmalıdır.

Aynı desenin farklı yapı türleri yanı sıra, Anadolu'nun farklı coğrafyalarında görülmesi malzemenin yoğun kullanımını da göstermektedir. Günümüzde karosiman kullanılmış tarihi yapıların yapım tarihleri üzerinden malzemenin ve desenlerin kullanım süreci konusunda yorum ve değerlendirme yapmak olanaklıdır.

Tablo -1'de de belirtildiği gibi, aynı desenin aynı yerleşimdeki farklı işlevli yapılar yanısıra farklı coğrafyalardaki yapılarda da kullanıldığı örneklerden anlaşılmaktadır. Desenler, genellikle birçok renkte de çalışılmıştır. Örneğin İzmir'de kaldırım döşemesi olarak kullanılan geometrik desen İstanbul Güney Han'da da kullanılmıştır. Aynı döşemenin orta kısmında yer

alan bitkisel formlu deseni içeren modül tekrarlı karosimanların ise kullanıldığı diğer yerler bağlamında İstanbul Dolapdere Caddesi'ndeki bir apartman, İstanbul İliç İş Hanı, Havran

B
e
l
e
d
i
y
e

B
i
n
a
s
1



Resim 26. İzmir'de kaldırım döşemesi olarak kullanılan karosiman deseni



Resim 27. İstanbul İliç Han'da ve Havran Belediye Binası'nda karosiman kullanımı

örneklenebilir. Bunlarda yaz bırakıldığı alternatif

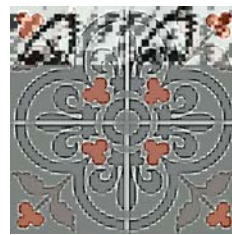
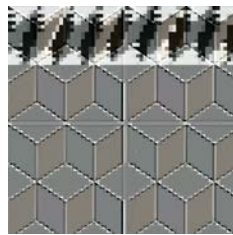
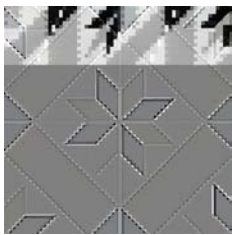


Resim 28. Antakya Fevzi Çakmak İlkokulu'nda karosiman kullanımı

Resim 26–28. Aynı desenin farklı kullanımları bağlamında örnekler

Pano desenler, genellikle birbirinden farklı, birden fazla, bazen farklı boyutlarda birim ile oluşturulmaktadır. Bu bağlamda çarpıcı bir örnek olarak Konak eski Guraba-i Müslümin Hastanesi (giriş holü) ve Bayraklı 1631 Sokak'taki köşkte aynı renk, desen ve düzende karosiman kullanıldığı belirtilebilir.

Fransa'da günümüzde karosiman üretimi yapan bir firmanın web sayfasında aynı desenlerin sürekliliği de dikkat çekmektedir (Resim 29-32).



Resim 29-32. Günümüzde Fransa'da karosiman üreten bir firmanın bazı güncel desenleri (URL-1)

5. SONUÇ

Sonuç olarak, 1960'lara dek yoğun kullanım gören karosiman, sonraları yalnızca tarihi yapıların onarımlarında özel olarak üretilen bir malzeme olmuştur. Bununla birlikte son dönemlerde yeniden geniş desen yelpazesi ile çok farklı işlevli yapılarda kullanım bulmaktadır. Yer aldıkları yapıların tarihleri bir bakıma malzemenin kullanım sürecini de yansıtmaktadır.

Bu çalışmada özellikle aynı malzeme ve desenlerin değişik işlevli yapılarda kullanımı örneklenmektedir. Pano desenlere yönelik uygulamalar ise, ustaların aynılığını da düşündürmektedir.

Bulgular, yalnız söz konusu malzemenin değil, aynı zamanda desenlerin de sürdürülebilir olduğunu yaklaşık 170 yıldır kullanımının devam ettiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

Akyüz Levi, E. (2004). Kemeraltı (İzmir) Kentsel Kültür Varlıkları Envanteri 2003. *TÜBA Kültür Envanteri Dergisi*, 3, 75-124.

Gezgin, T. (2007). *Bir Döşeme Süslemesi Örneği Olarak İstanbul Apartman Karoları* (yayımlanmamış yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi/Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Güçü,İ., Taşcı, B. (2017). Özgün İşlevini Sürdüren Tarihi Eğitim Yapılarının Korunmasına Yönelik Bir Değerlendirme: Menemen Örneği, İzmir, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu* / 2-3-4 Kasım 2017, Trabzon, 319-328.

Güler, K., Pamukçu, P. N., Çeliker, İ. Ö. (2020). Balıkesir'de I. Ulusal Mimarlık Dönemi'ne Ait Bir Kamu Yapısı: Havran Belediye Binası. *TÜBA Kültür Envanteri Dergisi*, 21, 55-72.

Orhun, A. V. (2011). Sanat ve Zanaatın Buluştuğu Bir Yapı Malzemesi: Karosiman. *Egemimarlık*, 78, 38-41.

Rıfaioğlu, M. N. (2020). Antakya'da Fransız Mandası Dönemi Eğitim Yapısının Oluşum ve Dönüşüm Sürecinin Mimari Analizi. *TÜBA Kültür Envanteri Dergisi*, 21, 73- 89.

Sami, C., Hüsnü H. (2000). *İzmir 1905*. Sadeleştirerek yayına hazırlayan Erkan Serçe. İzmir: İzmir Büyükşehir Belediyesi yayını.

Uçar, A. (2014). İzmir Konutlarında Karosimanlar. *Sanat Tarihi Dergisi*, 23(1), 67-81.

URL 1- <https://www.carodeco.com/collections/carreaux-de-ciment>

GÖRSEL KAYNAKLARI:

Çizim 1- Prof. Dr. Eti Akyüz Levi ve Öğ. Gö. Yüksel Üstüngel yönetimindeki yüksek lisans öğrenci çalışması.

Kaynak belirtilmeyen görseller yazara aittir.

SODYUM SİLİKAT/SODYUM HİDROKSİT ORANININ ATIK CAM TOZU ESASLI GEOPOLİMER HARÇLARIN ÜRETİM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF SODIUM SILICATE/SODIUM HYDROXIDE RATIO ON THE PRODUCTION PROPERTIES OF WASTE GLASS POWDER BASED GEOPOLYMER MORTARS

Cemre AY

Yüksek Lisans Öğrencisi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
(Sorumlu Yazar)

ORCID ID: 0000-0001-7292-098X

İsmail İsa ATABEY

Dr. Öğr. Üyesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID ID: 0000-0002-7026-5579

ÖZET

İnşaat teknolojisinde sürdürülebilir ve çevre dostu malzeme geliştirme için çimento yerine endüstriyel katı atıklar çekici bir üretim yöntemidir. Atık camlar ülkemizde önemli bir katı atık türüdür. Bu atık camlardan elde edilen cam tozunun silis bakımından zengin olduğu bilinmekte olup, aktivatörlerle geopolimer harç üretilebilmektedir. Bu çalışmada, atık camlardan elde edilen cam tozu ile üretilen geopolimer harçların farklı aktivatör oranlarında üretim özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla sıvı sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum hidroksit (NaOH) aktivatör olarak birlikte kullanılmıştır. $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranları 1 ile 3 arasında (1; 1,5; 2; 2,5 ve 3) değişen beş farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Harç karışımlarının su/bağlayıcı oranı 0,50, kum/bağlayıcı oranı ise 3'tür. Karışımlar Hobart mikserinde TS EN 196-1 standardına göre hazırlanmıştır. Kalıplara ($40 \times 40 \times 160$ mm) yerleştirilen geopolimer harç numuneleri laboratuvar fırınında 90°C sıcaklıkta 24 saat ısıtılıp küre tabi tutulmuştur. Taze harçlara yayılma tablası deneyi, sertleşmiş harçlara 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Taze harçların işlenebilirlik değerleri $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranı 2,5'dan sonra azalmıştır. Testler sonucunda 7 ve 28 günlük en yüksek basınç dayanım değerleri $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2$ olan numunelerde 34,7 ve 35,8 MPa olarak elde edilmiştir. Üretim özelliklerinin kötüleşmesi ile en düşük eğilme ve basınç dayanımı değerleri $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=3$ olan numunelerde görülmüştür. Genel olarak değerlendirildiğinde $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2$ 'nin cam tozu esaslı geopolimer harç üretimi için uygun aktivatör oranı olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atık cam tozu, geopolimer, sodyum silikat, sodyum hidroksit

ABSTRACT

For sustainable and eco-friendly material development in construction technology, industrial solid waste instead of cement is an attractive manufacturing method. Waste glasses are a significant solid waste type in our country. It is known that glass powder obtained from these waste glasses is rich in silica and geopolimer mortar can be produced with the activators. In this study, the production properties of geopolimer mortars produced with glass powder obtained from waste glass with different activator ratios were investigated. For this purpose, liquid sodium silicate (Na_2SiO_3) and sodium hydroxide (NaOH) were used together as activators. $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ ratios between 1-3 (1; 1,5; 2; 2,5 and 3) five different mortar mixes

with were prepared. The water/binder ratio of the mortar mixtures is 0.50, and the sand/binder ratio is 3. The mixtures were prepared in a Hobart mixer according to TS EN 196-1 standard. The geopolymer mortar specimens placed into the molds (40×40×160 mm) were cured in a laboratory oven at 90°C temperature for 24 h. The flow table test has been carried out on fresh mortars. On the other hand, 7 and 28 days flexural and compressive strength tests were applied to the hardened mortars. The flow diameter values of fresh mortars decreased after the $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2.5$. As a result of the tests, the highest 7 and 28-day compressive strengths were obtained as 34.7 and 35.8 MPa in the mortars with $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2$, respectively. In general, it was seen that $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2$ is the appropriate activator ratio for the production of glass powder-based geopolymer mortar.

Keywords: Waste glass powder, geopolymer, sodium silicate, sodium hydroxide

GİRİŞ

Küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği, dünyadaki tüm canlılar üzerinde önemli olumsuz etkileri olan kritik bir çevre sorunudur (Hadi vd., 2017). Sürdürülebilir gelişmenin sağlanması ve çevre kirliliğinin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi herkes tarafından kabul edilmektedir. Aynı zamanda sınırlı kaynakların etkin kullanımı için atıkların geri dönüşümü sağlanmalıdır (Atabey ve Ay, 2021). Dünya çapında her yıl ortaya çıkan büyük miktardaki atık cam önemli bir sorundur. Silis içeriği açısından zengin atık camların alternatif bağlayıcı üretimi için kullanımı, atık camlar küresel ölçekte büyük bir sorun haline geldiği için göz ardı edilmemelidir (Du ve Tan, 2017). Birleşmiş Milletler, dünya genelinde yıllık elde edilen katı atıkların 200 milyon ton olduğunu, bunun %7'sini camın oluşturduğunu tahmin etmektedir. Türkiye için bu miktar 120000 ton olduğu bunun ancak 80000 tonu geri dönüştürülebildiği belirtilmektedir (Atabey ve Ay, 2021; Topçu ve Canbaz, 2004).

Geopolimerler, alümin içeren malzemelerin alkaliler ile aktivasyonu ile oluşmuş alüminosilikat bağlayıcı malzeme sınıfıdır (Atabey, 2017). Geopolimerizasyon sürecinde alüminosilikatların kimyasal kompozisyonları mekanik özelliklerin belirlenmesinde önemli rol oynar. İstenilen dayanım gelişiminin elde edilebilmesi için öncü malzemelerinde uygun oranda Silis (Si) ve Alüminanın (Al) bulunması gerekmektedir. Atık cam tozu yüksek oranda Si içerir. (Atabey ve Ay, 2021).

Literatür incelendiğinde atık cam tozunun farklı aktivatörler ile kullanımı ve farklı atıkların farklı aktivatör oranlarında alkali aktivasyon yöntemi ile harç yapımında kullanıldığı görülmektedir. Hadi ve ark. (2017), Taguchi yöntemi kullanarak yüksek fırın cürufu ile alkali ile aktive edilmiş beton tasarımı üzerine çalışmışlardır. Alkali Aktivatör / bağlayıcı oranı 0,35 , $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranı 2,5 ve sodyum hidroksit konsantrasyonu 14 M olan numunelerin optimum basınç dayanımını 7 günün sonunda 60,4 MPa olarak bulmuşlardır (Hadi vd., 2017).

Cao ve ark. (2018), Al kaynağı olarak kalsiyum alüminat çimentosu (KAÇ) eklenen uçucu kül tabanlı geopolimer beton üretmişlerdir. Optimum karışım oranlarını elde etmek için 3 farklı oranda (%5,10,20) KAÇ ve 3 farklı konsantrasyonda (10,12,14 Mol) sodyum hidroksit kullanmışlardır. Alkali Aktivatör bağlayıcı oranı %35, 40 ve 45 olacak 3 seviyede, Alkali aktivatör sabit $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}=2,5$ oranında kullanmışlardır. 28 günlük basınç dayanımını 56,8 MPa olarak bulmuşlardır (Cao vd., 2018).

Atabey ve Ay (2021), sıvı sodyum silikat ile üretilen atık cam tozu esaslı geopolimerler harçlara kalsiyum alüminat çimentosu etkisi üzerine çalışmışlardır. %10 Na_2O oranında sodyum silikat karışımından oluşan aktivatör çözeltisi ile beş farklı oranda (%5,10,15,20 ve %25) kalsiyum alüminat çimentosu ile cam tozunu yer değiştirerek harç hazırlamışlardır.

Optimum dayanımı hava+etüv küründe %5 kalsiyum alüminatlı çimento-cam tozu yer değişiminde 25,5 MPa elde etmişlerdir (Atabey ve Ay, 2021).

Bu çalışmanın amacı sodyum hidroksit-sodyum silikat karışımı ile üretilen cam tozu esaslı harçların farklı $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ oranlarında üretim özelliklerini araştırmaktır. Bu amaçla üretilen geopolimer harçlara yayılma tablası, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

2.MATERYAL VE METOT

Harç karışımlarını alkali ile aktive etmek amacıyla kullanılan hammaddelerden atık cam tozu Akcihan Cam Sanayi'den temin edilmiştir. Çalışmada sodyum hidroksit (NaOH) ve sıvı sodyum silikat (Na_2SiO_3) ile tabloda verilen farklı oranlarda birlikte kullanılarak çözelti hazırlanmıştır. Aktivatör olarak kullanılan sıvı sodyum silikatın kimyasal bileşeni %61,1 H_2O , %25,9 SiO_2 , %13,0 Na_2O 'dan oluşmaktadır. Sıvı sodyum silikat içerisinde yer alan su karışımın su oranından düşülerek ilave su hesaplanmıştır. NaOH ise %98 saflıkta pul şeklindedir. Kullanılan çözeltide sodyum silikat MS ($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$) modülü 0,5'tir. Harç üretiminde kullanılan atık cam tozunun (CT) kimyasal içerikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Harç karışımlarında şebeke suyu ve özgül ağırlığı 2,68, su emme oranı %1,97 olan 4 mm elek altında yer alan dere kumu kullanılmıştır.

Tablo 1. Cam tozunun kimyasal özellikleri

SiO₂ (%)	Na₂O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	K. K. (%)	Yoğ. (g/cm³)
69,4	12,3	8,3	4,3	1,1	0,5	16,2	2,58

Çalışmada Na_2SiO_3 kısaltma olarak NS ile NaOH ise NH ile ifade edilmiştir. Deneysel çalışmada, farklı NS/NH oranlarında %100 cam tozu ile 5 farklı karışım hazırlanmıştır. Üretilen harçların karışım oranları 3 gözlü 40×40×160 mm harç kalıpları için Tablo 2'de sunulmuştur. Tüm harç karışımlarında su/bağlayıcı oranı 0,50, kum/bağlayıcı oranı ise 3 olarak belirlenmiştir. Karışımlarda sodyum hidroksit (NaOH) ve sıvı sodyum silikat (Na_2SiO_3) %10 Na oranında birlikte kullanılmıştır. Cam tozu ve aktivatör solüsyonları Hobart mikseri kabına yerleştirilmiş, kum daha sonra TS EN 196-1 standardında olduğu gibi 30 saniyede dökülmüştür. Daha sonra yüksek hızda 30 saniye daha karıştırma devam etmiştir. Bu aşama sonunda mikser durdurulup birinci 30 saniyelik kısımda kabın kenarlarındaki harç toplanmış, dinlenmesi için toplam 90 saniye beklenmiştir. Ardından 60 saniye daha yüksek hızda karıştırmaya yapılarak işlem sona ermiştir. Taze harçlara TS EN 1015-3 standardına göre yayılma tablası deneyi uygulanmıştır. Ardından karışımlar 40×40×160 mm boyutlarında 3 gözlü harç kalıplarına iki aşamada yerleştirilmiştir. Harç kalıplarına dökülen karışımlar üretildikten hemen sonra kalıplarıyla birlikte 24 saat 90°C sıcaklıktaki etüvde kür edilmiştir. Kür süresi tamamlanan numunelere TS EN 1015-11 standardına göre eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir deneysel sonuç 3 numuneden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Geopolimer harçların karışım kodlamalarında NS sıvı sodyum silikat (Na_2SiO_3), NH sodyum hidroksit (NaOH) olarak belirtilmiştir. Üretilen numunelere ait genel görünüm Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Taze ve sertleşmiş harç numuneleri

Tablo 2. Karışımda kullanılan malzeme miktarları, g

Numune Kodu	Cam Tozu	Kum	Su	NaOH	Na ₂ SiO ₃
NS/NH=1	450	1350	185	67	67
NS/NH=1,5	450	1350	167	62	93
NS/NH=2	450	1350	155	60	120
NS/NH=2,5	450	1350	142	55	137
NS/NH=3	450	1350	130	52	156

3.BULGULAR

3.1.Yayılma Tablası Deneyi

Çalışmada üretilen taze harçlara Şekil 2’de görüldüğü gibi yayılma tablası deneyi uygulanmıştır ve sonuçlar Tablo 3’te verilmiştir. Farklı NS/NH oranlarında %100 cam tozu ile üretilen geopolimer harçlarda en yüksek yayılma çapı değerine NS/NH=1 oranında 171 mm olarak ulaşılmıştır. NS/NH oranı 1,5 iken yayılma çapı 169 mm ile en yüksek değere yakın olarak ölçülmüştür. En düşük yayılma çapı değerine ise yaklaşık 50 mm fark ile NS/NH=3’te 121 mm olarak ölçülmüştür. Genel olarak NS/NH oranı arttıkça yayılma çapı değerlerinde belirgin bir düşüş görülmektedir. NS/NH oranı 3 olan harçların yayılma çapının düşük olmasının yanı sıra dökümü zor olmuş ve çabuk priz almıştır. Çabuk priz alan numunenin düzgün dökülememesi sonrası görünümü Şekil 6’da verilmiştir.



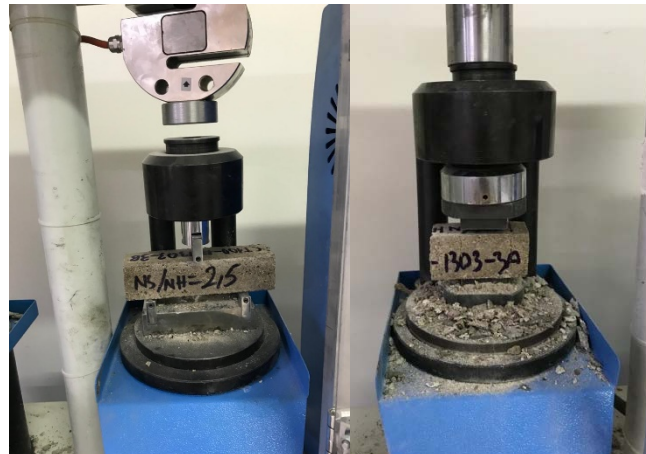
Şekil 2. Taze harç yayılma tablası deneyi

Tablo 3. Taze harçların yayılma çapı deney sonuçları

Numune Kodu	Yayılma Çapı, mm
NS / NH=1	171
NS / NH=1,5	169
NS / NH=2	163
NS / NH=2,5	125
NS / NH=3	121

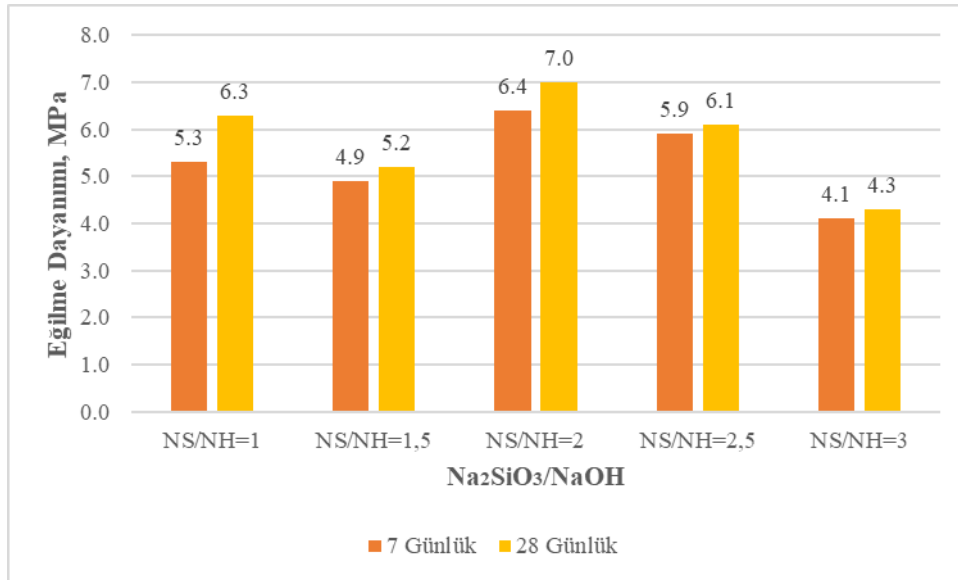
3.2. Eğilme Dayanımı

Deneyisel çalışmada üretilen 7 ve 28 günlük numunelere Şekil 3'te görüldüğü gibi eğilme dayanımı deneyi uygulanmış ve sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. 7 günlük eğilme dayanımı sonuçlarına göre en düşük eğilme dayanımı NS/NH=3 oranında 4,1 MPa olarak ölçülmüştür. NS/NH oranı 2 iken en yüksek eğilme dayanımı olan 7,0 MPa'ya ulaşılmıştır. NS/NH oranı 2,5 ve 3 oranlarında ise eğilme dayanımının düşüşe geçtiği gözlenmiştir.



Şekil 3. Eğilme ve basınç dayanımı deneyi uygulanması

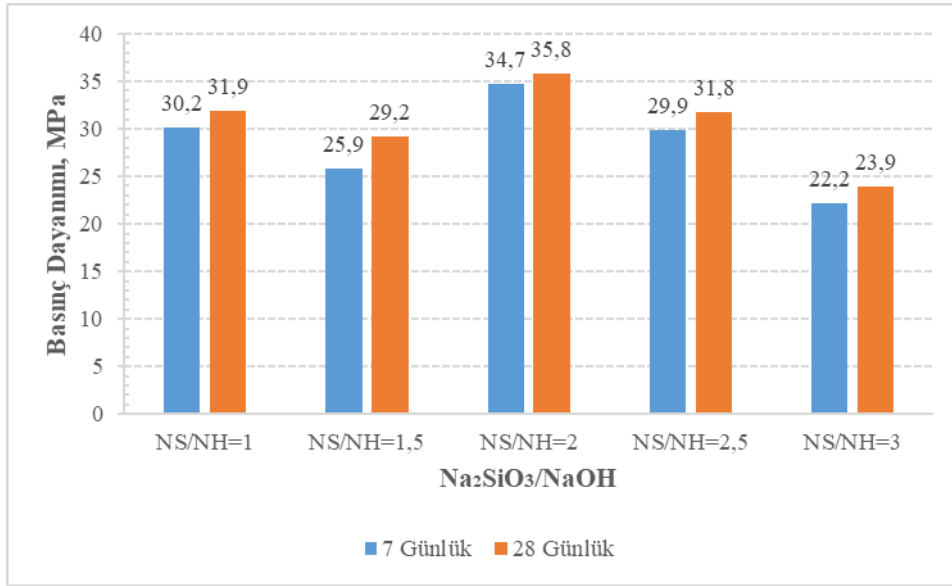
Numunelerin 28 günlük eğilme dayanımlarına bakıldığında NS/NH oranı 1 iken 6,3 MPa olan eğilme dayanımı bu oran 2 olduğunda 7,0 MPa'ya yükselmiştir. NS/NH oranı 2'den sonra oran arttıkça eğilme dayanımı 7 günlük numunelerde olduğu gibi düşüşe geçmiştir. 7 ve 28 günlük dayanım sonuçlarına bakıldığında eğilme dayanımlarında genel olarak artış olsa da belirgin bir fark görülmemiştir.



Şekil 4. Numunelerin eğilme dayanımları

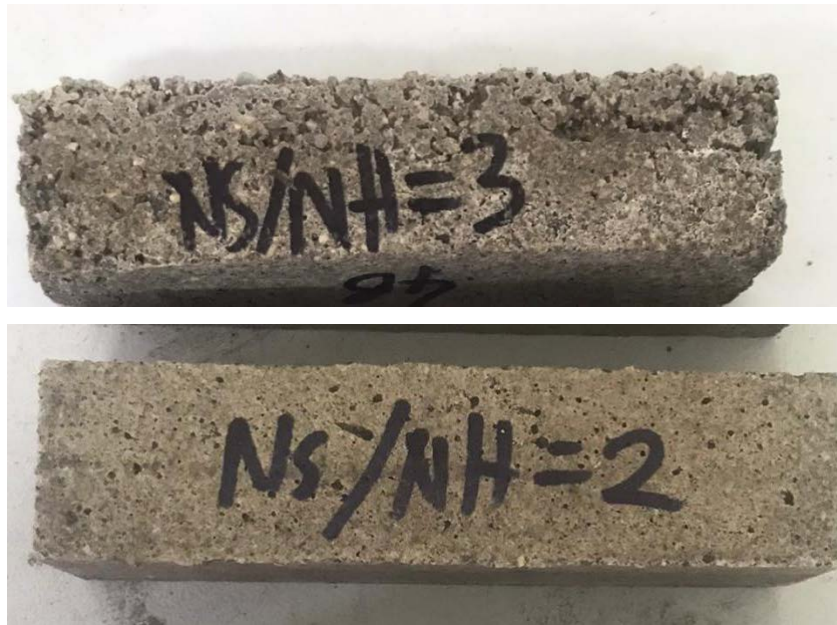
3.3. Basınç Dayanımı

Geopolimer numunelere 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Şekil 3'de görüldüğü gibi uygulanmış ve sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Harç numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre en yüksek basınç dayanımına NS/NH=2 oranında 34,7 MPa olarak ulaşıldığı görülmüştür. NS/NH oranları 1 ve 2,5 iken basınç dayanımları sırasıyla 30,2 ve 29,9 MPa elde edilmiştir. En düşük basınç dayanımı ise eğilme dayanımında olduğu gibi NS/NH=3 oranında 22,2 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin Basınç Dayanımları

28 gün sonunda en yüksek dayanıma 7 günlük dayanım sonuçlarında olduğu gibi NS/NH=2 oranında 35,8 MPa olarak ulaşılmıştır. NS/NH=1 oranında 31,9 olarak ölçülen dayanım bu oran 2,5 olduğunda 31,8 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük basınç dayanımı NS/NH=3 oranında 23,9 MPa olarak elde edilmiştir. NS/NH=3 iken harç taze halde iken priz almaya başlamış ve dökümü zor olmuştur. Bu da kalıptan çıkan numunelerde boşluklu bir yapı oluşmasına sebep vermiştir (Şekil 6). Böylece en düşük dayanım NS/NH=3 olan numunelerde elde edilmiştir. Üretilen geopolimer harçlar kür süresine bağlı olarak 7 günden 28 güne yüksek bir dayanım gelişimi göstermemiştir.



Şekil 6. En yüksek ve en düşük dayanıma sahip numunelerin görünümü

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada sodyum hidroksit-sodyum silikat karışımı ile üretilen atık cam tozu esaslı geopolimer harçlar için uygun Na₂SiO₃/NaOH oranı araştırılmıştır.

- Üretilen cam tozu esaslı geopolimer harç numunelerinde NS/NH=1'den NS/NH=3'e çıktığında yayılma çapı 50 mm azalmıştır. NS/NH=2 iken en yüksek yayılma çapı değerinden sadece %5 azalma göstermiştir. NS/NH oranı artması ile yayılma çapı değerleri genel olarak azalmıştır.
- Geopolimer harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı en düşük NS/NH=3'de, en yüksek NS/NH=2 oranında elde edilmiştir. NS/NH=2 oranında eğilme dayanımları NS/NH=3'ten 7 günlük %56 ve 28 günlük %63 daha yüksektir.
- 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları eğilme dayanımı ile paralellik göstermiş, en yüksek basınç dayanımına NS/NH=2 oranında ulaşılmıştır. En yüksek basınç dayanımı, en düşük dayanıma sahip NS/NH=3 oranından 7 günlük %56 ve 28 günlük %50 daha yüksektir.
- Atık cam tozu esaslı geopolimer harç numunelerinde, hem eğilme hem basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında kür süresinin 7 günden 28 güne çıkmasının önemli bir dayanım artışı sağlamadığı görülmüştür.
- NS/NH=2'den sonra, yüksek sodyum silikat içeriğinden dolayı harç karışımı çabuk katılaşmaya başlamıştır. Bu durum, mikserde karışım hazırlanmasını ve harçların kalıba yerleşimini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle yayılma çapı ve dayanım değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Yayılma çapı, eğilme ve basınç dayanımı sonuçları birlikte incelendiğinde NS/NH=2 oranında üretilen atık cam tozu esaslı geopolimer harç numunelerinin diğer NS/NH oranlarına kıyasla, harç üretimi ve dayanım açısından daha iyi sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

Genel olarak yüksek NS/NH oranlarında hem dayanım hem yayılma çapında düşüşler meydana gelerek üretim özellikleri azalmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde NS/NH=2'nin cam tozu esaslı geopolimer harç üretimi için daha uygun olacağı söylenebilir. Böylece atık cam tozu, sodyum silikat-sodyum hidroksit karışımı aktivatörler ile katı atıkların geri dönüşümüne katkıda bulunabilir. Atık cam tozu esaslı geopolimerlerin üretim özelliklerine farklı su içeriği ve farklı aktivatör etkisinin araştırılması ileriki çalışmalar için önerilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesine ABAP20F20 nolu proje ile destek veren Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Atabey İ.İ. (2017). F Sınıfı Uçucu Küllü Geopolimer Harcının Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.

Atabey, İ.İ. ve Ay, C. (2021) Kalsiyum Alüminat Çimentosunun Farklı Kür Koşullarında Atık Cam Tozu Esaslı Geopolimer Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, 2nd International Conference On Access To Recent Advances In Engineering And Digitalization (ARACONF, 2021).

Du, H., & Tan, K. H. (2017). Properties of high volume glass powder concrete. Cement and Concrete Composites, 75, 22-29.

Hadi, M. N., Farhan, N. A., & Sheikh, M. N. (2017). Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 140, 424-431.

Topcu, I. B., & Canbaz, M. (2004). Properties of concrete containing waste glass. *Cement and concrete research*, 34(2), 267-274.

TS EN 196 -1, (2016). Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1015-3, (2006). Kâgir harcı- Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1015-11/A1, (2013). Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 11: Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Vafaei, M., & Allahverdi, A. (2017). High strength geopolymer binder based on waste-glass powder. *Advanced Powder Technology*, 28(1), 215-222.

Vafaei, M., & Allahverdi, A. (2016). Influence of calcium aluminate cement on geopolymerization of natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, 114, 290-296.

HORASAN HARCININ MEKANİK VE DURABİLİTE PERFORMANSININ İYİLEŞTİRİLMESİ

IMPROVEMENT OF THE MECHANICAL AND DURABILITY PERFORMANCE OF KHORASAN MORTAR

Kemal Karakuzu

Doktora Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ORCID NO: 0000-0002-1023-3962

Tuğçe İsafça

Doktora Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ORCID NO: 0000-0002-9331-1339

Süleyman Özen

Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

ORCID NO: 0000-0001-5522-427X

Adem Doğangün

Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

ORCID NO: 0000-0002-1867-7103

Ali Mardani-Aghabaglou

Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

ORCID NO: 0000-0003-0326-5015

(Sorumlu Yazar)

ÖZET

Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı döneminde horasan harcı ile inşa edilen birçok yapıya rastlanılmıştır. Adını İran'ın Kuzey Doğusundaki horasan bölgesinden alan horasan harcı, Roma döneminde “cocciopesto” Yunanistan’da “korassani”, Hindistan’da “surkhi”, Arap devletlerinde “homra” olarak isimlendirilmiştir. Horasan harcı; bağlayıcı olarak kireç, agrega olarak kiremit ve tuğla gibi pişmiş killi malzemelerin öğütülerek karıştırılmasıyla elde edilen harç ve sıva çeşididir. Horasan harcını diğer kireç esaslı harçlardan ayıran en önemli özelliği ise, karışımların hazırlanmasında yüksek SiO₂ içeriğine sahip killi malzemelerin kullanılmasıdır.

Horasan harcı üretiminde kullanılan tuğlaların günümüzde kullanılanlardan farklı özelliklere sahip olduğu vurgulanmıştır. Örneğin, geçmişte üretilen bu tuğlaların daha düşük sıcaklıklarda pişirilmesi nedeniyle yüksek puzolanik aktiviteye sahip kil minerali açısından daha zengin olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle horasan harcında kullanılan öğütülmüş tuğla agregasının 600-900°C aralığında pişirilmesi önerilmiştir. Ayrıca, horasan harcının hazırlanmasında yüksek gözenekliliğe sahip tuğlalar tercih edilmelidir. Gözenekliliğin artması ile daha fazla miktarda kirecin karma suyu ile birlikte bu gözeneklerde tutunması sonucu puzolanik reaksiyonun şiddetinin artacağı bildirilmiştir.

Eski çağlarda kimyasal katkı teknolojisinin olmaması nedeniyle harçların yüksek su/bağlayıcı (s/b) oranları ile üretildiği bilinmektedir. s/b oranının artışına bağlı olarak geçirgenliğin artması sonucu horasan harcının durabilite performansı olumsuz etkilenmiştir. Bu bağlamda horasan harcı karışımlarında en çok gözlemlenen problemlerden birisi kurumaya bağlı büzülme

çatlaklarının oluşmasıdır. Oluşan bu mikro çatlaklar, özellikle erken yaşlarda horasan harcının geçirgenliğini artırarak mekanik özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle horasan harcının kullanıldığı birçok tarihi yapı beklenenden daha erken hasar görmüş hatta zamanla yıkılmıştır. s/b oranının yüksek olmasına bağlı oluşan bu çatlakların önlenmesi için su azaltıcı ve büzülme engelleyici gibi kimyasal katkıların yanı sıra polipropilen lif kullanımı yazarlar tarafından önerilmiştir.

Literatürde, kireç esaslı harç karışımlarının üretilmesinde çeşitli kimyasal katkıların kullanıldığı çok sayıda çalışma mevcut olmasına rağmen, horasan harcının dayanım ve durabilite performansının iyileştirilmesi amacıyla kimyasal katkı kullanımı ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Horasan harcı ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu Türkçe olarak yayınlanmıştır. Bu durum, uluslararası literatürde horasan harcı ile ilgili detaylı bilginin var olmamasına neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Horasan harcı, su azaltıcı katkı, kuruma büzülmesi engelleyici katkı, polipropilen lif, mekanik özellikler, durabilite performansı

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Merkezine (BAP) OUAP (MH)-2020/4 numarası ile verdiği destekten ötürü teşekkür eder.

ABSTRACT

Many buildings were built with khorasan mortar during the Roman, Byzantine, Seljuk and Ottoman periods. khorasan mortar, which takes its name from the khorasan region in the North East of Iran, was called "cocciopesto" in the Roman period, "korassani" in Greece, "surkhi" in India, and "homra" in the Arab countries. Khorasan mortar is a kind of mortar and plaster obtained by grinding and mixing baked clay materials such as lime as binder, tile and brick as aggregate. The most important feature that distinguishes khorasan mortar from other lime-based mortars is the use of clayey materials with high SiO₂ content in the preparation of mixtures.

It was emphasized that the bricks used in the production of hhorasan mortar have different properties than those used today. For example, these bricks produced in the past are richer in clay minerals with high pozzolanic activity due to their lower temperatures baking. For this reason, it is suggested that the ground brick aggregate used in the mortar should be baked between 600-900°C. In addition, high porosity bricks should be preferred in the preparation of khorasan mortar. With the increase of porosity, the intensity of the pozzolanic reaction increase, as a result of more lime holding in these pores with the mixing water.

It is known that mortars are produced with high water/binder (w/b) ratio due to the lack of chemical admixture technology in ancient times. The durability performance of khorasan mortar was adversely affected as a result of the increase in permeability due to the increase in the w/b ratio. In this context, one of the most common problems observed in khorasan mortar mixtures is the formation of shrinkage cracks due to drying. These micro cracks increase the permeability of khorasan mortar especially at an early age and negatively affect its mechanical properties. For this reason, many historical buildings using khorasan mortar were damaged earlier than expected and even collapsed over time. In order to prevent these cracks caused by high w/b ratio, the use of polypropylene fiber in addition to chemical admixtures such as water reducer and drying shrinkage reducer were suggested by the authors.

Although there are many studies in the literature in which various chemical admixtures are used in the production of lime-based mortar mixtures, there is no study on the use of chemical admixtures in order to improve the strength and durability performance of khorasan mortar. Most of the studies on khorasan mortar were published in Turkish. This situation led to the lack of detailed information about khorasan mortar in the international literature.

Keywords: Khorasan mortar, water reducing admixture, drying shrinkage reducing admixture, polypropylene fiber, mechanical properties, durability performance

ACKNOWLEDGEMENT

The authors appreciate contributions of the Bursa Uludag University Science and Technology Centre (BAP) under grant numbers OUAP (MH) -2020/4.

**MONOPOROZA DUVAR KAROSU BÜNYE KOMPOZİSYONUNDA KULLANILAN
KALSİYUM KARBONATIN (CaCO₃) PIŞME KÜÇÜLMESİ VE OTOKLAV
ÇATLAĞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CALCIUM CARBONATE (CaCO₃) USED IN
MONOPOROSA WALL TILE BODY COMPOSITION ON CURING REDUCTION AND
AUTOCLAVE CRACK

Derya ÖZTÜRK

NG Kütahya Seramik

ORCID ID: 0000-0002-1562-0566

Yasin ÜRERSOY

NG Kütahya Seramik

ORCID ID: 0000-0002-0883-6676

Yeşim BALTACI

NG Kütahya Seramik

ORCID ID: 0000-0001-6115-0510

ÖZET

Seramik duvar karoları diğer kaplama malzemelerine göre yüksek poroziteye ve su emmeye sahip kaplama malzemeleri olarak karakterize edilirler. % 10'un üzerinde su emmeye sahip olan duvar karoları; tek veya çift pişirim yöntemi ile 1100-1150°C sıcaklık aralığında 35-45 dk. lık pişirim sürelerinde üretilmektedir. Seramik duvar karosu bünyeleri kil-kaolen, kalsit ve kuvars hammaddelerinin belirli oranlarda karışımı ile hazırlanmaktadır. Duvar karosu ürünlerde dikkat edilmesi gereken en önemli teknik özellik nem genleşmesi değeridir. Nem genleşmesinin duvar karolarında % 0,03'ü aşması durumunda sırt çatlakları meydana gelebilir.

Seramik ürünler pişirme prosesi esnasında belirli oranlarda küçülme davranışları gösterirler. Küçülme davranışına bağlı olarak pişirme prosesinin ayarlanması gerekir. Yüksek oranda küçülme davranışı gösteren ürünlerin yavaş ısıtılmaları, soğutulmaları gerekmektedir. Aksi takdirde deformasyonlar ve çatlaklar meydana gelebilir. Duvar karosu bünyesi poroziteli bir yapıda olduğu için yüksek basınçta çatlak oluşma dayanımına otoklav testi ile bakılır. Tüm sırlı karolar, ISO 10545-10 standardına göre otoklav testini geçmelidir. Kalsiyum karbonat (kalsit) son yılların en çok tüketilen mineral maddelerinden biridir ve kimyasal yapısı CaCO₃'dür. Kolay öğütülür ve öğütme sonrası rengi beyazdır. Boya, kağıt, dolgu, gübre, plastik, seramik v.b. birçok sektörde beyazlık, aşındırıcılık ve aşınmaya karşı direnç kazandırma özellikler nedeniyle kullanılan bir dolgu maddesidir.

Seramik monoporoza duvar karosu bünye reçetesinde kil, kaolen ve feldspat grubu hammaddelere ek olarak Kalsiyum Karbonat CaCO₃ (kalsit) da kullanılmakta ve Nem genleşmesi, boyut, su emme gibi nihai ürünün teknik spesifikasyonlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Duvar karosu bünyeleri mevcut poroz yapısından dolayı özellikle su emme ve nem genleşmesi reçetede kullanılan kalsit miktarına göre farklılık göstermektedir. Nem genleşmesi değerinin ebatlarla bağlantılı olarak %0,03'ü aşmaması gerekmektedir. Bunun yanı sıra üründe sonradan oluşabilecek çatlakların tespitinde kullanılan otoklav test sonuçları için önemli katkı malzemelerinden biridir. Bu çalışmada Duvar karosu bünye reçetesinde % 8-15 oranlarında kullanılan kalsitin boyut, su emme, nem genleşmesi ve otoklav çatlak testi sonuçlarına etkisi incelenmiştir. Teknik açıdan ideal sonuçların alındığı kalsit oranının %15

olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Duvar Karosu, Kalsit, Otoklav

ABSTRACT

Ceramic wall tiles are characterized as coating materials with high porosity and water absorption compared to other coating materials. Wall tiles with more than 10% water absorption; 35-45 minutes in the temperature range of 1100-1150 ° C with single or double firing method. It is produced in lukewarm firing times. Ceramic wall tiles are prepared by mixing clay-kaolin, calcite and quartz raw materials in certain proportions. The most important technical feature to be considered in wall tile products is the moisture expansion value. If the humidity expansion exceeds 0.03% in wall tiles, glaze cracks may occur.

Ceramic products shrink at certain rates during the firing process. Depending on the shrinking behavior, the cooking process needs to be adjusted. Products with high shrinkage behavior need to be heated slowly and cooled. Otherwise, deformations and cracks may occur. Since the wall tile has a porous structure, its resistance to crack formation at high pressure is checked by autoclave test. All glazed tiles must pass the autoclave test according to ISO 10545-10 standard. Calcium carbonate (calcite) is one of the most consumed mineral substances in recent years and its chemical structure is CaCO_3 . It is easily grinded and its color is white after grinding. Paint, paper, filler, fertilizer, plastic, ceramics, etc. It is a filler material used in many sectors due to its whiteness, abrasiveness and abrasion resistance properties.

In addition to clay, kaolin and feldspar group raw materials, Calcium Carbonate CaCO_3 (calcite) is also used in the ceramic monoporous wall tile body recipe, and it significantly affects the technical specifications of the final product such as moisture expansion, size, water absorption. Due to the porous structure of the wall tiles, especially water absorption and moisture expansion differ according to the amount of calcite used in the recipe. The moisture expansion value should not exceed 0.03% in relation to the dimensions. In addition, it is one of the important additives for autoclave test results used to detect cracks that may occur later in the product. In this study, the effects of 8-15% calcite used in the wall tile composition on the test results of size, water absorption, moisture expansion and autoclave crack were investigated. It was determined that the rate of calcite, at which technically ideal results were obtained, was 15%.

Keywords: Wall Tile, Calcite, Autoclave,

PATLAMA YÜKLEMESİNİN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF EXPLOSION CHARGES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF
CONCRETE

Aras DALĞIÇ

Munzur Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Öğrencisi

ORCID NO: 0000-0001-9313-9439

Berivan YILMAZER POLAT

Dr. Öğr. Üyesi, Munzur Üniversitesi, Mimarlık Bölümü

ORCID NO: 0000-0001-9109-2876

ÖZET

Terör olaylarından kaynaklı patlamalar toplumu tehdit etmektedir. Patlamaların oluşturduğu bu tehdidi azaltmak için terör riski bulunan bölgelerdeki askeri kontrol noktaları, emniyet binaları, menfezler, sınır noktaları vb. yapıların geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Çünkü beton yapılar patlama ile açığa çıkan enerjiye maruz kaldığı zaman parçalanarak can kaybı oluşturabilmektedir. Bu yüzden can ve mal kaybında artırıcı bir etkide bulunabilir. Bu nedenle betonun patlama yüklemesine karşı gösterdiği tepkinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

Son yıllarda araştırmacılar betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için çeşitli beton karışım oranları ve beton lif katkıları ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmalar, betonda lif kullanımının patlamaların oluşturduğu tahribatı azalttığını göstermektedir. Betonda kullanılan bu lifler genel olarak çelik, bazalt, seramik, karbon vb. şekilde sıralanır. Bunun yanı sıra patlamalarla oluşacak hasarı azaltmak için betonda farklı katkı malzemelerinin kullanımı bir başka araştırma konusu olmuştur.

Bu bildiri beton yapıların patlamalar karşısındaki performanslarını karşılaştırmalı inceleyen bir çalışmadır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Patlama Yükleme, Lif Katkısı

ABSTRACT

Blasts caused by terrorist incidents threaten society. To reduce this threat posed by blasts, there is a need to develop structures such as military checkpoints, security buildings, culverts, border points in areas with terrorism risk. Because when concrete structures are exposed to the energy released by the explosion, they can crumble and cause loss of life. Therefore, it is necessary to know the reaction of concrete to blast loading.

In recent years, researchers have carried out studies on various concrete mixing ratios and concrete fiber additives to improve the mechanical properties of concrete. Studies show that the use of fiber in concrete reduces the damage caused by the blast. These fibers used in concrete are generally listed as steel, basalt, ceramic, carbon, etc. Besides, the use of different additives in concrete to reduce the damage caused by the blast has been another research subject.

This paper is a comparative study of the performance of concrete structures against blasts.

Keywords: Concrete, Blast Loading, Fiber Additive

**FARKLI TİPTE ÖĞÜTME KOLAYLAŞTIRICI KATKILARIN ÖĞÜTME
VERİMLİLİĞİ VE HAMUR KARIŞIMLARININ BAZI TAZE HAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

THE EFFECT OF DIFFERENT TYPES OF GRINDING AIDS ON GRINDING
EFFICIENCY AND SOME FRESH STATE CHARACTERISTICS OF PASTE MIXTURES

Yahya Kaya

Yüksek Lisans Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı
Malzemesi ABD

ORCID NO: 0000-0002-4361-2387

Veysel Kobyay

Doktora Öğrencisi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Malzemesi ABD

ORCID NO: 0000-0002-1226-8405

Ali Mardani Aghabaglou

Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0003-0326-5015

(Sorumlu Yazar)

ÖZET

Çimento üretimi, enerji ve hammadde tüketimi ile CO₂ salınımı açısından çevreye büyük zarar vermektedir. Çimento üretimi sırasında, tüketilen enerjinin büyük bir kısmı klinker öğütme evresinde harcanmaktadır. Öğütme kolaylaştırıcı katkıları (ÖKK), klinkerin öğütülmesi sırasında ilave edilerek klinkerin topaklaşmasını ve değirmen yüzeyine yapışmasını önlemektedir. Böylece, istenilen incelik değerinin daha kısa sürede elde edilmesi sağlanmaktadır. Sonuç olarak, harcanan enerji azalarak çevreye salınan CO₂ miktarının azalmasını sağlamaktadır. Bu çalışmada, farklı tipte ÖKK kullanımının klinker öğütme süresi, enerji tasarrufuna, üretim kapasitesine ve çimento hamurunda su azaltıcı katkı doygunluk noktasına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, ÖKK kullanılmadan üretilen çimentoya ilaveten öğütme sırasında toplam klinker ve alçı taşı miktarının %0.05'i oranında farklı tipte ÖKK içeren 3 seri çimento daha üretilmiştir. Birinci ve ikinci serilerde, ÖKK olarak sırasıyla, trietanolamin (TEA) ve triizopropanolamin (TIPA) kullanılmıştır. Üçüncü seride ise, %30 TIPA+%20 DEIPA içeren modifiye ÖKK klinkere ilave edilmiştir. Öğütme işlemi için 5 kg kapasiteli, 1,5 kW motor gücüne sahip laboratuvar tipi bilyalı değirmen kullanılmıştır. Çimento inceliğinin 4100±100 Blaine değerine gelinceye kadar geçen öğütme süreleri kaydedilmiştir. Sonuçlara göre, hedef Blaine inceliği için gereken öğütme süresi ÖKK ilavesiz üretilen çimentoya kıyasla, TEA, TIPA ve modifiye ÖKK içeren çimentolarda sırasıyla, %14, %10 ve %6 oranında azalmıştır. Böylece, sırasıyla, 0.325, 0.2, 0.15 kWh enerji tasarrufu sağlanmıştır. Öğütme süresinin kısalmasına bağlı olarak zaman ve enerji tasarrufu sonucunda üretim kapasitesi, sırasıyla, %16, %11, %7 oranında artmıştır. ÖKK tipinden bağımsız olarak, ÖKK kullanımı ile hamur karışımlarında Marsh hunisi akış süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Buna ilaveten, ÖKK içermeyen çimento hamurunda su azaltıcı katkı doygunluk noktası katkı/çimento oranının %1.5 olduğu durumda tespit edilmiştir. Bu oranın, TEA, TIPA ve modifiye ÖKK katkıları ile üretilen çimentolar için %1.25 olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öğütme kolaylaştırıcı katkı, öğütme verimliliği, çimento üretim kapasitesi, su azaltıcı katkı doygunluk noktası

ABSTRACT

Cement production causes great harm to the environment in terms of energy and raw material consumption, and CO₂ emission. During cement production, most of the energy consumed is spent in the clinker grinding phase. Grinding aids (GA) are added during the grinding of the clinker, preventing clinker from clumping and sticking to the mill surface. Thus, it is ensured that the desired fineness value is obtained in a shorter time. As a result, the energy consumed decreases, and the amount of CO₂ emitted to the environment decreases. In this study, the effect of using different types of GA on clinker grinding time, energy saving, production capacity, and water-reducing admixture saturation point in cement paste was investigated. For this purpose, in addition to the cement produced without GA, three more series of cement containing different types of GA at the rate of 0.05% of the total amount of clinker and gypsum were produced during grinding. In the first and second series, triethanolamine (TEA) and triizopropanolamin (TIPA) were used as GA, respectively. In the third series, modified GA containing 30% TIPA + 20% DEIPA was added to the clinker. A laboratory-type ball grinder with a capacity of 5 kg and a motor power of 1.5 kW was used for the grinding process. Grinding times were recorded until cement fineness reaches 4100 ± 100 Blaine value. According to the results, the grinding time required for the target Blaine fineness decreased by 14%, 10%, and 6% for cement containing TEA, TIPA, and modified GA, respectively, compared to cement produced without GA addition. Thus, 0.325, 0.2, 0.15 kWh energy savings were achieved, and production capacity increased by 16%, 11%, and 7%, respectively, as a result of time and energy savings due to the shortening of the grinding time. Regardless of the GA type, it was observed that the Marsh-funnel flow time decreased with the use of GA in paste mixtures. In addition, the water reducing admixture saturation point was determined when the admixture/cement ratio was 1.5% in the cement paste without GA. This ratio was found to be 1.25% for cement produced with TEA, TIPA, and modified GA.

Keywords: Grinding aids, grinding efficiency, cement production capacity, water reducing admixture saturation point

TOMARZA PANAGHIA KİLİSESİ YAPIM SİSTEMİ VE YAPI MALZEMELERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A RESEARCH ON THE TOMARZA PANAGHIA CHURCH CONSTRUCTION SYSTEM
AND BUILDING MATERIALS

Kevser LALELİ

Öğr. Gör., Kayseri Üniversitesi, Tomarza Mustafa Akıncıoğlu Meslek Yüksekokulu

ORCID NO: 0000-0002-6448-1208

Hayriye Hale KOZLU

Doç. Dr., Erciyes Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi

ORCID NO: 0000-0001-6711-3139

ÖZET

Tarihi yapılar, çeşitli sebeplerden dolayı tarihsel süreç içerisinde hasara uğramaktadır. Hasara uğrayan yapıların restorasyon çalışmalarında, yeterli araştırma yapılmadan koyulan teşhisler sonucunda uygulanan müdahaleler özgün malzemelerde hasara sebep olarak malzeme kaybına neden olmaktadır. Hasara uğrayan yapıların onarım sürecinde uygun malzeme seçimi, tarihi belge değerinin korunması, tarihi yapıyı korumak ve yapının ömrünü uzatmak adına çok önemlidir. Bu nedenle de özgün malzemenin ve korumada kullanılacak olan yeni malzemenin özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında; Kayseri ili, Tomarza ilçesi, Persek mahallesi, 'Buzluk' mevkiinde bulunan ve 5.-6. yüzyılda inşa edildiği düşünülen Panaghia kilisesi incelenmiştir. Bizans dönemine ait serbest haç planlı olan kilise ile ilgili; eski çizimleri ve eski fotoğrafları dışında herhangi bir belgeleme çalışması mevcut değildir. Kaynaklarda yapının tamamen yok olduğundan bahsedilmektedir. Vandalizm, kaçak kazılar, çevresel faktörler ve yapının bulunduğu konum gibi farklı etkenler sonucu hasara uğrayan yapının büyük bir bölümü yok olmuştur. Geriye kalan bölümleri ise temel seviyesi ve pencere üst seviyesine kadar ayaktadır. Panaghia kilisesinin yapım sistemi ve yapı malzemesinin belirlenebilmesi için yerinde gözlemler ve petrografik analizler yapılmıştır. Analizler için öncelikle yapının farklı yerlerinden tahribatsız yöntemlerle numuneler alınmıştır. Sonrasında Tomarza ve çevresindeki taş ocaklarından numuneler alınmıştır. Numuneler üzerinde petrografik analizler yapılmıştır. Tarihi yapıdan alınan özgün taş örneklerinin özellikleri ile ocaklardan çıkarılan yeni taş örneklerinin özellikleri karşılaştırılmıştır. Tarihi yapıda kullanılan özgün taş malzemeye en uygun yeni taş alternatifleri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tomarza Panaghia Kilisesi, Koruma, Taş malzeme, Petrografik Analiz

ABSTRACT

Historical buildings suffer damage in the historical process due to various reasons. In the restoration works of damaged buildings, the interventions applied as a result of diagnoses made without adequate research, cause damage to the original materials and cause material loss. In the repair process of damaged buildings, the selection of appropriate materials is crucial in order to preserve the historical document value, protect the historical structure and extend the life of the building. Therefore, it is necessary to know the properties of the original material and the new material to be used in protection. In this scope of work; The Panaghia church, which is thought to have been built in the 5th- 6th century and located in the province of Kayseri, Tomarza district, Persek neighborhood, 'Buzluk' area, was examined. About the church with

free cross plan belonging to the Byzantine period; There is no documentation work except for his old drawings and old photographs. It is mentioned in the sources that the building was completely destroyed. A large part of the structure, which was damaged as a result of different factors such as vandalism, illegal excavations, environmental factors and the location of the building, has been destroyed. The remaining parts are standing up to the foundation level and the upper window level. On-site observations and petrographic analyzes were made to determine the construction system and building materials of the Panaghia church. For the analysis, firstly samples were taken from different parts of the building using non-destructive methods. Secondly, samples were taken from Tomarza and its surrounding quarries. Petrographic analyzes were made on the samples. The properties of the original stone samples taken from the historical building and the properties of the new stone samples extracted from the quarries were compared. The most suitable new stone alternatives for the original stone material used in the historical building were tried to be determined.

Keywords: Tomarza Panaghia Church, Conservation, Stone material, Petrographic Analysis

60° ÇELİK KÖŞEBENT PROFİL TASARIMI VE GELİŞTİRİLMESİ
DESIGN AND DEVELOPMENT OF HOT ROLLED 60 DEGREE ANGLES

Hakan ERÇAY

Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., İzmir, Türkiye

ORCID NO: 0000-0002-3858-4246

Caner TUNA

Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., İzmir, Türkiye

ORCID NO: 0000-0001-7385-5227

Tuncay DİKİCİ

Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İzmir, Türkiye

ORCID NO: 0000-0002-7004-9788

ÖZET

Çelik, sanayi devrimi ile birlikte yaşamın her alanında olduğu gibi yapı sektöründe de sahip olduğu özellikler sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Deprem, rüzgâr, kar yükü gibi önceden etkisi belirlenemeyen durumlara karşı, başta ABD, Japonya gibi gelişmiş ülkeler olmak üzere birçok ülkede yapı çeliğinin kullanımı önemli oranlara ulaşmıştır. Çok katlı yapıların çelik karkasları, kuleler, köprüler, sanayi yapıları, çatı konstrüksiyonları, pazar (hal) yerleri, spor yapıları, sergi salonları, uçak hangarları, antenler, rüzgar türbinleri güneş enerji santralleri, tavan ve kule vinçler gibi yerler çelik taşıyıcı sistemin en çok tercih edildiği yapı türleridir. Yapısal tasarım statik, dinamik, malzeme mekaniği ve yapısal analiz ilkeleri ile güvenli ve ekonomik çelik yapılar meydana getirmek oldukça önemlidir.

Kablosuz iletişim alanında faaliyet gösteren operatörler, televizyon ve radyo yayıncıları, sivil ve askeri haberleşme/izleme sistemleri kurum ve işletmecileri operasyonları için çeşitli tip ve boyda direkler kullanmaktadırlar. Önceleri enerji nakil hatlarında olduğu gibi dikdörtgen tabanlı ve dört ayağında 90° köşebent çelik profil kullanılan telekomünikasyon direkleri üretilmiştir. Ancak, dikdörtgen taban alanına sahip bu direklere 120° tarama alanına sahip üç verici yerleştirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, dört ayaklı direklerde vericileri yerleştirmek için ilave platformlar yapılmaktadır. Bu sebeple telekomünikasyon direklerinin üç ayaklı ve üçgen taban alanlı olarak üretilmeleri tercih edilmektedir. Ancak, mevcutta dünya üzerinde 60° çelik köşebent üretimi olmadığından üç ayaklı ve üçgen taban alanlı direklerin yapımında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı başta telekomünikasyon sektörünün ihtiyacı olan üç ayaklı ve üçgen taban alanlı direklerin düşük maliyet, yüksek dayanıklılık ve ömür değerleri ile üretilebilmesini sağlayacak 60° köşebent çelik profilin tasarımı ve sıcak haddeleme yöntemi ile üretilmesidir. Çalışma sonucu deneme üretimi yapılan 60° çelik köşebent profilin fiziksel, mekanik ve kimyasal testleri yapılmıştır. Bu testlerde çelik profilin boyut uygunluğu, mekanik özellikleri (çekme dayanımı vb.) ve metalurjik yapısı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 60° çelik köşebent, yapı çeliği, mekanik özellik, tasarım, sıcak haddeleme

ABSTRACT

With the industrial revolution, steel is widely used in the building sector as it is in all areas of life. The use of structural steel has reached significant proportions in many countries, especially in developed countries such as the USA and Japan, against situations such as earthquakes, wind and snow loads that cannot be determined beforehand. Places such as steel carcasses of multi-storey buildings, towers, bridges, industrial buildings, roof constructions, market places, sports structures, exhibition halls, aircraft hangars, antennas, wind turbines, solar power plants, ceiling and tower cranes are the most preferred building types. Structural design is very important to create safe and economical steel structures with the principles of static, dynamic, material mechanics and structural analysis.

Operators which operating in the field of wireless communication, television and radio broadcasters, civil and military communication/monitoring systems institutions and operators use poles of various types and sizes for their operations. Telecommunication poles with a rectangular base and using 90° angle steel profiles on four legs were produced, as was the case with energy transmission lines in the past. However, it is not possible to place three transmitters with a 120° scanning area on these poles with a rectangular base area. Therefore, additional platforms are made to accommodate transmitters on four-legged masts. For this reason, it is preferred that telecommunication poles be produced with three legs and a triangular base area. However, since there is no 60° steel angle production in the world, different methods are used in the construction of three-legged and triangular base area poles. The aim of this study is to design and manufacture the 60° angle steel profile, which will enable the production of tripod and triangular base area poles with low cost, high durability and life values, which are especially needed by the telecommunication sector. The physical, mechanical and chemical tests of the 60° steel angle profile, which was produced as a result of the study, were carried out. In these tests, the dimensional suitability, mechanical properties (tensile strength, etc.) and metallurgical structure of the steel profile were examined.

Keywords: 60° angle steel, structural steel, mechanical properties, design, hot rolling

BAZALT TEKSTİL YAPILARIYLA TAKVİYE EDİLMİŞ KOMPOZİTLERİN ISI VE SES YALITIM ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

OPTIMIZATION OF HEAT AND SOUND ABSORPTION PROPERTIES OF BASALT AND CARBON FABRIC REINFORCED COMPOSITES WITH TAGUCHI GRAY RELATIONS ANALYSIS

Ertan Özgür

Doktora Öğrencisi, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0000-0000-0000

Emel Ceyhan Sabır

Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü

ORCID NO: 0000-0000-0000-0000

ÖZET

Günümüzde maliyet ve fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulduğunda Kompozit malzemelerin üretim ve kullanımındaki büyük bir artış meydana gelmiştir. Bu artışla birlikte farklı malzemeler kullanılarak yüksek fiziksel özelliklere sahip ve maliyeti düşük kompozitlerin üretilmesi yönündeki çalışmalar hız kazanmıştır. Tekstil yapıları kompozitlerde takviye (güçlendirici) bileşen olarak kullanılmaktadır.

Bazalt doğada bol miktarda bulunan, ülkemizin de zengin olarak sahip olduğu bir kayadır. Bu malzeme eriyikten lif çekme yöntemi ile bir tekstil lifine dönüşebilmektedir. Bazalt elyaf sahip olduğu özelliklerden dolayı birçok alanda kullanılabilir. Bazalt elyaf çok iyi ses ve ısı yalıtım özelliği sağlamaktadır. Bazalt elyaf uzun yıllar öncesinden beri yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı ve ısı yalıtım özellikleri ile bilinmektedir (Prasath K.A., 2013). Isı ve ses yalıtım özelliklerinden dolayı asbetsin yerine de kullanılabilir (Van de Velde K, 2003). Bazalt, kompozit çalışmalarında araştırılan bir konudur. Mısıklı ve Merdan(2014), yapmış oldukları çalışmada bazalt ve cam dokuma kumaş ve fındık kabuklarının takviye malzemesi olarak kullanılmasıyla polimer matrisli kompozitler üretmişler ve bu kompozitlerin eğilme dayanımı ve ısı geçirgenliği değerlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan testler sonucunda bazalt dokuma kumaş takviyeli kompozitlerin cam dokuma kumaş takviyeli kompozitlere göre eğilme dayanımı ve ısı geçirgenlik özelliklerinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bazalt elyafın, nispeten daha pahalı bir malzeme olan karbon elyaf yerine kullanımının araştırıldığı çalışmalar da mevcuttur. Karbon elyaf, kompozit üretmek için en çok kullanılan ve gelecek vadeden popüler bir malzemedir. Karbon tekstil yapıları yüksek dayanım, yüksek elastisite modülü, düşük yoğunluk, yüksek dayanım ve kimyasal dirençlerinden dolayı birçok uygulamada en çok tercih edilen tekstil malzemesidir (Dorigato A.,2014).

Kompozit malzemelerin kullanımı günümüzde her alanda artmaktadır. Kompozitler özellikle otomotiv sanayi, uçak sanayi, uzay endüstrisi, savunma sanayi, gıda sanayi, tekstil sanayi, spor malzemeleri gibi birçok alanda artık yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur. Tüm bu alanlarda kullanılan kompozit malzemelerin kullanım alanlarına göre sahip olması istenilen birçok özellik vardır. Bu özelliklerin sağlanması için kompozit içerisine pek çok katkı malzemesi eklenmekte olup bunlar içinde seramik tozları, silisyumkarbür gibi mikro veya makro partiküllerdir. Kaybal (2016), çalışmasında nano Al₂O₃ katkılı epoksi kompozitlerin gerilme ve sertlik özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada karbon liflerle güçlendirilmiş

kompozitlere %1–5 arasında farklı oranlarda nanoAl₂O₃ eklenmiş, iki farklı yöntemle kompozit oluşturulmuş ve bu kompozitlerin gerilme ve sertlik özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonunda; en iyi gerilme özelliğinin %2 Al₂O₃ eklenmesiyle ve %34-50 oranında karbon lifi eklenmesiyle elde edilmiştir. Prasanna (2016) çalışmasında, cam–bazalt elyaf takviyeli epoksi kompozite SiC (silikonkarbid) eklenmesinin kompozitin mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışmada, aynı oranlarda ve 4 kat olmak üzere cam elyaf ve bazalt elyaf kullanılmıştır. Hazırlanan kompozite %0-2-4-6 oranlarında SiC eklenmiştir. Yapılan testler sonunda SiC ilavesiyle; eğilme dayanıma, eğme modülü, gerilme modülünün gözle görülür bir şekilde arttığı görülmüştür.

Literatürde bazalt tekstil yapısı takviyeli kompozitler ile yapılan çok sayıda çalışma bulunmakta olup, ısı ve ses yalıtım özelliklerinin araştırılması ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ayrıca nano partikül dolgulu ve bazalt tekstil takviyeli Kompozit çalışmasına rastlanmamıştır. Bu açıdan yapılacak olan bu çalışma literatüre önemli bir katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, bazalt tekstil yapılarıyla (lif ve kumaş) güçlendirilmiş epoksi matrisli kompozit malzemeler üretilecek ve ısı ve ses yalıtım özellikleri araştırılacaktır. Çalışmada, karbon kumaş takviyeli Kompozit malzeme de benzer şekilde üretilecektir. Çalışmada nanokatıkların kompozitlere kazandırdığı mekanik iyileştirmelerin ısı ve ses yalıtımı üzerindeki etkilerini de görmek için kompozitlere Al₂O₃ ve SiC dolgular eklenecektir. Böylece bazalt kompozitlerle, karbon kompozitlerin partikül takviyeli ve takviyesiz örneklerinin ısı ve ses yalıtımı gibi özellikleri karşılaştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bazalt, Kompozit, Nano Partikül, Isı Yalıtımı, Ses Yalıtımı

ABSTRACT

Nowadays, considering the cost and physical properties, there has been a great increase in the production and use of composite materials. With this increase, efforts to produce composites with high physical properties and low cost by using different materials have gained momentum. It is used as a reinforcing component in textile structures and composites.

Basalt is a rock that is abundant in nature and richly owned by our country. This material can be transformed into a textile fiber by melting with the fiber drawing method. Basalt fiber can be used in many areas due to its properties. Basalt fiber provides very good sound and heat insulation properties. Basalt fiber has been known for many years ago for its resistance to high temperatures and thermal insulation properties (Prasath K.A., 2013). It can also be used instead of asbestos due to its heat and sound insulation properties (Van de Velde K, 2003). Basalt is a subject that is being explored in composite studies. Mistik and Merdan (2014) produced polymer matrix composites by using basalt and glass woven fabric and hazelnut shells as reinforcement material and compared the bending strength and heat permeability values of these composites. As a result of the tests, it was concluded that basalt woven fabric reinforced composites had better bending strength and heat permeability properties than glass woven fabric reinforced composites. There are also studies investigating the use of basalt fiber instead of carbon fiber, which is a relatively expensive material. Carbon fiber is the most used and promising popular material to produce composites. Carbon textile structures are the most preferred textile material in many applications due to their high strength, high modulus of elasticity, low density, high strength and chemical resistance (Dorigato A., 2014).

The use of composite materials is increasing in every field today. Composites have now found widespread use in many areas such as automotive industry, aircraft industry, space industry, defense industry, food industry, textile industry, sports equipment. There are many features that composite materials used in all these areas are desired to have according to their usage areas.

In order to provide these properties, many additives are added to the composite and these include micro or macro particles such as ceramic powders, silicon carbide. Kaybal (2016) examined the tensile and hardness properties of nano Al₂O₃ doped epoxy composites. In the study, nano Al₂O₃ was added to composites reinforced with carbon fibers in different proportions of 1--5%, composites were formed by two different methods, and the tensile and hardness properties of these composites were examined. At the end of the study; The best tensile properties were obtained by adding 2% Al₂O₃ and adding 34-50% carbon fiber. In his study Prasanna (2016) examined the effect of adding SiC (silicon carbide) to the glass-basalt fiber reinforced epoxy composite on the mechanical properties of the composite. In the study, glass fiber and basalt fiber were used in the same proportions and 4 layers. 0-2-4-6% SiC was added to the prepared composite. At the end of the tests, with the addition of SiC; It has been observed that the bending strength, bending modulus and tensile modulus have increased significantly.

In the literature, there are many studies done with basalt textile structure reinforced composites, and studies on the investigation of thermal and sound insulation properties are limited. In addition, a composite study with nanoparticle filling and basalt textile reinforcement has not been found. In this respect, this study will make an important contribution to the literature. In this study, epoxy matrix composite materials reinforced with basalt textile structures (fiber and fabric) will be produced and their thermal and sound insulation properties will be investigated. In the study, carbon fabric reinforced composite material will be produced in a similar way. In the study, Al₂O₃ and SiC fillers will be added to the composites in order to see the effects of the mechanical improvements brought by nanoclay to composites on heat and sound insulation. Thus, the properties such as thermal and sound insulation of the particle reinforced and non-reinforced samples of basalt composites and carbon composites will be compared.

Keywords: Basalt, Composite, Nano Particul, Heat And Sound Insulation

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİ SUSTAINABLE BUILDING MATERIALS

Aysu SARI ÇETİN

Yüksek İç Mimar, Ankara, TÜRKİYE

ORCID ID: 0000-0003-3616-785X

ÖZET

Yapılarda kullanılan malzemelerin zaman içerisinde iklim koşullarına ve coğrafi yapıya bağlı olarak malzeme yapısında değişikliklere uğradığı görülmektedir. Kullanıcı ihtiyaçlarına karşılık verebilmek amacıyla yapı sektöründe hızla gelişen teknolojiyle beraber üretilen malzemelerin yapılarda kullanılmaya başlamasıyla hem kullanıcı üzerinde olumlu etkilerinin görülmesi hem de sağlık bakımından ortaya çıkan yapıların uzun ömürlü ve canlıya zarar vermeyen malzemeler ile sağlandığı görülmektedir. Tasarım aşamasından itibaren multidisipliner bir çalışma anlayışı ile ortaya çıkan bu yapıların var olan kaynakları tüketmeden yapı içerisinde kendi ihtiyacını karşılayacak şekilde bir sisteme sahip olması ve gelecek nesillere aynı şekilde aktarılması bakımından önem taşımaktadır. Malzemenin uzun ömürlü olarak yapılarda uygulanması sürdürülebilir yapı tasarım kriterleri ile doğrudan bağlantılıdır. Bu bağlamda yapıya etki eden tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak uygulanan tekniğin ve malzemenin yapısına göre doğru yapı tasarımının ortaya nasıl konulacağı ifade edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir malzemeler, Yapı tasarım kriterleri, Teknolojik malzemeler

ABSTRACT

It is seen that the materials used in the buildings have undergone changes in the material structure over time depending on the climatic conditions and the geographical structure. In order to respond to the needs of the user, it is seen that the materials produced with the rapidly developing technology in the building sector have started to be used in the buildings, both in terms of positive effects on the user and in terms of health, long-lasting materials that do not harm living things. It is important for these structures, which emerged with a multidisciplinary understanding of work from the design stage, to have a system to meet their needs within the building without consuming existing resources and to be transferred to future generations in the same way. The long-lasting application of the material in buildings is directly related to sustainable building design criteria. In this context, it will be expressed how to put forward the correct building design according to the applied technique and the structure of the material, considering the design criteria that affect the building.

Keywords: Sustainable materials, Building design criteria, Technological materials