

**BOŞLUKLU BETONARME KOMPOZİT DÖŞEMELERİN
TAŞIMA KAPASİTELERİNİN DENEYSEL
DEĞERLENDİRİLMESİ**

FIRAT KIPÇAK

**KASIM 2023
DİYARBAKIR**

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOŞLUKLU BETONARME KOMPOZİT DÖŞEMELERİN
TAŞIMA KAPASİTELERİNİN DENEYSEL
DEĞERLENDİRİLMESİ**

FIRAT KIPÇAK

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV
YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
DOKTORA TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

KASIM 2023
DİYARBAKIR

BOŞLUKLU BETONARME KOMPOZİT DÖŞEMELERİN TAŞIMA KAPASİTELERİNİN DENEYSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Fırat KIPÇAK tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞIN
Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Mucip TAPAN
İkinci Danışman, **İnşaat Mühendisliği Bölümü,**
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. İdris BEDİRHAN OĞLU (*)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞIN (**)
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Barış ERDİL
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Prof. Dr. Halil GÖRGÜN
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Ercan IŞIK
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bitlis Eren Üniversitesi



Savunma Tarihi: 29 / 11 / 2023

(*) Jüri Başkanı.

(**) Tez Danışmanı.

Babam ve Anneme...

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Fırat KIPÇAK

İmza:

TEŞEKKÜR

Dicle üniversitesinden danışmanım Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN'e ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesinden danışmanım Prof. Dr. Mucip TAPAN'a çalışmanın fikir aşamasından, örnekleme, deney setlerini oluşturma, analizlerin yorumlanması ve tez taslağındaki düzeltmeler konularına kadar gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı saygılarımı sunar ve teşekkür ederim. Jüri üyelerime çalışma kapsamında bulundukları bilgi paylaşımı, deneysel ve analitik yol gösterimi katkılarından ötürü Doç. Dr. Barış ERDİL ve Prof. Dr. İdris BEDİRHANOGĞLU hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FDK-2022-10020 numaralı doktora tez projesi kapsamında desteklenmiştir (Proje No: VAN-YYU-BAP- FDK-2022-10020 29.09.2023). Çalışmaya destek veren Van YYU-BAP birimine teşekkürlerimi sunarım. Deney döşemelerinin üretildiğı ETE-Beton santraline, VAN-İş Geliştirme Merkezinde bulunan eğilme test cihazının bulunduğu ve testlerin gerçekleştirildiğı İNOVAN Teknik Yapıya teşekkürlerimi sunarım. Beton numunelerinin basınç ve çekme ile çelik hasırların çekme deneylerinin yapıldığı VAN DSİ Beton Laboratuvarı Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Tezin son halini okuyup düzeltmeler için önerilerde bulunan Prof. Dr. Halil GÖRGÜN, Dr. Öğr. Üyesi Fuat KORKUT ve Doç. Dr. Ercan IŞIK'a teşekkürü borç bilirim.

Beni öğrenme, araştırma, geliştirme ve hayata katkı sunma konusunda heveslendiren inanç veren ve imkân sağlayan hocalarıma ve babam Azam KIPÇAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem Tanımı.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	30
3.1 Malzeme	30
3.2 Yöntem	33
3.3 Test Öncesi Ön Analitik Çalışma	34
3.3.1 Mesnet koşulları ve yük durumu.....	35
3.3.2 ABAQUS programı analiz yöntemi ve döşeme ağ büyüklüğü	36
3.3.3 Beton malzemesi	37
3.3.4 Donatı malzemesi.....	40
3.3.5 Analitik çalışma bulgular ve tartışma	41
3.3.6 Analitik çalışma sonuçları.....	44
3.4 Döşeme Üretimleri	45
3.4.1 Kalıpların hazırlanması	45
3.4.2 Donatıların hazırlanması	46
3.4.3 Polistiren köpüklerin hazırlanması.....	47
3.4.4 Beton dökümü	49

3.5	Deney Kurulumu	50
3.6	Malzeme Deneyleri	52
3.6.1	Beton basınç deneyi	52
3.6.2	Beton çekme dayanımı	55
3.6.3	Çelik hasır çekme deneyi	57
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	60
4.1	Çalışmanın Değerlendirilmesi, Kısıtlar ve Önerilen Çalışmalar	72
5.	SONUÇLAR	75
	KAYNAKLAR	77
	ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Polistiren köpük içerikli betonarme döşeme sistemi	4
Şekil 2.2 Küre boşluklu döşeme sistemi: 1- boşluksuz döşeme alanı, 2- kesme kuvveti çizgisi	5
Şekil 2.3 Polistiren köpük tipleri.....	7
Şekil 2.4 Tek yönlü kompozit döşeme sistemi yapım aşaması	8
Şekil 2.5 GFRP ile güçlendirilmiş kompozit döşeme sistemi.....	10
Şekil 2.6 Test döşemeleri detay ve ölçülendirilmesi	11
Şekil 2.7 Boşluklu döşeme malzemesi. a) Ortası beton geçişli delikli halka prizma (Doughnut-type) b) T şeklinde kesme donatısı ve bağlantı görevinde kullanılan çelik aparat.....	13
Şekil 2.8 Uzunluk boyunca çapraz donatıyla güçlendirilmiş döşeme modeli	13
Şekil 2.9 Kompozit yarı prefabrike üretilmiş asmolen döşeme sistemi.....	14
Şekil 2.10 Kankeri vd. boşluklu döşeme çalışması a) Test kurulumu ve b) döşeme detayları.....	16
Şekil 2.11 B1 döşeme numunesinin yan kesit görünüşü.....	18
Şekil 2.12 Yükleme cihazı	18
Şekil 2.13 Döşeme özellikleri: a) Eğilme kontrol döşemesi kesit görünüşleri ve donatıları b) Kesme boşluklu döşeme kesit görünüşleri ve donatıları	19
Şekil 2.14 Boşluklu döşeme kesit detayları a) Döşeme yüksekliği (b) 250 mm ve boşluk yüksekliği (b_w) 140 mm olan döşeme, b) $b= 300$ mm ve $b_w= 190$ mm olan döşeme, c) $b= 350$ mm ve $b_w= 240$ mm olan döşeme ve d) $b= 400$ mm ve $b_w= 290$ mm olan döşeme.....	21
Şekil 2.15 Çalışmada kullanılan döşeme numuneleri	22
Şekil 2.16 a) Test döşemesi; b) Döşeme alansal yükleme düzeneği.....	24
Şekil 2.17 Boşluklu döşemelerde açıklık şeması	25
Şekil 2.18 Dört noktada eğilme deney yöntemi ve çökme hesap formülü.....	26
Şekil 2.19 Döşeme en-kesit detayları ölçüler mm cinsindedir.....	27
Şekil 2.20 Döşeme boşluk şekilleri.....	28
Şekil 3.1 Döşeme donatı detayı ve geometrisi a) A grubu referans (A1) döşeme, b) A grubu boşluklu döşeme, c) B grubu referans (B1) döşeme, d) B grubu boşluklu döşeme (cm biriminde ölçüler).....	33
Şekil 3.2 Kesme donatı detayı (cm biriminde ölçüler)	33

Şekil 3.3 Üç noktada eğilme deney yöntemi (cm biriminde ölçüler)	36
Şekil 3.4 Döşeme analitik modelleme görünüşü ve ağ büyüklüğü	37
Şekil 3.5 Analiz sonuçları a) Moment/çökme grafiği, b) Akma momentinin boşluk oranına göre değişimi c) Akma momenti/Ağırlık değerinin boşluk oranına göre değişimi.....	44
Şekil 3.6 Kalıpların hazırlanması a) Ölçülerin alınması, b) Kalıpların yerleştirilmesi	46
Şekil 3.7 Çelik hasırların hazırlanması a) Hasırların kesilmesi ve birleştirilmesi b) Hasırların döşeme kalıbında montajının yapılması.....	47
Şekil 3.8 Polistiren köpüklerin kesimi ve donatı birleşimi	48
Şekil 3.9 Donatıların bağlanması ve kesme donatılarının yerleştirilmesi.....	48
Şekil 3.10 Döşeme üretimleri a) Donatıların kalıplara yerleştirilmesi ve b) beton dökümü.....	50
Şekil 3.11 Döşeme test cihazı	51
Şekil 3.12 Test kurulumu ve döşeme numunesi (cm biriminde ölçüler)	51
Şekil 3.13 Döşeme mesnet ve LVDT yerleşimi (cm biriminde ölçüler).....	52
Şekil 3.14 Beton numunelerinin alımı	53
Şekil 3.15 Betonun basınç gerilme-şekildeğiştirme grafiği	55
Şekil 3.16 Yarma çekme gerilme dağılımı.....	56
Şekil 3.17 Chinese Code (2010)'a göre çekme dayanım grafiği	57
Şekil 3.18 Çelik hasır çekme gerilme-şekildeğiştirme grafiği	59
Şekil 4.1 A grubu döşeme moment/çökme grafiği.....	64
Şekil 4.2 B grubu döşeme moment/çökme grafiği.....	66
Şekil 4.3 Döşeme moment/çökme grafiklerinin karşılaştırılması a) A1, A1-P ve B1 döşemeleri b) A2 ve B2 döşemeleri c) A3 ve B3 döşemeleri d) A4 ve B4 döşemeleri e) A5 ve B5 döşemeleri.....	70
Şekil 4.4 A grubu döşemeleri rijitlik-çökme grafiği	71
Şekil 4.5 B grubu döşemeleri rijitlik-çökme grafiği	71
Şekil 4.6 Akma momenti/ağırlığın boşluk oranına göre değişimi grafiği.....	72

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 A grup döşeme modelleri (cm biriminde ölçüler)	31
Tablo 3.2 B grup döşeme modelleri (cm biriminde ölçüler).....	32
Tablo 3.3 Döşeme çekme, basınç ve kesme donatı oranı	33
Tablo 3.4 C30/37 beton gerilme/şekildeğiştirme değerleri.....	40
Tablo 3.5 C30/37 betonu elastik ve plastik parametreler.....	40
Tablo 3.6 B420C çeliği elastik ve plastik parametreler	41
Tablo 3.7 Akma moment (M_y) kapasiteleri.....	42
Tablo 3.8 A grubu döşemeler çekme hasar oranı ve donatılardaki eşdeğer gerilme dağılımı	42
Tablo 3.9 Beton numuneleri basınç deney öncesi ve sonrası.....	53
Tablo 3.10 Beton basınç mekanik özellikleri.....	54
Tablo 3.11 Beton numuneleri yarmada çekme deney öncesi ve sonrası.....	56
Tablo 3.12 Yarmada çekme deneyi sonuçları	56
Tablo 3.13 Beton çekme dayanımının belirlenmesi.....	56
Tablo 3.14 Çelik hasır numuneleri çekme deney öncesi ve sonrası	58
Tablo 3.15 Çelik hasır mekanik özellikleri	58
Tablo 4.1 A grubu döşemeleri test öncesi ve sonrası görselleri.....	61
Tablo 4.2 B grubu döşemeleri test öncesi ve sonrası görselleri	62
Tablo 4.3 A grubu döşeme moment ve çökme değerleri	65
Tablo 4.4 B grubu döşeme moment ve çökme değerleri	66

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
b	Döşeme Genişliği
h	Döşeme Yüksekliği
l	Döşeme Toplam Açıklık
l_n	Döşeme İki Mesnet Arası Uzunluk
P	Yük
W	Ağırlık
m	Kütle
σ_b	Basınç Gerilmesi
σ_φ	Çekme Gerilmesi
kg	Kilogram
kN	KiloNewton
MPa	MegaPascal
GPa	GigaPascal
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
m^2	Metrekare
m^3	Metreküp
K	Eğrilik
R	Eğrilik Yarı Çapı
I	Atalet Momenti
a_v	Mesnet ve Yük Arası Mesafe
ϵ_c	Beton Şekil Değiştirmesi
c	Tarafsız Eksen Derinliği
M_c	Kesitte Oluşan Moment
δ	Çökme
K_c	ABAQUS Programında Tanımlanan Plastikleşme Değeri

c	Alt İndisi Basıncı Temsil Etmektedir (Compression)
t	Alt İndisi Çekmeyi Temsil Etmektedir (Tension)
E_c	Elastisite Modülü
σ_c	Basıncı Gerilmesi
σ_t	Çekme Gerilmesi
d_c	Basıncı Hasar Parametresi
d_t	Çekme Hasar Parametresi
ε	Şekildeğiştirme
ε_t	Tepe Noktası Çekme Şekildeğiştirmesi
ε_s	Alt Donatı Şekildeğiştirmesi
ε'_s	Üst Donatı Şekildeğiştirmesi
f_{cu}	Nihai Basıncı Gerilmesi
f_{tu}	Nihai Çekme Gerilmesi
ε_{cu}	Nihai Basıncı Şekildeğiştirme
ε_{tu}	Nihai Çekme Şekildeğiştirme
a_c	Chinese Code 2010'da Tanımlanan Beton Basıncı Katsayısı
a_t	Chinese Code 2010'da Tanımlanan Beton Çekme Katsayısı
ε_{0c}^{el}	Basıncı Elastik Şekildeğiştirme
ε_{0t}^{el}	Çekme Elastik Şekildeğiştirme
ε_c^{in}	Basıncı İnelastik Şekildeğiştirme
ε_t^{in}	Çekme İnelastik Şekildeğiştirme
f_y	Donatı Akma Dayanımı
A_s	Çekme Donatı Toplam Alanı
A'_s	Basıncı Donatı Toplam Alanı
d	Faydalı Yükseklik
j	Basıncı Bloğu Mesafesi Katsayısı
k_1	Basıncı Bloğu Derinliği İçin Kullanılan Düzeltme Katsayısı
M_y	Akma Momenti

f_c	Beton Basınç Dayanımı
$f_{c,ort}$	Beton Ortalama Basınç Dayanımı
f_{ct}	Beton Çekme Dayanımı
P_c	Maksimum Yük
a	Basınç Bloğu Derinliği
β_1	Tarafsız Eksen Derinlik Katsayısı
f'_c	Beton Standart Silindir Basınç Dayanımı
C_c	Beton Basınç Kuvveti
T	Çekme Donatı Kuvveti
T'	Basınç Donatı Kuvveti
z_T	Çekme Donatısı Basınç Bloğu Mesafesi
$z_{T'}$	Basınç Donatısı Basınç Bloğu Mesafesi
M_u	Deney Sonucu Nihai Moment
$M_{u,cal}$	Hesaplanan Nihai Moment
$M_{y,Park}$	Park Modeline Göre Hesaplanmış Akma Momenti
$\delta_{y,Park}$	Park Modeline Göre Hesaplanmış Akma Noktası Çökme
δ_0	Nihai Moment Noktası Çökme

Kısaltma

TS
TBDY-2018
TS-500/2000
TS ISO 9194
TS 708
Eurocode 2

Açıklama

Türk Standardı
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk
Çelik ve Betonarme için Donatı Çeliği
Design of Concrete Structures- Eurocode 2

Chinese Code 2010	Code for Design of Concrete Structures/ National Standard of the People's Republic of China (Chinese Code 2010)
CDP	Concrete Damage Plasticity
SCT	Square Concrete Transitions
LVDT	The Linear Variable Differential Transformer



ÖZET

BOŞLUKLU BETONARME KOMPOZİT DÖŞEMELERİN TAŞIMA KAPASİTELERİNİN DENEYSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

KIPÇAK, Fırat

Doktora, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Danışman: Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN

İkinci Danışman: Prof. Dr. Mucip TAPAN

Kasım 2023, 100 sayfa

Betonarme yapılarda boşluklu döşeme sistemleri çoğunlukla döşeme altına yerleştirilen polistiren köpük ile üretilmektedir. Döşemede bulunan boşlukların temel amacı döşeme ağırlığını azaltmaktır. Bu tez çalışmasında döşeme enkesitinin orta katmanında polistiren köpük ile oluşturulmuş boşluklu bir dizi betonarme döşeme davranışı deneysel ve analitik olarak araştırılmıştır. Bu bağlamda boşluk miktarının değiştiği 11 adet döşeme sistemi, iki ayrı gruba ayrılmıştır. Birinci grupta bulunan döşemelerin ilki boşluksuz kontrol numunesi iken dört adet döşeme boşluklu üretilmiştir. İkinci grupta bulunan döşemeler ise ek olarak kesme donatısı ile güçlendirilmiştir. Boşluklu döşemelerin alt ve üst katmanı betonarme, orta katmanı ise polistiren köpük ile oluşturulmuştur. Döşeme uzunluğu 200 cm, genişliği 100 cm ve kalınlığı 15 cm'dir. Boşluklu döşeme her katmanı 5 cm olacak şekilde üç katmanlı üretilmiştir. Döşeme deneyleri öncesi ön çalışmada betonun plastikleşme hasar modeline ve çeliğin elastoplastik davranışına göre ABAQUS programında analitik çalışma yürütülmüştür. Döşemeler iki alt kenarı kayıcı ve dönebilen mesnetlere oturtulmuş üç noktadan eğilme deney yöntemine göre test edilmiştir. Yükleme ise açıklık ortasında düzgün çizgisel yayılı yükleme ile verilmiştir. Deplasman okumaları döşeme açıklık ortasından doğrudan alınmıştır. Ayrıca tez kapsamında döşemelerde kullanılan betonun ve çeliğin mekanik deneyleri yapılmıştır. Sonuçlara göre boşluk oranı artışı ile döşeme eğilme kapasitesinde düşüş, toplam şekil değiştirme miktarında artış gözlenmiştir. Aynı zamanda boşluk oranının %20 olması durumunda kırılma türünün eğilmeden kesilmeye geçtiği görülmüştür. Birinci grup döşemelerde boşluk artışına rağmen başlangıç rijitlikleri yaklaşık aynı kalmıştır. Kesme donatılarının kullanıldığı ikinci grup döşemelerde birinci gruba göre başlangıç rijitlikleri ve sünek şekil değiştirme kapasiteleri artmıştır. İkinci grup döşemelerde kesme donatısının kullanılması ile boşluklu döşeme nihai yük kapasitelerinde önemli düşüş yaşanmamıştır. Ayrıca analitik çalışmada elde edilen moment/çökme değerlerinin deneysel çalışma ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Tez kapsamında yapılan deney, gözlem ve analitik değerlendirme sonucuna göre kesme donatısının kullanıldığı döşemelerde belirli oranda boşluk bırakılabileceği ve döşemelerin nihai yük dayanımında önemli ölçüde kayıp olmadan döşemelerin hafifletilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme döşeme, Boşluklu döşeme, Eğilme deneyi, Kesme donatılı döşeme, Kompozit döşeme, Polistiren köpük, Tek yönlü döşeme.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE BEARING CAPACITY OF CONCRETE COMPOSITE VOIDED SLABS

KIPÇAK, Fırat

Doctor of Philosophy in Department of Civil Engineer

Supervisor: Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞIN

Co-Supervisor: Prof. Dr. Mucip TAPAN

November 2023, 100 pages

Voided slab systems in reinforced concrete structures are mostly produced with polystyrene foam placed under the slab. The main purpose of the voids in the slab is to reduce the weight of the slab. In this thesis, the behavior of a series of voided reinforced concrete slabs formed with polystyrene foam in the middle layer of the slab cross-section was investigated experimentally and analytically. In this context, 11 slab systems in which the amount of void changes is divided into two separate groups. While the first of the slabs was used as the control specimens without any void, four slabs were produced with voids. The slabs in the second group are additionally reinforced with shear reinforcement. The bottom and top layers of the voided slabs are made of solid reinforced concrete, whereas the middle layer consists of polystyrene foam and concrete. Slab length is 200 cm, width is 100 cm and thickness is 15 cm. Voided slabs are produced in three layers, each layer is 5 cm in height. In the preliminary study before the slab tests, an analytical study was carried out in ABAQUS software according to the concrete damage plasticity model (CDP) of concrete and elastoplastic behavior of steel. Slabs were tested according to the 3-point bending test method in which roller supports were placed at bottom of slab. The loading is applied with a uniform linear distributed loading in the middle of the span. Displacement readings were taken directly from the center of the slab span. In addition, mechanical tests of the concrete and steel used in the thesis were carried out. According to the results, when the void ratio increased, a decrease in the slab bending capacity and an increase in the total deformation were observed. At the same time, it was observed that the cracking type changed from bending to shear in case the void ratio was 20% or more. Despite the increase in voids in the first group of slabs, the initial stiffnesses remained approximately the same. In the second group of slabs in which shear reinforcements were used, the initial stiffness and ductile deformation increased compared to the first group. There was no significant decrease in the final load capacities of the slabs with the use of shear studs in the second group of slabs. In addition, the moment and deflection values obtained in the analytical study is found to be consistent with the experimental study. According to the experimental results, observations and analytical evaluation carried out within the scope of the thesis, it has been noted that a certain amount of void can be left in the slabs where shear stud is used and the slabs can be lightened without significant loss in ultimate load capacity.

Keywords: Bending test, Composite slab, One-way slab, Polystyrene foam, Reinforced concrete slab, Shear stud slab, Voided slab.

1. GİRİŞ

Depremler nedeniyle ortaya çıkan can ve mal kayıplarını en aza indirmek amacıyla inşa edilen binaların yeterli rijitlik, süneklik, yük ve deplasman kapasitelerine sahip olmaları gerekir. Binayı oluşturan taşıyıcı sistem türü, malzeme, bina ağırlığı, bulunduğu deprem bölgesi gibi bina özellikleri deprem anında binanın alacağı hasarları etkilemektedir. Bunlardan değiştirilebilen ve bina için oldukça önem arz eden etken bina ağırlığıdır. Binaya etkiyen deprem yükü, bina toplam ağırlığından hesaplanmakta ve deprem sırasında binanın davranışını oldukça etkilemektedir (TBDY-2018). Binanın hafifletilmesi ile bina periyodu düşmekte ve binaya etkiyen yatay ve düşey deprem yükleri azalmaktadır. Bu nedenle, daha fazla bina ağırlığı, daha fazla yatay yük anlamına gelmektedir. Deprem yüklerinin azalması ile bina taşıyıcı elemanları daha az hasar görmekte ve göçme riski azalmaktadır. Bina ağırlığına günümüzde çoğunlukla dolgu duvarların yapımında kullanılan malzemelerin değiştirilmesi ve boyutların küçültülmesi ile belirli oranda çözüm üretilmektedir. Ancak bir konut binasında toplam zati yükün büyük kısmını döşemeler oluşturmaktadır. Yardim (2008) ve Pawar vd. (2022) çalışmalarında, bir konut binasının zati ağırlığının %40-60'ını döşemelerin oluşturduğunu ifade edilmiştir.

1.1 Problem Tanımı

Geleneksel döşeme sistemi ağırdır ve büyük ölçekli projelerde ciddi zati ağırlık sorunu oluşturur. Bu zati yükü taşımak için daha büyük boyutlu kiriş ve kolonlar tasarlanmaktadır. Taşıyıcı sistem boyutları hem bina maliyetini hem de toplam zati ağırlığı artırmaktadır (Yee ve Hon, 2001). Araştırmalara göre asmolon döşeme sistemi de kirişli ve kalın yapıya sahip olduğu için plak döşeme ile neredeyse aynı ağırlığa sahiptir. Bu sebeple daha hafif ve daha iyi yapısal performans sağlanması için yeni döşeme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Geliştirilen daha hafif döşemeler zamanla önemli ölçüde talep görmüştür. Ancak döşemelerin zati, hareketli ve deprem yüklerini taşıyabilmek için yeterli düzeyde dayanım, rijitlik ve deplasman kapasitelerine sahip olmaları gerekir. Bu doğrultuda yapılan çalışmalara göre döşeme ağırlığı azaltılarak yeterli mukavemet ve rijitlikte; ses ve ısı yalıtımına sahip döşeme sistemlerinin tasarlanabileceği görülmüştür (İbrahim vd. 2013a; Kankeri vd. 2018; Khouzani vd. 2019). Yapılan araştırmalara göre döşeme davranışını birçok parametre etkilemektedir. Bunlar:

- Döşeme malzeme türü
- Döşeme kalınlığı
- Çekme donatı oranı
- Döşeme boşluklarının (polistiren) miktarı ve doğrultusu
- Döşeme en-kesit boşluk oranı
- Kesme donatısının kullanılması

Bu etkilerden boşluk oranı konusunda birçok çalışma bulunmaktadır (Giacinto vd. 2019; Jabir vd. 2021; Kim vd. 2008; Kim, 2010, 2012; Pawar vd. 2022; Yardim vd. 2013). Çalışmalara göre genel olarak döşemelerdeki boşluk oranı artışı ile eğilme kapasitesi azalmış ve yer değiştirmeler artmıştır. Döşemelerde bırakılan boşluklar bulunduğu noktada süreksizlik oluşturduğundan boşluk çevresinde gerilme yığılmaları oluşturmaktadır. Bu gerilmeler boşluk kenarlarında çatlamalara ve kırılmalara neden olmaktadır. Döşemeyi göçmeye zorlayan yük ile deplasman değerleri karşılaştırıldığında mukavemet ve rijitlik bilgileri hesaplanmaktadır. Ayrıca boşluk oranları ile mukavemet ve rijitlik değerleri karşılaştırıldığında optimum düzeyde boşluğa ve ağırlığa sahip döşeme modeli belirlenebilmektedir. Döşemenin boyuna ve enine yönlerindeki donatıların yanı sıra, kesme donatılarının kullanıldığı çalışmalarda kesme donatıları eğilme kapasitelerini artırmış ve yer değiştirme değerlerini azaltmıştır (Allawi ve Jabir, 2016; Khouzani vd. 2019).

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışması bina ağırlığının azaltılması için geliştirilmiş boşluklu döşemelerin davranışını belirlemek amacıyla yürütülmüştür. Bu hususta tez çalışmasında döşemelerin boşluk davranışını yansıtacak şekilde oldukça az karmaşık, düzenli ve kullanılabilir olmasına dikkat edilmiştir. Çalışmada plak, asmolen ve kaset döşemeye alternatif olarak üretilen boşluklu döşemelerin eğilme davranışı araştırılmıştır. Öncelikle bilgisayar ortamında ABAQUS programında bazı döşemeler modellenmiş ve analiz edilmiştir. Ardından analiz sonuçları dikkate alınarak döşemeler hazır beton santralinde üretilmiş ve laboratuvara taşınarak eğilme cihazında test edilmiştir. Döşemelerdeki boşluklar polistiren ile oluşturulmuş, asmolen döşemeye göre daha hafif ve daha hızlı üretilmiştir. Farklı boyutlarda polistiren boşluklar kullanılarak kesitteki boşluk oranı değiştirilmiştir. Döşeme mukavemet ve rijitlik kapasiteleri

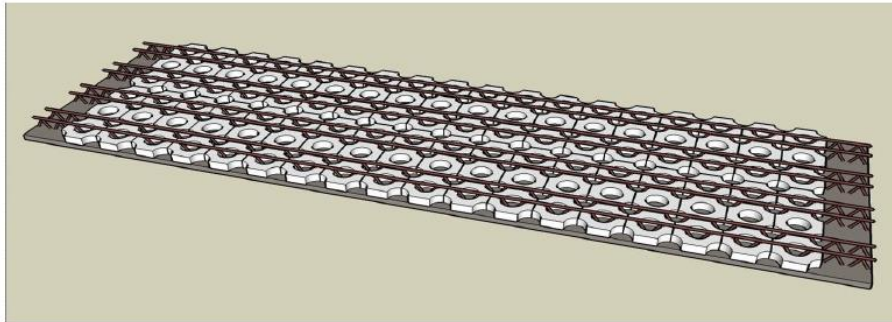
dikkate alınarak boşluk oranı maksimum %20'ye kadar çıkarılmıştır. Böylelikle ağırlık %25.4 kadar azaltılmıştır. Bu çerçevede 1. (A) grup döşemelerde boşluk oranındaki değişime bağlı eğilme kapasiteleri; 2. (B) grup döşemelerde ise kesme donatılı döşemelerin boşluk oranındaki değişime bağlı eğilme kapasiteleri incelenmiştir. Bu konuda literatürde yeterli çalışma bulunmaması nedeniyle bu deneysel ve analitik tez çalışması planlanmıştır. Çalışmada döşemeler iki gruba ayrılmış ve toplam 11 adet döşeme test edilmiştir. A grup ve B grup döşemelerde bir adet döşeme dolu referans döşeme iken dört adet döşeme farklı boşluğa sahiptir. Tüm döşemeler üç düşey katmandan oluşturulmuştur. Her katman 5 cm olmak üzere döşeme kalınlığı 15 cm'dir. Alt ve üst katmanlar boşluksuz beton ve orta katman polistiren köpük ile betondan oluşmuştur. Polistiren köpük içerisinde beton geçişine olanak veren kare şeklinde boşluklar bulunmaktadır. A ve B grubu asıl döşemelerden önce bir adet pilot döşeme daha sonra asıl grup döşemeleri test edilmiştir. Döşemelerde kullanılan betondan dökümün yapıldığı gün alınan ve aynı koşullarda kürlen beton numuneleri üzerinde tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kullanılan çelik hasırdan numuneler alınarak direkt çekme deneyleri yapılmıştır. Malzeme deneylerinden elde edilen sonuçlar ile beton için beton plastikleşme hasar modeli ve çelik için elastoplastik malzeme modeli oluşturulmuştur. Bu değerler kullanılarak ABAQUS programında döşeme analitik modelleri deney yöntemine uygun yapılmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgulara göre boşluk oranının artması ile yük kapasitesinin düştüğü ve deplasmanların arttığı ölçülmüştür. Birinci grup döşemelerde boşluk artışına rağmen başlangıç rijitlikleri yaklaşık aynı kalmıştır. Döşemeler yaklaşık aynı noktadan çekme kırılması oluşarak göçmüştür. Kesme donatısının kullanıldığı B grup döşemelerde yük kapasiteleri önemli miktarda artış göstermemesine rağmen süneklik artışı görülmüştür. Boşluk oranının %20 ve daha fazla olma durumunda kırılma türünün eğilmeden kesmeye geçtiği görülmüştür. Analitik çalışmada elde edilen grafiklerin deneysel çalışma ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Yapılan deney, gözlem ve analitik değerlendirmeye göre döşemelerde belirli oranda boşluk bırakılabileceği ve bu boşluğun maksimum ve nihai yük dayanımında önemli ölçüde kayıp yaşatmayacağı belirlenmiştir. Boşluğun arttığı durumlarda boşluk dezavantajının kesme donatıları ile karşılanabileceği görülmüştür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ferrer vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada betonarme döşeme içerisine herhangi bir donatı yerleştirilmeden döşemenin maruz kaldığı tek taraflı eğilmeyi karşılayacak şekilde döşeme alt kısmına özel oluk şekilli çelik sac yerleştirilerek eğilme kapasitelerindeki değişim araştırılmıştır. Çalışmada beton döşeme kalınlığı sabit tutulurken birbirinden farklı beş adet $\cap$ şeklinde aynı kalınlıkta sac kullanılmıştır. Saclarda bulunan pürüzlülük miktarı arttıkça sürtünme katsayısının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca pürüz oluşturan kabartma üst açısı arttıkça kapasitelerin arttığı görülmüştür. Beklenildiği gibi olan sac kalınlıkları 1.2 mm'den 0.5 mm'ye düştüğünde de döşemenin taşıdığı yükte azalma meydana gelmiştir. Çalışma sonucunda $\cap$ şeklinde kenar açısı dik konuma geldikçe yük kapasitesinde düşüş olduğunu görülmüştür. Ancak kenarlarda bulunan kabartma açısı dik konuma yaklaştıkça da yük ve deplasman kapasitesinin arttığı görülmüştür.

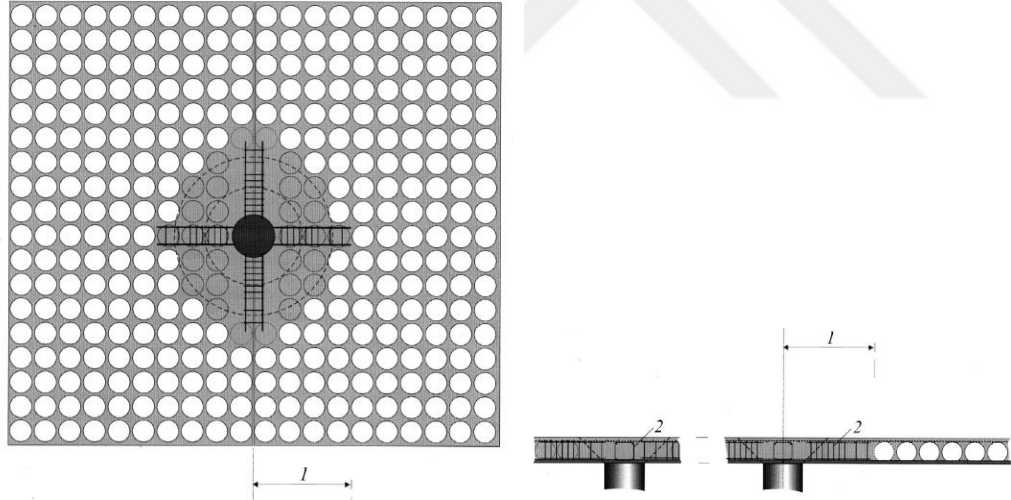
Kim vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada polistiren köpük ile oluşturulmuş betonarme döşemelerin eğilme ve kesme testleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada polistiren köpük ile boşluk oluşturularak döşemelerin hem ses ve ısı yalıtımı sağlanmış hem de döşeme yüksekliği artırılarak atalet momentinin büyümesi ve eğilme rijitliğinin artması sağlanmıştır. Ayrıca çalışmada döşeme yüksekliklerinin değişmesi durumunda ortaya çıkan sonuçlar incelenmiştir. Bu amaçla ısı ve ses yalıtımlı altı adet betonarme döşeme modeli tasarlanmıştır. Eğilme testlerinde dört noktalı eğilme testi uygulanırken kesme testlerinde üç noktadan tutulu test düzeneği oluşturularak testler yapılmıştır. Şekil 2.1'de çalışmada üretilen polistiren köpük içerikli betonarme döşeme modeli verilmiştir.



Şekil 2.1 Polistiren köpük içerikli betonarme döşeme sistemi (Kim vd. 2008)

Elde edilen sonuçlara göre eğilme testlerinde polistiren köpük oranının yükselmesi ile boşluk oranında oluşan artıştan dolayı eğilme kapasitesinde bir miktar düşüş oluşmuştur. Döşeme kalınlığının artması ile eğilme kapasitesi artmıştır. Ancak döşeme kalınlığı sabit tutulup boşluk oranı yaklaşık 1.5 ve 2 katına çıkarıldığında eğilme kapasitelerinin çok değişmediği yaklaşık aynı eğilme momentine ve aynı deplasmanlara sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Kesme testlerinde ise boşluk düştükçe kapasitelerinde arttığı görülmüştür. Ancak deformasyonların ilerlemesiyle kapasite beklendiği gibi düşmüştür.

Calin ve Asavaie (2009) tarafından yapılan çalışmada betonarme döşeme içerisinde beton ve enerji tasarrufunu sağlamak amacıyla belirli büyüklük ve aralıklarda küre şeklinde köpükler konularak iki doğrultuda çalışan döşeme oluşturulmuştur (Şekil 2.2). Beş tip döşeme tasarlanmış ve döşeme kalınlığı arttıkça boşluk küre çapı da artırılmıştır. Böylece birim hacim ağırlıkları sabit tutulmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.2 Küre boşluklu döşeme sistemi: 1- boşluksuz döşeme alanı, 2- kesme kuvveti çizgisi (Calin ve Asavaie, 2009)

Gerilme yığılmalarının ve kesme kuvvetinin arttığı kolon kiriş birleşim bölgelerinde küre boşluklar bırakılmamıştır. İki türde C20/25 betonu kullanılarak yerinde dökme ve yarı prekast yerinde dökme döşeme tasarlanmıştır. Çalışmada döşeme içerisine küre köpük boşlukların bırakılması ile döşeme ağırlığının %30 ile %50 arasında azaltılabildiği sonucuna varılmıştır.

Kim (2010) tarafından yapılan çalışmada ince plak ve dikdörtgen şekilde polistiren köpük içerikli ses ve ısı yalıtımı sağlanmış betonarme döşeme testleri yapılmıştır. Testlerde ilk olarak referans kabul edilecek 310 mm kalınlığında boşluksuz (köpüksüz) döşeme tasarlanmıştır. İkincil olarak döşeme kalınlığı sabit tutulmuş ancak köpük şekli ve oranı değiştirilmiştir. Köpük şekli ve oranı sabit tutulurken döşeme kalınlığı 400 mm'ye çıkarılmıştır. Son olarak döşeme kalınlığı 210 mm olan ve köpüklü iki model üzerinde kesme testi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre eğilme testine tabi tutulan biri referans olmak üzere toplam dört modelde döşeme kalınlığı sabitken köpüksüz referans modelde eğilme kapasitesi ve deplasman kapasitesi yüksek çıkmıştır. 0.29 oran ile dikdörtgen köpük içerikli model ve 0.435 oran ile ince plak köpük içerikli model arasında eğilme testlerinde dikkate değer önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Ancak döşeme yüksekliğinin 400 mm'ye çıkarılması ve köpük oranının 0.338 olması durumunda üç modele oranla yüksek eğilme kapasitesine ani ulaştığı ancak deplasman kapasitesinin nispeten düşük kaldığı görülmüştür. Kesme testlerinde döşeme kalınlığı sabit iken köpük şekli değiştirilmiş ve 0.19'dan 0.26'ya çıkarılmasına rağmen donatı çap ve sayı farklılığından dolayı yük kapasitesinde bir miktar artış gözlenmiştir. Bunlara ek olarak analitik çalışmalarda da maksimum yük kapasitelerinin yaklaşık aynı olduğu bulunmuştur. Maksimum yük sonrası analitik ve test sonuçlarında bir miktar sapma olduğu belirlenmiştir.

Kim (2012) tarafından yapılan çalışmada farklı şekillerde ve oranda polistiren boşluklu kompozit döşemelerin kesme mukavemetini araştırmak amacıyla dört numune tasarlanmış ve test edilmiştir (Şekil 2.3). İnşaat süresini ve döşeme ağırlığını azaltmak için çok hafif olan polistiren ile döşeme içerisinde düzenli boşluklar oluşturulmuştur. Bu boşlukların formları ve döşeme kalınlığı değişken olarak alınmış kesme performansı ve mukavemeti, göçme modelleri ve yük-deplasman eğrileri değerlendirilmiştir. Çalışmada döşeme kalınlığının yüksek olması nedeniyle kesmeye karşı dayanım nispeten artırılmıştır. Ayrıca kesme kuvvetini belirli düzeyde karşılayan ek diyagonal çelik donatılar kullanılmıştır. Ancak polistiren boşluklarının bırakıldığı kesitlerde kesme dayanımı daha düşük bulunmuştur. Tasarlanan döşemelerden ilk üçü 210 mm kalınlığında fakat polistiren şekilleri değiştirilmiş ve böylece kesme alanı değişmiştir. Birinci numunede beton kesme alanı 1080 cm^2 , ikinci numunede 720 cm^2 , üçüncü ve dördüncü numunede 930 cm^2 olarak tasarlanmıştır. Dördüncü numunede

ise polistiren köpük ölçüleri sabit tutulup döşeme kalınlığı 310 mm'ye çıkartılmıştır. Numunelerin orta noktasına yük altına yük hücresi (load cell) ve döşeme altına deplasman ölçer (LVDT) konulmuştur. Yükleme deplasman kontrollü gerçekleştirilerek kesme kapasitesi, maksimum kesme kapasitesinin %70'ine düştüğünde yükleme durdurularak testler sonlandırılmıştır.



Şekil 2.3 Polistiren köpük tipleri (Kim, 2012)

Elde edilen sonuçlara göre yük uygulama noktasından mesnet noktalarına doğru kesme çatlakları meydana gelerek kesme nedeniyle göçme gerçekleşmiştir. Tüm numunelerde maksimum kesme kuvveti yaklaşık 250-300 kN değerinde elde edilirken maksimum kesme noktasındaki deplasman değeri 10 mm'ye ulaşmıştır. Birinci ve ikinci numune karşılaştırıldığında kesme alanının büyümesi ve daha az döşeme boşluğunun olması nedeniyle kesme, deplasman kapasitesinde ve eğri altında kalan toplam alan enerjisinde artış olduğu görülmüştür. Üçüncü numunede kesme alanı birinciden az olmasına rağmen maksimum kesme kapasitesinde 50 kN'luk artış kaydedilmiştir. Bunun nedeni olarak polistiren boşluk formunun her iki yönde daha düşük uzunlukta beton geçişine olanak vermesiyle açıklanabilir. İkinci numuneye göre daha yüksek kesme alanına sahip olduğu için kapasitelerinde artış olması beklenen sonucu vermiştir. Dördüncü numunede ise döşeme kalınlığının artması nedeniyle deplasman değerlerinde ve eğri altında kalan toplam enerjide artış gerçekleşmiştir. ACI318-08'de verilen boşluklu döşeme için kesme kuvveti kapasitesi formülüne göre %86 daha yüksek sonuç elde edilmiştir. Bunun nedeni ise döşemeler içerisinde bulunan diyagonal çelik donatıların kesme kuvvetini bir miktar karşılamasındandır. Son olarak beton geçişinin çok olduğu sık boşluklu petek şeklindeki polistiren boşluklu döşemede daha yüksek performans alındığı görülmüştür (Kim, 2012).

Yardim vd. (2013)'de yapılan çalışmada dolgu malzemesi olarak hafif boşluklu beton kullanılarak yarı prefabrike dokuz adet farklı döşeme sistemi tasarlanmıştır (Şekil 2.4). Çalışmanın asıl amacı geleneksel döşemenin ağırlığını dayanım kaybı olmadan düşürebilmektir. Geleneksel döşeme sistemi yanında üretilen daha hafif ve eğilme dayanımından ödün vermeyen döşeme sistemleri karşılaştırılmış ve optimum sistem araştırılmıştır. Döşeme 100x300x13 cm (genişlik, uzunluk, derinlik) boyutlarında tek yönlü eğilmeye maruz kalacak şekilde tek yönlü tasarlanmış ve laboratuvarında test edilmiştir. Testler dört noktalı eğilme cihazında gerçekleştirilmiştir. Dokuz adet döşeme sistemi A, B, C grubu olarak üç farklı gruba ayrılmış ve kendi içerisinde dolgu malzemesinin boyutlarındaki artışa bağlı olarak da 3'e ayrılmış ve sıralanmıştır. Dolgu malzemesinin boyutlarına göre geleneksel dolu plak döşemeye oranla A grubunda %31.30'dan %34.02'ye, B grubunda %26.83'den %29.16'ya, C grubunda %22.36'dan %24.30'a kadar zati yük azaltılarak döşeme sistemleri tasarlanmıştır.

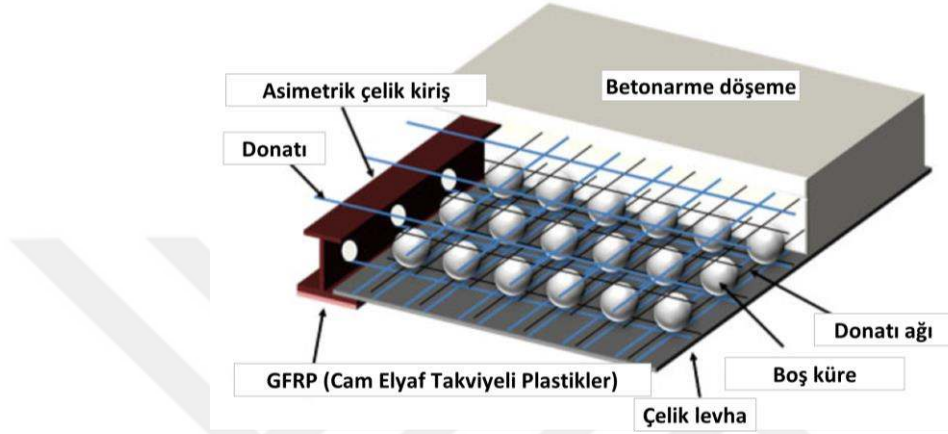


Şekil 2.4 Tek yönlü kompozit döşeme sistemi yapım aşaması (Yardim vd. 2013)

Tüm döşemelerde 28 günlük basınç dayanımı 30 MPa olan beton kullanılmıştır. Çekme bölgesinde dolguların arasında bırakılan boşluklara iki adet çekme donatısı kullanılmıştır. Ek olarak çapı 1.1 mm olan 12.7x12.7 mm kare göz açıklıklı çelik hasır tüm döşemenin alt kısmını kaplayacak şekilde yerleştirilmiştir. Donatı çeliği ve hasırın

çekme mukavemeti 250 MPa olarak test edilerek bulunmuştur. Dolgu malzemesi olarak kullanılan gaz beton yoğunluğu 5.8 kN/m^3 ve mukavemeti 6 MPa olarak belirlenmiştir. Test numunelerinin şekil değiştirmelerini kaydetmek için LVDT'ler numunelerin maksimum deplasman yapacağı orta kısmına yerleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre elde edilen bilgilerle tüm numunelerde üst kısımda beton ezilmesi aynı şekilde gerçekleşmiştir. Kompozit yapıyı oluşturan katmanlar arasındaki bağlantı düzeyleri boyunca herhangi bir çatlama, bozulma gibi yatay şekil değişikliği görülmemiştir. Genel olarak çelik donatılarının akmasını takiben beton üst liflerinde kademeli ezilmeler oluşarak döşeme sistemleri çökmüştür. A grubu (boşluk oranı yüksek) numunelerde nihai yük ve eğilme momenti teorik hesaplamaları deneysel hesaplamalara göre daha yüksek çıkarken, B ve C grubu (boşluk oranı düşük) numunelerde bu değerler daha düşük çıkmıştır. Üç grubun ilk, ikinci ve üçüncü numuneleri karşılaştırıldığında dolgu malzeme oranının düşmesine bağlı olarak eğilme ve deplasman kapasitesinde belirgin artış görülmüştür. A grubu AS(21), B grubu AS(31) ve C grubu AS(41) numuneleri sırasıyla %34.02, %29.16 ve %24.30 boşluk oranlarına sahipken nihai yük kapasiteleri sırasıyla 20.5 kN, 25.2 kN ve 31.2 kN bulunmuştur. Buna ek olarak A grubu AS(22), B grubu AS(32) ve C grubu AS(42) numuneleri sırasıyla %32.67, %28.00 ve %23.34 boşluk oranlarına sahipken nihai yük kapasiteleri sırasıyla 23 kN, 26.5 kN ve 33 kN bulunmuştur. Öte yandan A grubu AS(23), B grubu AS(33) ve C grubu AS(43) numuneleri sırasıyla %31.30, %26.83 ve %22.36 boşluk oranlarına sahipken nihai yük kapasiteleri sırasıyla 24 kN, 27.4 kN ve 34.2 kN bulunmuştur. Bu sonuçlar boşluk oranının artmasıyla belirli oranda yük kapasitesi kaybının yaşandığını göstermiştir. Ancak bu kapasite azalmasının boyuna doğrultuda bulunan çekme donatı sayısının artması ile dengelenebileceği bu çalışmada önerilmektedir. Kuvvet-deplasman grafiğinde nihai ve akma noktası deplasmanları arasında grafiğin altında kalan alan sünekliliği vermektedir. Nihai deplasmanın akma deplasmanına oranı süneklik katsayısını vermektedir. Elde edilen sonuçlara göre minimum süneklik AS(21) numunesinde 2.48 olarak bulunmuştur. Bu değere göre yeterli düzeyde süneklik kapasitesine sahip döşemelerin tasarlandığı görülmektedir. Boyuna donatıların artışına bağlı olarak süneklik kapasitesinde artış olduğu görülmüştür.

J. Ryu vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada çelik yapılarda döşeme sistemlerinin zayıf noktalarını telafi etmek için cam elyafla güçlendirilmiş kompozit döşeme sistemi araştırılmıştır. Betonarme döşeme, içerisine boş kürelerin konulması ve GFRP levhaların döşeme içi profil kirişlerinin altına yapıştırılarak güçlendirilmesiyle oluşturulmuştur (Şekil 2.5).

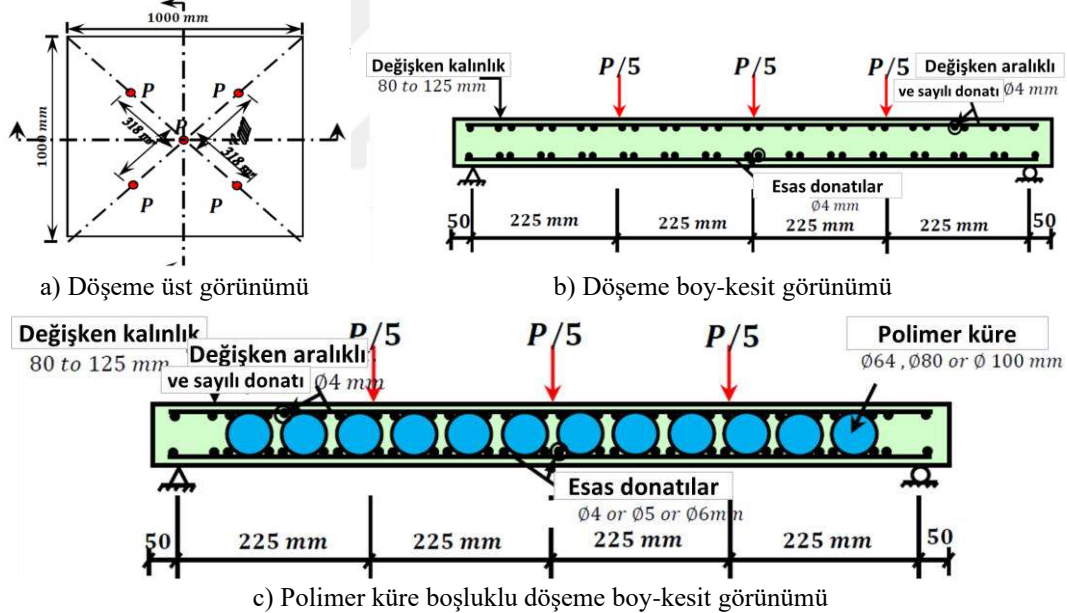


Şekil 2.5 GFRP ile güçlendirilmiş kompozit döşeme sistemi (J. Ryu vd. 2013)

GFRP ile güçlendirilen döşeme sisteminin işlevinin araştırılması için üç numune tasarlanmıştır. Burada referans numunesi olarak birinci numune içi boş kürelerden üretilmiştir. İkinci numunede GFRP plakası kullanılmadan çelik kiriş ve betonarme döşeme arasındaki etkileşimi iyileştirmek ve döşemenin bütünlüğünü enine bir donatı yerleştirerek güçlendirmek için çelik kirişin gövdesinde 100 mm çapında daire açıklıklar yapılmıştır. Üçüncü numunede ise çelik kirişin alt başlığına 4.5 mm kalınlığında GFRP levha yapıştırılarak üretilmiştir. Birinci numunede boşluk oranı %32 ve döşeme kalınlığı 310 mm ve kiriş alt başlığıyla toplam 330 mm iken ikinci ve üçüncü numunelerde %29'da ve döşeme kalınlığı 260 mm ve kiriş alt başlığıyla toplam 280 mm'de sabit tutulmuştur. Alt ve üst donatılarda çekme bölgesine $\Phi 16$ ve basınç bölgesine ise $\Phi 10$ ve enine donatı ise $\Phi 10/250$ kullanılmıştır. Beton dayanımı 34.3 MPa ve donatı çeliği akma dayanımı 400 MPa olan donatılar kullanılmıştır. Ayrıca asimetrik kirişler I şeklinde akma dayanımı 325 MPa ve nihai dayanımı 490 MPa olan 12 mm ve 20 mm kalınlığında çelikten oluşturulmuştur. Kullanılan GFRP'nin ortalama çekme mukavemeti 504.3 MPa olarak belirlenmiştir. Tasarlanan numuneler dört noktadan eğilme testi ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre GFRP kullanılan üçüncü numunede akma dayanımının %6 ve nihai dayanımın ise %11 kadar

arttığı görülmüştür. Elastik bölgede rijitliğin %14 eğilme rijitliğinin ise %10 kadar arttığı görülmüştür. Ayrıca GFRP'nin akma sonrası etkisinin arttığı görülmüştür. Kayma direncinin beton ve çelik etkileşiminden ve boşluklar çevresinde yer alan beton tarafından taşındığı ek kesme donatısına ihtiyaç duyulmadığı belirtilmiştir. Test sonuna kadar GFRP plakasının kopmadığı görülmüştür.

Ibrahim vd. (2013a) tarafından yapılan çalışmada polimer küre şekilli boşlukların kullanıldığı döşemelerin eğilme davranışı ve sürdürülebilirliği üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir (Şekil 2.6). Bu kapsamda 11 adet döşeme 100x100 cm ölçülerinde boyutlandırılmıştır. Çalışma değişkenlerini döşeme kalınlığı, polimer küre çapı ve çimento yerine kullanılan Metakaolin yüzdesi oluşturmuştur. Küre çapının döşeme kalınlığına oranı %51 den %80'e değişmiştir. Boşluklu döşemelerde beton miktarı kontrol döşemesine göre yaklaşık %70-75 kadar kullanılmıştır.

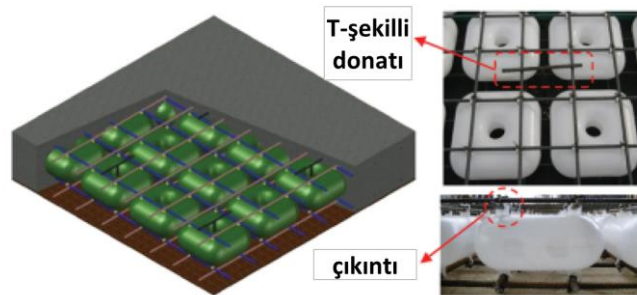


Şekil 2.6 Test döşemeleri detay ve ölçülendirilmesi (Ibrahim vd. 2013a)

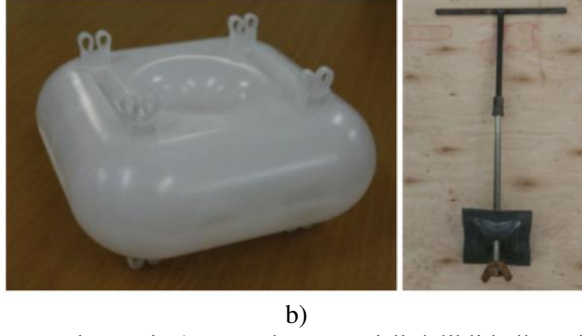
Deney sonuçlarına göre polimer kürenin 80 mm çaptan 100 mm çapa çıkarılması kesit rijitliğini ve yük kapasitesini düşürmüştür. Çökmeler nihai yükün (P_u) %70'i ($0.7P_u$) değerinde karşılaştırılmıştır. Boşluğun artışı ile çökme az miktarda artmıştır. Küre çapı/döşeme kalınlığı (B/H) %64 olduğunda aynı kalınlıktaki boşluksuz döşeme ile aynı yük kapasitesine ulaşmıştır. $0.7P_u$ 'da ölçülen çökme değerlerinde artış görülmüştür. B/H %80 olması durumunda maksimum yük kapasitesi %10 düşmüş

ancak $0.7P_u$ 'daki çökme %28 artmıştır. Kırılma yükü ise %18 düşmüştür. Boşluklu döşemede Metakaolin'in %10 kadar kullanılması ile aynı boşluk özelliğine sahip döşemeye oranla maksimum yük kapasitesi %8 artmış ancak $0.7P_u$ 'da çökme %10 kadar düşmüştür. Kırılma yükü ise %18 artmıştır. Polimer küre boşluklu döşemelerin betonda %35-45 tasarruf sağlayabildiği ve daha az betonla daha sürdürülebilir bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Beton malzemesinin boşluklu döşeme yöntemi ile bu denli daha az üretilmesi ve taşınması nedeniyle CO_2 salınımını %30-%50 kadar düşürdüğü belirtilmiştir.

Chung vd. (2015)'de ortası beton geçişli (delikli) halka prizma (donut-type) ve köşesi yuvarlatılmış dikdörtgen prizma şeklinde plastik malzeme kullanılarak iki yönde boşluklu üretilmiş döşemelerin deneyleri yapılmıştır (Şekil 2.7). Deneyler tek yönde eğilme altında gerçekleştirilmiş ve döşemelerin kesme dayanımları karşılaştırılmıştır. Çalışmada dört deney numunesi hazırlanmış, ilki kontrol amaçlı boşluksuz diğerleri boşluklu üretilmiştir. Test sonuçlarına göre döşemede boşluk şeklinin kesme dayanımını ve kesme kırılmasını etkilediği görülmüştür. Boşluk oluşturmak için kullanılan malzemenin sadece kesme dayanımını değiştirdiği, kırılma türünü değiştirmedeği görülmüştür. Halka şeklinde bulunan boşluklarda orta bölgede beton geçişi beton alanını artırdığı için kesme dayanımı tamamen boşlukludan fazla ve boşluksuz olan kontrol döşemesinin ise %70'inden fazla çıkmıştır. Halka şeklinde boşluklu döşemede kesme çatlağı betonu izlediğinden kırılma türü değişmiştir. Bu nedenle boşluklu döşemeler için üretilen kesme dayanımı formülü bu tür döşemelerde doğru sonucu vermemiştir. Sonuçlara göre boşluk şeklinin kesme dayanım hesabına katılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu sayede halka şeklinde boşlukların bulunduğu döşemelerin kesme dayanımı tahmin edilebilir.

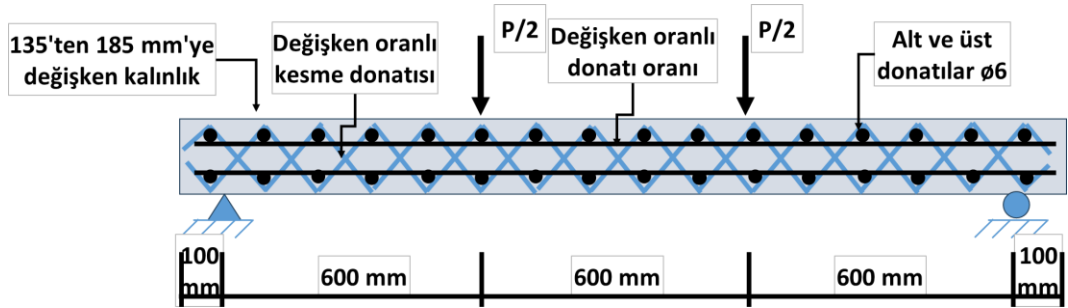


a)



Şekil 2.7 Boşluklu döşeme malzemesi. a) Ortası beton geçişli delikli halka prizma (Doughnut-type) b) T şeklinde kesme donatısı ve bağlantı görevinde kullanılan çelik aparat (Chung vd. 2015)

Allawi ve Jabir (2016) tarafından yapılan çalışmada güçlendirilmiş betonarme döşemeler test edilmiştir. Çalışmada betonarme döşeme kesitinde yer alan altta ve üstte bulunan çekme donatılarına ilave olarak iki yönde çapraz bulunan donatılar konulmuştur. Burada 135 mm kalınlığında referans olarak kabul edilen çapraz donatısız yapılan döşemeye ek olarak yedi adet farklı tipte döşeme tasarlanarak toplamda sekiz farklı döşeme modeli oluşturulmuştur. Tüm test modellerinde aynı beton kullanılmış, döşeme kalınlığı 135, 160 ve 185 mm olarak değiştirilmiştir. Döşemenin alt ve üstüne konulan çekme donatıları ve iki yönde çapraz konulan donatı oranları 0.0025, 0.0045 ve 0.0065 olarak değiştirilmiştir. Şekil 2.8’de modellemeye ait çizim verilmiştir.

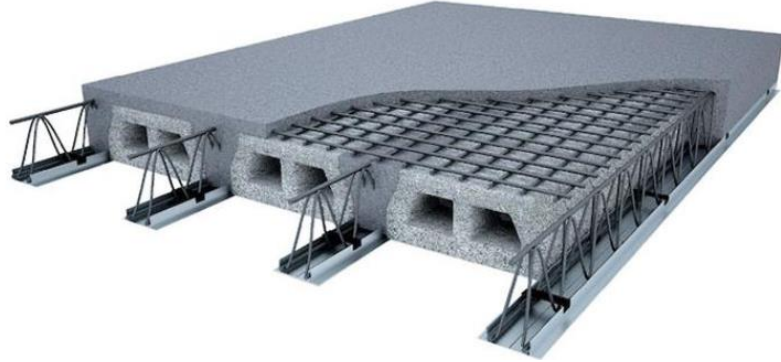


Şekil 2.8 Uzunluk boyunca çapraz donatıyla güçlendirilmiş döşeme modeli (Allawi ve Jabir, 2016)

Elde edilen sonuçlara göre çapraz olarak yerleştirilen 0.0065 oranında donatıların katkısı ile yük/deplasman kapasitelerinde yaklaşık 1.5 kat artış olduğu görülmüştür. Çapraz donatıların sabit olduğu döşemelerde çekme donatı oranlarının 0.0025’ten 0.0065’e çıkmasına rağmen çok küçük miktarda grafiğin yükseldiği ve rijitliğin arttığı belirlenmiştir. Deplasman kapasitelerinde bir miktar artış olsa da nihai yük kapasitelerinde farklılık gözlenmemiştir. Tüm donatı özellikleri sabit kalırken döşeme

yükseklikleri değiştirildiğinde 185 mm kalınlığındaki döşeme yük kapasitesinin 160 mm'ye göre; 160 mm'lik döşemenin de 135 mm'ye göre yüksek çıkmıştır. Çapraz donatı oranı 0.0025 olan modelde süneklik yaklaşık 6.5 olurken 0.0045'te 5.1, 0.0065'te ise daha düşük 4.5 kadar görülmüştür. Eğilmede etkili çekme donatılarının artışına bağlı olarak sünekliğin azaldığı belirlenmiştir.

Gravit vd. (2017) asmolen döşeme sistemlerinin sağladığı birkaç avantaj içerisinde ses yalıtımı ve plak döşemeye göre daha hafif yapılmalarının yanında ısı yalıtımının da olduğunu belirtmiştir (Şekil 2.9). Bu çalışmada prefabrike olarak üretilen kompozit asmolen döşeme sisteminin tasarım yöntemini belirlemek için yangın testi uygulanmıştır. Kompozit döşeme birbirine yakın yerleştirilmiş çelik kirişler, kirişler arasına yerleştirilen polistiren dolgu malzemesinden ve şantiyede prefabrike döşeme üzerine dökülen betondan oluşturulmuştur. 2.7x2x0.25 m (uzunluk, genişlik, kalınlık) boyutlarındaki numune üzerine konut veya ticari iş yerinin döşemesinde yer alan zati ağırlık, duvar ağırlığı ve hareketli yükleri temsil eden yaklaşık 600 kg/m²'lik yük yüklenmiş ardından üç saatlik yangına dayanıklılık testi Rusya standartları ve uluslararası standartlara göre gerçekleştirilmiştir.



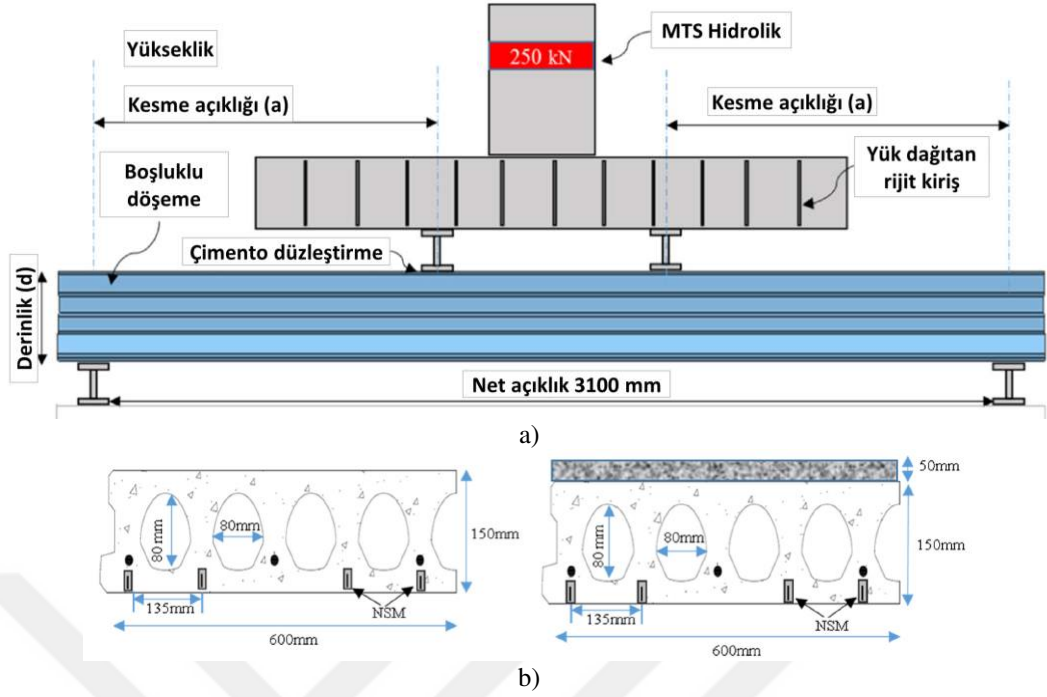
Şekil 2.9 Kompozit yarı prefabrike üretilmiş asmolen döşeme sistemi (Gravit vd. 2017)

Test döşeme numunesinin alt kısmındaki sıcaklık 45'inci dakikada 880°C'ye 90'ıncı dakikada 990°C'ye 180'inci dakikada ise 1100°C'ye yükseltilerek üç saatte gerçekleştirilmiştir. Buna karşın numunenin üst kısmındaki sıcaklık ısı iletiminin azalmasıyla 45'inci dakikada 36°C'ye 90'ıncı dakikada 75°C'ye ve 180'inci dakikada ise 160°C'ye ulaşmıştır. Test sırasında döşeme sisteminde çatlama, kırılma ve dökülmeler dışında çökme ve yük kapasitesinde azalma yaşanmamıştır. Bu nedenle

deneysel çalışmada yarı prefabrike yapılan bu tür döşemelerin inşaat performanslarının olumlu olduğu belirtilmiştir.

Viana vd. (2017)'de yapılan çalışmada kübik boşluklu ve ard-germeli döşemelerin kullanımı, maliyeti, faydaları ve sınırları ele alınmıştır. Bu döşemeler geleneksel plak döşeme ile karşılaştırılmıştır. Döşemelerin davranış, yük ve deplasman değerlerini elde etmek için iki yükleme durumu dikkate alınmıştır. Bunlardan ilki ofis türü binalarda bulunan kübik boşluklu döşeme ile plak döşeme arasında karşılaştırma yapılmıştır. İkinci durumda bir Park alanını temsil etmek için kübik boşluklu, plak ve ard-germeli döşeme olmak üzere üç farklı döşeme karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre apartman binalarında kübik boşluklu döşemelerin kullanılması daha iyi davranış göstermiştir. Ayrıca kübik boşluklu döşemelerin üretimi zaman ve maliyet açısından da verimli görülmüştür. Park alanında servis yükleri altında kübik boşluklu döşemede kullanılan malzeme azalmasına kıyasla maliyetten kazanç sağlanmıştır. Ancak servis yükleri altında yeterli performansı karşılayamamıştır. Bunun aksine ard-germeli döşeme en iyi yük performansını vermiştir. Bu döşemenin çatlamasını önleyen ek öngermenin etkisinden kaynaklanmıştır. Bu döşemede uzun sürede gerçekleşecek deplasmanın sünmeden kaynaklanacağı belirtilmiştir.

Kankeri vd. 2018'de yapılan çalışmada önceden çatlatılmış boşluklu döşemelerin yüzey FRP güçlendirilmesi yöntemi (NSM) ve hibrit yöntem ile güçlendirilmesi uygulanarak a/d (a : yük ile mesnet arası mesafe, d : kesit kalınlığı) oranına bağlı değişimi ile davranışlar deneysel ve ANSYS programında analitik olarak araştırılmıştır (Şekil 2.10). Çalışmada yüzey güçlendirmesi (NSM) yöntemi yüzeyde epoksi ile lamine kaplamanın uygulanması ile oluşturulmuştur. Hibrit yöntemde ise çekme bölgesinde NSM ile basınç lamine kaplamanın bir arada kullanıldığı bir kombinasyon olmuştur. Toplamda sekiz adet boşluklu döşeme farklı a/d oranına 3.75, 7.50 göre test edilmiştir. Döşeme testi gerçekleştirilmeden önce maksimum kapasitesinin %65'i kadar yükle yüklenmiş ve çatlamaları sağlanmıştır. Ardından güçlendirme yapılmış ve asıl testler gerçekleştirilmiştir.



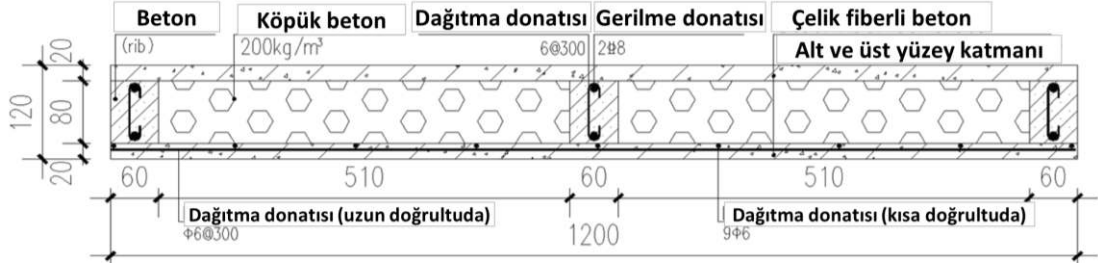
Şekil 2.10 Kankeri vd. boşluklu döşeme çalışması a) Test kurulumu ve b) döşeme detayları (Kankeri vd. 2018)

Sonlu elemanlar yöntemine göre analitik sonuçlar ile deney sonuçları kalibre edilmiştir. Döşemelerin önceden kırılması başlangıç rijitliklerini değiştirirken davranışı ve nihai kapasiteyi değiştirmemiştir. NSM ile güçlendirme kırılmış döşemelerin rijitliğini a/d oranı 3.75 olan kontrol döşemesine göre tamamen onarmış ve tepe yükünü %53 artırmıştır. a/d oranı 7.5 olduğu durumda ise kontrol döşemesine göre ise tepe yükü %67 artmıştır. Hibrit yöntem ile yapılan güçlendirmede tepe yükü a/d oranı 3.75 olan kontrol döşemesine göre %129 ve a/d oranı 7.5 olan kontrol döşemesine göre ise %130 artmıştır. Rijitlik her iki a/d oranında hibrit güçlendirme yönteminde çatlak oluşturulmamış döşemeye göre daha yüksek çıkmıştır. Analitik çalışma sonucunda elde edilen tepe yük tahminleri ile test sonuçları arasında düşük ve yüksek her iki a/d oranında iyi bir korelasyon bulunmuştur. Analitik sonuçlardan elde edilen grafikler test sonuçlarından genel olarak bir miktar sapma göstermiş ve daha düşük bulunmuştur. Ancak makalede bu iki karşılaştırma arasında tepe yükü ile ilişkilendirme yapılmıştır.

Wang vd. (2018) tek yönlü betonarme plak döşemede köpük betonu, normal beton, çelik donatı ve çelik fiber kullanılarak düşük ağırlıklı döşeme sistemi tasarlamış ve test etmiştir (Şekil 2.11 ve 2.12). Çalışmanın amacı çelik donatı ve çelik fiber arasında

kurulan konfigürasyonun döşemedeki mekanik performansına etkisini araştırmaktır. Bu amaçla çelik elyaf takviyeli beton, köpük beton ve normal beton kullanılarak dört farklı tam ölçekli kompozit döşeme numunesi tasarlanmıştır. Çalışmada hafifliği ve ısı yalıtımı gibi birçok özelliğe sahip olan köpük beton ve çekme, basınç ve kesme dayanımı yönünden yüksek olan çelik fiber katkılı beton tercih edilmiştir. Köpük beton ve fiber katkılı betonlar günümüzde oldukça kullanılmaktadır. Yaygın olan bu malzemeler ile en iyi konfigürasyon oluşturulmak istenmiştir. Bu doğrultuda döşeme çekirdek katmanına köpük beton dış yüzey katmanına ise çelik donatı yerleştirilmiş ve çelik fiber katkılı beton bu katmanda kullanılmıştır. Çelik lif katkılı beton ile döşemenin mekanik kapasitelerinde ve akma sonrası deplasman yapma kapasitesinde artış olacağı beklenmiştir. Numunelerde kullanılan normal betonun ve çelik lif katkılı betonun küp (150x150x150 mm) dayanımları sırasıyla 38.7 MPa ve 39.54 MPa olarak bulunmuştur. İki tür çelik donatı kullanılmış HPB300 ve HPB400 sırasıyla dayanımları 624 MPa ve 618 MPa olarak elde edilirken toplam uzama oranları %17.5 ve %13.5 olarak bulunmuştur. Tasarlanan dört döşeme numunesi 1.2x3.6x0.12 m boyutunda aynı toplam çelik içeriğine sahip olarak eşit dayanım prensibine göre imal edilmiştir. İlk numune B1’de çekme ve basınç bölgesine %1.5 çelik lif takviyeli beton ve HPB300 çelik donatı kullanılmıştır. B2’de çekme ve basınç bölgesine normal beton; enine HPB300 ve boyuna HPB400 donatı konulmuştur. B3’te çekme ve basınç bölgesine %2 çelik lif takviyeli beton yerleştirilmiştir. Ayrıca boyuna veya enine çekme donatısı konulmamıştır. B1, B2 ve B3’te çekirdek kısmına 200 kg/m³ yoğunluklu köpük beton yerleştirilmiştir. B4’te çekme bölgesine %1.5 çelik lif katkılı beton ve HPB300 donatı konulmuştur. Basınç bölgesi ve çekirdek kısmına ise 700 kg/m³ yoğunluklu köpük beton kullanılmıştır. Tüm numunelerde nervür kirişler 60x80 mm (genişlik ve yükseklik) boyutlarında üç adet olmak üzere boyuna altta ve üstte 1/Φ8 boyuna HPB400, enine Φ6/300 HPB300 çelik donatı içerikli imal edilmiştir. Numuneler mesnet noktaları dahil toplam altı noktadan yükleme ile yüklenmiş mesnetler sabit mesnet olarak yapılmıştır. Yükleme noktası 20 mm’lik döşeme üst kalınlığından dolayı yükü kaldıramayacağından enine değil de boyuna nervür kirişi üzerine uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme noktası altına 40 cm çapında 10 cm kalınlığında plastik malzeme bırakılmıştır. Numuneler test edilmeden önce ilk çatlama yükünün %30’undan daha az olan 5 kN kadar yükle ön yükleme yapılmış ve daha sonra yük kaldırılmıştır. Asıl yükleme 10 dakikalık aralıklarla 6 ile 19 adımda kırılma

yüküne göre gerçekleştirilmiştir. Test sırasında deplasman ve şekil değiştirme ölçülmüş ve aralarında 0.94 katsayısı kullanılarak korelasyon yapılmıştır.



Şekil 2.11 B1 döşeme numunesinin yan kesit görünüşü (Wang vd. 2018)

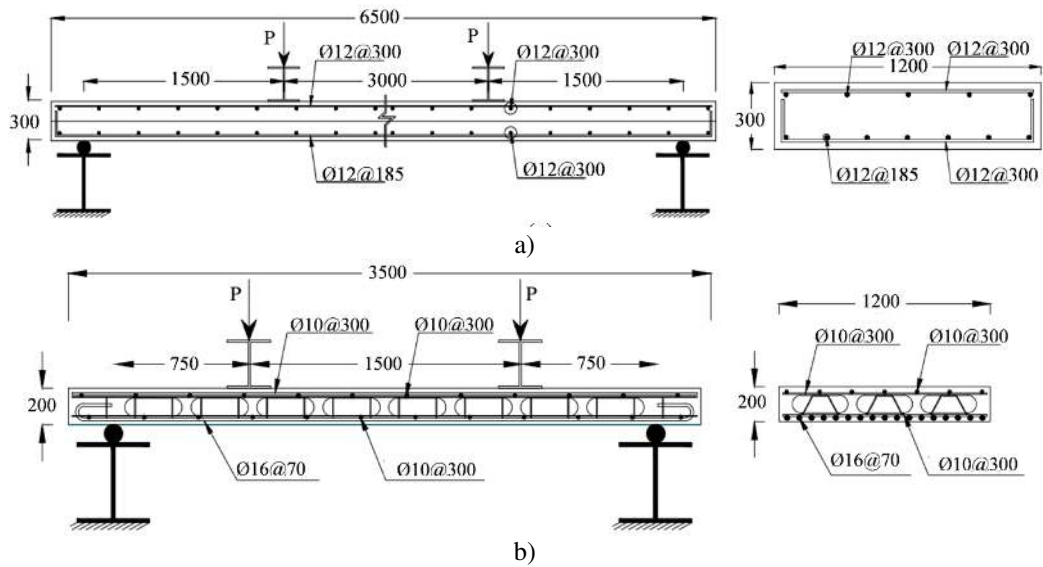


Şekil 2.12 Yükleme cihazı (Wang vd. 2018)

Elde edilen sonuçlara göre B1 ve B2 numunelerinin davranışı aynı gerçekleşmiştir. Kırılma yükleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Ancak B2'nin maksimum yük dayanımı daha yüksek olmuştur. B3'ün dayanımı ilk ikisine göre, B4'ün de tümüne göre daha düşük çıkmıştır. B4'ün çok düşük kuvvet ve deplasman kapasitesine sahip olmasının nedeni ise basınç bölgesinde normal veya çelik lif takviyeli beton kullanmak yerine köpük beton kullanılması olarak değerlendirilmiştir. Boyuna donatı aktıktan sonra B2'nin taşıma kapasitesi B1'den %10 ve B4'ten %21 olmak üzere en yüksek değere ulaşmıştır. B3 numunesi çatlama sonrası daha fazla yük kaldırmayarak nihai dayanım çatlama dayanımında kalmıştır. B2'de boyuna donatının yüksek olmasından B1 ve B4'e göre yüksek mekanik değerlere ulaşmıştır. Buna göre donatı konfigürasyonu aynı çelik içeriğine sahip numuneler olsa dahi önemli bir etkiye sahip

olduğu belirlenmiştir. Boyuna çelik donatı ve çelik lifli beton kullanılması durumunda mekanik performansın en iyi sonuca ulaştığı görülmüştür.

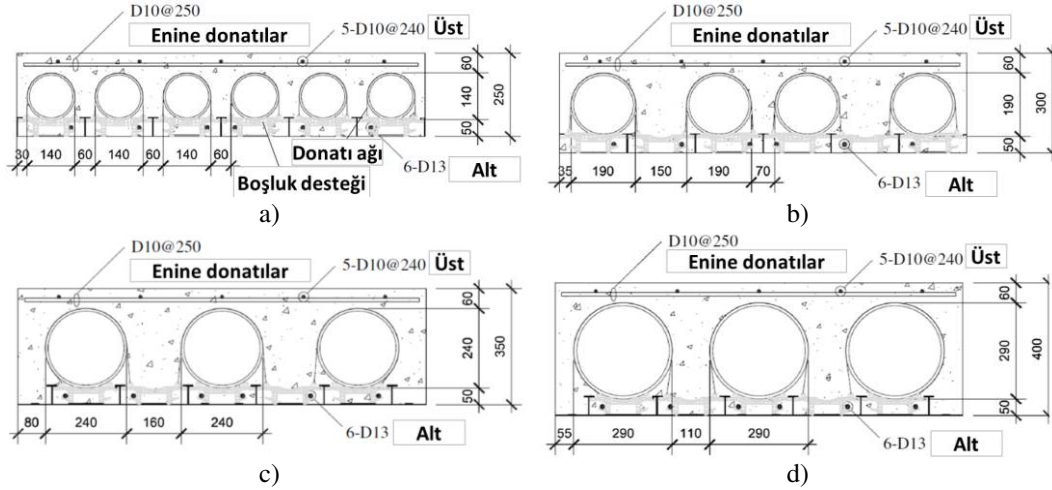
Khouzani vd. (2019) yapılan çalışmada iki yönlü boşluklu döşemelerin kesme ve eğilme davranışı araştırılmıştır (Şekil 2.13). Çalışmada boşluklar elipsoit plastiklerin döşeme orta kesitine yerleştirilmesi oluşturulmuştur. Ayrıca plastikler alt, üst ve düşey donatıların oluşturduğu çelik kafes ile desteklenmiştir. Çalışmada beş adet tam ölçekte döşeme üretilmiştir. Bunlardan iki adet döşeme eğilme davranışı ve eğilme kırılma türünü incelemek için test edilirken üç adet döşeme ise kesme davranışı ve kesme kırılma türünü incelemek için test edilmiştir. Ayrıca çelik kafesin eğilme ve kesme davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada son olarak deneysel sonuçlar ACI-318-14, MC 2010 ve Eurocode-2 ile karşılaştırılmıştır. Eğilme davranışının ölçüldüğü iki adet döşeme 6.5x1.2x0.3 m (uzunluk, genişlik, kalınlık) ölçülerindedir. Kesme davranışının ölçüldüğü üç adet döşeme ise 3.5x1.2x0.2 m (uzunluk, genişlik, kalınlık) ölçülerindedir. Eğilme döşemelerinde standart silindir basınç dayanımı 30 MPa olan beton tek döküm ile üretilmiştir. Kesme döşemelerinde ise 45 MPa beton bir ve ikinci döşemede tek, üçüncü döşemede ise iki katmanlı dökülmüştür. Eğilme döşemelerinde bir kontrol ve bir boşluklu döşeme bulunmaktadır. Boşluklu döşemede bulunan boşluklar 315x180 mm (genişlik, yükseklik) ölçülerindedir. Kesme döşemelerinde ise 315x100 mm (genişlik, yükseklik) ölçülerindedir.



Şekil 2.13 Döşeme özellikleri: a) Eğilme kontrol döşemesi kesit görünüşleri ve donatıları b) Kesme boşluklu döşeme kesit görünüşleri ve donatıları (Khouzani vd. 2019)

Bulunan sonuçlara göre boşluksuz kontrol döşemesi ile elipsoit boşluklu döşeme göçme şekilleri aynı olmuştur. Boşluklu döşemelerde hem eğilme hem de kesme kapasiteleri çelik kafesin davranışından etkilenmiştir. Boşluklu döşemeler herhangi bir karakteristik özelliğinin değişmediği kontrol döşemelere oranla önemli derecede daha düşük kesme kapasitelerine sahip olmuşlardır. Eğilme ve kesme döşemelerinde boşluklu ve kontrol döşeme ilk çatlama yükleri aynı çıkmıştır. Boşluklu eğilme döşemesi alt donatılarının akmasından önce daha fazla deplasman yapmış ve daha düşük rijitliğe sahip olmuştur. Akma noktasından sonra moment artmış ve daha yüksek kapasiteye sahip olmuştur. Bu davranış döşeme alt donatılar pekleşmeye uğrarken düşey donatılarının yük aldığını göstermektedir. Bu nedenle düşey donatılar eğilme kapasitesinin hesaplanmasında göz önüne alınabilir. Ayrıca düşey donatılar kesme kapasitesinin değişmesinde katkıda bulunmuştur. Yönetmeliklere göre hesaplanan nihai moment kapasitesinin test sonucuna oranı yalnızca alt donatılara göre hesaplandığında 0.89, hem alt hem de üst donatılara göre hesaplandığında 0.89-0.90 ve düşey donatılarında dahil edildiği durumda 0.99-1.01 bulunmuştur. Eğilme kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan formüller ile test sonuçları yaklaşık aynı çıktığından eğilme kapasitesinin önerilen formüller ile hesaplanabileceği belirtilmiştir. Kesme kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan formüllerde boşluk ölçüleri hesaba katılmadığından boşluklu döşemelerin kesme kapasite tahminleri daha yüksek çıkmış hesaplanan/test oranı yaklaşık 0.58-0.69 kadar bulunmuştur. Kesme döşemelerinden iki kademeli beton dökümü ile üretilen ve soğuk derz oluşturulan döşemede dikkate değer bir performans değişikliğinin olmadığı görülmüştür.

Lee vd. (2019)'da yapılan çalışmada çelik-betonarme kompozit tüp boşluklu döşemelerin tek yönlü eğilme altında davranışları deneysel araştırılmıştır (Şekil 2.14). Bu amaçla 14 adet döşeme monotonik artımlı yük altında dört noktalı eğilme deneyine göre test edilmiştir. Çalışmada döşemeler boşluklu, boşluksuz, çelik sac ve profil ile güçlendirilmiş, döşeme kalınlığı, çekme donatı oranı ve yük yönü değişkenlerine göre karşılaştırılmıştır. Çalışmada 25 cm (kontrol), 30 cm, 35 cm ve 40 cm kalınlıkta döşemeler, 14 cm, 19 cm, 24 cm ve 29 cm'lik tüpler ve $\Phi 10$, $\Phi 13$, $\Phi 16$, $\Phi 19$ 'luk donatılar kullanılmıştır. Deplasmanlar açıklıkta döşeme altından üç ayrı noktada LVDT'ler ile ölçülmüştür.

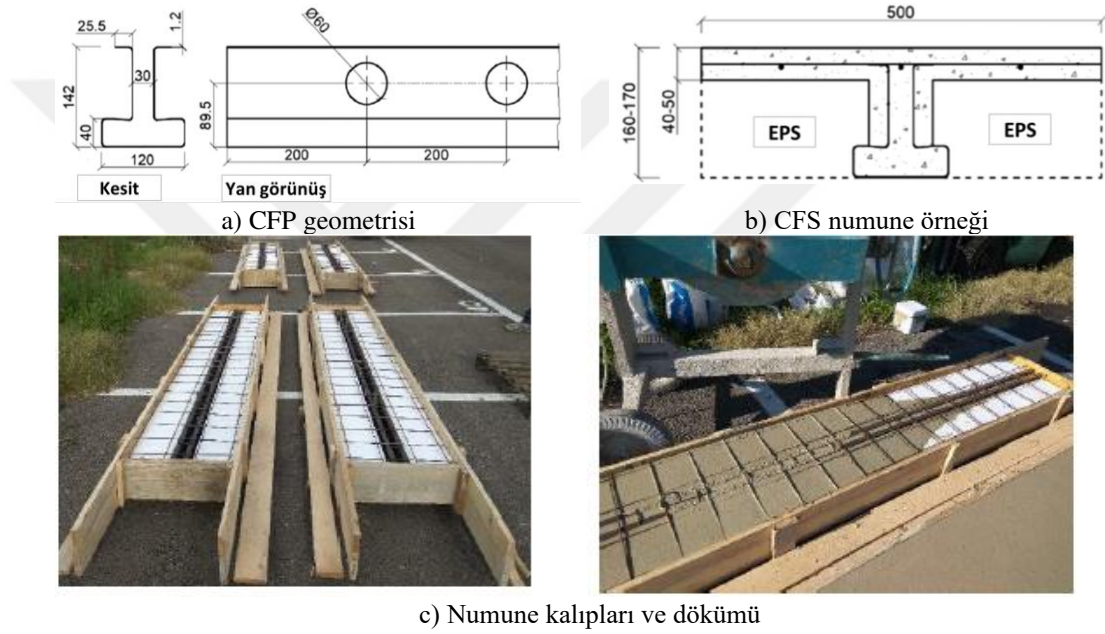


Şekil 2.14 Boşluklu döşeme kesit detayları a) Döşeme yüksekliği (b) 250 mm ve boşluk yüksekliği (b_w) 140 mm olan döşeme, b) $b=300$ mm ve $b_w=190$ mm olan döşeme, c) $b=350$ mm ve $b_w=240$ mm olan döşeme ve d) $b=400$ mm ve $b_w=290$ mm olan döşeme (Lee vd. 2019)

Sonuçlara göre çelik levha kullanılmayan boşluklu döşemeler ile boşluksuz döşemeler aynı davranışı göstermiş ve aynı şekilde kırılmıştır. Bu döşemelerde beton ezilmiş ve donatılar kopmuştur. Deney maksimum yük/hesaplanan yük oranı 1.249-1.419 arasında değişmiş deneyden elde edilen yük miktarı çok daha fazla bulunmuştur. Boşluklu döşemeler negatif eğilmede de aynı şekilde davranmıştır. Boşluklu döşemelerde $0.5P_{max}$ yüküne kadar eğilme çatlakları oluşmuş daha sonra beton ve çelik sac arasındaki ara yüzey direnci kaybindan dolayı dayanım hızla düşmüştür. Bağlantının kopmasının hemen ardından kesme çatlakları oluşmuştur. Bu tür döşemelerde maksimum yük/hesaplanan yük oranı 1.116-1.215 arasında bulunmuştur. Boşluklu döşemelerde aşırı çekme donatısı kullanımı nedeniyle döşemeler gevrek hale gelmiş ve daha düşük çökme değerlerinde göçmeye neden olmuştur. Ayrıca aşırı donatı kullanımı ile süneklik düşmüştür. Döşeme kalınlığının 40 cm olduğu, çelik sac ve profil ile güçlendirilen döşeme %48.28 daha fazla dayanım ile en yüksek dayanıma ulaşmıştır. Tüp boşluk genişliğinin döşeme yüksekliğine oranı (b_w/b) 0.275 ile en düşük değere sahip olmuştur. Döşemenin çok kalın olması nedeniyle boşluklar önemini yitirmiş ve boşluk etkisi düşmüştür.

Giacinto vd. (2019)'da mukavemeti daha yüksek, sünek ve ekonomik döşeme yapmak için döşeme içerisine genişleştirilmiş polistiren (EPS) veya boşluklu bloklar yerleştirilerek yeni döşeme sistemleri araştırılmıştır. Çalışmada tam ölçekte iki adet 160 mm ve iki adet ise 170 mm kalınlığında kompozit döşeme oluşturulmuştur.

Döşeme içerisinde çekme bölgesi olan alt kısma S355 sınıfına ait ters T şeklinde çelik iki profil konulmuş ve üst kısma ise $\Phi 6/150 \times 150$ mm çelik hasır atılmıştır. Döşeme numunelerinde 40 MPa basınç dayanımına sahip beton kullanılmıştır. Şekil 2.15'te hazırlanan numunelere ait görseller verilmiştir. Döşeme numuneleri dört noktalı eğilme testi ile tek doğrultuda sabit ve kayıcı mesnetler altında test edilmiştir. Orta bölgede döşemeye temas eden iki yük noktası arasına yük dağılımını eşit sağlamak amacıyla yeterli rijitlikte çelik kiriş konulmuştur. Yükleme 5 kN'luk kademeli yükleme ile uygulanmıştır.

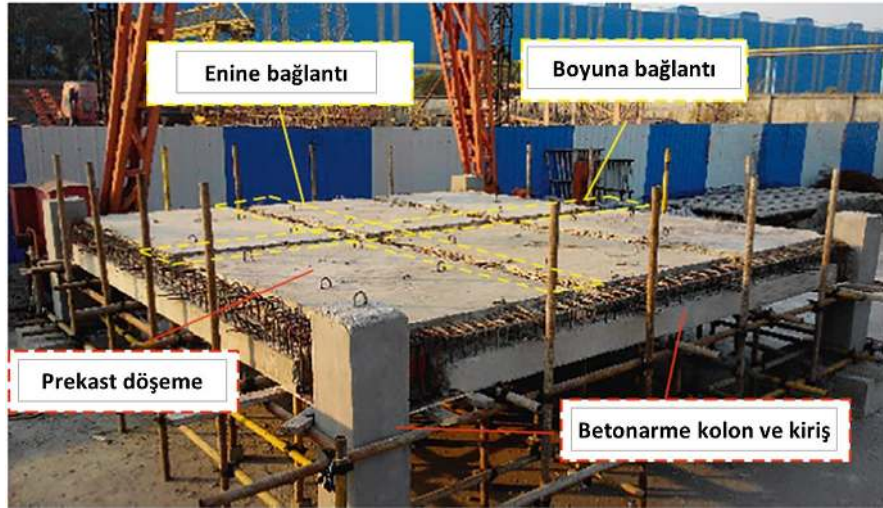


Şekil 2.15 Çalışmada kullanılan döşeme numuneleri (Giacinto vd. 2019)

Yapılan çalışmada yük-deplasman ilişkisi göz önüne alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Yükler uygulama noktasında 500 kN'luk yük hücresinden alınırken deplasmanlar döşemenin orta kısmında LVDT ile alınmıştır. Test sonuçlarına göre 170 mm'lik döşemede 65 kN ölçülürken 160 mm'lik döşemede 58 kN ölçülmüştür. Tek çelik kirişli 1 m genişliğindeki döşemelerde eğilme kapasitesi 160 mm'lik döşemede 30 kNm ve 170 mm'lik döşemede ise 35 kNm ölçülmüştür. Bu ölçülen değerlerde betonda çatlakların yaşandığı belirtilmiştir. Bu testlere göre çelik kiriş sayısının ve döşeme kalınlığının artırılmasıyla eğilme kapasitesinin arttığı görülmüş. Betonarme döşemelerde soğukta şekillendirilmiş çelik kullanılması ön gerilmeli ters T şeklindeki beton kirişlerinin kullanılmasından yaklaşık %50 daha hafif ve %20-30 daha ucuz olduğu belirtilmiştir.

Al-Gasham vd. (2019)'de yapılan çalışmada tek yönlü küre şekilli polistiren köpük boşluklu betonarme döşemelerin deneysel davranışı incelenmiştir. Çalışmada boşluk büyüklüklerinin değiştiği dört döşeme deney numunesi hazırlanmıştır. Bir adet dolu döşeme kontrol numunesi olarak hazırlanmış ve üç adet döşeme ise 60 mm, 70 mm ve 90 mm çaplı küre boşluklu olarak oluşturulmuştur. Döşeme içine yerleştirilen küreler döşeme ağırlığını %6.4-%21.6 oranında azaltmıştır. Sonuçlara göre döşeme yüksekliğinin yarısı kadar yüksekliğe sahip 60 mm'lik kürenin kullanılması optimum sonucu vermiş ve kontrol numunesine daha yakın sonuca ulaşmıştır. Rijitlik, süneklik ve dayanım açısından %11.1'den daha düşük bir kayıp yaşanmıştır. 90 mm çaplı küre boşluklu döşemenin kontrol döşemesine oranla dayanımda %21.3, rijitlikte %23.7, süneklikte %67 ve toklukta %79 azalmalar olmuştur. Boşluğun orta kesitte çok olması kesitte oluşan kesme gerilmesini artırmış ve eğilme göçmesinden kesme göçmesine geçmesine neden olmuştur. Döşemede sırasıyla 70 mm ve 90 mm'lik küreler ile her iki yönde boşluk bırakmak döşeme ağırlığını %6.4 ve %20.6 düşürmüş ancak dayanımda %17.7 ve %21.3 düşüş olmuştur. Boşluklu döşemeler eğilme rijitliğindeki azalmadan dolayı kontrol döşemesinden daha yumuşak eğim göstermiştir. Boşluk artışı ile süneklikte 60 mm, 70 mm ve 90 mm'lik kürenin kullanıldığı döşemelerde sırasıyla %10.3, %11.1 ve %67 düşüş görülmüştür. Boşluğun aşırı olması durumunda ani ve gevrek kırılma yaşanmıştır. Eurocode-2'de bulunan boşluklu döşemeler için eğilme ve kesme dayanım formülünün ACI318M-19 yönetmeliğine göre %71 ve %87 arasında daha doğru ve yakın sonucu verdiği belirtilmiştir.

Gong vd. (2021) çalışmalarında kübik şeklinde boşluklu ısı yalıtımlı betonarme döşemeler deneysel olarak araştırılmıştır (Şekil 2.16). Donatı olarak çelik hasır ve yarı prekast beton kullanılmıştır. Döşemeler ½ ölçekte boyutlandırılmıştır. Dört adet kiriş ve kolon ile güçlendirilmiş toplam altı adet döşeme test edilmiş ve ABAQUS programında analiz edilmiştir. Kolon ve kirişlerde C30 betonu döşemede ise C40 betonu kullanılmıştır. Çalışmada döşemelerin düşey yük kapasiteleri ve kırılma gelişimleri incelenmiştir. Ardından deney sonuçları kesit boyutları, atalet momentleri ve elastisite modüllerine göre basit formüllerle ızgara kirişli ve katı dolu olarak yeniden ABAQUS programında modellenmiştir.



a)



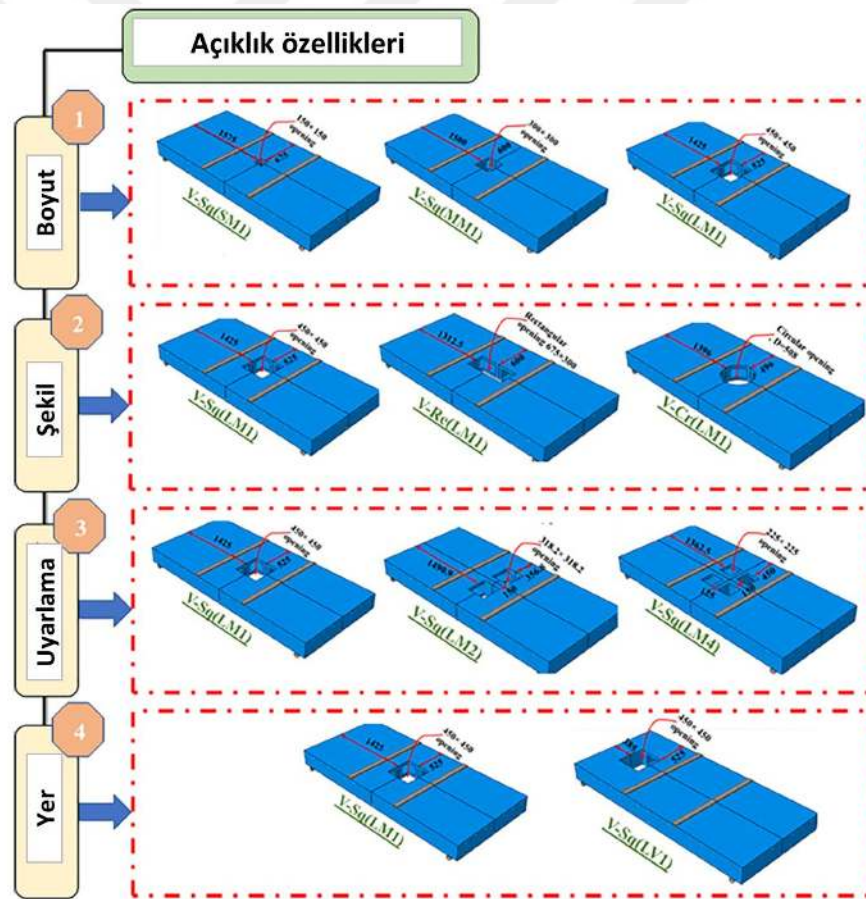
b)

Şekil 2.16 a) Test döşemesi; b) Döşeme alansal yükleme düzeneği (Gong vd. 2021)

Çalışma sonucunda boşluklu döşeme kırılma türlerinin boşluksuz döşeme ile aynı olduğu bulunmuştur. Ayrıca yeni geliştirilmiş döşeme sisteminin Chinese Code (2010)'e göre servis yükü altında döşeme çökme limiti açıklık/300 ile sınırlandırılmıştır. Çalışmada döşeme 12.67 kN/m^2 alansal yük altında 15.75 mm çökme yapmıştır ve Chinese Code (2010)'a uygun bulunmuştur. Ayrıca donatılar bu yükleme altında akmaya uğramamış ve beton ezilmemiştir. Döşemelerde oluşan çatlaklar bağlantıların alt kısmında gerçekleşmiştir. Prekast kısım ile yerinde dökülen beton arasında soğuk derz oluşmuş bağlantı zayıf kaldığı için çatlama bu noktada ilerlemiştir. ABAQUS programında temsili yapılan ızgara kiriş modeli daha doğru sonucu vermiş ve maksimum çökme hata oranı %5'den daha az bulunmuştur.

Al-Gasham vd. (2021)'de yapılan çalışmada ABAQUS programında boşluklu döşemelerde bırakılan açıklıkların döşeme davranışına etkisini araştırmıştır (Şekil 2.17). Çalışmada Quasi-static analiz türü kullanılmış ve literatürde yapılmış test sonuçlarına göre CDP (concrete damage plasticity) beton model parametreleri

hesaplanmıştır. Analitik çalışmada kullanılan döşemeler test sonuçları ile doğrulanmış ve kalibre edilmiştir. Çalışmada 11 adet aynı özelliklerde bulunan döşemede farklı boşluklar oluşturularak konfigürasyonlar artırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre boşluklu döşemelerde bırakılan açıklık arttıkça döşeme mekanik özellikleri olumsuz etkilenmiş ve açıklık nedeniyle donatılar kesilmiş ve bunun da kapasiteyi daha çok düşürdüğü görülmüştür. Ayrıca açıklığın mesnete yakın olması durumunda mukavemet, rijitlik ve tokluk değerlerinde sapmalar görülmüştür. Boşluklu döşemeler ile kontrol döşemesi olan dolu plak döşemede sünek kırılma gerçekleşmiş ve boşluklu döşeme yük kapasitesinde yalnızca %1.5'lik düşüş bulunmuştur. Bununla birlikte sertlik %30.5 ve tokluk ise %15.4 düşmüştür. Döşemenin ortasında kare büyük boşluk bulunması durumunda kapasite %12.1, rijitlik %5.4 ve tokluk %11.2 düşmüştür.



Şekil 2.17 Boşluklu döşemelerde açıklık şeması (Al-Gasham vd. 2021)

Açıklıkların daha az donatıyı kesecek şekilde yerleştirilmesi sonucu çıkarılmıştır. Döşemede açıklığında bırakılan en küçük 15x15 cm'lik açıklık nedeniyle akma noktası, yük kapasitesi, rijitlik ve tokluk sırasıyla %10.3, 14.1, 11.8 ve 7.72 düşmüştür.

Boşluğun 9 kat büyümesi ile bu azalma sırasıyla %29, 29.3, 32.5 ve 19.9 kadar ölçülmüştür. Döşemde bırakılan açıklık şeklinin kare veya dairesel olması davranışı değiştirmemiştir. Ancak şekil değişikliği nedeniyle fazladan kesilen donatıların kapasitelerin düşmesine neden olduğu görülmüştür.

Lee vd. (2021)'de yapılan çalışmada dairesel tüp ile boşluk oluşturulmuş boşluklu çelik-betonarme kompozit döşemelerin tek yönlü eğilme altında daha önce elde edilmiş deney sonuçlarına göre döşeme çökmeleri mevcut ve yeni yaklaşım formüller ile araştırılmıştır (Şekil 2.18). Çalışmada 11 adet farklı konfigürasyonlu döşeme ele alınmıştır. Geleneksel plak döşeme kontrol numunesi iken boşluk çaplarının ve sayısının değiştiği, döşeme kalınlığının değiştiği ve alt kısımda 1.2 mm çelik sacın ve I profillerinin bulunduğu farklı döşemeler göz önüne alınmıştır. Sonuçlara göre denklemlerde (2.1)-(2.5) verildiği şekilde çökme değerlerini tahmin etmek için yeni bir yöntem geliştirilmiştir. “ K ” eğrilik, “ R ” eğrilik yarı çapı, “ E ” elastisite modülü, “ I ” atalet momenti, “ l ” açıklık, “ a_v ” mesnet ve yük arası mesafe, “ ϵ_c ” beton şekil değiştirmesi, “ c ” tarafsız eksen derinliği, “ P ” yük, “ M_c ” kesitte oluşan moment, “ δ ” çökme değeridir.

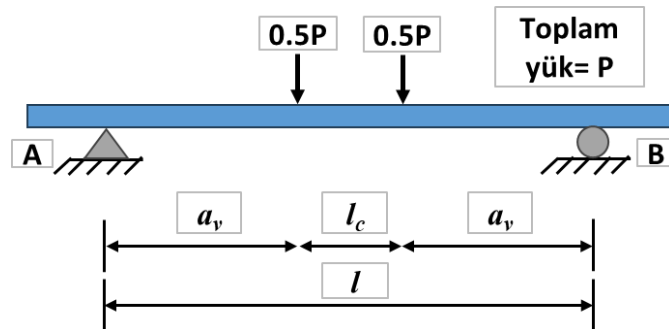
$$\kappa = 1/R = \epsilon_c / c \quad (2.1)$$

$$1/R = M/EI \quad (2.2)$$

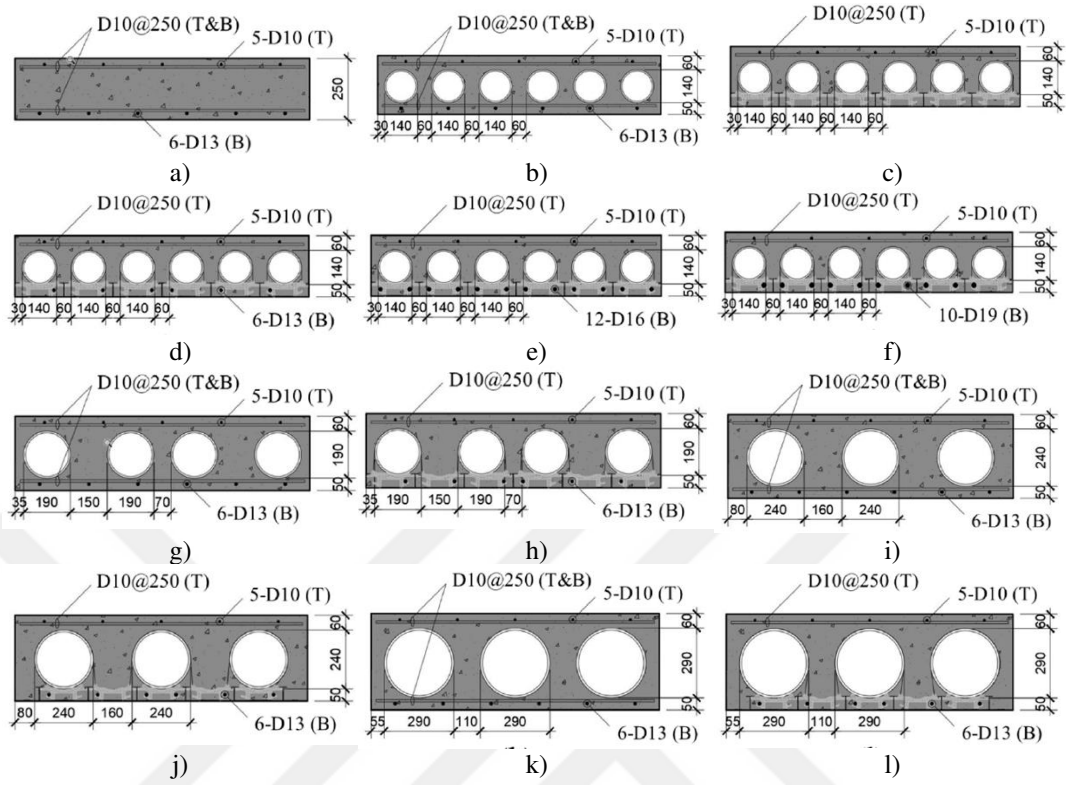
$$EI = Mc/\epsilon_c \quad (2.3)$$

$$\delta = \frac{Pa_v}{48EI} (3l^2 - 4a_v^2) \quad (2.4)$$

$$\delta = \frac{Pa_v}{48} \frac{\epsilon_c}{Mc} (3l^2 - 4a_v^2) \quad (2.5)$$



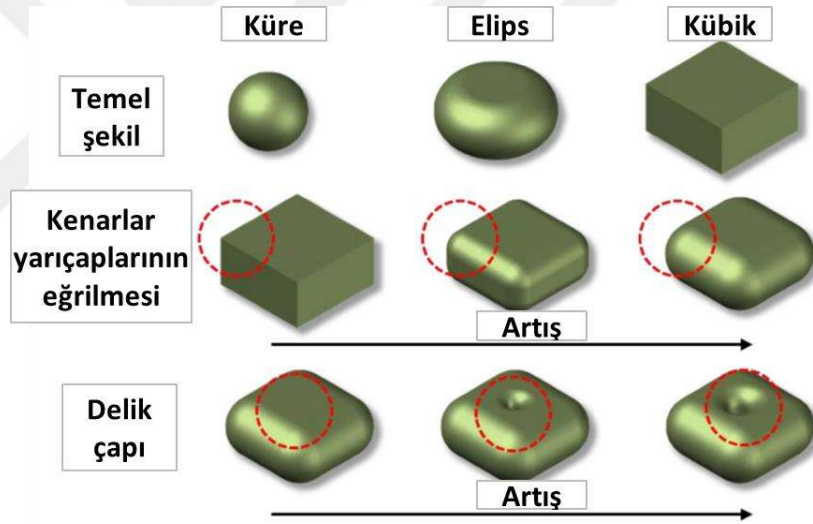
Şekil 2.18 Dört noktada eğilme deney yöntemi ve çökme hesap formülü (Lee vd. 2021)



Şekil 2.19 Döşeme en-ketit detayları ölçüler mm cinsindedir (Lee vd. 2021)

Önerilen yöntemde tahmin edilen çökme değerleri deney sonuçlarından bulunan maksimum çökme değerlerine yakın çıkmıştır. ACI-318-14'te, ACI-318-19'da ve CSA A23.3-19'da verilen formüller ve deney sonuçlarından elde edilen formül kullanılarak grafiksel karşılaştırmalar yapılmıştır. Boşluksuz kontrol numunesi için akma noktasını ACI318-19 daha doğru vermiştir. Çelik sacın kullanılmadığı sadece tüp boşlukların bulunduğu döşemelerde büzülme ve sıcaklık etkilerini hesaba katmak için CSA A23.3-19'da $0.35f_{cr}$ (f_{cr} , betonun karakteristik basınç dayanımı) kullanılarak moment azaltması yapılmıştır. Bu bağlamda boşluklardan kaynaklanan rijitlik azalmasını daha etkili bir şekilde yansıtabilmiştir. Hesaplamalara göre 1.2 mm çelik saclı ve profilli döşemelerde çökme değerleri deney sonuçlarına çok yakın bulunmuştur. Ancak diğer döşemelerin akma noktası tahmininde sapmaların çok olduğu görülmüştür. Mevcut yönetmeliklerin nihai deplasmanı tahmin yüzdelерinin düşük olmasına karşın yeni önerilen denklemin daha doğru sonucu verdiği savunulmuştur. Ayrıca formülde öncelikli olarak EI değerine gerek duymadan kesit tarafsız eksen derinliği, beton şekil değiştirme miktarı ve yük seviyesinden çökme değerleri hesaplanmaktadır.

Chung vd. (2022) çalışmalarında boşluklu döşemeler konusunda ağırlığı azaltılmış optimum boşluk şekilli ve boşluk miktarlı döşemelerin eğilme kapasiteleri deneysel ve analitik olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2.20). Çalışmada küre, ortası beton geçişli (delikli) halka prizma (donut-type) ve köşesi yuvarlatılmış kübik boşluklu döşeme numuneleri üretilmiştir. Eğilme davranışları, rijitlik, süneklik ve tokluk açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada süneklik üzerinde durulmuş döşeme elemanının üzerindeki yükleri güvenle taşıyabilmesi için süneklik parametresinin yük kapasitesi kadar önemli olduğu vurgulanmıştır. Düşey kesme donatılarının kullanıldığı halka şekil boşluklu döşemelerde yük kapasitesi boşluksuz ve kesme donatısız kontrol döşemesinden %105 daha yüksek çıkmıştır. Düşey kesme donatısız halka boşluklu döşemenin ise yük kapasitesi %98 çıkmıştır.



Şekil 2.20 Döşeme boşluk şekilleri (Chung vd. 2022)

Genel olarak boşluğun artışı ile yük kapasitesinin düştüğü görülmüştür. Kesme donatısız halka boşluklu döşeme ile kontrol döşemesi aynı sünekliğe ve davranışa sahip çıkmıştır. Boşluklu döşemede plastiği düşey sabitlemek ve aynı zamanda kesme kapasitesine katkı vermek için kullanılan donatılar sayesinde döşeme rijitliği artmış ve daha sünek davranış göstermiştir. Boşluklu döşeme eğilme kapasitesi hesaplamaları için boşluk şeklinin göz önüne alındığı formüllerin kullanılması önerilmiştir. Test sonuçlarında döşeme akma noktalarındaki etkili atalet momentlerinin teorikte verilen formülisel hesaplamalardan daha düşük olduğu bulunmuştur. Boşluklar nedeniyle donatılardaki gerilmelerin düştüğü ve betondaki gerilmelerin arttığı belirtilmiştir. Bu

tür boşluklu döşemelerin güvenli kullanılabilirliğini gösteren daha fazla çalışmanın yapılması önerilmiştir.



3. MALZEME VE YÖNTEM

Döşeme kesitinde boşluklar, süreksizlik oluşturmaktadır. Süreksizlik nedeniyle boşluk kenarlarında gerilme yığılması oluşur. Bu süreksizliklerin döşeme kapasite ve davranışını olumsuz etkilediği çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir (Giacinto vd. 2019; Kim vd. 2008; Kim, 2010, 2012; Yardim vd. 2013). Literatürde belirlenen eksiklikler doğrultusunda doktora çalışmasının kapsamı belirlenmiştir. Çalışmada betonarme binalarda yapılan döşemelerin ağırlığını azaltmak, ses ve ısı yalıtımını sağlamak amacıyla boşluklu döşeme testleri yapılmıştır. Aşağıdaki maddelere göre test modelleri imal edilmiştir.

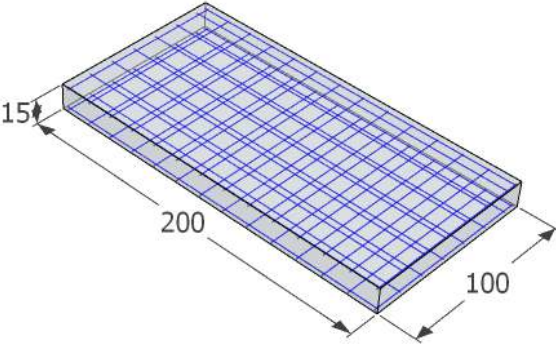
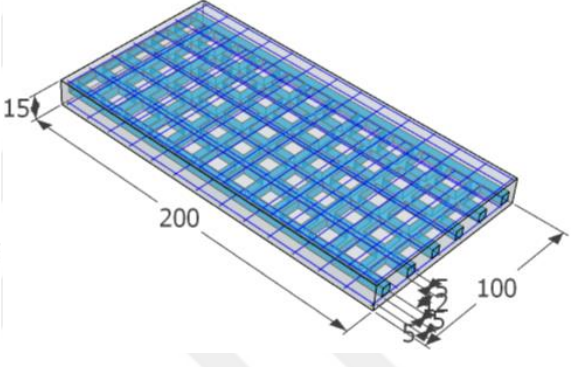
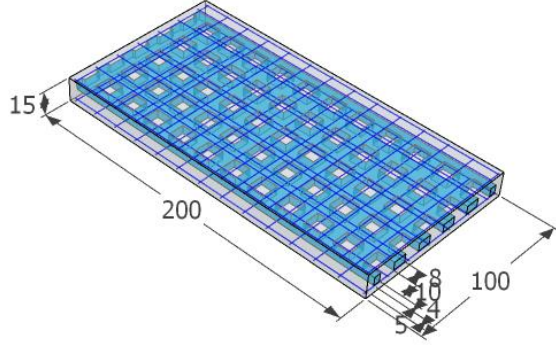
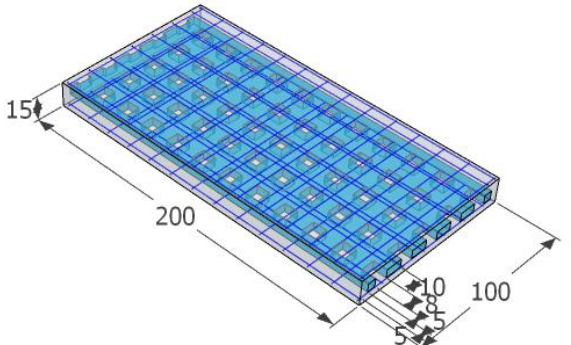
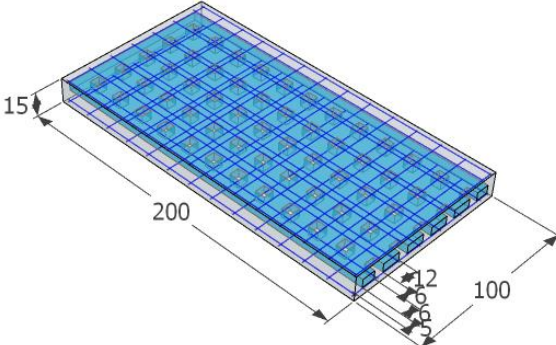
- Literatürde döşeme boşluk oranının artışına göre kesme, eğilme ve deplasman kapasitelerinde düşüş olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda döşemelerde sırasıyla boşluk oranı A1'den A2, A3, A4, A5'e artırılmıştır.
- Literatürde döşemeler laboratuvar koşulları nedeniyle genişlik 100 cm, uzunluk 200 cm ve yükseklik 15 cm boyutlarında tasarlanmıştır.
- Uygulamada boşluklu kompozit ve dişli döşemeler oldukça fazla imal edilmektedir. Ancak bu konuda döşeme kesme ve eğilme kapasitelerinin belirlemesine yönelik bilimsel çalışma sayısı sınırlıdır.
- Literatüre göre döşemelerde çekme ve basınç bölgelerinde bulunan donatılara ek kesme donatıları kullanıldığında kesme, eğilme ve deplasman kapasitelerinde dikkate değer artış olduğu görülmüştür. Bu durum göz önüne alınarak düşey kesme donatılı, 2. (B) grup döşemeler oluşturulmuştur.

3.1 Malzeme

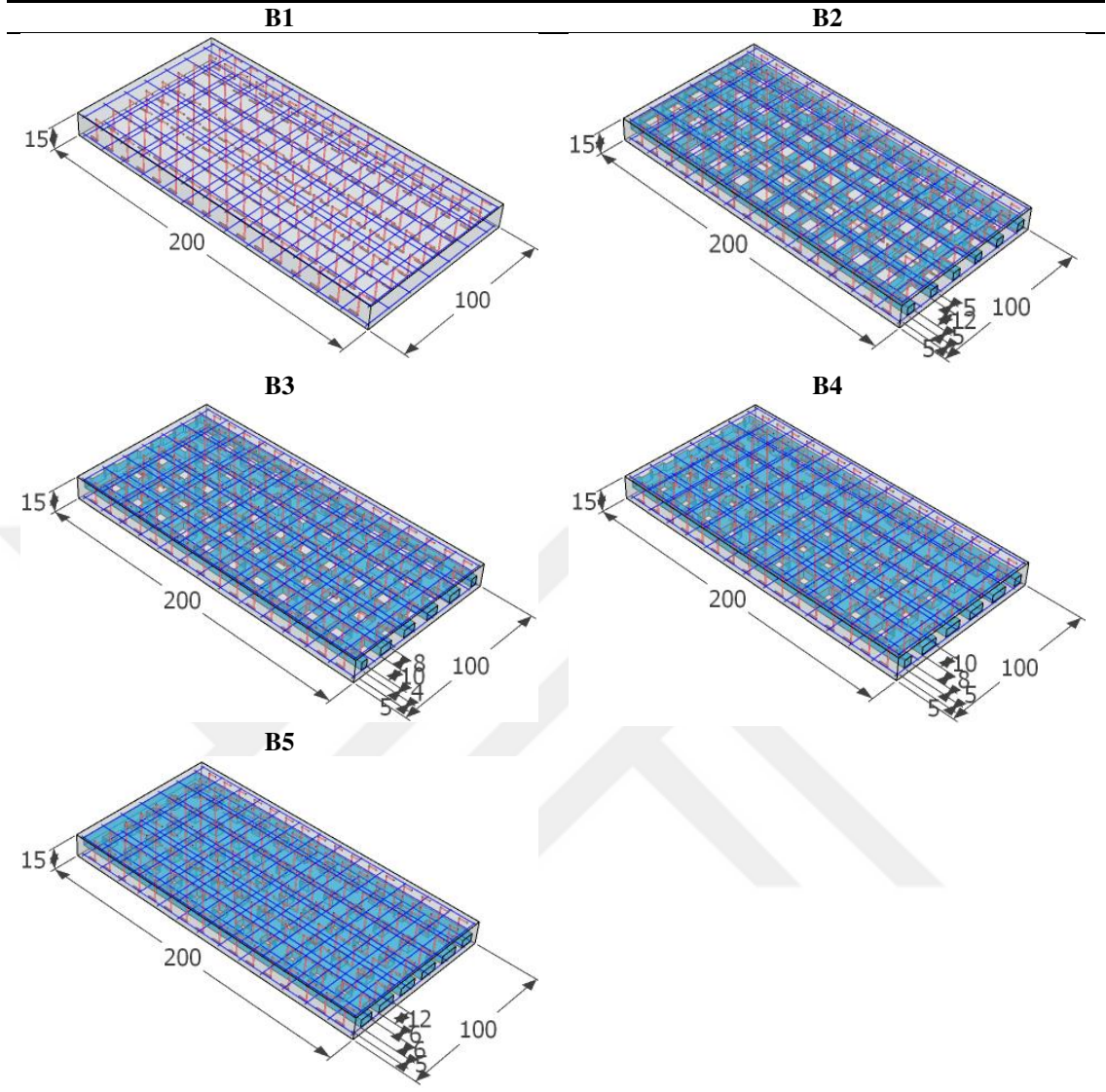
Çalışmada iki farklı grup oluşturulmuş ve her gurubun ilk referans numunesi boşluksuz olarak tasarlanmıştır (Tablo 3.1 ve 3.2). 2. grupta ise farklı olarak düşey kesme donatıları kullanılmıştır. Her grup içerisinde boşluk oranlarına bağlı olarak dört farklı numune tasarlanmıştır. Döşemeler alt ve üst katmanı beton, orta katmanı polistiren köpük olarak üç katmandan oluşmaktadır. 1. döşeme dolu referans iken, 2., 3., 4. ve 5. döşemeler, iki yönde kare beton geçişlerine (Square Concrete Transitions (SCT)) izin verecek şekilde boşlukludur. Orta katman beton geçişleri sırasıyla 12x12 cm, 10x10 cm, 8x8 cm ve 6x6 cm'dir. Tüm döşemelerde SCT kısa yönde 5, uzun yönde

ise 15 adettir. Bu kapsamda 2., 3., 4. ve 5. döşemelerin kesitinde boşluk alanının kesit alanına oranı sırasıyla %10, %13.3, %16.7 ve %20 olarak hesaplanmıştır. Artan boşluk oranı ile beton alanı azalmıştır. Böylece döşeme ağırlığı 1., 2., 3., 4. ve 5. döşemeler için sırasıyla 7.5, 6.6, 6.19, 5.85 ve 5.59 kN olarak hesaplanmıştır. Döşemeler, eğilme kapasitesinde aşırı kayıp olmadan hafifletilmiş ve kesme donatısı kullanılmıştır. Böylece toplam ağırlık azaltılmış ve optimum ağırlıktaki yüksek performanslı döşeme türü belirlenmek istenmiştir. Tablo 3.3'de döşeme boyutları ve diğer özellikleri verilmiştir.

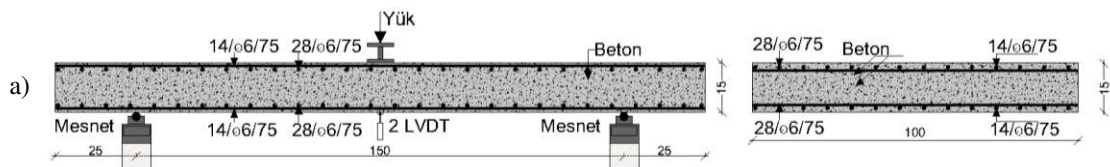
Tablo 3.1 A grup döşeme modelleri (cm biriminde ölçüler)

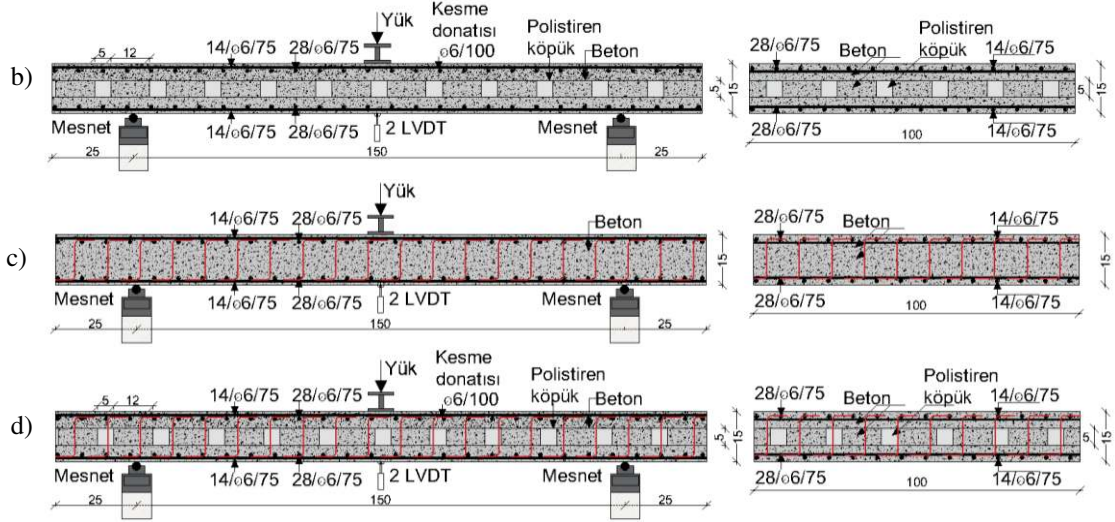
A1	A2
	
A3	A4
	
A5	
	

Tablo 3.2 B grup döşeme modelleri (cm biriminde ölçüler)



TS 500'e göre döşemede her iki yönde minimum 0.002 donatı oranı kullanılmaktadır. Bu kapsamda donatı aralığını sabit tutmak için tüm döşemelerde 0.0026 olarak eşit alınmıştır. Bu çalışma için kesme donatısı oranı Allawi ve Jabir (2016) çalışması referans olarak 0.0034 alınmıştır. Pas payı 1.5 cm'dir. 1. (A) ve 2. (B) grubun kesit detay çizimi Şekil 3.1'de ve kesme donatı detayı Şekil 3.2'de verilmiştir. Ayrıca, döşemelere ait diğer gerekli detay bilgileri, çekme, basınç ve kesme donatı oranları Tablo 3.3'de verilmiştir.





Şekil 3.1 Döşeme donatı detayı ve geometrisi a) A grubu referans (A1) döşeme, b) A grubu boşluklu döşeme, c) B grubu referans (B1) döşeme, d) B grubu boşluklu döşeme (cm biriminde ölçüler)



Şekil 3.2 Kesme donatı detayı (cm biriminde ölçüler)

Tablo 3.3 Döşeme çekme, basınç ve kesme donatı oranı

	Döşeme	Polistiren köpük içindeki beton ölçüleri	Enkesitteki boşluk oranı, m ²	Döşeme enkesit alanı, m ²	Boşluk oranı, %	Ağırlık, kN	Çekme ve basınç donatı oranı	Kesme donatı oranı, l/m ²
A Grup	A1	0	0	0.15	0	7.50	0.0026	-
	A2	12x12	0.015	0.15	10.0	6.60	0.0026	-
	A3	10x10	0.020	0.15	13.3	6.19	0.0026	-
	A4	8x8	0.025	0.15	16.7	5.85	0.0026	-
	A5	6x6	0.030	0.15	20.0	5.59	0.0026	-
B Grup	B1	0	0	0.15	0	7.50	0.0026	0.0034
	B2	12x12	0.015	0.15	10.0	6.60	0.0026	0.0034
	B3	10x10	0.020	0.15	13.3	6.19	0.0026	0.0034
	B4	8x8	0.025	0.15	16.7	5.85	0.0026	0.0034
	B5	6x6	0.030	0.15	20.0	5.59	0.0026	0.0034

3.2 Yöntem

Literatürde yapılan kesme ve eğilme döşeme deneyleri genellikle dört noktada eğilme deney yöntemine göre gerçekleştirilmiştir (Al-Gasham vd. 2019; Kankeri vd. 2018; Khouzani vd. 2021; Lee vd. 2019; Lee vd. 2021). Ayrıca üç noktada eğilme deney yöntemine göre yapılan çalışmalarda yürütülmüştür (Moeeni ve Langroudi, 2022; Sagadevan ve Rao, 2019; Suseno vd. 2018). Döşemeler laboratuvar koşulları

nedeniyle üç noktada eğilme deney yöntemine göre test edilmesi planlanmıştır. Döşemelerin her iki kenarı basit mesnet üzerine konumlandırılmıştır. Mesnetler düşeyde tutulu ve yatayda kayıcıdır. Mesnetler arası net açıklık 150 cm'dir. Yapılan ön analizlerde ve deneysel çalışmada yük düşük hızda uygulanmıştır. Böylece kırılma noktasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada açıklık ortasında oluşan maksimum çökme değerlerini ölçmek için iki LVDT yerleştirilmiştir. Analitik çalışmada ise döşeme orta noktasına referans noktası atanmış ve çökme değerleri program tarafından alınmıştır. Eğilme momenti, mesnet reaksiyonunun, mesnet ile yük noktası arasındaki mesafe (0.75 m) ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Döşemelerin yük ve mesnet görünüşleri Şekil 3.3'de verilmiştir. Bu doktora çalışmasında araştırılan boşluklu döşemeler öncelikle bilgisayar ortamında ABAQUS yazılım programında modellenmiş ve üç noktada eğilme deney yöntemine göre analizleri yapılmıştır. Analiz sonrası döşemeler üretilmiş ve laboratuvarında test edilmiştir. Ayrıca beton ve çelik hasır numuneleri alınarak gerekli malzeme deneyleri yapılmıştır.

3.3 Test Öncesi Ön Analitik Çalışma

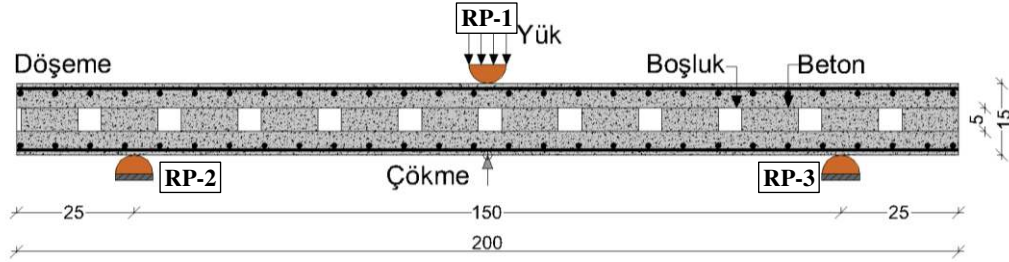
Deneysel çalışma ve döşeme üretimlerine başlamadan önce ABAQUS programında sonlu elemanlar yöntemine göre analitik çalışma yapılmıştır. Buradan elde edilen malzeme, yöntem, modelleme parametreleri ve elde edilen sonuçlar dikkate alınarak deneysel çalışmanın doğruluğu kontrol edilmiştir. Ayrıca döşeme davranışında etkili olan parametreler analitik çalışma sürecinde daha doğru belirlenmiştir. Sonlu elemanlar analiz yöntemi, beton, çelik ve diğer birçok farklı hassas malzemenin modellenmesinde ve yapısal analizlerde kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde katı cisim, malzeme karakteristik özelliklerine, mesnet koşullarına ve yük türüne göre küçük parçalara (hücre) ve düğümlere (bağlantı noktası) ayrılarak çözülür. Analiz türüne bağlı olarak yük, gerilme, deplasman, sıcaklık vs. değerler düğümden düğüme aktarılır. Seçilen analiz yöntemi, katı cismin gerçekteki davranışına uzak veya yakın sonuçları etkilemektedir. Bu doktora çalışmasında dikkate alınan betonarme döşemeler ile ilgili benzer çalışmalarda yer alan Explicit dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır (Al-Gasham vd. 2021; Chung vd. 2018; Ibrahim vd. 2013b; Khouzani vd. 2021). Betonarme elemanların davranışını doğru bir şekilde saptayabilmek için dinamik parametreleri, lineer olmayan davranışı, plastik deformasyonları ve bağlantı belirsizliklerini tanımlamak gerekir (Paunović vd. 2022; Vacev vd. 2023). Explicit

dinamik analiz yönteminde bu etkiler birçok çalışmada olduğu gibi gerekli varsayımlar dikkate alınabilmektedir. Dinamik analiz yönteminde yükleme ve tepki kuvvetleri oldukça küçük adımlar ile yapılarak en doğru sonuç bulunmaya çalışılır (Paunović vd. 2022; Vacev vd. 2023). Birçok çalışmada bu yöntem kullanılarak analitik çalışma ile deneysel çalışmaların doğruluğu kontrol edilmiştir (Al-Gasham vd. 2021; Chung vd. 2018; Ibrahim vd. 2013b; Khouzani vd. 2021). Bazı çalışmalarda ise maliyetli deneyler yerine yalnızca bu yöntemle betonarme elemanlar araştırılmış ve analizler yapılmıştır. Bu yöntemde betonarme elemanların modellenmesi için beton ve çelik ayrı modellenip ve daha sonra birleştirilmektedir. Beton için çoğunlukla CDP model, çelik için ise elastoplastik malzeme modeli kullanılır. Analitik çalışmada döşemeler ABAQUS programında modellenmiş ve analiz edilmiştir. Beton için CDP model çelik için ise elastoplastik malzeme modeli tanımlanmıştır. Ayrıca mesnet koşulları, temas yüzeyleri arasındaki bağlantı ve ağ büyüklükleri gibi diğer parametreler ile analiz oluşturulmuştur.

3.3.1 Mesnet koşulları ve yük durumu

Döşemeler iki kenarı basit mesnet üzerine yerleştirilmiş ve bir noktadan yükleme ile üç noktadan eğilme deney yöntemi uygulanmıştır. Şekil 3.3'te üç noktadan eğilme deney yöntemi verilmiştir. Modellemede 10s'lik analiz süreci tanımlanmıştır. Böylelikle döşemeler düşük yük artışları ile yüklenmiş olup darbe etkisi oluşturulmamıştır. Yarım daire şeklinde döşeme genişliğinde mesnet ve yükleme elemanları tanımlanmış merkez noktalarına RP-1, 2 ve 3 (Reference point) referans noktaları atanarak serbestlik ve yükleme parametreleri bu noktalardan yapılmıştır. RP-1 noktasına yük, deplasman olarak tanımlanmış ve döşemeye çizgisel bir yük olarak aktarılmıştır. RP-2 noktası her yönde tutulu iken RP-3 noktası x yönü hariç her yönde tutuludur. Mesnetler hakim (master) yüzey, döşeme ise yardımcı (slave) yüzey olarak tanımlanmıştır. Deplasman hızının bulunması için birçok ön analiz yapılmıştır. Ön analizler sonucunda deplasman hızının düşük olması durumunda çökme tamamen gerçekleşmeden analizin bittiği görülmüştür. Yüksek olması durumunda ise darbe etkisi oluşturarak kapasitenin gerçekten uzaklaşmasına neden olduğu görülmüştür. Sonuç olarak 10s analiz sürecini aşmayacak şekilde ve çok kısa sürmeyecek şekilde optimum 10s içerisinde analizin bitirilmesi için lineer artış ile maksimum 60 mm

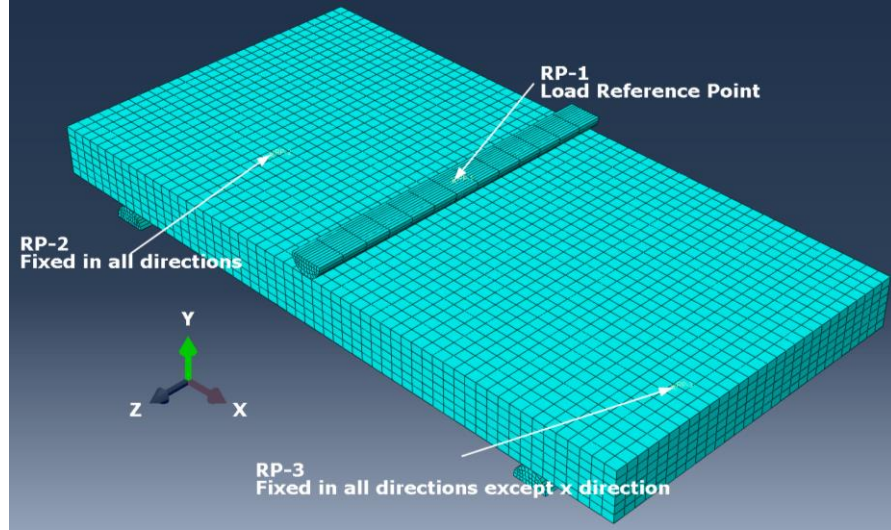
çökme değeri tanımlanmıştır. Analiz sonrası elde edilen mesnet reaksiyonları döşeme açıklık yarısı (0.75 m) ile çarpılarak moment kapasiteleri belirlenmiştir.



Şekil 3.3 Üç noktada eğilme deney yöntemi (cm biriminde ölçüler)

3.3.2 ABAQUS programı analiz yöntemi ve döşeme ağ büyüklüğü

ABAQUS programında katı cisimler analiz türüne göre sonlu elemanlara (ağ) bölünmektedir. Programda kübik, dikdörtgen veya üçgen prizma gibi birçok şekil bulunmaktadır. Ağ şeklini ve büyüklüğünü katı cismin yapısı, mesnet ve yük durumları belirlemektedir. Gerilme, şekildeğiştirme, enerji ve ısı değerlerinin doğru bir şekilde aktarılması için uygun ağ şekli ve boyutu belirlenmektedir. Döşeme gibi elemanlar için standart sekiz düğümlü küp veya dikdörtgen prizma ağ türü önerilmektedir (Simulia, 2016; Vacev vd. 2023). Küp veya dikdörtgen prizma ağ türü ile daha doğru ve kısa sürede sonuç alınabilir. A1 referans döşemesi için farklı boyutlarda küp ve dikdörtgen ağ türünde ön analizler gerçekleştirilmiştir. Son olarak A1 döşemesi düşeyde 35 mm ve yatayda 25 mm ile dikdörtgen prizmatik ağlara bölünmüştür (Şekil 3.4). A2, A3, A4 ve A5 boşluklu döşemeler ise düşeyde 35 mm ve yatayda 16.67 mm ağlara bölünmüştür. Gerilme ve şekildeğiştirme dağılımlarını daha detaylı elde etmek amacıyla yatayda daha kısa mesafede ağlar oluşturulmuştur. Ağ eleman tipi olarak Explicit/3D gerilme tanımlanmıştır. Kısa ve uzun doğrultuda bulunan donatılar ise kafes (truss) olarak tanımlanmış ve 20 mm ağlara bölünmüştür. ABAQUS’de explicit analiz prosedür gereği küçük zaman artışı ile ilerler ve detaylı analizlerde kullanılır. Bazı varsayımlar ile karmaşık çözümlemeye gerek duymadan analiz yapar (Simulia, 2016). Analiz menüsünde tüm döşemeler için 10 s analiz süresi tanımlanmıştır. Geometrik lineer olmayan davranmış aktifleştirilmiştir. Zaman içerik tipi otomatik alınmış ve ABAQUS kılavuzunda önerildiği gibi diğer değerler varsayılan olarak alınmıştır.



Şekil 3.4 Döşeme analitik modelleme görünüşü ve ağ büyüklüğü (Kıpçak vd. 2023)

3.3.3 Beton malzemesi

Beton yük altında bir miktar elastik şekil değiştirme yaptıktan sonra plastik şekil değiştirme yapma özelliğine sahiptir. Bu nedenle elastoplastik bir malzemedir. Ön analitik çalışmada beton sınıfı C30/37 dikkate alınmıştır. ABAQUS programında betonun tanımlanması için elastoplastik malzeme kullanıldığı gibi Lubliner vd. tarafından önerilen CDP model de kullanılmaktadır (Lubliner vd. 1989). Artan bilimsel araştırmalar ile CDP modelde betonun basınç ve şekil değiştirme anındaki hasar oranının tanımlanması gün geçtikçe önem kazanmıştır. Bu bağlamda son yıllarda yapılan çoğu çalışmada CDP model kullanılmıştır (Al-Gasham vd. 2021; Paunović vd. 2022; Vacev vd. 2023; Kıpçak vd. 2023). CDP modelde betonun iki adet elastik ve beş adet plastik parametre tanımlanmaktadır. Ayrıca basınç ve çekme altında gerilme/inelastik şekil değiştirme ve hasar oranı/inelastik şekil değiştirme değerleri de tanımlanmaktadır. Elastik parametreler için betonun elastisite modülü ve Poisson oranı tanımlanmaktadır. Plastik parametrelerin ilki dilatasyon açısıdır. Plastik parametreler içerisinde beton davranışını en çok etkileyen parametredir. Bu değer betonun gerilme ve şekil değiştirme eğrisinin eğimini etkilemektedir. Beton davranışında yalnızca plastik şekil değiştirme durumunu değil aynı zamanda kırılma modunu da değiştirebilir. Beton basınç dayanımına göre değişen bu değer farklı çalışmalarda 5-55° arasında araştırılmıştır (Genikomsou ve Polak, 2015; Guo vd. 2020; Hafezolghorani vd. 2017; Rewers, 2019; Wosatko vd. 2019). Guo vd. (2020) basınç dayanımı 30-50 MPa olan beton için 38° almıştır (Guo vd. 2020). Kıpçak vd. (2023)

tarafından yapılan boşluklu döşeme çalışmasında 30-40° aralığında dilatasyon değeri araştırılmış ve 38°'nin uygun olduğu bulunmuştur (Kıpçak vd. 2023). Bu çalışmada da aynı şekilde bu değer alınmıştır. İkinci plastik parametre eksantrisitedir. Betonun basınç altındaki Mohr çemberine çizilen teğetin hesaplanan dışmerkezlilik değeridir (Simulia, 2016). ABAQUS programında bu değer beton malzemesi için 0.1 varsayılan değeri kullanılmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada da 0.1 alınmıştır (Genikomsou ve Polak, 2015; Guo vd. 2020; Kawamoto ve Stepan, 2015; Petrović vd. 2020; Simulia, 2016). Üçüncü plastik parametre " $F=f_{bo}/f_{co}$ " değeri betonun çift yönlü basınç akma dayanımının tek yönlü basınç akma dayanımına oranı olarak tanımlanmaktadır (Simulia, 2016). Bu değer beton için varsayılan olan 1.16 varsayılan olarak alınmıştır (Simulia, 2016). Dördüncü plastik parametre " K_c " değeri üç eksenli gerilme meridyeninde ikinci gerilme sabitinin basınç meridyenindeki gerilmeye oranı olarak tanımlanmaktadır (Kıpçak vd. 2023; Simulia, 2016). " K_c " değeri Drucker-Prager beton modeline göre CDP modelde 2/3 alınmıştır (Simulia, 2016). Beşinci plastik parametre vizkozite parametresidir. Bu değer CDP modeline ait geliştirilmiş analiz sürecini etkileyen ve optimize eden bir parametredir (Simulia, 2016). Vizkozite parametresi analiz çözümleme sürecinde yakınsama problemlerini, analiz süresini, iterasyon sayısını, rijitliği, yük taşıma kapasitesini, gerilme ve şekildeğiştirme değerlerini etkileyen bir parametredir (Demir vd. 2018; Genikomsou ve Polak 2015; Guo vd. 2020; Hafezolghorani vd. 2017; Kawamoto ve Stepan 2015; Rewers, 2019). Bu çalışmada yakınsama problemleri yaşamamak ve daha doğru sonuçları elde etmek için analiz süresini uzatmasına rağmen 0 (sıfır) olarak alınmıştır. Bahsedilen bu parametrelere ait değerler ve kaynaklar Tablo 3.5'te verilmiştir.

Doktora çalışmasında C30/37 betonunun gerilme/şekildeğiştirme eğrilerini elde etmek için Chinese Code (2010) yönetmeliğinde bulunan beton modeli kullanılmıştır. Beton modeline ait denklem (3.1, 2 ve 3)'te verilmiştir. Ayrıca denklemlere ait detaylı bilgiler yönetmelikte ve Kıpçak vd. (2023) çalışmasında bulunmaktadır (Chinese Code, 2010; Kıpçak vd. 2023). Kıpçak vd. (2023) çalışmasında C30/37 betonu gerilme/inelastik şekildeğiştirme eğrileri ile hasar oranı/inelastik şekildeğiştirme eğrileri hesaplanmıştır. Bu bağlamda beton basınç altında %40 eksenel gerilme değerine kadar elastik daha sonra plastik davrandığı hesaplanmıştır. Çekme yükü altında ise maksimum çekme gerilmesine kadar elastik daha sonra plastik davrandığı

hesaplanmıştır. CDP modelde beton için tanımlanan değerler denklem (3.1)-(3.4)'te verilmiştir. CDP modelinde gerilme ve karşılık gelen elastik olmayan şekildeğiştirme değerleri tanımlanır. Çoğunlukla tekrarlı yükleme analizlerinde ihtiyaç duyulan hasar parametreleri de bu yöntemde tanımlanmaktadır. Yöntem için kullanılan gerilme/şekildeğiştirme değerleri Chinese Code (2010) yönetmeliğinde verilen formüller ile hesaplanmıştır. Gerilme-şekildeğiştirme hesaplandıktan sonra bu değerler denklem (3.5)-(3.7) kullanılarak betonun hasar parametreleri ile elastik olmayan şekildeğiştirme değerleri hesaplanmıştır.

Basınç	Çekme
$\sigma_c = (1 - d_c)E_c\varepsilon$	$\sigma_t = (1 - d_t)E_c\varepsilon$
$d_c = \begin{cases} 1 - \frac{n\rho_c}{n-1+x^n} & x \leq 1 \\ 1 - \frac{\rho_c}{a_c(x-1)^2+x} & x > 1 \end{cases}$	$d_t = \begin{cases} 1 - \rho_t[1.2 - 0.2x^5] & x \leq 1 \\ 1 - \frac{\rho_t}{a_t(x-1)^{1.7}+x} & x > 1 \end{cases}$
$\rho_c = \frac{f_{cu}}{E_c\varepsilon_{cu}}$	$\rho_t = \frac{f_{tu}}{E_c\varepsilon_{tu}}$
$n = \frac{E_c\varepsilon_{cu}}{E_c\varepsilon_{cu} - f_{cu}}$	

Burada verilen parametrelerde “c” ve “t” alt indisi sırasıyla basıncı ve çekmeyi temsil etmektedir. $x=\varepsilon/\varepsilon_{cu}$ basınç bölümünde hesaplanan katsayı, $x=\varepsilon/\varepsilon_{ct}$ çekme bölümünde hesaplanan katsayı, “ E_c ” elastisite modülü, “ σ_c ” basınç hesaplanan gerilme, “ σ_t ” çekme hesaplanan gerilme, “ d_c ” basınç hasar parametresi, “ d_t ” çekme hasar parametresi, “ ε ” şekildeğiştirme, “ f_{cu} ” basınç nihai gerilme, “ f_{tu} ” çekme nihai gerilme “ $\varepsilon_{cu,tu}$ ” nihai şekildeğiştirme, “ ρ_c ”, “ ρ_t ”, “ n ” ve “ x ” parametreleri denklem (3.3) ve (3.4)’te hesaplanmaktadır. C30/37 betonu için yönetmelikte verilen bilgiler ile “ a_c ” değeri 1.36, “ a_t ” değeri ise 1.16 olarak hesaplanmıştır. Gerilme ve şekildeğiştirme değerleri dikkate alınarak inelastik şekildeğiştirme değerleri ve hasar parametreleri hesaplanmıştır. “ d_c ” ve “ d_t ” basınç ve çekme hasar parametreleri, “ ε_{0c}^{el} ”, “ ε_{0t}^{el} ” basınç ve çekme elastik şekildeğiştirme, “ ε_c^{in} ”, “ ε_t^{in} ” basınç ve çekme inelastik şekildeğiştirmedir. Bu değerler denklem (3.5)-(3.7) ile hesaplanmış ve Tablo 3.4’te verilmiştir.

$$d_c = 1 - \frac{f_c}{f_{cu}} ; d_t = 1 - \frac{f_t}{f_{cu}} \quad (3.5)$$

$$\varepsilon_{0c}^{el} = \frac{f_c}{E_0} ; \varepsilon_{0t}^{el} = \frac{f_t}{E_c} \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{0c}^{el} ; \varepsilon_t^{in} = \varepsilon_t - \varepsilon_{0t}^{el} \quad (3.7)$$

Tablo 3.4 C30/37 beton gerilme/şekildeğiştirme değerleri

Basınç				Çekme			
Gerilme [σ _c]	Şekildeğiştirme [ε _c]	Hasar parametresi [d _c]	İnelastik şekildeğiştirme [ε _c ⁱⁿ]	Gerilme [σ _c]	Şekildeğiştirme [ε _c]	Hasar parametresi [d _t]	İnelastik şekildeğiştirme [ε _t ⁱⁿ]
0	0	0	0	0	0	0	0
12.00	0.00044	0.522	0.00423	1.917	0.00007	0.021	0.00001
17.73	0.00068	0.695	0.00642	1.878	0.00008	0.457	0.00013
19.76	0.00078	0.730	0.00713	1.239	0.00013	0.584	0.00021
24.69	0.00107	0.758	0.00783	1.041	0.00017	0.685	0.00033
27.00	0.00127	0.815	0.00989	0.797	0.00024	0.797	0.00064
29.95	0.00186	0.841	0.01125	0.718	0.00027	0.818	0.00076
30.00	0.00196	0.869	0.01329	0.604	0.00035	0.824	0.00080
29.90	0.00206	0.876	0.01396	0.562	0.00039	0.852	0.00104
21.32	0.00341	0.882	0.01463	0.445	0.00054	0.868	0.00123
17.33	0.00408	0.898	0.01665	0.316	0.00089	0.879	0.00139
12.12	0.00542	0.903	0.01732	0.270	0.00113	0.881	0.00143
8.11	0.00742	0.914	0.01934	0.258	0.00120	0.885	0.00151
7.27	0.00809	0.917	0.02001	0.228	0.00144	0.893	0.00167
4.18	0.01276	0.923	0.02135	0.224	0.00148	0.899	0.00183
3.05	0.01676			0.194	0.00184		

Tablo 3.5 C30/37 betonu elastik ve plastik parametreler

Parametre	Kaynak	
f_c [MPa]	30	
f_{ct} [MPa]	1.917	TS 500 ($f_{ct} = 0.35\sqrt{f_c}$)
Birim hacim kütlesi [t/m ³]	2.5	TS ISO 9194
Elastik özellikler		
E_c [MPa]	27386	RYTEİE-2019 ($E=5000\sqrt{f_{ck}}$)
Poisson oranı [ν]	0.2	TS 500; EC-2 (Eurocode-2)
Plastik özellikler		
Dilatasyon açısı [ψ]	38°	Guo vd. 2020
Eksantrisite [e]	0.1	
$F=f_{b0}/f_{c0}$	1.16	Guo vd. 2020; Genikomsou ve Polak 2015; Petrović vd. 2020;
$K_c = \frac{q'_{TM}}{q'_{CM}}$	2/3	Kawamoto ve Stepan 2015; Simulia 2016
Vizkozite [μ]	0	Guo vd. 2020; Genikomsou ve Polak 2015; Kawamoto ve Stepan 2015

3.3.4 Donatı malzemesi

Donatı malzemesi elastoplastik malzeme özelliğini taşımaktadır. Gerilme/şekildeğiştirme değerlerini elde etmek için TBDY-2018'de tanımlanan çelik

modeli kullanılmıştır. Akma dayanımı 420 MPa olan çelik kullanılmış ve çekme dayanımı 525 MPa olarak hesaplanmıştır. Gerilme/şekildeğiştirme değerleri başlangıç noktasından akma dayanımına kadar elastik daha sonra plastik davranış gösteren üç lineer çizgi ile hesaplanmıştır. Akma dayanımına kadar olan şekildeğiştirme toplam şekildeğiştirme değerinden çıkarılarak elastik şekildeğiştirme hesaplanmıştır. Elde edilen elastik ve plastik parametreler Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6 B420C çeliği elastik ve plastik parametreler

Parametre		Kaynak
f_{sy} [MPa]	420	TBDY-2018
f_{su} [MPa]	525	TBDY-2018 ($f_{su}/f_{sy}=1.25$)
Birim hacim kütlesi [t/m ³]	7.85	TS708, TS9194, Eurocode-2
Elastik özellikler		
E_s [GPa]	200	TBDY-2018
Poisson oranı [ν]	0.3	Vimonsatit vd. 2012; Kawamoto ve Stepan 2015; Genikomsou ve Polak 2015; Rewers, 2019
Plastik özellikler		
Gerilme [MPa]	ϵ_t^{in}	
420	0	
420	0.0059	TBDY-2018
525	0.0779	

3.3.5 Analitik çalışma bulgular ve tartışma

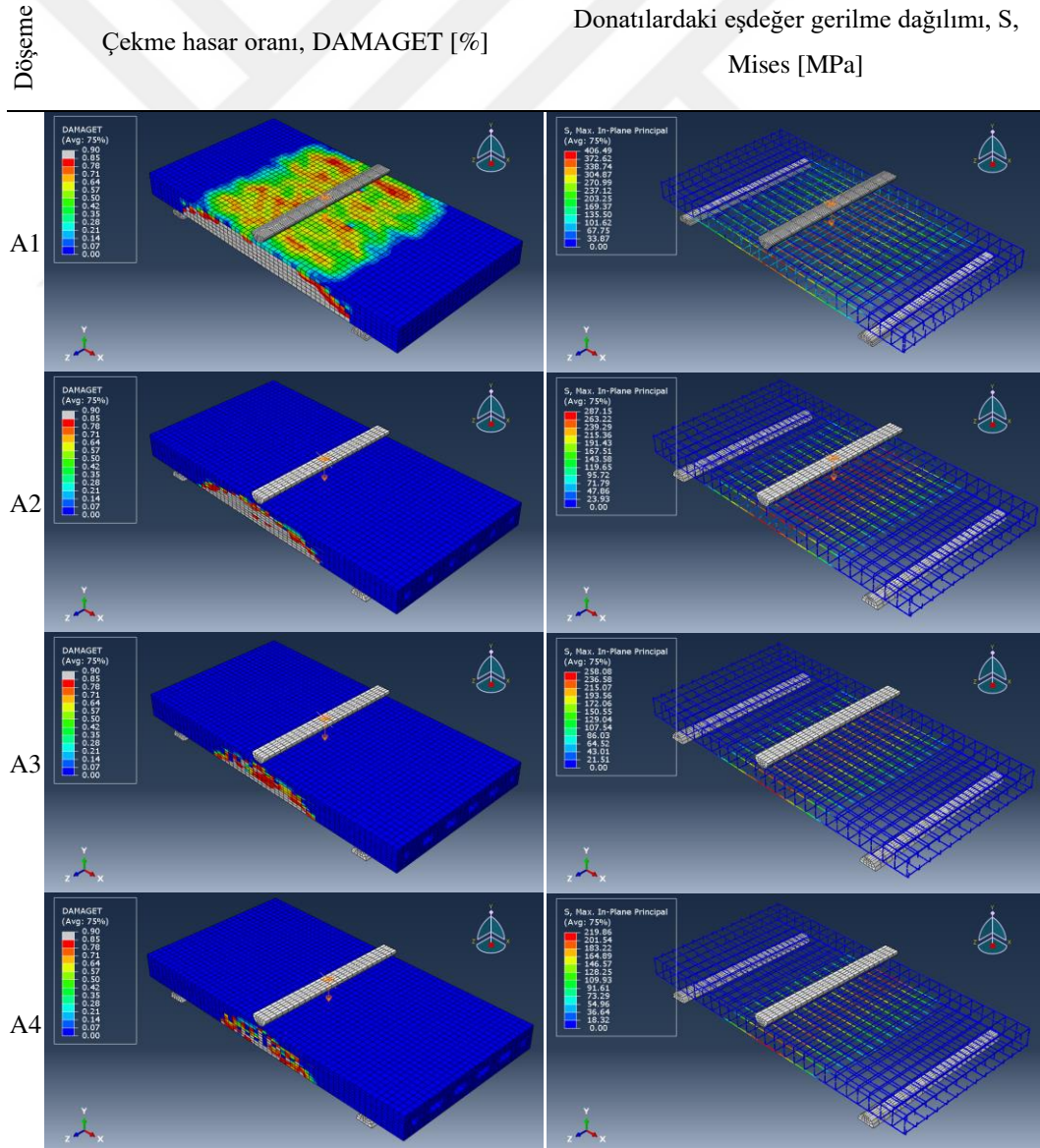
Döşemeler 3 boyutlu modellenmiş ve üç noktada eğilme deney yöntemine göre analiz edilmiştir. Analiz sonuna kadar döşeme davranışı gözlemlenmiş ve tamamen çökme yaşanıncaya dek analiz devam ettirilmiştir. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde akma momentleri belirlenmiş ve Tablo 3.7’de verilmiştir. Akma momenti, çatlama sonrası döşeme moment/çökme eğrisinde eğimin değiştiği ilk noktadan belirlenmiştir. Boşluklu döşemelerde bu nokta eğri eğiminin negatif olmasıyla daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Akma momenti noktasındaki döşeme çekme hasar oranı (DAMAGET) ve donatılardaki eşdeğer gerilme dağılımı görselleri Tablo 3.8’de verilmiştir. Ayrıca moment/çökme grafikleri Şekil 3.5’te verilmiştir. A1 döşemesi boşluksuz olması nedeniyle en büyük dayanıma ulaşmıştır. Ayrıca akma momenti ve başlangıç rijitliği daha yüksek bulunmuştur. Çekme hasar oranı görselinden görüldüğü üzere A1 referans döşemede hasar daha geniş alana yayılmış ve sünek çatlama görülmüştür. A1’den A5’e akma momenti ve donatılardaki gerilme gittikçe düşmüştür. Çekme hasarı gittikçe daha küçük alanda birikmiştir. A1’den A5’e kesit alanı zayıfladıkça döşeme atalet momenti düşmüştür. Bu nedenle kırılma türü eğilmeden

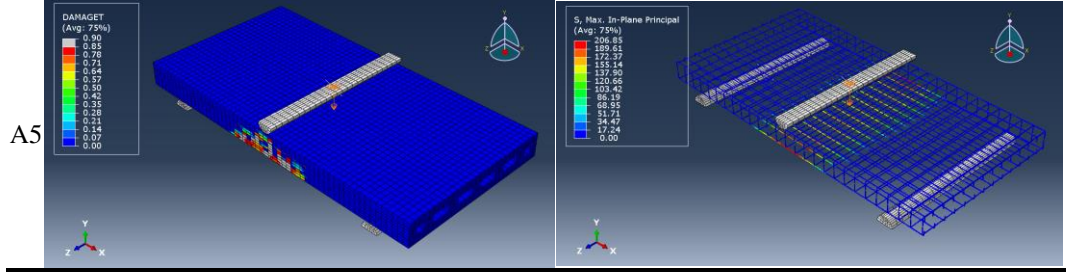
kaymaya ilerlemiştir. Aşırı boşluklu döşemelerde kesme kırılmasının gerçekleşebileceği bu nedenle ani ve gevrek kırılmanın görüleceği söylenebilir. Tüm döşemelerde ilk çatlama alt noktada gerçekleştikten sonra döşeme üst noktasına doğru ilerlemiştir. Böylece basınç bloğu paspayı katmanında etkili olmuştur.

Tablo 3.7 Akma moment (M_y) kapasiteleri

Döşeme	M_y , kNm	M_y , referans döşeme oranı
A1	19.0	1.00
A2	13.0	0.68
A3	11.5	0.61
A4	10.7	0.56
A5	10.0	0.53

Tablo 3.8 A grubu döşemeler çekme hasar oranı ve donatılardaki eşdeğer gerilme dağılımı (Kıpçak vd. 2023)





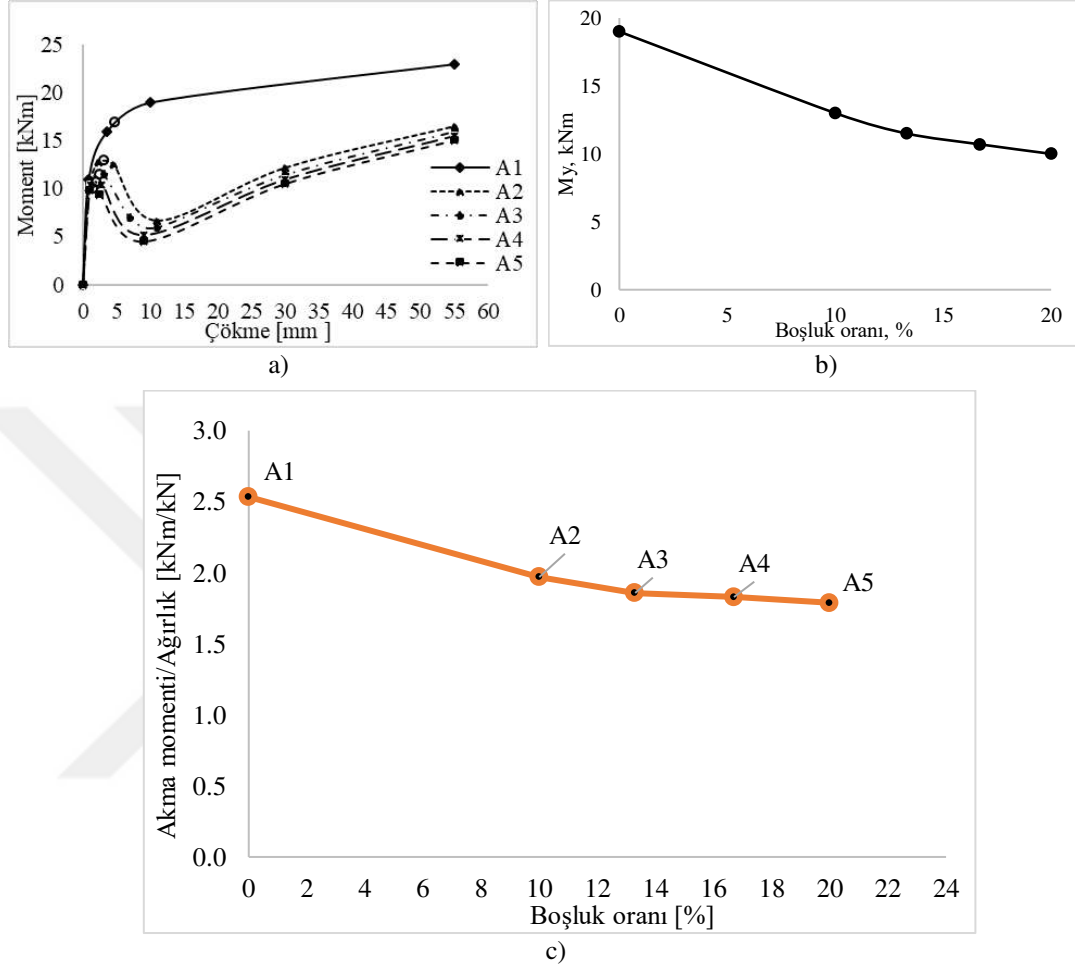
Boşluklu döşemelerde akma momenti sonrası ani dayanım kaybı yaşanmıştır. Ardından yeniden yük dağılımı ile moment artmış ve maksimum noktaya ulaşmıştır. Akma momenti sonrası donatılarda akma dayanımı aşmış ve pekleşme gerçekleşmiştir. Böylece moment dayanım artışı yeniden gözlenmiştir. Boşluk oranı arttıkça dayanım düşmüştür. Ancak boşluklu döşemeler arasındaki fark çok büyük oluşmamıştır. Döşeme kesit bütünlüğü boşluk ile bozulduktan sonra hem %10 boşluklu A2 döşemesinde hem de %20 boşluklu A5 döşemesinde ani dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Döşeme analiz sonuçlarını doğrulamak amacıyla Ersoy tarafından önerilen akma momenti hesabında kullanılan denklem (3.8) ve (3.9) kullanılmıştır (Ersoy vd. 2019).

$$M_r = A_s f_y j d \quad (3.8)$$

$$j d = \left(d - \frac{k_1 c}{2} \right) \quad (3.9)$$

Denklemde verilen “ f_y ” donatı akma dayanımı 420 MPa, “ A_s ” çekme donatı toplam alanı 396 mm² (14Φ6), “ d ” faydalı yükseklik 135 mm, “ $j d$ ” değeri ise basınç bloğu merkezinin çekme donatısına olan mesafesi ile hesaplanmıştır. “ j ” değişkeni 0.86-0.90 arasında değişmektedir. Ersoy tarafından C30/37 betonu için 0.86 önerilen değer kullanılmıştır. “ k_1 ” değeri ise basınç bloğu derinliği için kullanılan düzeltme katsayısı 0.85 alınmıştır. Bu değerler kullanılarak çekme donatılarının aktığı varsayımına göre dolu A1 döşemesinin akma momenti “ M_y ”, 19.3 kNm olarak hesaplanmıştır. Analiz sonucunda ise bu döşemenin akma momenti 19 kNm olarak bulunmuştur. Bu bağlamda çalışmanın denklemler ile doğrulandığı görülmüştür. Diğer döşemeler içinde kullanılan analiz yöntemi ve tanımlanan değerlerin güvenilir olduğu kabul edilmiştir. Literatürde çok az sayıda çalışmada boşluklar dikkate alınarak moment hesapları yapılmıştır. Bu hesaplamalara Kıpçak vd. (2023) çalışması örnek olarak

gösterilebilir. Bu çalışmada akma momenti hesabı için denklemler geliştirilmiş ve boşluklu döşemelerin eğilme kapasiteleri hesaplanmaya çalışılmıştır.



Şekil 3.5 Analiz sonuçları a) Moment/çökme grafiği, b) Akma momentinin boşluk oranına göre değişimi c) Akma momenti/Ağırlık değerinin boşluk oranına göre değişimi (Kıpçak vd. 2023)

3.3.6 Analitik çalışma sonuçları

Deneysel süreç öncesi A grubu döşemeler ABAQUS programında modellenmiş ve analiz edilmiştir. A1 referans döşemesi el hesabı ile kontrol edilmiş ve akma momentlerinin çok yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Analiz sonuçlarına göre aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır.

- Döşemelerde boşluklar ile ağırlık azaltılsa da boşluk oranı arttıkça akma momenti, başlangıç rijitliği ve nihai moment kapasitesi düşmüştür.

- Boşluk oranı artışı ile kesit zayıflamış ve kırılma türü eğilmeden kesilmeye doğru ilerlemiştir. Döşeme üzerine etkiyen yük ile tarafsız eksen üst kısma ilerlemiş ve paspayı katmanında etkili olmuştur.
- Boşluk artışı ile daha erken kırılma görülmüş ve donatılardaki gerilmeler düşmüştür. Orta katmanda beton kesit alanı azaldığı için alt ve üst katman arasındaki yük aktarımı azalmıştır.
- Boşluk artışı ile eğilme altında hasar yük uygulama noktasında daha sınırlı alanda birikmiştir. Deneysel çalışmada bu hasar yerinin kontrol edilmesine özen gösterilmesi gerekmektedir.
- Boşluk oranı arttıkça döşeme moment/ağırlık oranı düşmüştür. Bu durumda döşeme performansının düştüğü söylenebilir.

3.4 Döşeme Üretimleri

3.4.1 Kalıpların hazırlanması

Döşemelerin üretiminde kullanılan kalıpların hazırlanması için, hazır beton santralinde bulunan çelik mıknatıslı kalıp malzemeleri kullanılmıştır. Kalıp iç ölçüleri net genişlik 100 cm, uzunluk 200 cm ve yükseklik 15 cm'e ayarlanmıştır. Donatı iskeletleri yerleştirilmeden önce kalıplar özel kalıp yağı ile yağlanmıştır. Pas payı oluşturulması amacı ile 15 mm'lik hazır plastik pas payları takılarak donatılar kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıpların hazırlanması, ölçülerinin alınması ve yerleştirilmesine ait görseller Şekil 3.6'da verilmiştir.



a)



b)

Şekil 3.6 Kalıpların hazırlanması a) Ölçülerin alınması, b) Kalıpların yerleştirilmesi

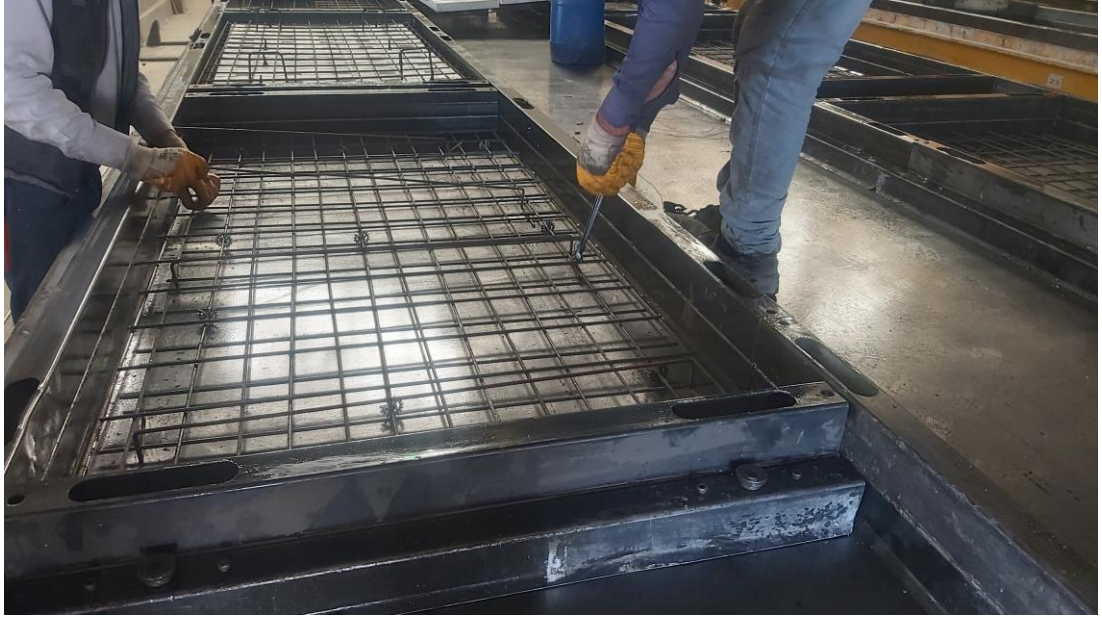
3.4.2 Donatıların hazırlanması

Çelik hasır donatıları genişlik 97 cm, uzunluk 197 cm boyutlarında kesilmiştir. İstenilen ölçülerde çelik hasır temini zor olduğundan 15x15 cm göz açıklıklı $\Phi 6$ çelik hasır 7.5 cm de bir donatı yerleştirmek amacıyla kesilerek iki katman üst üste bağlanmıştır. Böylelikle uzun doğrultuda alt ve üstte 14 adet, kısa doğrultuda alt ve üstte 28 adet donatı oluşturulmuştur. Polistiren köpükten oluşan ikinci katmanın yapımı için sehpa konulmuştur. Üst donatı için ise polistiren köpük üzerine ayrıca sehpa konulmuştur. Beton dökümü sırasında donatıların yer değiştirmesini önlemek

için yeterli miktarda bağ teliyle bağlama yapılmıştır. B grup döşemelerde düşey kesme donatısı her iki yönde 10 cm aralıklarda köpüğe denk gelen kısımlarda köpüğü delerek yerleştirilmiştir. şekil 3.7’de donatı imalatlarına ait görseller verilmiştir.



a)



b)

şekil 3.7 elik hasırların hazırlanması a) Hasırların kesilmesi ve birleştirilmesi b) Hasırların döşeme kalıbında montajının yapılması

3.4.3 Polistiren köpüklerin hazırlanması

Polistiren köpükler kalınlık 5 cm, genişlik 50 cm, uzunluk 100 cm ölçülerinde temin edilmiştir. Döşeme numunelerinde boşluk oluşturmak için kullanılan polistiren köpük

yoğunluğu 20 kg/m³'tür. Tüm donatılar ve polistiren köpükler yerleştirildikten sonra crosstie donatıları yerleştirilmiştir. Köpükler A2, A3, A4, A5, B2, B3, B4, B5 döşemelerine uygun olarak bal peteği şeklinde Bkz. Tablo 3.3'te verilen ölçülerde maket bıçağıyla kesilerek gerekli ölçülerde kare oyuklar açılmıştır. Köpükler yalnızca A2, A3, A4, A5, B2, B3, B4 ve B5 döşemelerinde kullanılmıştır. Bu döşemelerin her birinde dört adet köpük kullanılmış ve yapıştırılmadan bağ teli ile bir araya getirilerek birleştirilmiştir. Bu aşamada köpüklerin kesimi işçilik ve zaman almıştır. Bunun için fabrikada boşluklu köpük üretilmesi önerilmektedir. Polistiren köpüklerin kesimi ve donatı ile birleşimi Şekil 3.8'de ve donatıların kalıplarda bağlanması ve B grubunda bulunan kesme donatılarının yerleştirilmesi aşaması Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8 Polistiren köpüklerin kesimi ve donatı birleşimi



Şekil 3.9 Donatıların bağlanması ve kesme donatılarının yerleştirilmesi

3.4.4 Beton dökümü

Beton santralı tarafından hazırlanan, 28 günlük standart silindir basınç dayanımı 34.62 MPa olan hazır beton, tüm döşemeler için aynı gün ve şartlarda kalıplara dökülmüştür. Şekil 3.10.a'da döşeme donatılarının yerleştirilmesi ve b)'de ise beton döküm anına ait görsel verilmiştir. Beton dökümü sonrası betonun kalıplara iyi yerleşmesini sağlamak amacıyla masa vibrasyonu uygulanmıştır. Döşeme kalınlığının 15 cm kadar küçük olması nedeniyle tüm donatı, pas payı ve polistiren köpük mesafelerinin çok hassas bir şekilde yapılması gerekmiştir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda daha kalınlığı artırılmış döşemelerin kullanılması önerilebilir. Beton basınç ve yarmada çekme deneylerini gerçekleştirmek için 14 adet standart beton küp (150×150 mm) örneği alınmıştır. Döşemelerin kalıplardan çıkarılması, taşınması için Ω şeklinde dört adet kanca donatı beton dökümünden önce alt donatılara kadar uzatılmış ve bağlanmıştır. Beton dökümü sonrası prekast elemanları üretiminde uygulanan 1 gün buharlı kür uygulanmıştır. Döşemeler beton numuneleri ile aynı gün 28 gün sonra test edilmiştir. Polistiren köpükte bazı noktalarda donatılardan veya vibrasyon için yapılan sarsıntıdan dolayı lokal ezilme bazı noktalarda meydana gelmiştir. Bu ezilmeler 1-2 cm'den fazla olmamıştır. Ancak yoğunluğu 20 kg/m^3 olarak yüksek olması nedeniyle genel bir ezilme görülmemiştir. Deney öncesi planlamada daha düşük yoğunluklu polistiren köpük kullanılması düşünüldü. Ancak ezilme, kesilme ve beton yükü olması nedeniyle yoğunluğu yüksek polistiren köpük seçildi.



a)



b)

Şekil 3.10 Döşeme üretimleri a) Donatıların kalıplara yerleştirilmesi ve b) beton dökümü

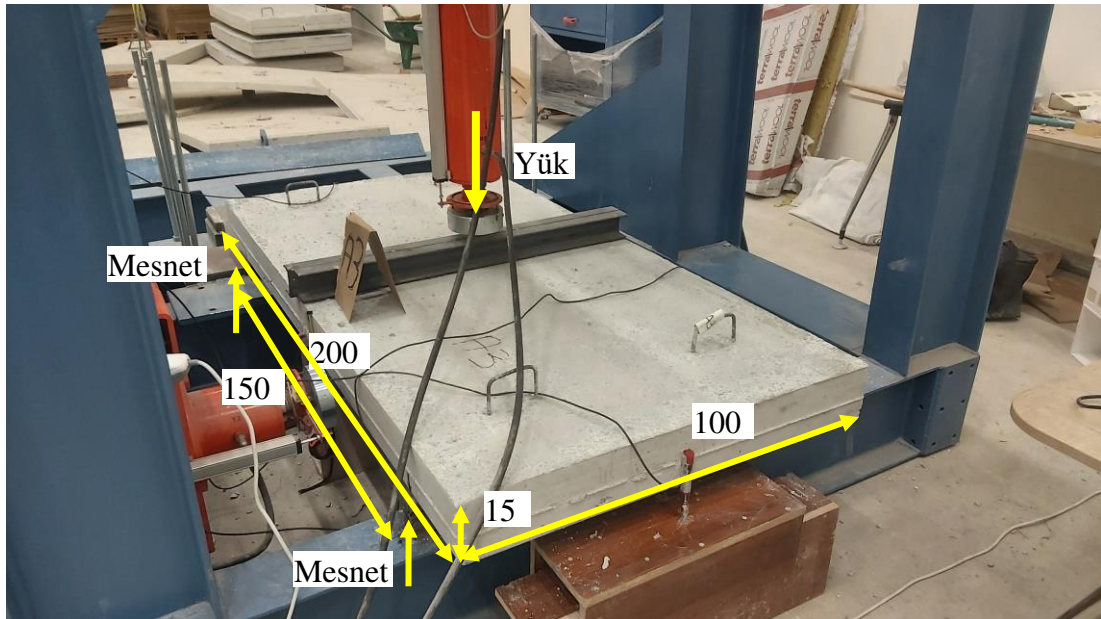
3.5 Deney Kurulumu

Döşemeler laboratuvar koşulları nedeniyle üç noktada eğilme deney yöntemine göre test edilmiştir. Döşemeler her iki kenarı kayıcı konumda olan çelik mesnet üzerine konumlandırılmıştır. Mesnetler arası net döşeme açıklığı 150 cm'dir. Döşeme çökme değerlerini ölçmek için açıklık ortasında döşeme altına iki adet LVDT yerleştirilmiştir. Döşeme uç noktalarına ise çökmeyi kontrol etmek için birer LVDT yerleştirilmiştir. Analitik ön çalışmada da aynı ölçüler korunmuştur. Döşeme üzerine yük açıklığın ortasında hidrolik bir piston ile bilgisayar kontrollü gerçekleştirilmiştir. Hidrolik

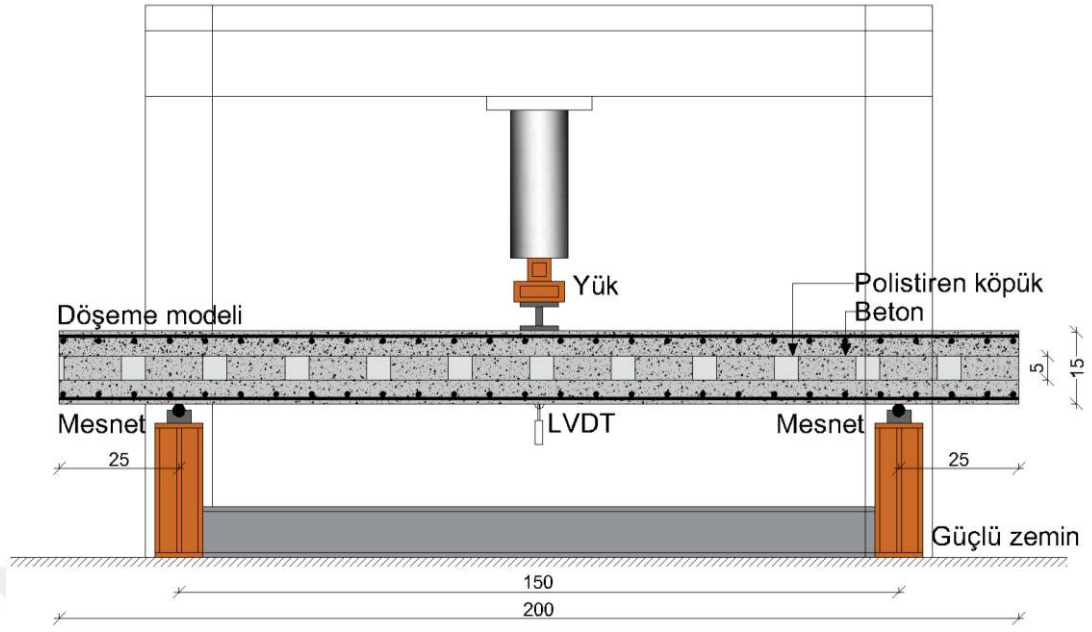
pistondan döşemeye yük aktarmak amacıyla genişliği 8 cm yüksekliği 5 cm olan çelik I profil yerleştirilmiştir. Bu bağlamda yük çizgisel ve düzgün yayılı olarak aktarılmıştır. Döşeme yükleme ve test cihazında yerleşimi Şekil 3.11, 3.12’da ve teknik çizim detayı Şekil 3.13’te verilmiştir.



Şekil 3.11 Döşeme test cihazı



Şekil 3.12 Test kurulumu ve döşeme numunesi (cm biriminde ölçüler)



Şekil 3.13 Döşeme mesnet ve LVDT yerleşimi (cm biriminde ölçüler)

3.6 Malzeme Deneyleri

3.6.1 Beton basınç deneyi

Beton basınç ve çekme dayanımlarının belirlenmesi için 14 adet standart küp numunesi hazırlanmış, döşeme numuneleri ile aynı beton aynı gün ve koşullarda dökülmüştür (Şekil 3.14). Ayrıca döşeme numuneleri ile aynı şartlarda vibrasyon ve kür uygulanmıştır. Alınan küplerden dördü 28 gün sonunda standart basınç deneyi ile test edilmiştir. Deneyler sırasında gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla düşey yönlü LVDT yerleştirilmiştir. Eş zamanlı aynı bilgisayarda LVDT'lerden deplasman verileri okunurken basınç test cihazı programından yük verileri alınmış ve bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir.



Şekil 3.14 Beton numunelerinin alımı

Çalışmada 150/300 (çap/yükseklik) standart silindir basınç dayanımı 34.62 MPa olan beton kullanılmıştır. Beton numunelerinin alımı Şekil 3.14'te, basınç deney öncesi ve sonrası görseller Tablo 3.9'da, basınç mekanik özellikleri Tablo 3.10'da ve basınç gerilme/şekildeğiştirme grafiği Şekil 3.15'de verilmiştir. f_c betonun silindir numunesine dönüştürülmüş basınç dayanımı ve $f_{c,ort}$ ortalama basınç dayanımıdır. TS EN 206-A2 standardına göre 1/1.28 dönüşüm katsayısı kullanılmıştır. Numuneler için gerilme-şekildeğiştirme eğrisinde TS-500'de verilen sekant modülüne göre maksimum dayanımın %40'ına bir doğru çizilmiş ve doğrunun eğiminden elastisite modülü hesaplanmıştır. Akma noktası gerilme ve şekildeğiştirmenin belirlenmesi için de sekant modülü kullanılmıştır. Sonuçlara göre ortalama Elastisite modülü 28398.83 MPa ve RYTEİE-2019'de $E_c = 5000\sqrt{f_{c,ort}}$ formülüne göre ise 29256.71 MPa bulunmuştur. Elde edilen değerler oldukça yakın çıkmıştır. f_{ck} karakteristik beton basınç dayanımı deney sonuçlarından elde edilen $f_{c,ort}$ değerinin TS 500'e göre standart sapma ve $u=1.282$ kullanılması ile hesaplanmıştır. Beton basınç değerlerinin standart sapması 0.789 olarak hesaplanıp f_{ck} karakteristik beton basınç dayanımı 33.61 MPa olarak hesaplanmıştır.

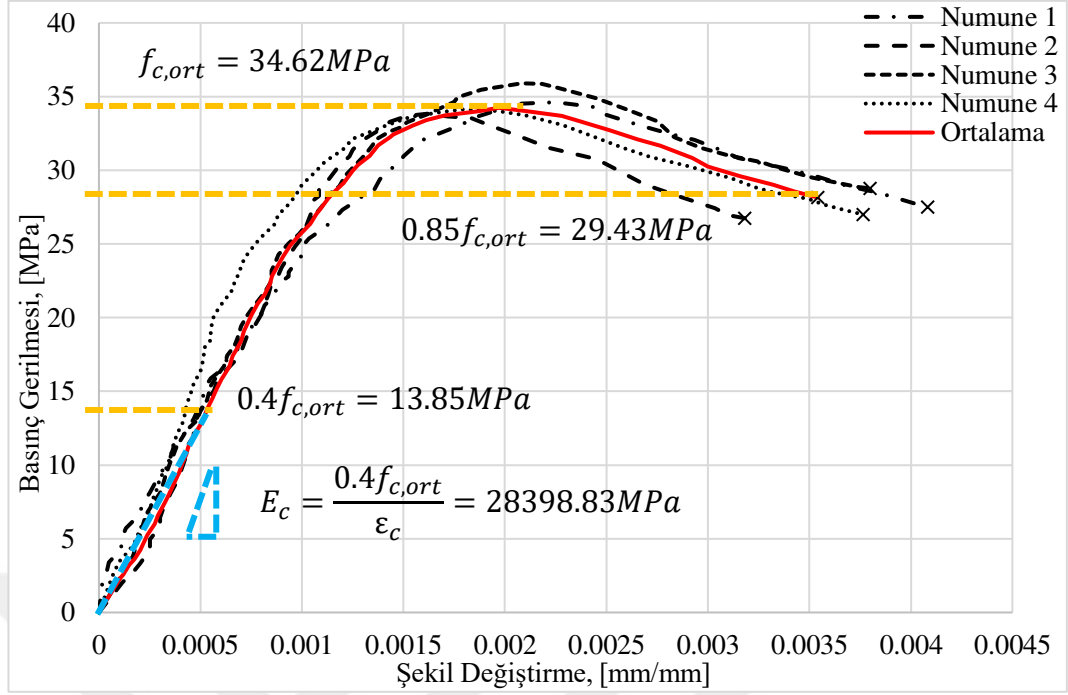
Tablo 3.9 Beton numuneleri basınç deney öncesi ve sonrası

Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4
----------	----------	----------	----------



Tablo 3.10 Beton basınç mekanik özellikleri

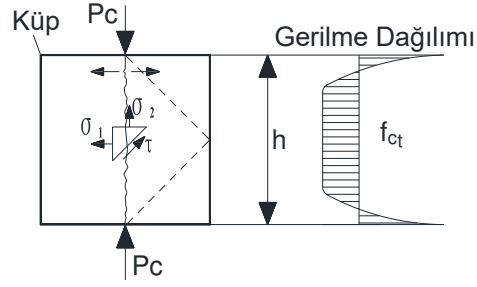
Standart küp	Elastisite modülü hesap noktası $0.40f_c$ (MPa)	Maksimum basınç dayanımı f_c (MPa)	Ezilme dayanımı $0.85f_c$ (MPa)	Elastisite modülü noktası karşılık gelen şekil değiştirme ($0.40f_c$) ϵ_{cy}	Maksimum basınç dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme ϵ_{co}	Ezilme dayanımı şekil değiştirme ($0.85f_c$) ϵ_{cu}	Elastisite modülü E_c (MPa)
Numune 1	13.84	34.61	29.42	0.00050	0.00225	0.00355	31200.00
Numune 2	13.53	33.83	28.76	0.00050	0.00161	0.00285	27022.50
Numune 3	14.36	35.90	30.52	0.00053	0.00245	0.00326	27385.60
Numune 4	13.66	34.14	29.02	0.00043	0.00180	0.00315	27987.20
Ortalama	13.85	34.62	29.43	0.00049	0.00202	0.00320	28398.83



Şekil 3.15 Betonun basınç gerilme-şekildeğiştirme grafiği

3.6.2 Beton çekme dayanımı

Beton küp numuneleri basınç test cihazında alt ve üstü yarım silindir olan bir aparat içerisinde yerleştirilmiş. Numuneler iki parçaya ayrılincaya kadar yüklemiştir. Yükleme hızı sürekli kontrol edilmiş ve darbe etkisi oluşturulmadan yük uygulanmıştır. Yarmada çekme deneyinde çoğunlukla silindir numuneler kullanılır. Ancak küp veya silindir numune için sonuçlar hesaplandığında aynı yöntem farklı formüller ile kullanılmaktadır (İnce ve Alyamaç, 2013; İnce vd. 2015; Rocco vd. 1995; Yılmaz ve İnce, 2016). Yarmada çekme dayanımının belirlenmesi için gerilme dağılımı Şekil 3.16'da ve gerilme denklemi ise TS-EN12390-6 standardına göre denklem (3.10)'da verilmiştir. Beton numuneleri yarmada çekme deneyi Tablo 3.11'de, mekanik özellikleri Tablo 3.12'de, Yönetmeliklere göre beton basınç dayanımı üzerinden hesaplanan çekme dayanımı değerleri Tablo 3.13'te ve Chinese Code (2010)'a göre hesaplanmış eksenel çekme gerilme/şekildeğiştirme grafiği Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.16 Yarma çekme gerilme dağılımı

$$f_{ct} = \frac{2P_c}{\pi b h} \quad (3.10)$$

“ f_{ct} ” çekme dayanımı, “ P_c ” maksimum yük, “ b ” numune boyu, “ h ” numune yüksekliğidir (TS-EN12390-6).

Tablo 3.11 Beton numuneleri yarmada çekme deney öncesi ve sonrası

	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Numune 4	Deney sonrası
Deney öncesi					

Tablo 3.12 Yarmada çekme deneyi sonuçları

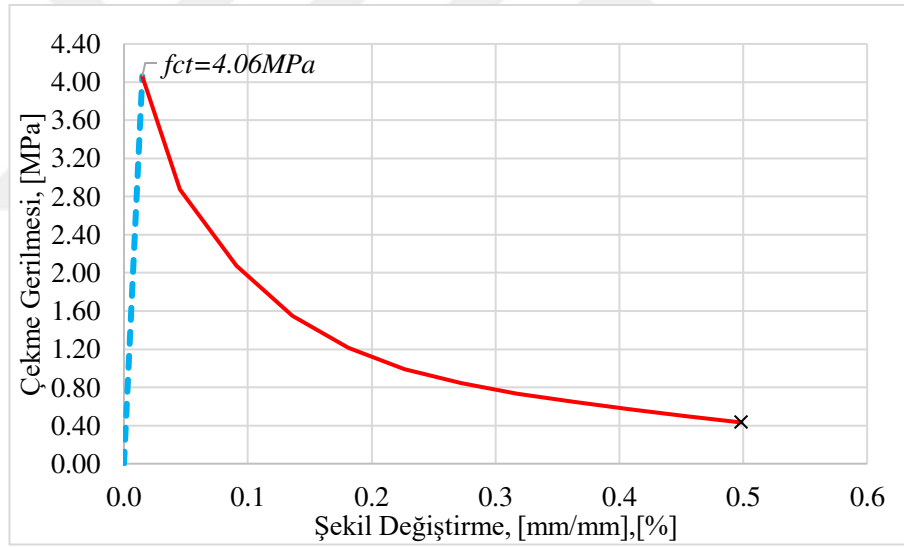
Standart küp	Maksimum yük	Yarma çekme dayanımı f_{ct}
Numune 1	103.17	2.92
Numune 2	103.37	2.92
Numune 3	109.17	3.09
Numune 4	103.94	2.94
Ortalama	104.91	2.97

Tablo 3.13 Beton çekme dayanımının belirlenmesi

Deney	Denklem	Çekme dayanımı, MPa	Kaynak
Eksenel çekme	$0.35\sqrt{f_{ck}}$	2.03	TS 500
Yarma çekme	$0.53\sqrt{f_{ck}}$	3.07	TS 500
Kiriş (tek yük)	$0.70\sqrt{f_{ck}}$	4.06	TS 500

Eğilmede çekme dayanımı	$0.63\sqrt{f_{ck}}$	3.65	ACI318-95
-------------------------	---------------------	------	-----------

Çalışmada kullanılmak üzere TS 500 de verilen tek noktada yükleme ile beton çekme dayanımı $f_{ck}=33.61$ MPa kullanılarak çekme dayanımı sonucu 4.06 MPa hesaplanmıştır. Bu bağlamda Chinese Code (2010)'da tanımlanan betonun çekme dayanım/şekildeğiştirme grafiğinin elde edilmesi için kullanılan denklem (3.1)-(3.4) ile Şekil 3.17'de verilen grafik çizilmiştir. Grafikte mavi kesik çizgi elastik kırmızı çizgi ise plastik bölgeyi vermiştir. Denklemde verilen " σ_t " hesaplanan çekme gerilmesi, " E_c " beton elastisite modülü, " ε " şekildeğiştirme, " d_t " çekme gerilmesi altında hasar parametresi, " ρ_t " ve " x " hesaplanan katsayı, " a_t " yönetmelikte verilen beton sınıfına uygun bilgiler ile (nihai çekme dayanımı 2.06 MPa) $a_t= 1.25$ hesaplanmıştır.



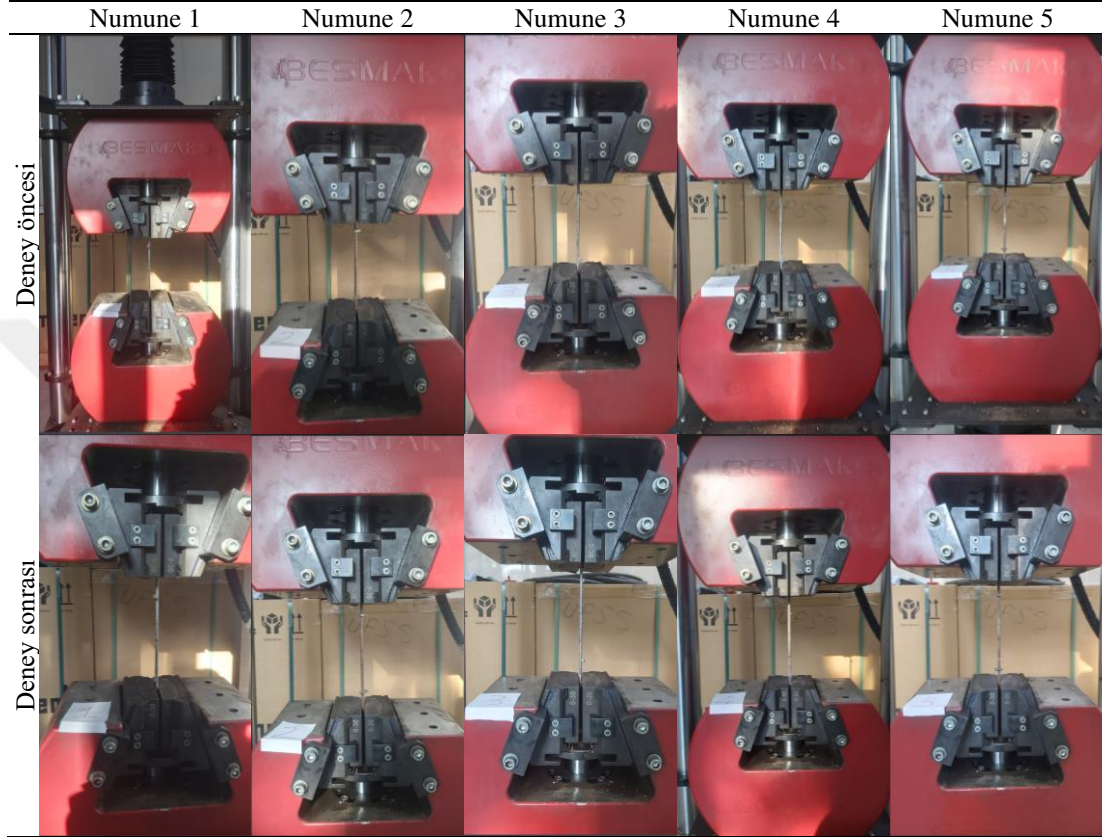
Şekil 3.17 Chinese Code (2010)'a göre çekme dayanım grafiği

3.6.3 Çelik hasır çekme deneyi

Tüm döşeme numunelerinde donatı için nervürlü $\Phi 6$ çelik hasır kullanılmıştır. Çelik hasırlardan 40cm uzunlukta beş adet örnek alınmıştır. Çelik çekme deneyleri TS708 (1985) standardına uygun bir şekilde yapılmıştır. Hasır örneklerinde + şeklinde olan bölge bulunmaktadır. Bu kısımlarda kaynak noktasına zarar verilmeden kenar uzunluklar kesilmiştir. Çelik hasırların gerçek çaplarının hesaplanması amacıyla kumpas yardımıyla dışların bulunmadığı kısımdan çap ölçümleri yapılmıştır. Çelik hasır numuneleri çekme deney öncesi ve sonrası görselleri Tablo 3.14'te, mekanik

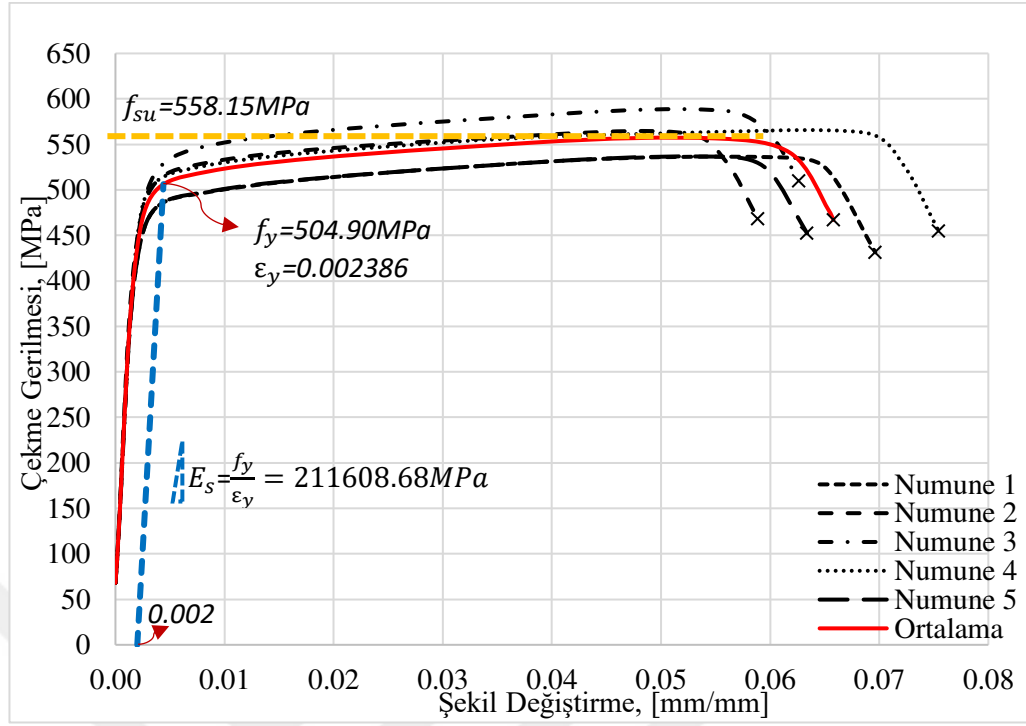
özellikleri Tablo 3.15’de ve gerilme-şekildeğiştirme grafiği Şekil 3.18’te verilmiştir. Tablo 8’de deney sonrası görsellerden görüldüğü üzere numunelerin kopmaları kaynak noktasında gerçekleşmemiştir.

Tablo 3.14 Çelik hasır numuneleri çekme deney öncesi ve sonrası



Tablo 3.15 Çelik hasır mekanik özellikleri

Anma Çapı $\Phi 6$	Hesaplanan çap (mm)	Akma gerilmesi (MPa)	Akma şekildeğ.	Çekme gerilme (MPa)	Çekme gerilmesine karşılık gelen şekildeğ.	Kopma gerilmesi (MPa)	Kopma gerilmesine karşılık gelen şekildeğ.	Elastisite modülü, Es (MPa)
Numune 1	5.94	483.05	0.00428	536.69	0.056258	431.39	0.069648	211864.41
Numune 2	6.08	512.71	0.00442	563.92	0.049243	468.00	0.058883	211864.40
Numune 3	5.84	528.73	0.00449	587.86	0.052038	509.92	0.062658	212340.89
Numune 4	5.96	516.95	0.00446	565.86	0.059133	454.51	0.075458	210141.93
Numune 5	6.07	483.05	0.00428	536.43	0.053583	452.27	0.063393	211864.41
Ortalama	5.98	504.90	0.004386	558.15	0.054051	451.02	0.066523	211608.68



Şekil 3.18 Çelik hasır çekme gerilme-şekildeğiştirme grafiği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Test sürecinde döşemelerde meydana gelebilecek problemleri önceden belirlemek amacıyla A1 döşemesinden bir adet fazla üretilmiş ve çalışmada pilot döşeme (A1-P) olarak belirtilmiştir. Asıl döşeme testleri gerçekleştirilmeden önce A1-P kodlu döşeme test edilmiştir. Ardından asıl çalışmayı oluşturan 10 adet döşeme sırasıyla test edilmiştir. Test sırasında gerçek zamanlı yük ve çökme değerleri ölçülmüş ve değerler ACI318-19 ile kontrol edilmiştir. Elde edilen yük ve çökme değerleri moment ve çökme değerlerine dönüştürülmüş ve grafikler çizilmiştir (Şekil 4.1 ve 4.2). Bu grafikler döşemelerin dayanım, rijitlik ve süneklik bilgilerini içermektedir. Grafikler ile döşemelerin performansları karşılaştırılmıştır. Test sırasında tüm döşemelere 1000 N/s kadar aynı yük hızı uygulanmıştır. A1'den A5'e boşluk oranı artışı ile nihai moment kapasitesi düşmüştür. A1, A2 ve A3'te çatlama yükün uygulandığı çizgide çizgisel olarak oluşmuş ve döşemenin alt kısmından başlayarak üst kısma ilerlemiştir. Bu döşemelerde yalnızca eğilme çatlakları oluşarak tamamen çökme yaşanmıştır. Yakından incelemeler sonucunda da herhangi bir kesme çatlakları görülmemiştir. Döşemelerin alt donatıları bazılar akmış bazıları ise kopmuştur. A1, A2 ve A3'te kırılma daha sünek ve yavaş gerçekleşmiştir. Kırılma belirli bir alanda birikmiş döşemenin tamamına yayılmamıştır. Bu döşemeler dikkate alındığında hiçbir donatının kullanılmadığı yalnızca betondan yapılmış yatay elemanların kırılma şekline benzediği görülmüştür. A4 döşemesinde hem eğilme hem de kesme çatlakları meydana gelmiştir. A5 döşemesinde daha hızlı ve ani bir şekilde büyük kesme çatlakları meydana gelmiştir. A4 ve A5 döşemelerinde orta katmanda beton parçası sırasıyla 8x8 ve 6x6 olduğundan ve yeterli kesme kuvvetini karşılamadığından öncelikle ilk çatlama bu katmanda meydana gelmiştir. Çatlakların en üst life kadar ilerlediği basınç bloğunun paspayı katmanında kaldığı test sonrası görsellerde görünmüştür. Donatı oranının fazla olması durumunda basınç bloğunun daha aşağılarda kalacağı ve çatlakların daha geniş alana yayılabileceği söylenebilir. Test öncesi yapılan analitik çalışmada A1, A2 ve A3 döşemeleri çatlama yerleri doğru tahmin edilmiştir. Ancak çatlama şekilleri karşılaştırıldığında analitik çalışmada çatlama bir alanda meydana gelirken deneysel çalışmada çoğunlukla bir çizgi üzerinde meydana gelmiştir. A4 ve A5 çatlama şekillerinde analitik çalışmada aynı olmadığı görülmüştür. Bu durum çelik malzeme kapasitesinin bir miktar fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Orta

katmandaki hasar ve donatılardaki gerilme analitik çalışmada görülmüş ancak deneysel çalışmada görülmemiştir. Test öncesi ve sonrası görseller Tablo 4.1’de verilmiştir. Deney sonrası gözlemlerde herhangi bir donatı sıyrılması görülemedi. Döşeme altında çatlama olduktan sonra o noktada donatılar akmış veya kopmuştur. Basit mukavemet bilgileri ile açıklamak gerekirse iki mesnet arasında eğilen döşemede alt kısımda çekme üst kısımda basınç meydana gelmiştir. Basınç bloğu büyük iken çekmeye karşı koyan donatı miktarı az olmuştur. Bu nedenle tarafsız eksenin üst kısımda kaldığı görülmüştür. Ayrıca donatı miktarının az olması nedeniyle kırılma geniş alana yayılmamıştır.

Tablo 4.1 A grubu döşemeleri test öncesi ve sonrası görselleri

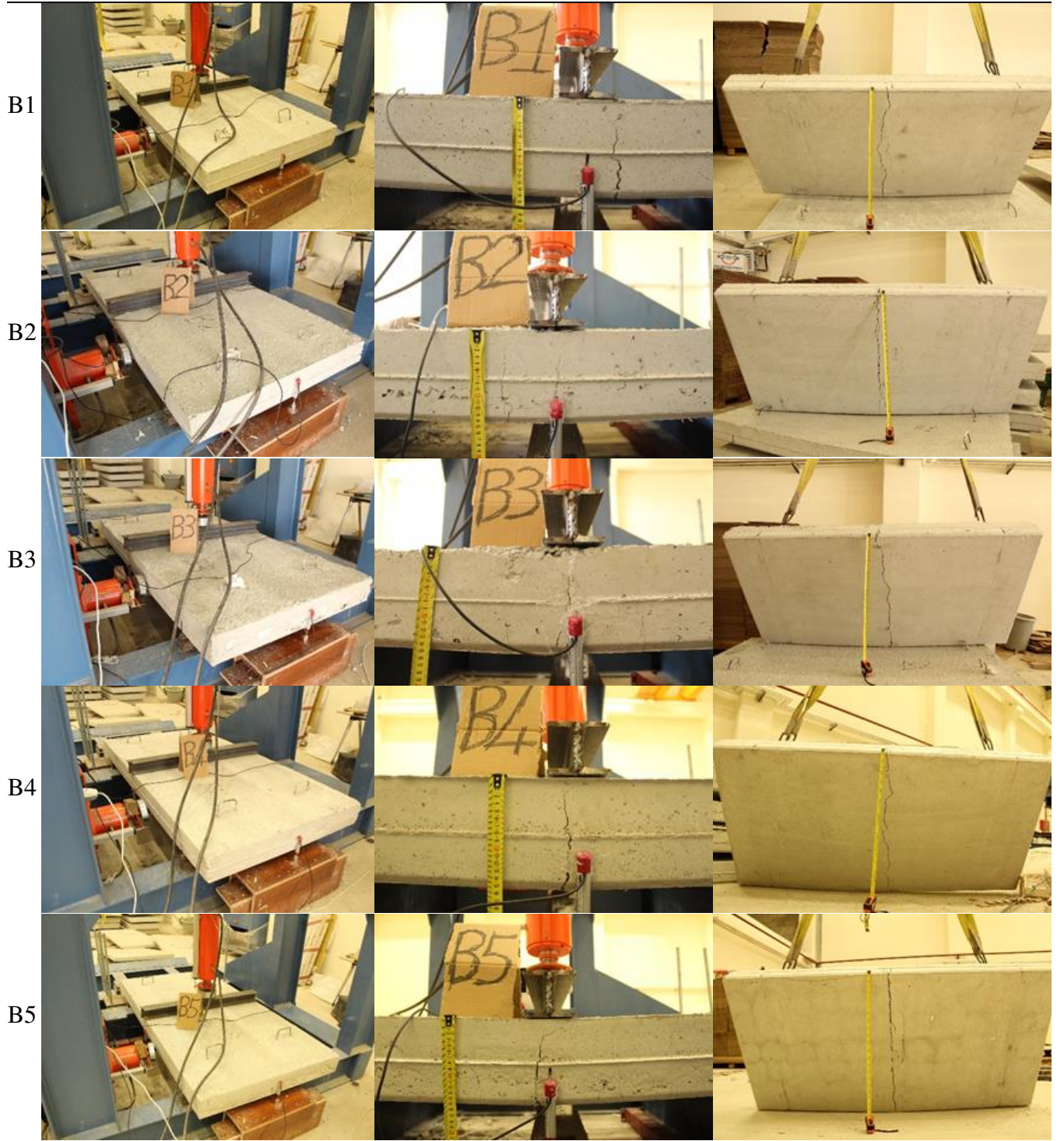
	Test öncesi	Test sonrası	Test sonrası
A1-P			
A1			
A2			
A3			



B grubu döşemelerinde düşey kesme donatısı etkisi araştırılmıştır (Tablo 4.2). Tüm B grubu döşemelerinde A1, A2 ve A3'te olduğu gibi yükün uygulandığı noktada çizgisel eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Kırılma sünek ve yavaş gerçekleşmiştir. Alt donatılarda akma ve kopma yaşandıktan sonra tamamen çökme gerçekleşmiştir. B4 ve B5 döşemelerinde A grubunda olduğu gibi orta katmanda zayıf beton parçaları olmasına rağmen düşey kesme donatıları burada işe yaramış ve yük taşıyarak kesme kapasitesini artırmıştır. Bu döşemelerde kesme donatısı sayesinde kesme çatlakları oluşmadan eğilme çatlakları oluşarak çökme tamamlanmıştır. Eğilme altındaki elemanlarda eğilme kapasitesini doğrudan çekme donatıları etkilemektedir. B grubu döşemelerde konulan kesme donatıları çekme donatılarının sayısını artırmadığı için eğilme kapasitesinde değişiklik oluşturmamıştır. Ancak deplasman kapasitelerini artırmış ve döşemelerin daha sünek davranmasını sağlamıştır. A1, A2 ve A3 döşemeleri ile B grubu tüm döşemeleri test sonrası görsellerden de görüleceği üzere aynı şekilde kırılmıştır.

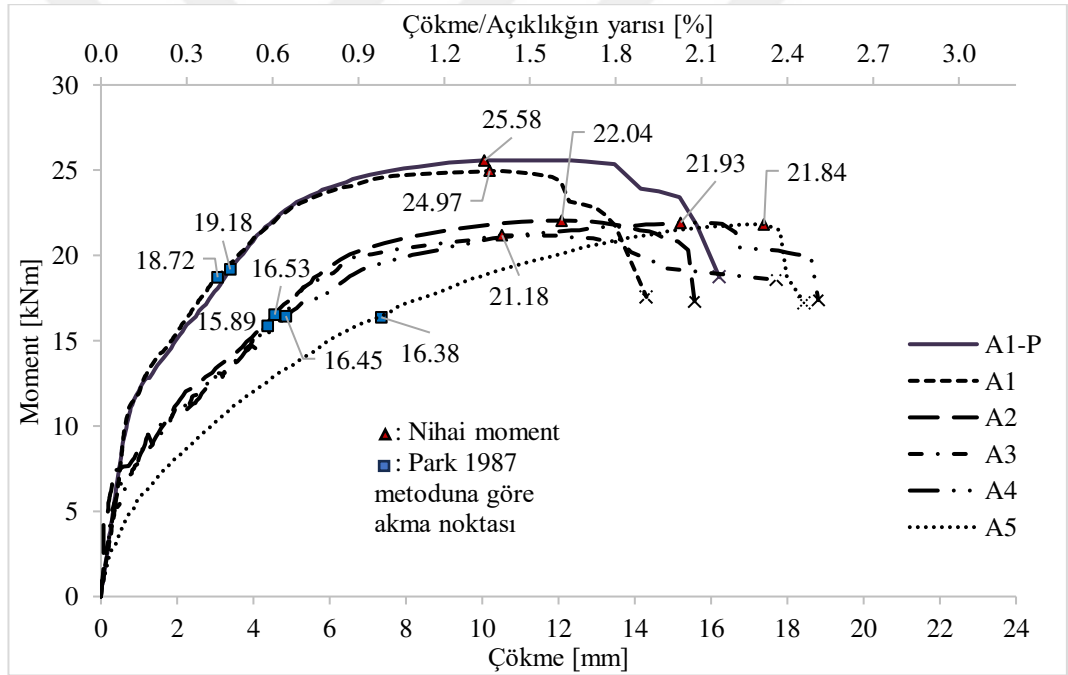
Tablo 4.2 B grubu döşemeleri test öncesi ve sonrası görselleri

Test öncesi	Test sonrası	Test sonrası
-------------	--------------	--------------



A grubu moment/çökme grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir. A1 ve A1-P döşemesi 25.58 kNm ile en büyük moment kapasitesine sahip olmuştur. Döşeme beton dökümleri sonrası masa vibrasyonu sırasında paspaslarının bir kısmının 15 mm’yi korumadığı ve donatının 15 mm’nin bir miktar üstüne çıktığı düşünülmektedir. Bu nedenle A1, A1-P ve B1 döşeme moment kapasiteleri ACI318-19 yönetmeliğinde hesaplanan moment

kapasitesinden bir miktar daha düşük çıkmıştır. İki döşemede tamamen aynı imalat ve özelliğe sahip olduğu için aynı grafik ortaya çıkmıştır. A2, A3, A4 ve A5 boşluklu döşemelerde boşluğun bırakılmasıyla moment kapasiteleri genel olarak düşmüştür. Ancak boşluk oranı artışına rağmen nihai moment kapasiteleri yaklaşık aynı kalmıştır. Test öncesi ön analitik çalışmada boşluk oranı artışı ile nihai moment kapasitelerinin de düştüğü tekrar hatırlanabilir. Boşluk oranı artışı ile süneklik ve maksimum çökme artmıştır. Bu döşeme tasarımında dikkat edilmesi gereken önemli bir durumdur. Döşemelerin akma momentini tahmin etmek için Park (1989) modeli kullanılmıştır. Bu bağlamda akma momentleri nihai moment kapasitesinin %75 olduğu nokta olarak belirlenmiştir. A grubu döşemelerde belirlenen akma, nihai moment ve çökme değerleri Tablo 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.1 A grubu döşeme moment/çökme grafiği

ACI318-19 (2019) yönetmeliğinde verilen denklemler kullanılarak döşemelerin nihai moment kapasitesi karşılaştırılmıştır. Denklemlerde (4.1)-(4.5) verilen “ ϵ_{cu} ” beton ezilme şekildeğiştirmesi, “ ϵ_s ” ve “ ϵ'_s ” sırasıyla alt ve üst donatı şekildeğiştirmesi, “ A_s ” ve “ A'_s ” sırasıyla alt ve üst donatı alanı, “ a ” basınç bloğu derinliği, “ β_1 ” tarafsız eksen derinlik katsayısı, “ f'_c ” beton standart silindir basınç dayanımı (34.62 MPa), “ C_c ” beton basınç kuvveti, “ T ”, “ T' ”, “ z_T ”, “ $z_{T'}$ ” sırasıyla alt ve üst donatı kuvvetleri ve donatıların basınç bloğuna olan mesafeleri, “ M_u ” nihai moment kapasitesidir (ACI318-

19, 2019). $f_y = 504.9$ MPa, $c = 11.59$ mm, $\sigma' = 186.74$ MPa hesaplanmıştır. Çekme donatılarının akmaya uğradığı varsayımına göre Kıpçak vd. (2023) çalışması ve ACI318-19 (2019) yönetmeliği referans alınarak Tablo 4.4'teki " $M_{u,cal}$ " değerleri hesaplanmıştır. Tabloda " $M_{y, Park}$ " Park modeline göre hesaplanmış akma momenti, M_u nihai moment, " $\delta_{y, Park}$ " park modeline göre hesaplanmış akma noktası çökme değeri, " δ_0 " nihai moment noktası çökme değeridir. Denklemlerde (4.1)-(4.5) boşluk oranı dikkate alınmadığı için moment değeri sabit kalmıştır (ACI318-19, 2019). Boşluksuz A1 döşemesi nihai moment kapasitesi %5 hata ile hesaplanırken boşluk oranı arttıkça hata miktarı %19'a çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre belirli miktarda boşluk bırakılabileceği ve döşemelerin hafifletilebileceği belirlenmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.003 \quad (4.1)$$

$$a = \beta_1 c; \beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f_c' - 28)}{7} \quad (4.2)$$

$$C_c = 0.85 f_c' b a \quad (4.3)$$

$$C_c = T + T' \quad (4.4)$$

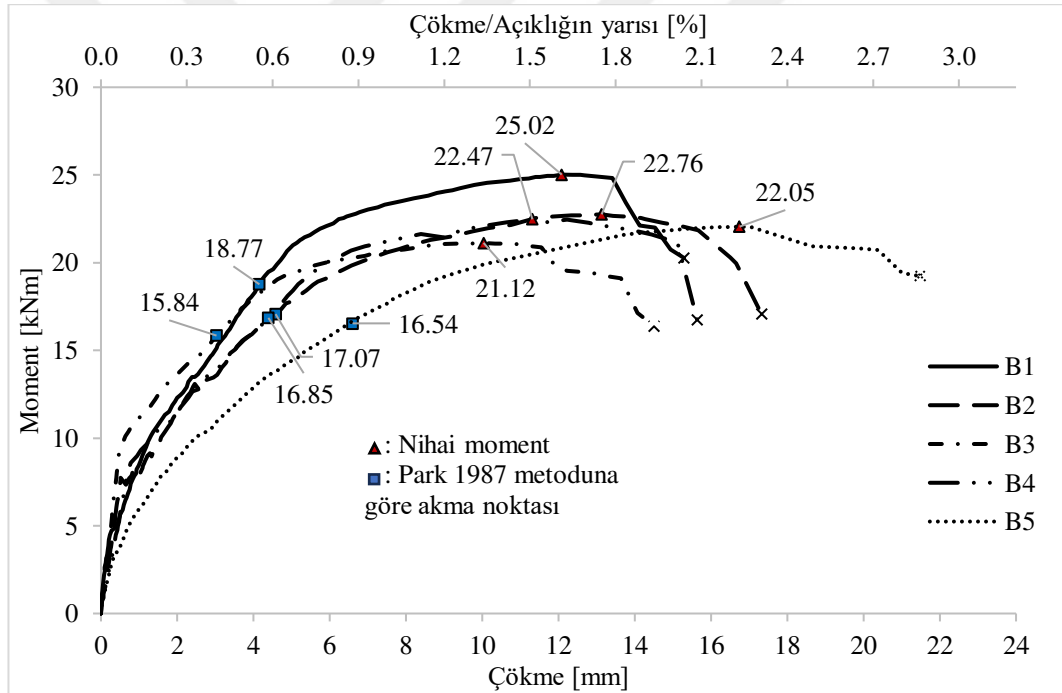
$$M_u = T z_T + T' z_{T'} \quad (4.5)$$

Tablo 4.3 A grubu döşeme moment ve çökme değerleri

Döşeme	$M_{y, Park}$ (kNm)	M_u (kNm)	$\delta_{y, Park}$ (mm)	δ_0 (mm)	$\frac{M_u}{M_{u, A1}}$	ACI318-19 $M_{u, cal}$ (kNm)	$M_{u, exp}$ $/M_{u, cal}$
A1-P	19.18	25.58	3.40	10.10	1.02		0.95
A1	18.72	24.97	3.05	10.20	-		0.93
A2	16.53	22.04	4.56	12.09	0.88	26.82	0.82
A3	15.89	21.18	4.39	11.15	0.85		0.79
A4	16.45	21.93	4.74	13.82	0.88		0.82
A5	16.38	21.84	7.25	17.39	0.87		0.81

B grubu döşeme sonuçlarına ait moment/çökme grafikleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Boşluksuz referans döşemesi olan B1 döşemesi 25.02 kNm ile en büyük momente sahip olmuştur. B1 döşemesinde üretim sırasında oluşan süreksizlik veya hata sonucu beklendiği gibi A1 ve A1-P döşemelerinden daha rijit davranmamıştır. Üretim sırasında tüm döşemeler birlikte üretilmiş, aynı vibrasyon ve kür uygulanmıştır. Bu nedenle hata en aza indirilmiştir. Ancak B1 döşemesinde lokal süreksizliklerin olduğu düşünülmektedir. B2, B3, B4 ve B5 döşemelerinde nihai moment sırasıyla 22.76, 21.12, 22.47, 22.05 kNm bulunmuştur. Detaylı moment ve çökme değerleri

Tablo 4.4’te verilmiştir. B grubu döşemelerin başlangıç rijitlikleri A grubu döşemelere göre yakın bulunmuştur. Döşemde boşluk bırakılması ile moment kapasiteleri genel olarak düşmüştür. Grafikler belirli bir sınır aralığında kalmıştır. %16.7 boşluk oranına kadar boşluklu döşemeler yaklaşık aynı davranmış ve aynı şekilde göçmüştür. %20 boşluklu döşemde boşluk oranı fazla olması nedeniyle daha az rijit davranmış ve çökme değeri büyümüştür. A5 (%20) döşemesi ile B5 (%20) döşemesi karşılaştırıldığında kesme donatılarının sünekliği artırdığı ve ani göçmeyi önlediği görülmüştür. Boşluk oranı arttıkça beklendiği gibi maksimum çökme değerleri de artmıştır. A grubu döşemelere göre tüm B grubu döşemelerde deplasman kapasitelerinde artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca nihai moment noktaları bir miktar kaymış ve daha büyük çökme değerlerinde moment tepe noktasına ulaşmıştır.

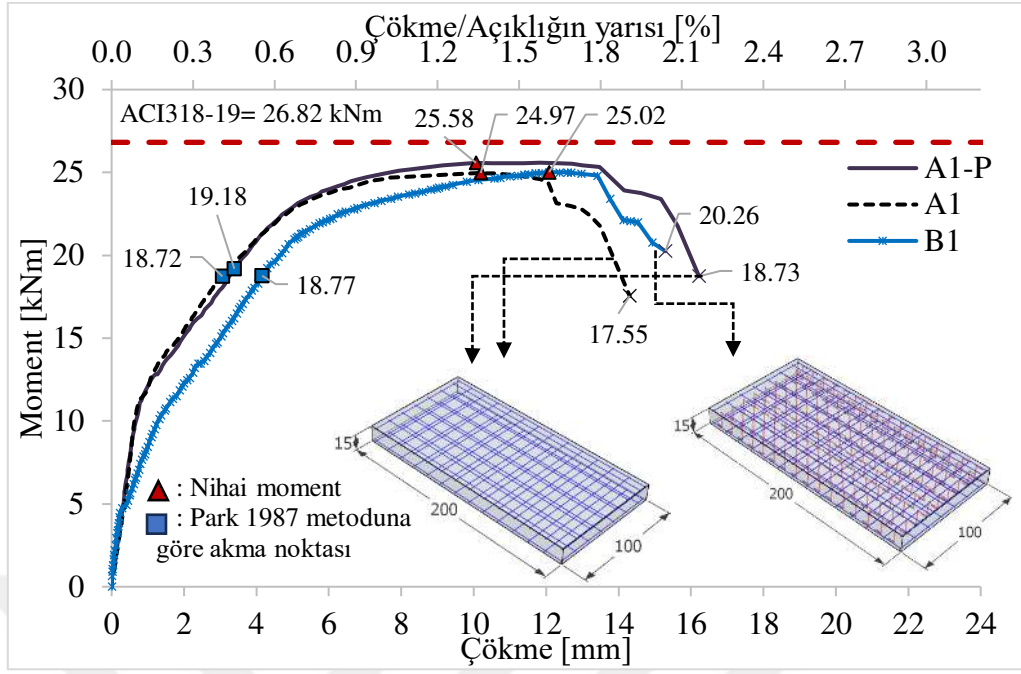


Şekil 4.2 B grubu döşeme moment/çökme grafiği

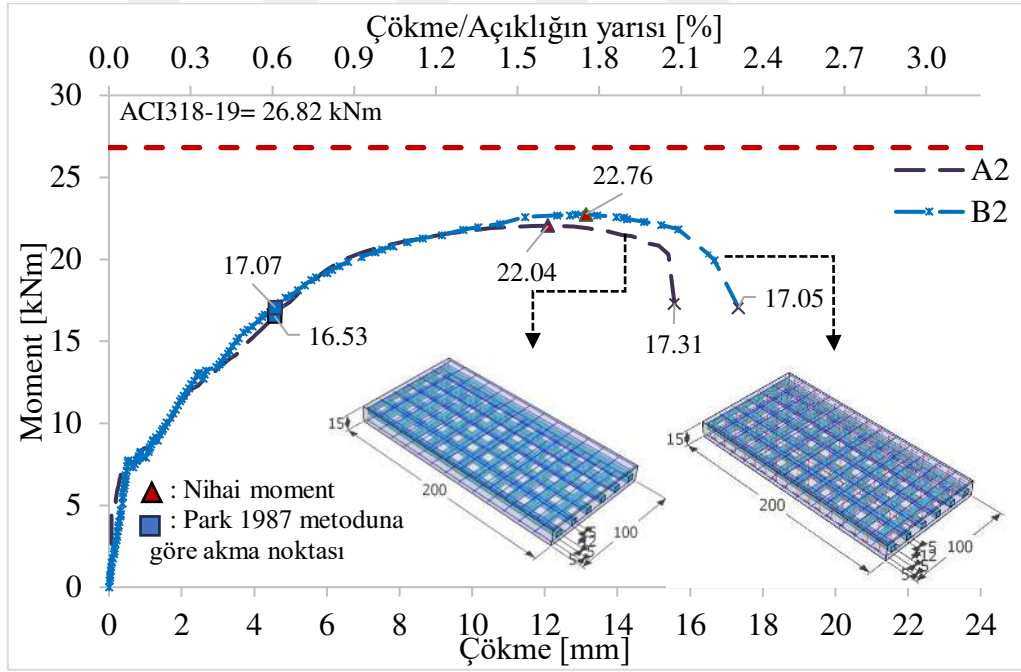
Tablo 4.4 B grubu döşeme moment ve çökme değerleri

Döşeme	$M_{y, Park}$	M_u	$\delta_{y, Park}$	δ_{0s}	$\frac{M_u}{M_{u, Solid}}$	ACI318-19	
	(kNm)	(kNm)	(mm)	(mm)		$M_{u, cal}$ (kNm)	$\frac{M_{u, exp}}{M_{u, cal}}$
B1	18.77	25.02	4.16	12.08	-		0.93
B2	17.07	22.76	4.58	13.13	0.91		0.85
B3	15.84	21.12	3.03	10.04	0.84	26.82	0.79
B4	16.85	22.47	4.39	11.31	0.90		0.84
B5	16.54	22.05	6.61	16.75	0.88		0.82

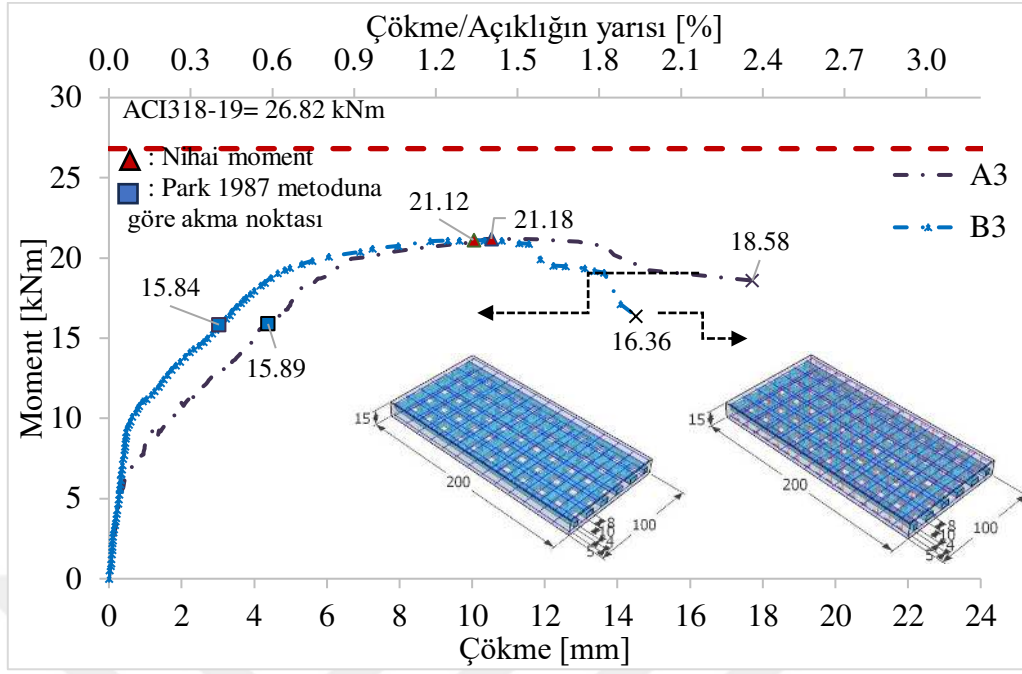
Şekil 4.3'te A ve B grubu döşemeler karşılaştırılmıştır. Şekil 4.3a'da her iki grubun kontrol döşemesinin aynı davranış gösterdiği ve aynı kapasitelere sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuca bakılarak dolu döşemelerde çalışmada kullanılan kesme donatısının fark oluşturmadığı belirlenmiştir. Kontrol döşemelerinin el hesabı olan ACI318-19 ile hesaplanan sonuç değerlerine çok yakın olduğu maksimum %7 fark olduğu bulunmuştur. Bu durum çalışmanın kalibrasyonunu sağlamaktadır. Şekil 4.3b'de A2 ve B2 döşemelerinin grafikleri verilmiştir. Görüldüğü üzere aynı boşluk oranına sahip kesme donatılı ve donatısız bu döşemelerin kapasiteleri aynı çıkmıştır. Ancak nihai moment sonrası kesme donatılı döşemelerin deplasman kapasitesinde artış olduğu görülmüştür. Şekil 4.3c'de A3 ve B3 döşemelerinin grafikleri verilmiştir. B3 döşemesinin daha rijit davrandığı ancak nihai dayanıma ulaştıktan sonra A3 döşemesine göre daha erken göçtüğü görülmüştür. Nihai ve akma kapasitelerinin aynı deplasmanların farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca boşluk oranının %13.3 kadar artışı ile kesme donatılarının katkısının arttığı görülmüştür. Şekil 4.3d'de A4 ve B4 döşemelerinin grafikleri verilmiştir. A4 ve B4 döşeme moment kapasitelerinin aynı olduğu ancak deplasmanların farklı olduğu görülmüştür. Bu döşemelerde boşluk oranının %16.7'ye çıkması ile kesme donatılarının rijitliği artırdığı görülmüştür. B3 döşemesinde olduğu gibi nihai moment sonrası A4 döşemesine göre daha erken göçtüğü belirlenmiştir. Şekil 4.3e'de A5 ve B5 döşemelerinin grafikleri verilmiştir. Boşluk oranının %20 ile en yüksek olduğu bu döşemelerde kapasite en düşük çıkmıştır. Moment kapasitelerinin aynı olduğu ancak deplasmanların farklı olduğu görülmüştür. Kesme donatılarının bu döşemelerde az miktarda rijitliği artırdığı söylenebilir. A5 döşemesi kesme kırılması ile göçerken B5 döşemesinde bu kırılma görülmemiştir. Grafiklerde görüleceği üzere nihai moment sonrası bu kırılmanın grafik eğimini değiştirdiği görülmüştür. Bu bağlamda A5 döşemesinin daha erken ve ani bir şekilde göçtüğü görülmüştür. B5 döşemesinde kesme donatıları sayesinde ani kırılmanın önlendiği ve sünek kırılmanın sağlandığı söylenebilir.



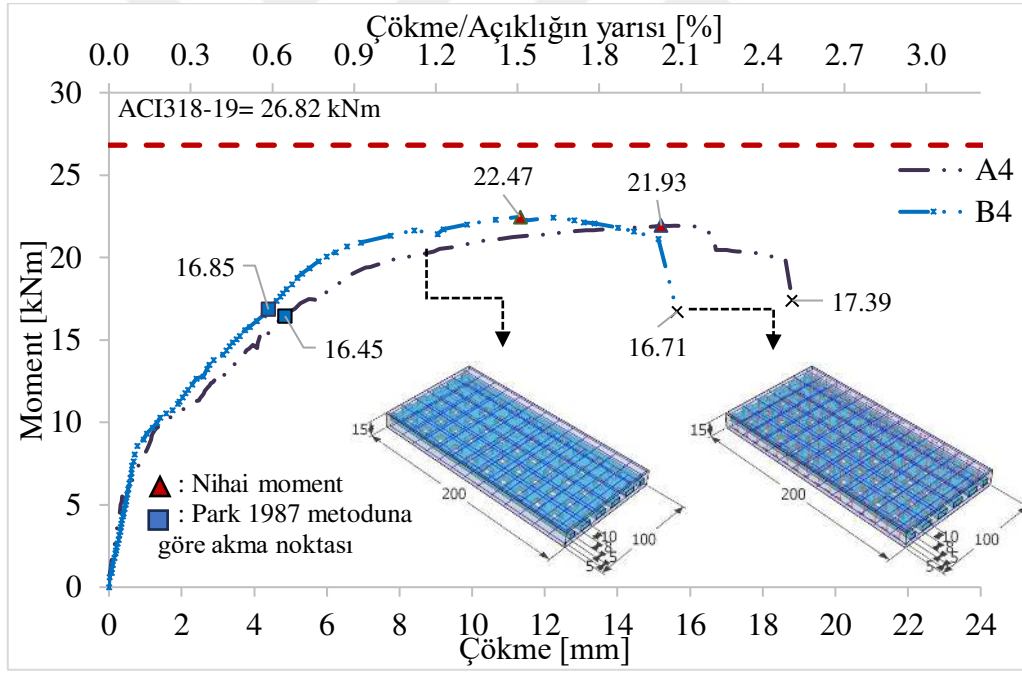
a)



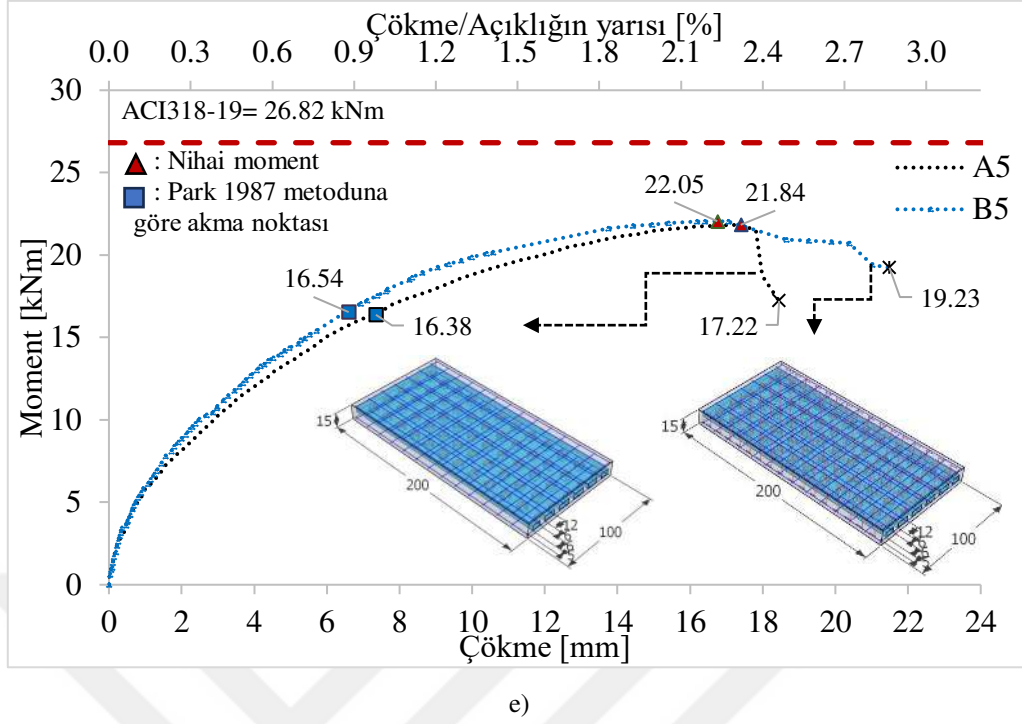
b)



c)



d)

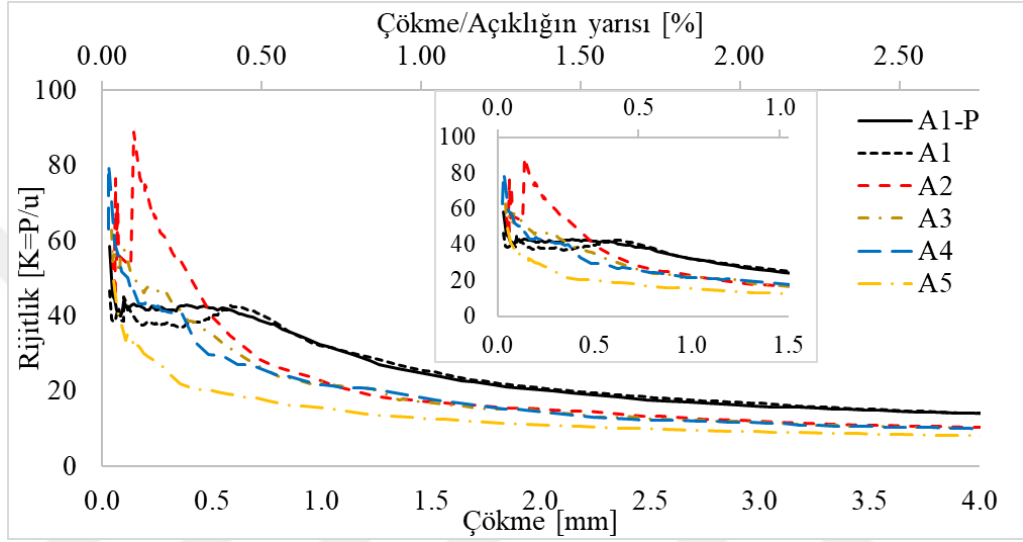


Şekil 4.3 Döşeme moment/çökme grafiklerinin karşılaştırılması a) A1, A1-P ve B1 döşemeleri b) A2 ve B2 döşemeleri c) A3 ve B3 döşemeleri d) A4 ve B4 döşemeleri e) A5 ve B5 döşemeleri

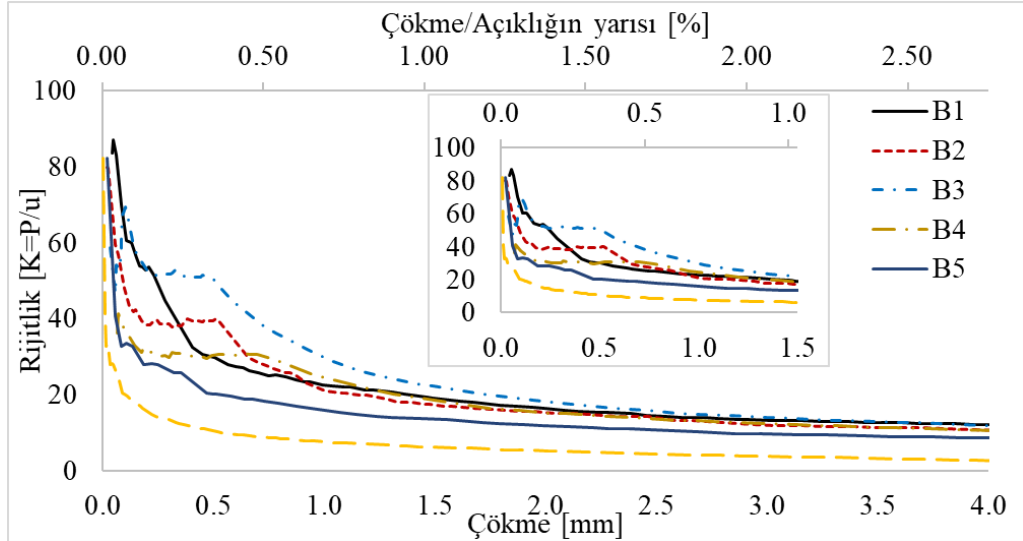
Döşeme eğilme davranışını anlamak ve rijitliğini değerlendirmek için denklem (4.6) ile rijitlikler hesaplanmıştır. Denklemden verilen K rijitlik, P yük ve Δ çökmedir (Chung vd. 2018). Şekil 4.4'te A grubu ve Şekil 4.5'te B grubu rijitlik grafikleri çizilmiştir. Kontrol döşemesi ile karşılaştırıldığında boşluklu tüm döşemelerde daha düşük rijitliğin olduğu görülmüştür. Şekil 4.4'te A2'den A5'e boşluk oranı arttıkça rijitlik düşmüştür. Bunun nedeni boşluk oranı arttıkça kesit atalet momentinin zayıflaması ve gerilme dağılımında süreksizliğin olmasıdır. Şekil 4.'te de aynı durum görülmüştür. Kesme donatısının kullanılması rijitliği bir miktar artırmıştır. Ancak genel olarak davranışın aynı olduğu sonucu çıkarılabilir. Boşluk arttıkça daha erken kırılma görülmüştür. Bu durumda döşemelerin servis ömrü boyunca boşluksuz döşemelere göre daha fazla deplasman yapacağı görülebilir. A1 ve A1-P kontrol döşemelerinde rijitlik 0.75 mm çökme değerine kadar, A2, A3 ve A4 döşemelerinde ise 0.4 mm'ye kadar sabit kalmış daha sonra düşmüştür. A5 döşemesi ise diğerlerinden farklı olarak 0.2 mm çökme değerine kadar sabit kalmıştır. Yaklaşık 4 mm çökme değerinden sonra tüm rijitlikler aynı olduğu için grafik sonlandırılmıştır. Ayrıca 1.5 mm çökme değerine kadar olan başlangıç rijitlik bölümü büyütülerek eklenmiştir. B1, B2 ve B3 döşemelerinde rijitlik 0.7-0.75 mm çökme değerine kadar sabit kalmış daha sonra çökmüştür. B4 ve B5 döşemelerinde ise rijitlik kademeli bir şekilde düşmüştür.

ACI318-19, Eurocode-2 ve TS 500 yönetmeliklerinde kiriş döşeme gibi elemanların eğilme momenti hesabında boşluklar dikkate alınmadan hesap yapılmaktadır. Ancak sonuçlardan görüleceği üzere boşluklu döşemelerin moment kapasiteleri düşmektedir.

$$K = \frac{P}{\Delta} \quad (4.6)$$



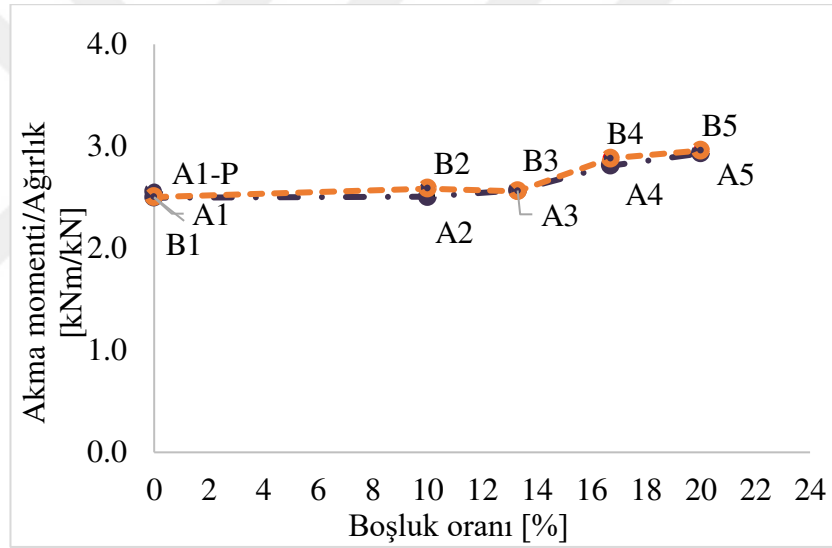
Şekil 4.4 A grubu döşemeleri rijitlik-çökme grafiği



Şekil 4.5 B grubu döşemeleri rijitlik-çökme grafiği

Döşemelerde bırakılan boşluklar ile nihai moment kapasiteleri arasındaki değişimini belirlemek için Şekil 4.6'taki grafik çizilmiştir. A ve B grubu aynı boşluk oranına sahip eşdeğer döşemelerin farklı akma momenti/ağırlık oranı gösterdiği şekilden

görülmektedir. B grubu döşemelerin kapasite yönünden azda olsa daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Her iki grupta da %13.3 boşluk oranına kadar döşeme performansı aynı kalmıştır. Boşluğun %16.7 ve 20'ye yükselmesi ile döşeme oldukça hafiflemiş ancak akma momenti çok düşmemiştir. Bu durumda bu döşemelerde performansın arttığı görülmüştür. A grubu döşeme performansları analitik çalışmada düşerken deneysel çalışmada artmıştır. Bu sonuç deneysel çalışmada analitikte olduğu gibi ani moment kayıplarının olmamasındır. Ayrıca betonarme elemanda orta kesitte kırılma sonrası yük dağılımının yeniden gerçekleştiği ve bu konunun farklı çalışmalarda araştırılması gerektiği önerilebilir. Deneysel çalışmaya göre döşemelerin belirli oranda hafifletilmesiyle performansın artırılabilirliği söylenebilir. Ancak deprem gibi titreşim yüklerinin hesabında güvenlik sınırlarına dikkat edilmelidir.



Şekil 4.6 Akma momenti/ağırlığın boşluk oranına göre değişimi grafiği

4.1 Çalışmanın Değerlendirilmesi, Kısıtlar ve Önerilen Çalışmalar

Bu çalışmada araştırılan boşluklu döşemeler hakkında kullanılabilirlik değerlendirildiğinde %16 boşluk oranına kadar kesme donatılı döşemelerin kullanılabileceği önerilmektedir. Bu boşluk oranından sonra kesme kritik duruma geçmektedir. Ayrıca kesme donatısız %16 (A4) boşluk oranına kadar döşeme moment çökme grafiklerinin %20'ye (A5) yakın olduğu ve kesme kırılması ile göçebileceği göz önünde bulundurulduğunda kesme donatılarının kullanılması gerektiği düşünülmektedir. Bu durumda B grubunda B4 döşemesine kadar boşluklu döşeme önerilmektedir. Çalışma ekonomik açıdan değerlendirildiğinde B4 döşemesi için beton

malzemesinde yapılan %22 ağırlık kaybı maliyeti dikkate değer ölçüde etkilememektedir. Bu bağlamda ekonomik yerine döşeme ağırlığının düşürülmesi ve performansa katkısı dikkate değer olduğu düşünülmektedir. Çok katlı ve geniş yapılarda döşeme ağırlığı oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle B4 döşemesine kadar bu döşemelerin kapasite ve ağırlık yönünden performanslı olduğu düşünülmektedir. Ancak gözden kaçırılmaması gereken bir durum var. Boşluklu döşemelerin akma moment noktaları kontrol döşemesine göre aynı olsa da çökme değerlerinin fazla olduğu görülmüştür. A grubunda kontrol döşeme akma noktası 2.5 mm'de iken boşluklu döşemeler 4.5 mm de çıkmıştır. Çalışmada merak edilen bir diğer konu boşluklu döşemeleri konut binalarında kullanabilir miyiz? Sonuçlara göre büyük açıklıklı ve yüksek yüklü olmamak üzere B4 döşemesine kadar boşluklu ve kesme donatılı döşemelerin kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu durumda akma momentinden düşük tasarım yükleri büyük çökmelere neden olmayacak ve döşeme güvenliği sağlanmış olacaktır. Kesme donatılarının kullanılması ve aşırı boşluk bırakılmaması nedeniyle döşeme rijit diyaframında büyük kayıpların olmayacağı düşünülmektedir. Ancak farklı çalışmalarda yanal yükler ile rijitliğin araştırılması önerilmektedir. Çalışmada boşluklu döşemeler yapı konforu sağlanabilir mi. B4 döşemesine kadar büyük kayıp vermeden sağlayacağı düşünülmektedir. A grubu boşluklu döşemeler için aynı durum söylenmeyebilir. Çünkü donatı miktarının fazla olması kesme güvenliği düşürmektedir. Boşluk oranı artıkça meydana gelen fazladan çökmeler sehim problemleri oluşturabilir. Genel olarak uygulamalarda prefabrik döşemelerin üretiminde boşluklu döşemelere rastlanmaktadır. Bunların farkı genellikle boşlukların döşeme altında olması, ön veya art germeli donatıların kullanılması ve yarı prefabrik üretilmesidir. Bu döşemelerde çoğunlukla boşluk kalınlığı fazla iken tez çalışmasında boşluk kalınlığı düşük alınmıştır. Polistiren köpükte genel ezilme meydana gelmemiştir. Bazı noktalarda donatılardan veya vibrasyon için yapılan sarsıntıdan dolayı lokal ezilme olmuş ve bu ezilme 1-2 cm'yi geçmemiştir. Deney öncesi daha düşük yoğunluklu polistiren köpük kullanılması planlanmaktaydı. Ancak ezilme faktörü olabileceği için yoğunluğu yüksek polistiren köpük kullanılmıştır. Çalışmada döşeme testleri üç noktada eğilme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 4 noktada eğilme deney yöntemi ile eğilme belirli alanda sabit kalmaktadır. Boşluklu döşemelerde sonuçların lokal değişikliklerden etkilenmemesi için 4 noktada deney yönteminin daha uygun olacağı önerilmektedir.

Çalışma sınırları gözden geçirildiğinde boşluk oranı maksimum %20 olan döşemeler araştırılmıştır. İlerleyen çalışmalarda boşluk oranı, orta kesit kalınlığı, polistiren köpük boyutları veya şekli değiştirilerek davranış gözlemlenebilir. Ayrıca kesme donatısı $\Phi 6$ çapında 10 cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Farklı çalışmalarda kesme donatısı aralıklarının değiştirilmesi gözlemlenebilir. Literatürde yapılan çalışmalarda çelik lif katkılı beton kullanılan döşemelerin moment kapasitelerinde artış olduğu gözlenmiştir. Farklı çalışmalarda bunların kombinasyonları araştırılabilir. Bu çalışmada beton ve çelik malzemesinde oluşan şekildeğiştirmelerin ölçülmesi için şekildeğiştirme ölçer (strain gauge) yerleştirilmemiştir. Gelecek çalışmalarda bunların kullanılması kesinlikle önerilmektedir. Buradan alınan ölçümler ile analitik çalışma sürdürülebilir. Ayrıca moment kapasiteleri hesaplanabilir ve moment/eğrilik grafikleri çizilebilir. Bu bağlamda döşeme davranışları daha kapsamlı bir şekilde incelenebilir.

5. SONUÇLAR

Yapılan doktora tezinde plak, asmolon veya kaset döşeme sistemlerine alternatif döşeme ağırlığının azaltıldığı boşluklu döşemeler hem analitik hem de deneysel araştırılmıştır. Boşluklu döşemeler alt ve üst katmanı beton orta katmanı belirli aralıklarla iki yönlü yerleştirilen polistiren köpüklerden oluşturulmuştur. Köpükler ile döşemelerde boşluk oluşturulmuş ve bu boşlukların eğilme davranışına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada beş adet döşeme analitik çalışması yapılmıştır. Ayrıca bir adet pilot ve 10 adet asıl olmak üzere toplam 11 adet döşeme deneyi gerçekleştirilmiştir. Asıl deneyler A ve B olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Her grupta bir adet referans, dört adet boşluklu döşeme yer almış ve boşluk oranı gittikçe artırılmıştır. Tüm döşemelerin karakteristik özellikleri eşit iken B grubu döşemelerde yalnızca düşey doğrultuda yer alan kesme donatısı kullanılmıştır. Döşemeler üç noktadan eğilme deney yöntemi ile araştırılmıştır. 34.62 MPa dayanımlı hazır beton ile akma dayanımı 504.90 MPa ve çekme dayanımı 558.15 MPa olan hasır çelik kullanılmıştır. Sonuçlara göre aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır.

- A ve B grubu döşemelerde boşluksuz referans döşemelerinin maksimum moment kapasiteleri daha yüksek bulunmuştur.
- A ve B grupları içerisinde boşluk oranı artmasına rağmen başlangıç rijitlikleri yaklaşık aynı kalmıştır.
- Deneyler öncesi analitik çalışmada görüldüğü gibi deney sonuçlarında A grubu boşluklu döşemelerde akma momenti sonrası ani dayanım kaybı görülmemiştir.
- Analitik çalışmada nihai momente ulaştıktan sonra grafikte düşme görülmezken deneysel çalışmada bu düşüş görülmüştür.
- Analitik çalışmada boşluk oranının yüksek olduğu A5 döşemesinde kesme çatlakları görülmezken deneysel çalışmada bu çatlaklar görülmüştür.
- Boşluk oranının %16.7 ve üstünde olduğu A grubu döşemelerde kesme çatlakları görülmüştür. %20 boşluk oranlı döşemede tamamen kesilme kırılması yaşanmıştır. Boşluk oranı artışı ile gevrek kırılma ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda büyük boşluk oranlı döşemeler daha kritik olmaktadır.
- Kesme donatılarının kullanıldığı B grubu döşemelerin kırılma türü kontrol altına alınmıştır. Böylelikle tüm döşemeler eğilme kırılmasıyla çökmüştür.

- Kesme donatılarının moment kapasitesini artırmadığı görülmüştür. Ancak çökme değerlerini artırarak döşemelerin daha sünek davranmasını sağlamıştır.
- Her iki grupta boşluk oranı arttıkça döşeme hafiflemiş ve performans artmıştır. Bu sonuç ile daha hafif döşemelerin yapılabileceği görülmüştür. Hafif döşemeler ile yapı ağırlığı azaltılabilir ve etkiyen deprem kuvvetleri düşürülebilir.

Son olarak döşeme ağırlığının belirli oranda azaltılabileceği ancak moment kapasitesinde düşüş olacağı ifade edilebilir. Plak, asmolen veya kaset döşemelere alternatif daha hafif döşemelerin kullanılabileceği söylenebilir. Ancak kesme donatıları ile güçlendirilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- ACI318-95, (1995). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI, American Concrete Institute). *ACI: Farmington Hills, MI, USA*.
- ACI318RM-19, (2019). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI, American Concrete Institute). *ACI: Farmington Hills, MI, USA*.
- Al-Gasham, T. S., Hilo AN. ve Alawsi MA. (2019). Structural behavior of reinforced concrete one-way slabs voided by polystyrene balls. *Case Studies in Construction Materials*, 11, e00292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00292>.
- Al-Gasham, T. S., Mhalhal, J. M. ve Abid, S. R. (2021). Quasi-static analysis of biaxial voided slabs with openings. *Structures*, (Vol. 33, pp. 4176-4192).
- Allawi A. A., ve Jabir H. A., (2016). Experimental Behavior of Laced Reinforced Concrete One Way Slab under Static Load. *Journal of Engineering*, Volume 22, Number 5.
- Calin S. ve Asavaia C. (2009). Method For Bubbledeck Concrete Slab With Gaps. *Technic. Gheorghe Asachi University*, Vol LV (LIX), Issue: 2
- Chinese Code (2010). National Standard of the People's Republic of China (Chinese Code GB 50010-2010).
- Chung J-H, Bae B-I, Choi H-K, Jung H-S. ve Choi C-S. (2018). Evaluation of punching shear strength of voided slabs considering the effect of the ratio b_0/d . *Engineering Structures*; 164:70–81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.02.085>.
- Chung, J. H., Choi, H. K., Lee, S. C. ve Choi, C. S. (2015). One-way shear strength of circular voided reinforced concrete floor slabs. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 168(5), 336-350.
- Chung, J. H., Jung, H. S. ve Choi, H. K. (2022). Flexural Strength and Stiffness of Donut-Type Voids Slab. *Applied Sciences*, 12(12), 5782.
- Eurocode 2 (2004). Design of Concrete Structures.
- Ferrer M., Marimon F. ve Michel Crisinel M. (2006). Designing cold-formed steel sheets for composite slabs: An experimentally validated FEM approach to slip failure mechanics. *Thin-Walled Structures*, 44;1261-1271. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2007.01.010>.
- Genikomsou A. S. ve Polak M. A. (2015). Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS. *Engineering Structures*, 98, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.04.016>.
- Giacinto D. D., Losanno D. Ruocco E. ve Grassia L. (2019). A Novel Steel-Concrete Composite Flooring System: Development and Preliminary Experimental Investigation. *The 4th World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering, ICSECT*, 19.142. <https://doi.org/10.11159/icsect19.142>.
- Gong, L., Chen, Z., Feng, Y., Ruan, S., ve Tu, L. (2021). Experimental study on an innovative hollow concrete floor system assembled with precast panels and self-

thermal-insulation infills. *Advances in Civil Engineering*, 1-13.

- Gravit M., Nedviga E. Vinogradova N. ve Teplova Z. (2017). Fire resistance of prefabricated monolithic slab. *MATEC Web of Conferences* 106, 02025 <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710602025>.
- Guo L., Mao, R., Liu, Z., Li, S., Wu, G. ve Wang, Z. (2020). Dynamic Large Deflection Response of RC Beams under Low-Speed Impact Loading. *Shock and Vibration*, 2020/8812890. <https://doi.org/10.1155/2020/8812890>.
- Hafezolghorani M., Hejazi F., Vaghei R., Saleh Bin Jaafar M. ve Karimzade K. (2017). Simplified damage plasticity model for concrete. *Structural Engineering International*, 27(1):68-78. <https://doi.org/10.2749/101686616X1081>.
- Ibrahim, A. M., Oukaili, N. K. A. ve Salman, W. D. (2013a). Flexural behavior and sustainable analysis of polymer bubbled reinforced concrete slabs. *In Fourth Asia Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2013)*, 11-13.
- Ibrahim A. M. Ali N. K. Ve Salman W. D. (2013b). Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs with Spherical Voids. *Diyala Journal of Engineering Sciences*, 6(4), 15-37. <https://doi.org/10.24237/djes.2013.06402>.
- İnce R. ve Alyamaç K. E. (2013). Betonun kırılma mekaniğinde çentikli küp yarma numunelerinin uygulama potansiyeli. *XVIII. Ulusal Mekanik Kongresi*. 269-279.
- İnce, R., Gör, M., Eren, M.E. ve Alyamaç K.E. (2015). The Effect of Size on the Splitting Strength of Cubic Concrete Members. *Strain*, 51, 135-146.
- J. Ryu, Y. K., Ju, S. W. Yoon ve S. D. Kim. (2013) Bending capacities of glass fibre reinforced plastic composite slab. *Materials Research Innovations*, 17: sup2, s12-s18. <https://doi.org/10.1179/1432891713Z.0000000000294>.
- Jabir, H. A., Mhalhal, J. M., ve Al-Gasham, T. S. (2021). Conventional and bubbled slab strips under limited repeated loads: A comparative experimental study. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00501.
- Kankeri, P., Suriya Prakash S, ve Pachalla SKS. (2018). Experimental and numerical studies on efficiency of hybrid overlay and near surface mounted FRP strengthening of pre-cracked hollow core slabs. *Structures*, 15, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.istruc.2018.05.003>.
- Kawamoto Y. ve Stepan J. (2015). Analytical study of reinforced concrete slab subjected to soft missile impact. *23. Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology Manchester*, 5, 10-14.
- Kaya S. ve Kesimal A. (2018). Tek eksenli sıkışma (basma) dayanımı deneyi, *KTU, Maden Müh., Kaya Mekaniği Lab., ders notları*.
- Khousani M.A., Zeynalıan M., Hashemi M., Mostofinejad D., Farahbod F. ve Shahadifar M.. (2021). A numerical study on flexural behavior of biaxial voided slabs containing steel cages. *Journal of Building Engineering*, 44:103382. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103382>.
- Khousani, M.A., Zeynalıan M., Hashemi M., Mostofinejad D. ve Farahbod F. (2019). Investigation of flexural and shear behaviors of biaxial voided slabs containing steel cages. *Structural Concrete*, 21(1), 291-302. <https://doi.org/10.1002/suco.201900129>.

- Kıpçak, F., Erdil B., Tapan M. ve Karaşin A. (2023). The Effect of Voids on Flexural Capacity of Reinforced Concrete Slabs. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 67(4), 1048–1065. <https://doi.org/10.3311/PPci.21988>.
- Kim, S H., (2012). Shear Strength of Void Slab with Polystyrene Forms. *Applied Mechanics and Materials*, 217-219, 626-629. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.217-219.626>.
- Kim, S. H., Lee, K.K. Lee, Han Seung Lee, K.J. ve Kang, In Seok. (2008). Bending and Shear Strength of I-Slab with Polystyrene Forms. *Key Engineering Materials*, 385-387, 353-356. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.385-387.353>.
- Kim, S. H. (2010). Flexural Behavior of Void RC and PC Slab with Polystyrene Forms. *Key Engineering Materials*, 452–453, 61–64. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.452-453.61>.
- Lee, C. H., Mansouri, I., Bae, J. ve Ryu, J. (2021). Current and New Approaches to Predict the Deflections of One-Way Flexural Members with a Focus on Composite Steel Deck Slabs Voided by Circular Tubes. *Materials*, 16;14(2):421. <http://dx.doi.org/10.3390/ma14020421>.
- Lee, J. ve Fenves G. L. (1998). Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures. *Journal of Engineering Mechanics*, 124(8): 892-900. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9399\(1998\)124:8\(892\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9399(1998)124:8(892)).
- Lee, C. H., Mansouri I., Kim E., Hwang K. S. ve Woo W. T. (2019). Flexural strength of one-way composite steel deck slabs voided by circular paper tubes. *Journal of Structural Engineering*, 145(2), 04018246. [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0002259](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0002259).
- Lubliner J., Oliver J., Oller S. ve Oñate, E. (1989). A plastic damage model for concrete. *Journal of Solids Structures*, 25(3), 299-326. [https://doi.org/10.1016/0020-7683\(89\)90050-4](https://doi.org/10.1016/0020-7683(89)90050-4).
- Moeeni, M. ve Langroudi J. R. (2022). Tension stiffening in reinforced concrete hollow core slabs. *Asian Journal of Civil Engineering*, 17;23(5), 635-47. <http://dx.doi.org/10.1007/s42107-022-00445-9>.
- Park, R. (1989). Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 22(3), 155-166. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.22.3.155-166>.
- Paunović S. Šutanovac A. ve Blagojević P. (2022). An alternative numerical model for fiber reinforced concrete strength evaluation, *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering*, 213-230. <https://doi.org/10.2298/FUACE220223017P>.
- Pawar, A. J., Mathew, N.S., Dhake, P.D., ve Patil, Y.D. (2022). Flexural behavior of Two-Way voided slab. *Materials Today: Proceedings*, 65(2), 1534-1545. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.500>.
- Petrović, Ž., Milošević B., Zorić A., Ranković S., Mladenović B. ve Zlatkov D. (2020). Flexural behavior of continuous beams made of self-compacting concrete (SCC)- Experimental and numerical analysis. *Applied Sciences*, 10:8654. <https://doi.org/10.3390/app10238654>

- Rewers, I. (2019). Numerical analysis of RCC beam with high strength steel reinforcement using CDP model. *Materials Science and Engineering*, 471: 022025. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022025>.
- Rocco, C., Guineae, G. V., Planas, J. ve Elices, M. (1995). The effect of the boundary conditions on the cylinder splitting strength, *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, Proceedings FRAMCOS-2, Zurich, Switzerland, 75-84.
- RYTEİE-2019 (2019). Riskli yapıların tespit edilmesine ilişkin esaslar. Çevre ve şehircilik bakanlığı, Türkiye.
- Sagadevan, R. ve Rao, B. N. (2019). Experimental and analytical investigation of punching shear capacity of biaxial voided slabs. *Structures*, 20:340-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.istruc.2019.03.013>.
- Simulia, 2016 (2016). ABAQUS 6.14 user's manuals. *Dassault Systems Simulia Corp.*
- Suseno, H., Soehardjono A., Wardana ING. ve Rachmansyah A. (2018). Performance of lightweight concrete one-way slabs using medium-K basaltic andesite pumice and scoria. *Asian Journal of Civil Engineering*, 18;19(4):473-85. <http://dx.doi.org/10.1007/s42107-018-0047-y>.
- TBDY-2018 (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- TS 708 (2010). Çelik-Betonarme İçin Donatı Çeliği. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- TS ISO 9194 (1997). Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar Depolanmış Malzemeler-Yoğunluk. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- TS-500/2000 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- TS-EN12390-6 (2010). Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- TS EN 206-A2 (2021). Beton- Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- Vacev, T. Andrija Z., Dušan G., Nenad R., Zoran G. ve Miloš M. (2023). Experimental and Numerical Analysis of Impact Strength of Concrete Slabs”, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 67(1), 325–335., <https://doi.org/10.3311/PPci.21084>.
- Viana, J.C., Matos, J.M. ve Câmara, N.D. (2017). “COBIAX” Voided Slabs and Post-Tensioned Flat Slabs: Competitive Analyses. (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi), *Instituto Superior Técnico*. Fenix Tecnico Ulisboa. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/1563345090415648/Extended%20Abstract%20-%20Versao%20final.pdf>
- Vimonsatit, V. Wahyuni, A., ve Nikraz, H. (2012). Reinforced concrete beams with lightweight concrete infill. *Scientific Research and Essays*, 7(27), 2370-2379. <https://doi.org/10.5897/SRE12.115>.
- Wang, Y., Liu H.T., Dou G.F., Xı C. H. ve Qian L. (2018). Experimental Study of

- Multi-Ribbed One-Way Composite Slabs Made Of Steel Fibre, Foam, And Normal Concrete. *Archives of Civil Engineering*, 64(2):79-96. <https://doi.org/10.2478/ace-2018-0018>.
- Wosatko, A., Winnicki A., Polak M. A. ve Pamin J. (2019). J. Role of dilatancy angle in plasticity-based models of concrete”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19,1268-1283. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2019.07.003>.
- Yardim, Y. (2008). *Development of lightweight composite slab system for residential building*. (Yayımlanmış Doktora Tezi), Malaysia, UPM; <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.10.011>.
- Yardim, Y., Waleed A.M.T., Saleh Jaafar M. ve Laseima S. (2013). AAC-concrete lightweight precast composite floor slab. *Construction and Building Materials*, 40: 405-410. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.10.011>.
- Yee, A. A. ve Hon, D. (2001). Structural and Economic Benefits of Precast/Prestressed Concrete Construction. *PCI Journal*, 1;46(4):34-42. <http://dx.doi.org/10.15554/pcij.07012001.34.42>.
- Yılmaz, Ç. S. ve İnce, R. (2016). Küp numunelerin yarmada-çekme dayanımında agrega granülometrisinin boyut değişimi üzerine etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*. 8(3), 443-451.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	KIPÇAK, Fırat
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	https://avesis.yyu.edu.tr/firatkipcak https://www.researchgate.net/profile/Firat_Kipcak

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	2018
Lisans	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	2016
Lise	Van Kâzım Karabekir Anadolu Lisesi	2012

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
4 yıl	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
1 yıl	Yapı Denetim Şirketi	Kontrol Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, B2 Orta

Yayınlar

1. Kıpçak F., Erdil B., Tapan M., Karaşin A. (2023) “The Effect of Voids on Flexural Capacity of Reinforced Concrete Slabs.” Periodica Polytechnica Civil Engineering, 67(4), pp. 1048–1065.
2. Kıpçak F., Erdil B. (2023) “Yığma yapıların düzlem dışı davranışlarına yan duvarın ve yan duvar boşluğunun etkisi.” Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt.12, sa.3, ss.853-860.
3. Kıpçak F., Tapan M., Erdil B., Karaşin A. (2023) “Boşluklu, Kesme Donatısı ile Güçlendirilmiş Betonarme Döşemelerin Analitik Değerlendirilmesi.” 9. Uluslararası Mühendislik ve Teknoloji Yönetimi Kongresi, İstanbul, Türkiye, 29 - 30 Nisan 2023, ss.798-807.
4. Kıpçak F. (2023) “Van Gedikbulak Bölgesinde Bulunan Bazalt Kayaçlarının Karayolu ve Demiryolu Yapımında Balast Malzemesi Olarak Kullanımı.” 11. Uluslararası

Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi, İstanbul, Türkiye, 10 Haziran- 12 Ağustos 2023, ss.1283-1292.

5. Kıpçak F., Tapan M., Karaşin A., Erdil B. (2023) “Polistiren Köpük ve Kesme Donatılı Betonarme Döşemelerin Deneysel Araştırılması.” 2nd International Conference On Scientific and Academic Research ICSAR 2023, Konya, Türkiye, 14- 16 Mart 2023, cilt.1, ss.274-277.

6. Kıpçak F., Karaşin A., Tapan M., Erdil B. (2023) “Boşluklu Betonarme Döşemelerde Boşluk Oranının Eğilme Kapasitesine Etkisinin Analitik Değerlendirilmesi.” 5. Uluslararası Mühendislik Bilimleri ve Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresi, İstanbul, Türkiye, 25- 26 Şubat 2023, cilt.1, ss.466-473.

7. Kıpçak F., Erdil B., Tapan M. (2019) “Effect of Mortar on Out of Plane Behavior of Masonry Walls.” 5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (5ICEES), Ankara, Türkiye, 8- 11 Ekim 2019, ss.1-8.

8. Erdil B., Kıpçak F. (2019) “Effect of Side-Wall Openings on Out-of-plane Behavior of Dry Stack Brick Walls.” 13th North American Masonry Conference, Salt Lake City, Amerika Birleşik Devletleri, 16- 19 Haziran 2019, ss.916-924.

9. Kıpçak F., Erdil B., Özdemir G. (2017) “Zal Paşa Camisi Özelinde Sismik İzolasyon Uygulamasının Tarihi Yapı Performansı Üzerindeki Etkinliğinin Deprem Büyüklüğüne Bağlı Değişimi.” Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, Trabzon, Türkiye, 2- 04 Kasım 2017, ss.493-501.

10. Kıpçak F., Erdil B., Özdemir G. (2017) “Zal Paşa Camisinde Sismik İzolasyon Uygulamasının Deprem Performansı Üzerindeki Etkinliğinin Faya Olan Uzaklığa Bağlı değişimi.” 4.Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye, 11- 13 Ekim 2017, ss.1-8.

Özel İlgiler

Spor, yüzme, kayak, yamaç paraşütü, motosiklet, bisiklet

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Fırat KIPÇAK
Öğrenci No	19806601
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği
Program Türü	Proje ☐ Yüksek Lisans ☐ Doktora ☒
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Mucip TAPAN
Tez Başlığı	Boşluklu Betonarme Kompozit Döşemelerin Taşıma Kapasitelerinin Deneysel Değerlendirilmesi
RAPOR BİLGİLERİ	
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası
Sayfa Sayısı	100
Raporlama Tarihi	01/12/2023
Benzerlik Oranı (%)	%4

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 100 sayfalık kısmına ilişkin, 01/12/2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından TURNİTİN isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %4 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç
☒Kaynaklar hariç
☐Alıntılar hariç/dâhil
☐Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Fırat KIPÇAK

Tarih: 05/12/2023

İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Abdulhalim KARAŞİN

İmza:

Tarih: 05/12/2023

Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Zeynel Fuat

İmza:

TOPRAK

Tarih: 05/12/2023