

Boşluklu Prefabrik Döşemelerin Eğilme Dayanımlarının Araştırılması

Seren İnan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos 2019



Investigation of Bending Strength of Hollow Core Slabs

Seren İnan

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

August 2019

Boşluklu Prefabrik Döşemelerin Eğilme Dayanımlarının Araştırılması

Seren İnan

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Mizan Doğan

Ağustos 2019

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı Yüksek Lisans öğrencisi Seren İnan'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Boşluklu Prefabrik Döşemelerin Eğilme Dayanımlarının Araştırılması” başlıklı bu çalışma jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca oybirliği ile değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Mizan Doğan

İkinci Danışman: ---

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Mizan Doğan

Üye: Dr. Öğretim Üyesi Hande Gökdemir

Üye: Prof. Dr. Gülgün Yılmaz

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Mizan Doğan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Boşluklu Prefabrik Döşemelerin Eğilme Dayanımlarının Araştırılması” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 19.08.2019

Seren İnan

ÖZET

Prefabrikasyonda kullanılan döşeme elemanlarından en çok tercih edileni öngerilmeli boşluklu döşemelerdir. Öngerilme teknolojisinin kullanılabilmesi sayesinde istenilen ölçüde geniş açıklıklar geçilebilir. Bu da yapının özellikle endüstri tesislerinde tercih edilirliliğini arttırmaktadır. Prefabrik yapılarda bu kadar önem arz etmelerinin sebebi; yapılarda hızlı imalat, daha büyük yük kapasitesi veya açıklık ve ısı yalıtımı gibi özellikleri sağlamalarıdır. Ayrıca içlerinde bulunan boşluklar sayesinde yapının büyük oranda hafiflemesini sağlamaktadırlar.

Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanları boyu boyunca uzanan dairesel kesitli boşluklara sahip, özellikle çekme bölgesinde öngerilme donatısı kullanılan bir yapı elemanıdır. Bu avantajların yanı sıra öngerilmeli boşluklu döşemeler içlerinde bulunan boşluklar nedeniyle diğer yapı elemanlarına göre daha farklı davranış sergilemektedirler ve bu davranışları saptamak oldukça zordur. Bu nedenle öngerilmeli boşluklu döşemelerin güçlendirilmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır.

Bu çalışmada ise öngerilmeli boşluklu döşemelerin içlerinde bulunan boşlukların çelik donatı ve çelik halatlar ile eğilme momentlerine karşı güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Deneylede 2 grup öngerilmeli boşluklu döşeme elemanı kullanılmıştır. Gruplardaki elemanların özellikleri aynıdır. Kendi içlerinde döşeme elemanları tekrar gruplandırılarak çelik tel ve halatlar ile güçlendirilerek dayanımları, şekil değiştirmeleri ve kırılma yükleri bakımından kıyaslanmıştır. Hazırlanan numuneler yükleme çerçevesi deney düzeneğinde hidrolik yükleme ünitesi yardımı ile yüklenerek deneye tabi tutulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Öngerilmeli boşluklu döşeme, Güçlendirme, Prefabrik döşemelerde güçlendirme

SUMMARY

The most preferred flooring elements used in prefabrication are prestressed hollow core slabs. With the use of prestressing technology in prefabrication, wide openings can be passed to the desired extent. This increases the preference of the building especially in industrial facilities. The reason why they are so important in prefabricated buildings is that they provide features such as fast manufacturing, larger load capacity or openness and thermal insulation in buildings. In addition, with the gaps in the structure to provide a large amount of lightening.

The prestressed hollow core slab elements are a structural element with a circumferential cross-sectional cavity that extends in length, in particular a tensile reinforcement in the drawing region. In addition to these advantages, prestressed hollow pavements exhibit a different behavior than the other structural elements due to the gaps in them and it is very difficult to determine these behaviors. For this reason, many studies have been carried out on strengthening prestressed hollow floors.

In this study, it is aimed to reinforce the cavities inside the prestressed hollow floors against steel reinforcement and steel ropes and bending moments. 2 groups of prestressed hollow flooring elements used for the experiments. The features of the groups are the same. They were regrouped together with steel wire and ropes to be strengthened, deformation and fracture loads. The prepared specimens were loaded and tested in the loading frame with the help of hydraulic loading unit.

Keywords: Prestressed hollow core slabs, Strengthening, Strengthening of prefabricated slabs

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında bilgi, tecrübe ve önerileriyle bana yol gösteren, hiçbir konuda yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Mizan Doğan'a, Araç. Gör. Ömer Karagöz ve Araç. Gör. Meltem Eryılmaz Yıldırım'a laboratuvar çalışmalarında yapmış oldukları yardımlardan dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek lisans eğitim sürecine dahil olmam için beni teşvik eden ve eğitim sürecim boyunca kendi bilgi, deneyimlerini karşılıksız olarak paylaşan ve mesleki anlamda yetkinliklerimi geliştirmemi sağlayan değerli Mustafa Tecik'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarında kullandığım malzemelerin tedarikinde ve eğitim sürecinde bana her zaman destek olan, çalışmakta olduğum firmam, Selka Prefabrik Anonim Şirketi'ne yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca eğitimim için her türlü fedakârlığı göstererek bugünlere gelmemi sağlayan değerli aileme ve özellikle babam Hakkı Karaoğlu'na, desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili eşim Kerem İnan'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. PREFABRİK YAPI SİSTEMİNİ OLUŞTURAN ELEMANLAR	9
3.1. Prefabrik Yapılarda Döşemeler	13
3.1.1. Öngerilmeli boşluklu döşemeler	14
3.1.2. Öngerilmeli boşluklu döşemelerin üretim sonrası aşamaları	18
3.1.2.1. <u>Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının istiflenmesi</u>	18
3.1.2.2. <u>Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının yükleme deneyi</u>	19
3.1.2.3. <u>Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının montajı</u>	21
3.1.2.4. <u>Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının mesnetlenmesi</u>	22
3.1.2.5. <u>Döşeme elemanlarının birleşimleri</u>	22
4. ÖNGERİLME	25
4.1. Öngerme Malzemeleri	25
4.1.1. Öngerme çeliği	25
4.1.2. Öngerme betonu	29
4.2. Öngerme Türleri	30
4.2.1. Öngermeli öngerilme	30
4.2.2. Ard germeli öngerilme	32
5. ÖNGERİLMELİ PREFABRİK BİR DÖŞEMENİN TASARIMI	35

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1. Öngerilme Kuvvetinin Belirlenmesi.....	35
5.2. Öngerilme Kuvveti Kayıpları	36
5.2.1. Betonun öngerilme esnasında elastik kısalması.....	36
5.2.2. Betonda rötre.....	36
5.2.3. Betonun sünmesi.....	36
5.2.4. Öngerme halatlarının gevşemesi.....	37
5.3. Gerilme Analizi.....	37
5.4. Taşıma Gücü	38
5.5. Kesme ve Birleşik Kesitte Kayma Hesapları.....	38
5.6. Sehim Kontrolleri	38
6. ÖNGERİLMELİ PREFABRİK BİR DÖŞEMENİN SAYISAL HESABI.....	40
7. MATERYAL VE YÖNTEM	46
7.1. Materyal	46
7.1.1. Yükleme çerçevesi	47
7.1.2. Hidrolik kontrol ünitesi ve yük hücresi.....	47
7.1.3. Gerinim pulları, bağlantı terminali ve bağlantı kabloları.....	48
7.1.4. Sehim ölçerler	49
7.1.5. Veri toplama cihazı ve veri toplama yazılımı	49
7.1.6. Öngerilmeli boşluklu döşemeler	50
7.1.7. Güçlendirme için kullanılan beton.....	51
7.1.8. Güçlendirme için kullanılan çelik donatı ve çelik halatlar	53
7.2. Yöntem.....	54
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
9. SONUÇ VE ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	78

ŞEKİLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Prefabrik sistem	9
3.2. Prefabrik kolon ve kiriş	10
3.3. Prefabrik makas ve aşık kirişi.....	10
3.4. Prefabrik çift T cephe	11
3.5. Prefabrik kreyn kirişi.....	12
3.6. Prefabrik köprü kirişleri.....	12
3.7. Prefabrik döşeme tipleri.....	13
3.8. Öngerilmeli boşluklu döşeme kesiti	15
3.9. Öngermeli boşluklu döşemenin halatlarını germe aşaması	17
3.10. Öngermeli boşluklu döşemenin döküm aşaması	17
3.11. Öngermeli boşluklu döşemenin istenen ebata göre kesilme aşaması.....	17
3.12. Öngermeli boşluklu döşeme kaldırma aparatı	18
3.13. Öngerilmeli boşluklu döşemelerin istiflenmesi.....	19
3.14. h=20 cm L=400 cm olan öngerilmeli boşluklu döşeme yükleme deneyi.....	20
3.15. h=24 cm L=800 cm olan öngerilmeli boşluklu döşeme yükleme deneyi.....	20
3.16. Öngerilmeli boşluklu döşeme montajı.....	21
3.17. Öngerilmeli boşluklu döşeme üzerine hasır çelik yerleştirilmesi.....	21
3.18. Boşluklu döşeme elemanları birleşim detayları.....	23
3.19. Öngerilmeli boşluklu döşeme orta birleşim detayı.....	23
3.20. Öngerilmeli boşluklu döşeme köşe birleşim detayı.....	24
3.21. Öngerilmeli boşluklu döşeme kolon ve kiriş birleşimi.....	24
4.1. Öngerilme halatı	26
4.2. Düz sarımlı ve çapraz sarımlı halat tipleri.....	27
4.3. Çelik Halat Kangal Sertifikası.....	28
4.4. Alıcı firmaya gönderilen çelik halat sertifikası	28
4.5. Öngerilmeli eleman durumları.....	31
4.6. Öngerilme telleri, çene aparatları ve öngerilme halat yerleşim plakası	32

ŞEKİLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. Ard gerilmeli eleman durumları	33
4.8. Ard germe uygulaması ve ard germe aparatları.....	34
4.9. Ard germe krikosu ve halat yerleşimi.....	34
7.1. Yükleme çerçevesi.....	46
7.2. Hidrolik kontrol ünitesi	47
7.3. Yük hücresi.....	48
7.4. Gerinim pulu, bağlantı terminali ve bağlantı kabloları.....	48
7.5. Sehim ölçer.....	49
7.6. Veri toplam cihazı ve veri toplama yazılımı	50
7.7. Deneylerde kullanılan öngerilmeli boşluklu döşeme tipleri.....	51
7.8. Deneylerde kullanılan döşemeler	51
7.9. Gerinim pulunun donatıya bağlanması ve izolasyonu.....	54
7.10. Döşeme boşluklarına donatı yerleştirilmesi ve beton ile doldurulması.....	57
8.1. 200 mm yükseklikteki döşemeler	59
8.2. 240 mm yükseklikteki döşemeler	61
8.3. BD20-3 numaralı döşeme.....	62
8.4. BD24-2 numaralı döşeme.....	62
8.5. BD24-3 numaralı döşeme.....	63
8.6. BD24-4 numaralı döşeme.....	63
8.7. BD20-1 numaralı döşeme modeli.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Prefabrik sistemi oluşturan elemanlar	9
3.2. Prefabrik öngerilmeli boşluklu döşemelerin minimum boyutları.....	15
3.3. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının istiflenmesi	19
3.4. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının mesnet mesafeleri.....	22
4.1. Öngerme halatı mekanik özellikleri	26
4.2. Beton Sınıfları ve Dayanımları.....	29
5.1. Beton Emniyet Gerilmeleri.....	37
5.2. Sehim Sınırları.....	39
7.1. Küp numunelerin beton basınç dayanım grafiği.....	52
7.2. Küp numunelerin beton basınç dayanımları	53
7.3. Çelik donatıların mekanik özellikleri	53
7.4. Deneylerde kullanılan döşeme tipleri	56
8.1. BD20 döşemeleri yük-deplasman grafiği	64
8.2. BD24 döşemeleri yük-deplasman grafiği	65
8.3. Deney sonuçlarının karşılaştırılması	66
8.4. Sehim değerlerinin karşılaştırılması	69
8.5. BD20-2 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği	70
8.6. BD20-3 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği	70
8.7. BD20-4 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği	71
8.8. BD24-2 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği	72
8.9. BD24-3 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği	72
8.10. BD24-4 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği	73
9.1. BD20 ve BD24 döşemeleri yük-deplasman grafiği.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler Açıklama

A	Döşeme elemanının kesit alanı
a	Döşeme elemanının boşluk genişliği
a ₁	Beton eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinliği
A _{ps}	Öngerilme donatısı toplam kesit alanı
b	Öngerilme elemanının boşlukları düşülmüş genişliği
b'	Yatay kaymada alınacak kesit genişliği
b _w	Döşeme elemanının gövde kalınlığı
C	Öngerilme halatının gevşeme hesabı için kullanılan katsayı
CR	Döşeme elemanında betonun sünmesinden meydana gelen kayıp
d	Beton basınç yüzünden, basınç donatısı ağırlık merkezine olan uzaklık
d ₁	Döşeme elemanının üst başlık kalınlığı
d ₂	Döşeme elemanının alt başlık kalınlığı
d _g	Derz harcının yapımında kullanılan agreganın en büyük anma tane büyüklüğü
d _p	Kompozit kesitin faydalı yüksekliği
ES	Döşeme elemanında halatın elastik kısılmasından meydana gelen kayıp
E _c	Betonun elastisite modülü
E _{ci}	Öngerme betonunun elastik kısılma için elastisite modülü
E _{cj}	J günlük betonun elastisite modülü
E _s	Çeliğin elastik kısılma için elastisite modülü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler Acıklama

e	Ön gerilme donatısının kesitin ağırlık merkezine mesafesi
e _a	Döşeme elemanının ağırlık merkezinin alt kenara mesafesi
e _ü	Döşeme elemanının ağırlık merkezinin üst kenara mesafesi
f ₁	Aktarma anında sadece öngerilmeden meydana gelen sehim
f ₂	Döşeme zati ağırlığından meydana gelen sehim
f ₃	Kaplama ağırlığından meydana gelen sehim
f ₄	Topping ağırlığından meydana gelen sehim
f ₅	Hareketli yüklerden meydana gelen sehim
f ₆	Döşeme zati ağırlığından ve öngerilmeden meydana gelen sehim
f ₇	Uzun süre depolama sonucunda meydana gelen sehim
f ₈	Uzun süre sabit yüklerden meydana gelen sehim
f ₉	Servis anında meydana gelen sehim
f ₁₀	Uzun süreli servis anında meydana gelen sehim
f ₁₁	Toplam sehim
f _{cds}	Döşeme zati ağırlığı hariç sabit yüklerden halatın merkezinde oluşan kuvvet
f _{cir}	Döşemede ilk öngerilme kuvvetinden halat merkezinde meydana gelen kuvvet
f _{ck}	Betonun 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı
f _{ckj}	J günlük betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
f _{ht}	Yatay kaymada çekme dayanımı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler Acıklama

f_{pd}	Öngerme donatısı hesap kopma dayanımı
f'_{pd}	Öngerme donatısı için azaltılmış hesap dayanımı
f_{pk}	Öngerme donatısının karakteristik kopma dayanımı
f_{ps}	Öngerme halatında germeden dolayı azaltılmış hesap dayanımı
f_{ps0}	Öngerme halatında aktarma anında oluşan azaltılmış hesap dayanımı
$f_{ps\infty}$	Öngerme halatında işletme anında oluşan azaltılmış hesap dayanımı
g	Toplam sabit ağırlık
g_k	Öngerme elemanının kaplama ağırlığından meydana gelen yük
g_t	Öngerme elemanının topping ağırlığından meydana gelen yük
g_z	Öngerme elemanının zati ağırlığından meydana gelen yük
h	Döşeme yüksekliği
I	Döşeme elemanının atalet momenti
J	Öngerilme halatının gevşeme hesabı için kullanılan katsayı
K_{cir}	Elastik kısalma hesabı için kullanılan katsayı
K_{cr}	Sünme kayıplarının hesabı için kullanılan katsayı
K_{es}	Elastik kısalma hesabı için kullanılan katsayı
K_{re}	Öngerilme halatının gevşeme hesabı için kullanılan katsayı
K_{sh}	Büzülme kayıplarının hesabı için kullanılan katsayı
L	Döşeme elemanının boyu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler Açıklama

L_h	Döşeme elemanının hesap boyu
L_m	Yükleme yapılan ilk noktanın döşemenin başlangıcına mesafesi
M	Öngerilme donatısında meydana gelen moment
M_{cr}	Eğilmeye çalışan kesitin çatlama dayanımı
M_d	Sabit yük ve hareketli yüklerin toplamından oluşan arttırılmış momenti
M_n	Kesitin eğilme momenti taşıma gücü
M_t	Döşeme elemanında aktarma anında oluşan moment
M_p	Döşeme elemanında toplam yüklerden oluşan moment
M_s	Döşeme elemanında işletme anında oluşan moment
M_y	Döşeme zati ağırlığı hariç sabit yüklerden meydana gelen moment
N	Eksenel kuvvet
N_{ps}	Öngerilme halatlarının azaltılmış hesap dayanımından meydana gelen kuvvet
P	Döşeme elemanının altında oluşan öngerilme kuvveti
p	Sabit yük ve hareketli yüklerin toplamı
P_{eft}	Öngerme halatındaki kayıplardan sonra aktarma anında meydana gelen öngerilme kuvveti
P_{efs}	Öngerme halatındaki kayıplardan sonra işletme anında meydana gelen öngerilme kuvveti
P_{ps}	Öngerilmenin betona aktarılmasından sonra meydana gelen öngerilme kuvveti

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Simgeler Acıklama

RE	Öngerilme halatının gevşemesinden meydana gelen kayıp
RH	Çevredeki görelî nem oranı
S	Döşeme elemanı çevre uzunluğu
SH	Döşeme elemanında betonun rötresinden meydana gelen kayıp
t	Zaman
TL	Toplam öngerilme kaybı
V_d	Hesap kesme kuvveti
V_r	Kompozit kesitin yatay kayma dayanımı
V_{res}	Kayma donatılı öngerilmeli betonun kesmede toplam taşıma gücü
q	Hareketli yük
W_a	Döşeme elemanının alt kenar için mukavemet momenti
$W_{\bar{u}}$	Döşeme elemanının üst kenar için mukavemet momenti
σ_b	Beton basınç güvenlik gerilmesi
$\sigma_{\check{c}}$	Beton çekme güvenlik gerilmesi
σ_{palt}	Döşeme elemanının toplam yüklerden alt kenarında oluşan çekme gerilmesi
σ_{talt}	Transfer anında kesitin altında oluşan gerilme
$\sigma_{tüst}$	Transfer anında kesitin üstünde oluşan gerilme
σ_{salt}	Servis anında kesitin altında oluşan gerilme
$\sigma_{süst}$	Servis anında kesitin üstünde oluşan gerilme

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**Simgeler Açıklama**

δ_d Öngerilme donatısının kesite oranı

τ_h Düşey kayma gerilmesi

Kısaltmalar Açıklama

CRRP Karbon-fiber Takviyeli Polimer

EB Harici bağlama

EN Avrupa normları

MPa Mega Paskal

NSM Yüzeye yakın montaj metodu

TS Türk Standartları

Yy Yüzyıl

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Prefabrik; yapıyı oluşturan elemanların yapı dışında, fabrika ortamında üretilerek şantiyede montajının yapılmasıyla birleştirilerek ortaya çıkan bir üretim tekniğidir. Prefabrik yapı sistemleri kolon, kiriş, döşeme, dere, aşık, fener, makas ve cephe elemanlarından oluşmaktadır.

Zaman içerisinde sanayileşmenin artmasıyla yapılarda kullanıma bağlı olarak daha büyük açıklıklara ihtiyaç duyulmuştur. Bu büyük açıklıkların betonarme sistemlerle geçilmesi mümkün olmadığı ve bu açıklıkları geçmeye imkân sağlayan çelik sistemlerin ise çok maliyetli olması sebebiyle prefabrik sistemler tercih edilmeye başlanmıştır. Prefabrik sistemler sayesinde geçilebilen büyük açıklıklar öngerilme tekniği kullanılarak daha da geniş açıklık şeklinde kullanılabilen ve özellikle üretim alanlarında sıklıkla tercih edilmektedir.

Dünyada prefabrikasyon ilk olarak 1624 yılında İngilizler tarafından balıkçı donanmaları için ahşap panolar kullanılarak yapılmıştır. Bu evler 18. Yy'da Avusturya'da askeri amaçlar için, 19. Yy'da ise Amerika'da 2. Dünya Savaşı sırasında kullanılmıştır. Savaşlar sonrasında yapı eksikliğini gidermek için en hızlı ve ekonomik çözümün prefabrikasyon olduğu fark edilmiştir. Zaman içerisinde endüstriyel alanda da prefabrikasyon uygulamalarına ağırlık verilmiştir (İlbay, 1992). Prefabrikasyonun ülkemizde görüldüğü ilk örnek 1940'lı yıllarda santrifüjlü beton direk üretimi ile olmuştur. 1960'lı yıllarda ise sanayi yapılarında kullanılmaya başlanmıştır. Sanayi yapılarının üretiminden sonra en önemli iki yapı 1961 yılında yapılan prefabrik ilkokullar ile 1964-1965'te yapılan Ereğli Demir Çelik Tesisleri lojmanlarıdır (Türkiye Prefabrik Birliği, TPB, 1984). Türkiye'de prefabrikasyonun gelişmeye başlamasından sonra 1984 yılında Ankara'da Türkiye Prefabrik Beton/Betonarme Yapı ve Elemanı Üreten Kuruluş Mensupları Birliği, kısa adıyla Türkiye Prefabrik Birliği kurulmuştur. Kuruluşun amacı ülkemizde prefabrikasyonu tanıtmak, yaygınlaştırmak, teknolojik altyapısını oluşturmak, mesleki ilerleme ve dayanışmayı sağlamak suretiyle üyelerinin teknik ve ekonomik gelişmelerini ulusal çıkarlar doğrultusunda yönlendirmek ve yapılan yapıların standartlar doğrultusunda kontrollerinin sağlanmasıdır. Literatürde prefabrik sistemlerin aşamaları

vardır. Bu aşamalar; proje tasarımı, prefabrik elemanların üretimi, üretilen elemanların nakliyesi ve bu elemanların montajı olmak üzere dört bölüm şeklinde tanımlanmıştır. Prefabrik sistemlerin ilk aşaması olan proje tasarımı aşamasında taşınmazın kullanım amacı, projenin maliyetleri, taşınmazın sahibinin beklentileri göz önünde bulundurarak yapılan mimari tasarıma uygun olacak şekilde bilgisayar destekli tasarım programları aracılığı ile çözüm gerçekleştirilerek çizim yapılır. İkinci aşama olan prefabrik elemanların üretiminde yapılan çizimlerin ölçümlerine göre kalıpları ayarlanır ve eleman üretimi başlamış olur. Elemanların ebat ve tonajlarına uygun şekilde nakliye araçları ayarlanarak şantiye alanına sevki gerçekleştirilir ve montaj aşamasına geçilerek proje tamamlanır.

Türk Standartları Enstitüsüne göre prefabrik sistemlerin her aşamasında tasarım hesaplarının yapılması gerekmektedir. Yapının oluşumu göz önüne alındığında bu standartlara uygunluğu büyük önem arz etmektedir. Prefabrik sistemlerin proje tasarımından montajına kadar olan tüm sürecinde hesaplamalar ayrıntılı ve net yapılmalı ve bu sayede tüm projenin sağlıklı ilerlemesi amaçlanmaktadır.

Her sistemin avantaj ve dezavantajları olduğu gibi prefabrik sistemlerin de avantajlı ve dezavantajlı olduğu durumlar mevcuttur. Prefabrik sistemlerin avantajları;

- Üretimde kalıp bir kez hazırlanır ve aynı kalıbın kullanılmasıyla seri üretim gerçekleşir. Bu da kalıp maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olur,
- Proje aşamasında öngörülen maliyetler ile üretimde gerçekleşen maliyet değerleri birbirine çok yakın olduğu için bütçe aşımı neredeyse gerçekleşmez,
- Yapılış süresi yerinde döküm inşaata göre daha kısadır. Bu nedenle yatırımcıya amortismanı kolay olur,
- Malzemeler ve üretilen elemanlar fabrika alanında stoklandığı için ekstra depolama maliyetleri oluşmaz,
- Klasik inşaat yöntemlerine göre makineleşmeden daha çok faydalanılabilir ve malzeme giderlerinin azalmasıyla beraber insan gücünden en yüksek oranda verim elde edilebilir,
- Otomasyon sebebiyle üretim hızında artış meydana gelir,
- Kapalı fabrika ortamında kış aylarında da üretim yapılabilirdiği için işte duraksama meydana gelmez,

- Montaj sahası hazır olmasa bile üretim alanındaki imalata başlanması ve devam edilmesi olanağı vardır,
- Bina yapımından önce tüm elemanlar en ince ayrıntısına dek planlanıp tasarlanabildiği için yüksek kalite olanağı sağlar,
- Üretildikleri alanın uygunluğu sebebiyle kür koşulları optimum seviyede yapılabilir,
- Öngerilme teknolojisi kullanılabilmesi sayesinde istenilen ölçüde geniş açıklıklar geçilebilir. Bu da yapının özellikle endüstri tesislerinde tercih edilirliliğini arttırmaktadır.

Prefabrik sistemlerin dezavantajlarından bazıları ise;

- Prefabrik sistemlerde özel ekipmanlar kullanıldığı için yatırım maliyetleri yüksektir. Bu nedenle küçük ve orta düzeydeki yatırımcılar açısından yapıyı finanse etmek zorlu olabilir,
- Karayolları Genel Müdürlüğü'nün belirlemiş olduğu yük taşıma limitleri sebebiyle uzak bölgeler olması durumunda maliyet avantajını yitirebilir,
- İnşaat sektöründe prefabrike yapıların otomasyona elverişli olması sebebiyle insan gücü kullanımının büyük oranda azalarak işsizliğin artma ihtimalini meydana getirmesi,
- Özel ekipmanların kullanılması sebebiyle nitelikli iş gücüne ihtiyacın olması,
- Proje ekipleri, üretim ve montaj ekipleriyle koordineli çalışmadığı durumlarda stoklama, zaman, personel ve nakliye problemleri gibi kritik önem taşıyan konularda sorunlar yaşayabilir,

Prefabrik sistemlerin dezavantajları olmasına karşın yine de avantajlarının maliyet, kalite ve tamamlanma hızı gibi fonksiyonlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sebeple prefabrik sistemler inşaat sektöründe yaygın olarak tercih edilmektedir.

Öngerilmeli boşluklu döşemeler genellikle 1200 mm genişliğinde üretilmektedir ve statik hesapları bu genişlik için yapılmaktadır. Döşemelerin yapılarıdaki ara kat projelerine bağlı olarak daha küçük genişliklerde olması gerekebilir. Bu durumlarda 1200 mm genişliğinde döşemeler kesilerek daha küçük genişlikler elde edilmektedir. Parça döşemelerin kesim işleminden sonra deneylerde kullanmış olduğumuz 200 mm yüksekliğe

sahip döşemeler gibi boşluğu açıkta kalan durumlar ortaya çıkabilmektedir. Özellikle bu gibi durumlarda döşemelerin boşlukları beton ile doldurulup içlerine donatı yerleştirilmektedir. Bu işlemlerdeki amaç dayanımı azalan döşeme parçasının zayıflayan kesitin eğilme mukavemetinin artırılmasıdır. Yapmış olduğumuz bu deneysel çalışmalarda 200 mm ve 240 mm yüksekliğe sahip 580 mm genişliğinde olan parça döşemeleri farklı kombinasyonlar ile eğilme momentlerine karşı güçlendirmeyi amaçlanmıştır. Son amaç ise literatüre katkıda bulunmak ve bu yapı elemanını en iyi şekilde tasarlamaktır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Öngerilmeli boşluklu döşemeler yaygın olarak dağılmış yükler altında eğilme momentlerine karşı tasarlandıkları için eğilme mukavemetleri büyük önem taşımaktadır. Tasarlanan bu elemanlar her ne kadar mükemmel performans sergileseler bile dış etkilerden, ortamın korozyonundan zaman içerisinde olumsuz etkilenebilirler. Xinghua Li vd. (2018) bu sebep ile bu elemanların yük taşıma kapasitelerini iyileştirmek veya arttırmak için, deneysel bir çalışma yapmıştır. Öngerilmeli boşluklu döşemeleri güçlendirmek için bu deneysel çalışmada çelik halatlar ve donatılar kullanılmıştır. Özellikle çelik halatlar yüksek mukavemete sahip oluşları hafifliği ve esnekliği sebebiyle betonarme elemanlarda güçlendirme yöntemlerinde ümit vaat eden bir malzemedir. Deneyslerde 6 adet 0,425 m genişliğinde 3,96 m uzunluğunda ve 120 mm yüksekliğinde aynı tip öngerilmeli boşluklu döşeme kullanılmıştır. Bu numunelerden birincisi kontrol numunesi olarak belirlenmiştir. İkinci numunede boşlukların içerisine 1'er adet olmak üzere toplamda 4 adet çelik donatı konulmuş ve delikler beton harcı ile doldurulmuştur. Üçüncü numunede boşlukların içerisine 1'er adet olmak üzere 2 adet çelik donatı ve 2 adet çelik halat konulmuş ve delikler beton harcı ile doldurulmuştur. Dördüncü numunede boşlukların içerisine 1'er adet olmak üzere toplamda 4 adet çelik halat konulmuş ve delikler beton harcı ile doldurulmuştur. Beşinci numunenin alt kısmına 4 adet çelik halat konulmuş ve 20 mm yüksekliğinde beton ile alt kısım kaplanmıştır. Altıncı numunede boşlukların içerisine 1'er adet döşemenin alt kısmına da 4 adet olmak üzere toplamda 8 adet çelik halat konulmuş ve delikler beton harcı ile doldurulmuştur. Konulan çelik donatı ve halatların sabitlenmesi amacı ile döşemelerde boşluklar açılmıştır. Çelik halat konulan numunelerde ankraj elemanları yerleştirilmiş ve bu donatılar ankraj elemanlarına bağlanmıştır. Çelik donatı konulan elemanlarda döşemelerin alt kısımlarına delik açılarak donatılar döşemelerin alt kısımlarına yerleştirilen plakalara kaynaklanmıştır. Döşemeler üzerine çelik kiriş yardımı ile iki noktadan yükleme yapılmış ve değerler gerinim pulları yardımı ile okunmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında boşluklara yerleştirilen çelik donatılı ve çelik halatlı numunelerde eğilme kapasitesinde artış olmuştur. İkinci numune kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında sünekliğinin iyileştirildiği gözlenmiştir. Dördüncü numunenin ikinci numuneden daha küçük genişlikte çatlaklara sahip olduğu gözlemlenmiştir. Beşinci numunenin çatlak genişliği ise dördüncü numuneden daha

küçüktür. Ayrıca beşinci numunenin sünekliği birinci numuneye göre azalmıştır. Altıncı numune en yüksek eğilme kapasitesine ve en küçük çatlak genişliğine sahip olan numune olmuştur. Bununla birlikte bu numune dördüncü numune ile neredeyse aynı sünekliğe sahiptir. Buradan da çelik halatların belirli bir durumdan sonra sayısındaki artışın elemanın sünekliğinin artmasında etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

S. Suriya Prakash vd. (2017) tarafından yapılan deneysel çalışmada Karbon-fiber Takviyeli Polimer (CFRP) şeritleri ile Yüzeğe Yakın Montaj Metodu (NSM) ve Harici Bağlama (EB) yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemde yükleme yapılan ilk noktanın döşemenin başlangıcına mesafesinin, döşeme yüksekliğine (L_m/h) oranlarını kıyaslayarak, öngerilmeli boşluklu döşemelerin yapıdaki kullanımı göz önünde bulundurularak kaplama betonlu ve betonsuz olarak farklı şekillerde yöntemler seçilmiştir. Deneysel çalışmaların amacı öngerilmeli boşluklu döşemelerin kaplama betonları ile birlikte çalıştığı ve yalın halde bulunduğu durumlarda yapılan güçlendirme tekniklerinden hangilerinin kesme ve eğilme dayanımlarının artış gösterdiğini incelemektir. Deneylerde 16 adet 0,60 m genişliğinde 3,50 m uzunluğunda ve 150 mm yüksekliğinde aynı tip öngerilmeli boşluklu döşeme kullanılmıştır. 25 mm genişliğinde 1,40 mm kalınlığında CFRP şeritleri kullanılmıştır. İki tip L_m/h oranına göre döşemeler ayrılmıştır. Yüksek L_m/h oranına sahip olan döşemelerin yükseklikleri yüzeyleri pürüzlendirerek üzerlerine döşemeler ile birlikte çalışmalarının sağlanması için demir ankre edilmiş ve 50 mm kalınlığında kaplama betonu dökülmüştür. Her iki grupta da birer kontrol numunesinde hiçbir işlem yapılmamış, diğer numunelerde EB yöntemi ve NSM yöntemleri kullanılarak CFRP şeritleri ile güçlendirme yapılmıştır. Deneyde numuneler çelik kiriş yardımı ile iki noktadan yükleme deneyleri yapılmış ve gerinim pulları ile değerler kaydedilmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde CFRP şeritleri ile güçlendirilmiş numunelerin, yüksek L_m/h oranına sahip numunelerin düşük L_m/h oranına sahip numunelere göre daha yüksek dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir. Düşük L_m/h oranına sahip NSM yöntemi uygulanan numuneler kontrol numunesi ile kıyaslandığında dayanımının %49,4 oranında arttığı, EB yöntemi uygulanan numunelerin dayanımının ise %16,9 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek L_m/h oranına sahip NSM yöntemi uygulanan numuneler kontrol numunesi ile kıyaslandığında dayanımının %68,9 oranında arttığı, EB yöntemi uygulanan numunelerin dayanımının ise %87,6 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Sameer Kumar vd. (2016) tarafından yapılmış olan çalışmada öngerilmeli boşluklu döşemelerde oluşabilecek çeşitli servis gereksinimlerinden kaynaklanan boşlukların CFRP ile NSM ile güçlendirilmesi çalışılmıştır. Öngerilmeli boşluklu döşemelerde açılan bu tarz boşluklar döşemenin geometrisini bozduğu için döşemelerde yük dağılımı bozulmakta ve dayanım problemleri meydana gelmektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada öngerilmeli boşluklu döşemelerin dayanımlarını geri kazanabilmesi için CFRP şeritleri kullanılarak NSM yönteminin etkinliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda 10 adet 1,20 m genişliğinde 3,50 m uzunluğunda ve 150 mm yüksekliğinde aynı tip öngerilmeli boşluklu döşeme kullanılmıştır. Döşemelerde aynı ebatlarda boşluklar açılmıştır. Boşlukların döşemelerin eğilme ve kesme kapasitelerine etkisini değerlendirmek için orta açıklık ve kesme açıklığı bölgelerinde olmaları sağlanmıştır. Açılan bu boşlukların yerlerine göre döşemeler a/d oranlarına göre iki gruba ayrılmıştır. Döşemeler 4 adet 1,40 mm kalınlığında 25 mm genişliğinde CFRP şeritleri ile altlarında açılan 4 mm genişliğinde ve 37 mm derinliğindeki oyuklara yerleştirilerek güçlendirme sağlanmıştır. Döşemeler üzerinde çelik kiriş yardımı ile 2 adet I kiriş ile enlemesine yüklemeler yapılmıştır. Gerilmelerin ölçümleri için gerinim ölçerler kullanılmıştır. Deneylerde öngerilmeli boşluklu döşemelerde açılan boşlukların döşemelerin nihai dayanımını azalttığı ve NSM tekniği ile CFRP şeritleri kullanılarak yapılan orta ve kesme açıklıklarında %44 oranında azalma meydana geldiği görülmüştür. Genel olarak bakıldığında ise boşluk açılan öngerilmeli boşluklu döşemelerde eğilme ve kesme açıklığında %34 oranında azalma gözlemlenmiştir.

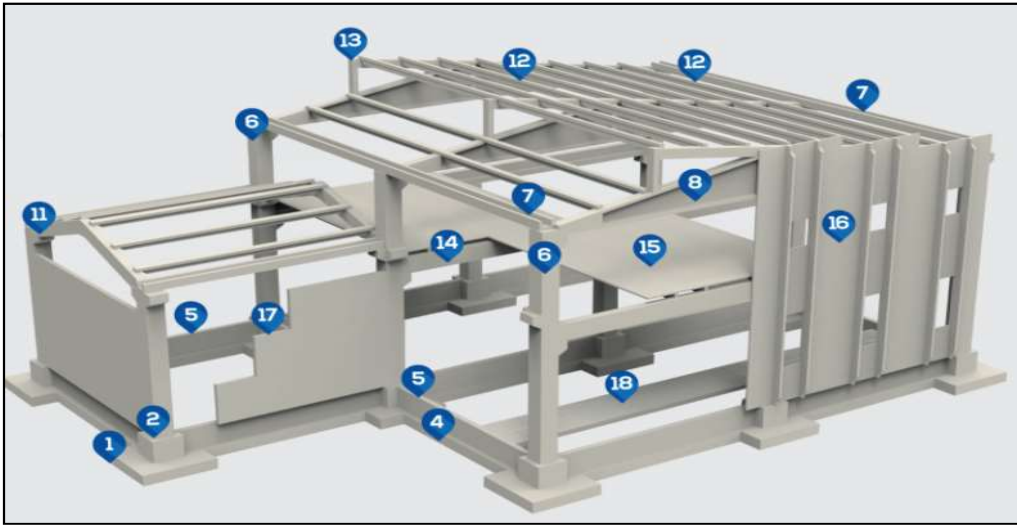
F. Elgabbas vd. (2009) tarafından yapılan akademik çalışmada öngerilmeli boşluklu döşemelerin pozitif eğilme mukavemeti optimizasyonu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada toplamda 6 adet 1,20 m genişliğinde, 3,55 m uzunluğunda ve 120 mm yüksekliğinde aynı tip öngerilmeli boşluklu döşemeler kullanılmıştır. Döşemelerden 1 tanesi güçlendirilmemiş numune olarak kullanılmış diğer 5 adedi ise CFRP şeritleri ile farklı şekillerde güçlendirme yapılarak deneye tabi tutulmuştur. Birincisi 25 mm genişliğinde 1,2 mm kalınlığında iki adet CFRP şeridi ile NSM metodu ile, ikincisi 16 mm genişliğinde 2 mm kalınlığında iki adet CFRP şeridi ile NSM yöntemi ile, üçüncüsü 50 mm genişliğinde 1,2 mm kalınlığında iki adet CFRP şeridi ile NSM metodu ile, dördüncüsü 50 mm genişliğinde 1,2 mm kalınlığında iki adet harici bağlı CFRP şeridi ile, sonuncu ise dördüncü numunenin düzeneğine ek olarak 50 mm genişliğinde 1,2 mm kalınlığında iki ara yanal CFRP şeridi ile güçlendirilmiştir. Döşemeler üzerine çelik kiriş

yardımları ile iki noktadan yükleme yapılmış ve gerinim ölçerler yardımı ile veriler elde edilmiştir. Deneysel sonuçlarına bakıldığında tüm döşemelerde güçlendirme yapılan bölgelerde oluşan çatlaklarda azalma gözlemlenmiştir. NSM metodu uygulanan deneklerde sertleşmenin daha fazla olduğu belirlenmiştir. NSM tekniğinin dayanım ve çatlamalara karşı daha verimli olduğu gözlemlendiği halde harici olarak bağlanan CFRP güçlendirme şeritlerinin döşemelerin kullanım şekillerinden kaynaklı olarak daha verimli olacağı sonucuna varılmıştır.

Abdelhadi Hosny vd. (2006) yaptıkları çalışma önerilmeli boşluklu döşemelerde oluşabilecek negatif momentleri kapsamaktadır. Önerilmeli boşluklu döşemeler genellikle kirişler üzerine oturduğu ve mesnetlenme bölgelerinden bu şekilde desteklendiği için pozitif eğilme momentlerine maruz kalmaktadırlar. Bu davranışları kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Fakat döşemelerin yapıda tasarlanması aşamasında döşemede bir çıkma mimari zorunluluklardan dolayı meydana gelebilir. Bu durumda önerilmeli boşluklu döşemeler negatif momentlere maruz kalacaktır. Bu çalışmada önerilmeli boşluklu döşemelerin negatif momentlere karşı direncini arttırmak için CFRP şeritleri ile güçlendirme sağlanmaya çalışılmıştır. Deneysel olarak 1,20 m genişliğinde 5,00 m boyunda 150 mm yüksekliğinde 9 adet önerilmeli boşluklu aynı tip döşeme kullanılmıştır. Güçlendirme amaçlı 100 mm genişliğinde 1,40 mm kalınlığında CFRP şeritleri kullanılmıştır. Deneysel olarak 6 adet CFRP ile güçlendirilmiş döşeme ve 3 adet kontrol örneği kırılmıştır. CFRP ile güçlendirilen 6 adet önerilmeli boşluklu döşemeler ikişerli gruplar ve bir adet kontrol örneği olmak üzere üçerli gruplara ayrılmış ve gerinim ölçerler her bir grup için belirlenen noktalara bağlanmıştır. Önerilmeli boşluklu döşemeler çelik kirişler yardımı ile iki noktadan yüklenerek negatif ve pozitif momentlere maruz bırakılmış ve sonuçlar karşılaştırıldığında negatif momentlere karşı direncin oran olarak %183'den %225'e ve %277'den %574'e arttığı gözlemlenmiştir.

3. PREFABRİK YAPI SİSTEMİNİ OLUŞTURAN ELEMANLAR

Prefabrike sistemleri oluşturan elemanlar montaj sırasıyla kolon, kiriş, döşeme, dere, makas, aşık, fener ve cephedir. Prefabrik sistemi oluşturan bazı yapı elemanları Şekil 3.1'de görülmektedir ve bu sistemde bulunan elemanların isimleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Prefabrik sistem (Anonim, 2019)

Çizelge 3.1. Prefabrik sistemi oluşturan elemanlar

1-Temel	2-Soket	4- Tekmelik perde temeli	5- Tekmelik perde	6-Kolon	7-Dere	8-Çatı makası	10-Kreyn kirişi
11-V kirişi	12-Aşık	13-Fener	14- Döşeme	15-Çift T döşeme	16-Çift T duvar paneli	17-Yatay duvar paneli	18-Izgara

Kolon; çatı, ara kat ve vinç kirişlerinin taşıdığı yüklerin temele aktarılmasını sağlayan yapı elemanıdır. Kiriş; kolonlar arasında sistemin birlikte çalışmasını sağlayarak yatayda döşemelerden gelen yük aktarımını gerçekleştiren elemandır. Şekil 3.2'de kolon ve kiriş elemanları görülmektedir.



a)

b)

Şekil 3.2. (a) Prefabrik kolon ve (b) kiriş

Döşeme; binayı katlara bölen, üstüne gelen yükü, kendi ağırlığını taşıyarak yapının diyafram çalışmasını sağlayan ve mesnetlere aktaran yapı elemanıdır. Dere; makaslara dik yönde kolonlara bağlanarak yapıdaki yağmur suyunu giderlere taşımaya yardımcı olan prefabrik yapı elemanıdır. Makas; yapıdaki geniş açıklığı geçmeye yarayan ve çatıya eğimini veren taşıyıcı elemanlardır. Aşık; makaslara dik yönde monte edilen ve çatı kaplamasını taşıyan yatay elemandır. Şekil 3.3’de makas ve aşık görülmektedir.



Şekil 3.3. Prefabrik makas ve aşık kirişi

Sundurma; çatıda makasların kullanılmadığı yerlerde veya tek yönde eğim istenildiğinde kullanılan yatay elemanlardır. Fener; yapıda maksimum düzeyde güneş ışığından yararlanılması adına veya havalandırma amacıyla yapılan makasların üzerine yerleştirilen yapı elemanıdır. Cephe; prefabrik binaların dışını kapatmak veya bina içerisinde bölme duvar oluşturmak amacıyla yatay ya da düşey olarak üretilebilen yapı elemanlarıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Prefabrik çift T cephe

Kreyn; prefabrik yapılarda yapı içerisinde yük taşıma ve yer değiştirme amaçlı kullanılan vinçlerin hareket ettiği raylı sistemin montajının yapıldığı taşıyıcı kirişlerdir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Prefabrik kreyn kirişi (Anonim,2019)

Köprü kirişi; ulaşırmada kullanılan sanat yapılarının geniş açıklıklı yerlerinde uygulanan bir prefabrik elemandır (Şekil 3.6).



a)

b)

Şekil 3.6. Prefabrik köprü kirişleri, a)Montajı tamamlanmış kirişler, b)Montaj aşaması

3.1. Prefabrik Yapılarda Döşemeler

Döşeme elemanları; yapıda kendi ağırlığını ve üzerine gelen yükleri taşıyarak kirişlere aktaran bir eleman olduğu için yapıda stabiliteyi sağlayan en önemli elemanlardır. Döşeme elemanlarının çeşitleri vardır. Kullanım şekline ve geçtikleri açıklıklara göre elemanların boyutları ve tipleri değişebilir, öngermeli ya da öngermesiz olarak üretilebilirler.

Betonarme döşeme elemanları sahip oldukları kesitin geometrik formuna göre 7 gruba ayırmak mümkündür;

- Boşluklu döşemeler (Şekil 3.7.a-b-c-d)
- Kaset döşemeler
- U döşemeler
- Çift T döşemeler (Şekil 3.7.e)
- T döşemeler
- Düz döşemeler (Şekil 3.7.f)
- Kompozit betonarme döşemeler
 - Asmolen Döşemeler
 - Filigran Döşemeler (Şekil 3.7.g)

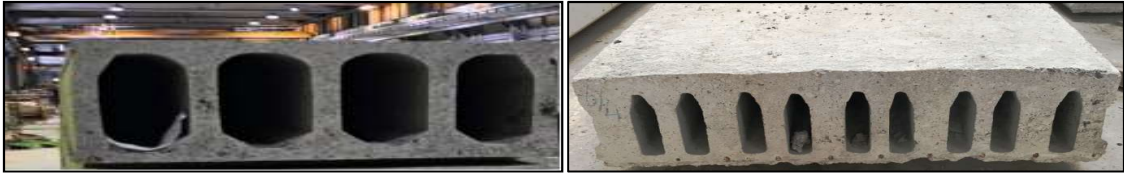
Bu döşeme tipleri arasında yapılarda en yaygın olarak kullanılan boşluklu döşemelerdir.



(a)

(b)

Şekil 3.7. Prefabrik döşeme tipleri: a) h=20 cm boşluklu döşeme, b) h=15 cm boşluklu döşeme, c) h=35 cm boşluklu döşeme, d) h=24 cm boşluklu döşeme, e) çift T döşeme f) düz döşeme, g) filigran döşeme



c)

d)



e)

f)



g)

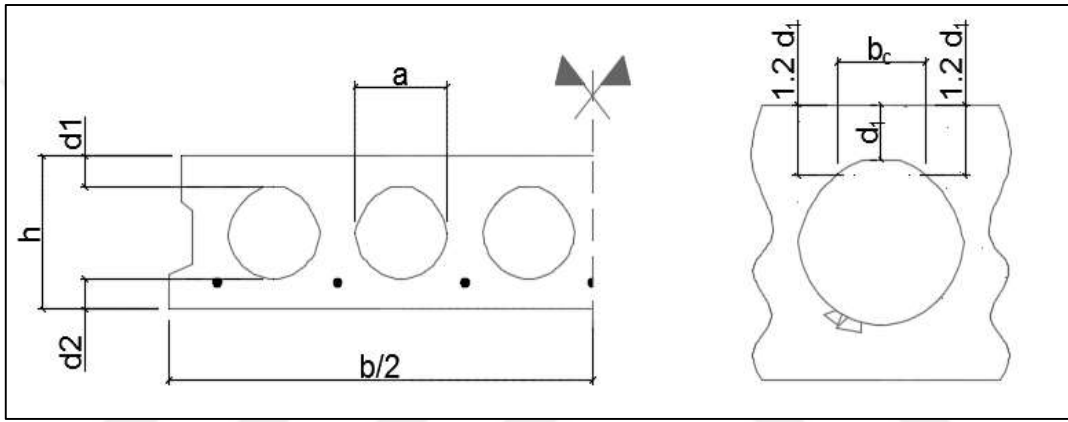
(Şekil 3.7. Devam)

3.1.1. Öngerilmeli boşluklu döşemeler

Öngerilmeli içi boşluklu döşeme elemanları boylu boyunca uzanan dairesel kesitli boşluklara sahip özellikle çekme bölgesinde öngerme donatısı kullanılmış yeni bir prefabrik yapı elemanıdır (Aksoy, 1996).

Öngerilmeli beton, çelik donatının gerilerek betona ön basınç uyguladığı bir çeşit betonarmedir. Germe işlemiyle beton ve çelikte oluşan iç gerilmelerin dengelenmesi sonucunda dış yüklere karşı elemanın dayanımını artırır. Bu boşluklu döşemeler yüksek dayanımlı beton ile donatılarak yük kapasitesi artırılır ve daha az malzeme kullanılarak daha dayanıklı bir yapı kurulmasına olanak sağlar.

Prefabrik eleman üreten işletmelerde, işletmenin üretim alanı ve olanaklarına bağlı olarak boşluklu döşeme elemanları farklı uzunluklarda üretilebilir. Öngerilme yataklarında tek parça olarak üretilen ve proje boyutlarına göre kesilen boşluklu döşeme elemanları, yapılarda hızlı imalat, daha büyük yük kapasitesi veya açıklık ve ısı yalıtımı gibi özellikleri sağlar. 10-46 cm kalınlıklar arasında çeşitli ölçülerde üretilebilen boşluklu döşeme kesitleri vardır. Projede kullanılacağı alan, açıklık, yük gibi kriterler doğrultusunda farklı yüksekliklerde boşluklu döşeme elemanları üretilebilmektedir. Döşeme kesitlerinin minimum boyutları Şekil 3.8’de gösterilmiş olup ve bu değerler Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.8. Öngerilmeli boşluklu döşeme kesiti

Çizelge 3.2. Öngerilmeli boşluklu döşemelerin minimum boyutları (TS9967, 1992)

Boyutlar		Betonarme Döşemelerde	Öngerilmeli Beton Döşemelerde
h kalınlığı			
Kat döşemelerinde	\geq	6 cm	8 cm
Üzerlerine onarım ve temizlik için çıkılan çatı döşemelerinde	\geq	5 cm	8 cm
d_1 kalınlığı	\geq	$h/4$	1.8 cm
d_2 kalınlığı	\geq	$h/5$	2 cm
b_w ($b_w = b - \sum a$)	\geq	$b/3$	$b/4$

Öngerilmeli boşluklu döşemelerde boşluk üzerindeki beton kalınlığı Şekil 3.8’de gösterildiği gibi belirlenmiş olup şu şekilde açıklanmıştır:

- Herhangi bir gövde için $h/10$, 20 mm ve $d_g + 5$ mm değerlerinin en büyüğünden daha küçük olmamalıdır,

- Herhangi bir başlık için $\sqrt{2h}$, 17 mm ve d_g+5 mm değerlerinin en büyüğünden daha küçük olmamalıdır. Ancak, üst başlık için en küçük kalınlık $0,25b_c$ 'den küçük olmamalıdır.

Öngerilmeli boşluklu döşemeler taşıma ve montaj kolaylığı, taşıyıcı sistem elemanları daha az yük gelmesini sağlar. Bu sebeple yapıya gelen deprem kuvveti azaltılmış olur. İşçilik maliyetlerinde ve ek olarak kalıp, demir, beton gibi malzemelerin az kullanılması sebebiyle maliyetlerde avantaj sağlar. Bu avantajlara ek olarak boşluklu döşeme elemanlarının diğer avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Kapalı fabrika ortamında üretim yapılabildiği için mevsimsel koşullardan etkilenmeden üretilebilir,
- İçerisinde bulunan boşluklar yalıtım görevi gördüğü için ses geçirgenliği boşluksuz döşemelere göre daha düşüktür,
- Betonarme, çelik ve prefabrik gibi tüm inşaat sistemlerinde kullanılabilir,
- Öngerilme teknolojisi kullanılabilmesi sayesinde istenilen ölçüde geniş açıklıklar geçilebilir,
- Öngerilme sistemlerinin kullanılabilmesi sayesinde yük taşıma kapasitesi daha yüksektir,
- İçerisinde bulunan boşluklar sebebiyle boşluksuz betonarme döşeme sistemlerinden daha hafiftir,
- Kolay monte edilebilirler. Montaj yapıldığı andan itibaren yük taşıma özelliğine sahiptir,
- Kalıp, iskele ve sıva gibi işgücü gerektiren prosedürlere ihtiyaç yoktur,
- Üretim ve zaman maliyetini düşürdüğü gibi demir ve beton gibi yüksek maliyetli malzemelerden de tasarrufa imkân verir,

Boşluklu döşemelerde öngerilme halatı kullanılarak %60 oranında daha narin döşeme elemanları üretilebilir (Güzel, 1997). Bu avantajlar göz önüne alındığında boşluklu döşemelerin diğer döşemelere kıyasla daha tercih edilebilir bir yöntemdir.

Öngerilmeli boşluklu döşemelerin yapım aşamaları Şekil 3.9-10-11-12'de görülmektedir.



Şekil 3.9. Öngermeli boşluklu döşemenin halatlarını germe aşaması



Şekil 3.10. Öngermeli boşluklu döşemenin döküm aşaması



Şekil 3.11. Öngermeli boşluklu döşemenin istenen ebata göre kesilme aşaması



Şekil 3.12. Öngerilmeli boşluklu döşeme kaldırma aparatı

3.1.2. Öngerilmeli boşluklu döşemelerin üretim sonrası aşamaları

Üretimleri tamamlanmış olan öngerilmeli boşluklu döşemeler projede verilen ölçülerde kesildikten sonra istiflenme ve montaj aşamalarından geçmektedir. Ayrıca montaj anında döşemelerin mesnetlenme şekilleri ve birleşim detayları standartlara uygun şekilde yapılmalıdır.

3.1.2.1. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının istiflenmesi

Döşemelerin montaj aşamasına kadar fazla yer kaplamasını engellemek ve taşıma anında nakliye aracına yükleyebilmek amacı ile üst üste konularak istiflenmesi gerekebilir. Bu istifleme aşamasında döşemelerin konulmuş olduğu yerden alabilmek için konulduğu zemin ve birbirleri ile arasında belirli bir mesafe olması gerekmektedir. Bu mesafe ve üst üste istif adedi döşemelerin ebatlarına ve ters sehimlerine bağlı olarak değişmektedir. Bu mesafeyi sağlamak için döşemeler arasında, mesnetlenme bölgelerine, takoz elemanları konulmaktadır. Çizelge 3.3’de kalınlıklarına ve boylarına göre basitçe kesme kuvvetleri hesaplanıp üst üste koyulabilecek döşeme sayıları verilmiştir. Şekil 3.13’de de döşemelerin istiflenme şekli görülmektedir.

Çizelge 3.3. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının istiflenmesi (Yapı Merkezi, 1991)

Kalınlık (cm)	Boy (m)	İstif Kat Sayısı (Adet)
10	4	7
12	4	7
15	6	6
20	6	6
25	8	5
30	12	3
38	12	3



Şekil 3.13. Öngerilmeli boşluklu döşemelerin istiflenmesi (Anonim, 2012)

3.1.2.2. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının yükleme deneyi

Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının montajı yapılmadan önce rastgele seçilen elemanlar yükleme deneyine tabi tutulmaktadır. Deney yapılmadan önce

döşemenin öngerilme ve zati yüklerin toplamına göre meydana gelen gerilme değerleri göz önünde bulundurularak deney yükleri bulunur. Bulunan deney yükleri elemana 5 aşamada yüklenir bir saat beklenir ve yük boşaltılır. Her yükleme aşamasında sehim değerleri ölçülür. Deney esnasında ölçülen bu sehim değerleri toplanır. Bu toplam sehim değerinin %90'ından fazlasının geri dönüyorsa numuneler testten geçmiş olur. Eğer bu değere ulaşamıyorsa anı eleman üzerinde ikinci bir yükleme deneyi yapılır ve %90 oranında sehimde dönüş beklenir. Eğer deney yine başarısız olursa üretilen gruptan rastgele iki eleman seçilir. Bu elemanlar da başarısız olursa üretimin tamamına yükleme deneyi yapılır. Farklı yükseklikte ve boylardaki boşluklu döşemeler için yükleme deneyleri Şekil 3.14-15'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. h=20 cm L=400 cm olan öngerilmeli boşluklu döşeme yükleme deneyi



Şekil 3.15. h=24 cm L=800 cm olan öngerilmeli boşluklu döşeme yükleme deneyi

3.1.2.3. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının montajı

Döşeme montajında üzerine oturacağı taşıyıcı sistemin stabilitesinin sağlanmış olması gerekmektedir. İlk olarak bir açıklık baştan sona bitirilip daha sonra sırası ile diğer açıklıkların montajı tamamlanmalıdır. Montaj aşamasında taşıyıcı sistemde mesnetleneceği bölge projeye uygun olarak yapılmalıdır. Şekil 3.16’da boşluklu döşeme montajı anı, Şekil 3.17’de de montaj sonrası gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Öngerilmeli boşluklu döşeme montajı



Şekil 3.17. Öngerilmeli boşluklu döşeme üzerine hasır çelik yerleştirilmesi

3.1.2.4. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının mesnetlenmesi

Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının taşıyıcı sistemler üzerine mesnetlenme mesafeleri TS9967’de verildiği gibi yapılmaktadır.

Çizelge 3.4. Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarının mesnet mesafeleri (TS9967, 1992)

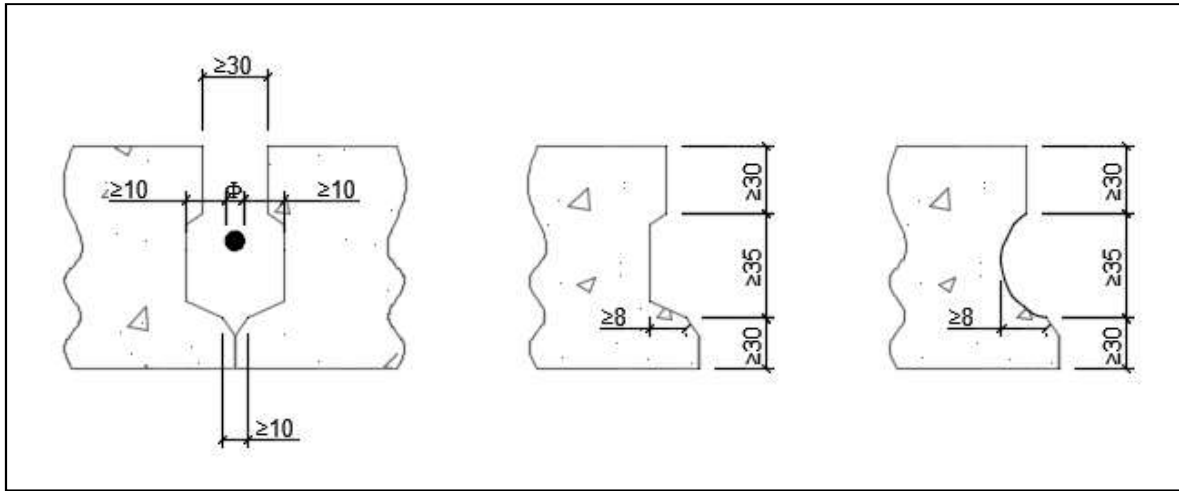
Mesnet Cinsi	Mesnet Uzunluğu (cm)
<i>Önlem Alınmazsa</i>	
Tuğla Duvarlara Oturmada	10
Yerinde Dökme ve Prefabrik Betonarme Elemanlara Oturmada	7,50
Çelik Kiriş ve Konsollara Oturmada	7,50
<i>Betonarme Bağ Hatlı ile Önlem Alınırsa</i>	
Tüm yapı sistemleri için açıklık < 6 m ise	5
Tüm yapı sistemleri için açıklık > 6 m ise	5 x açıklık / 6

3.1.2.5. Döşeme elemanlarının birleşimleri

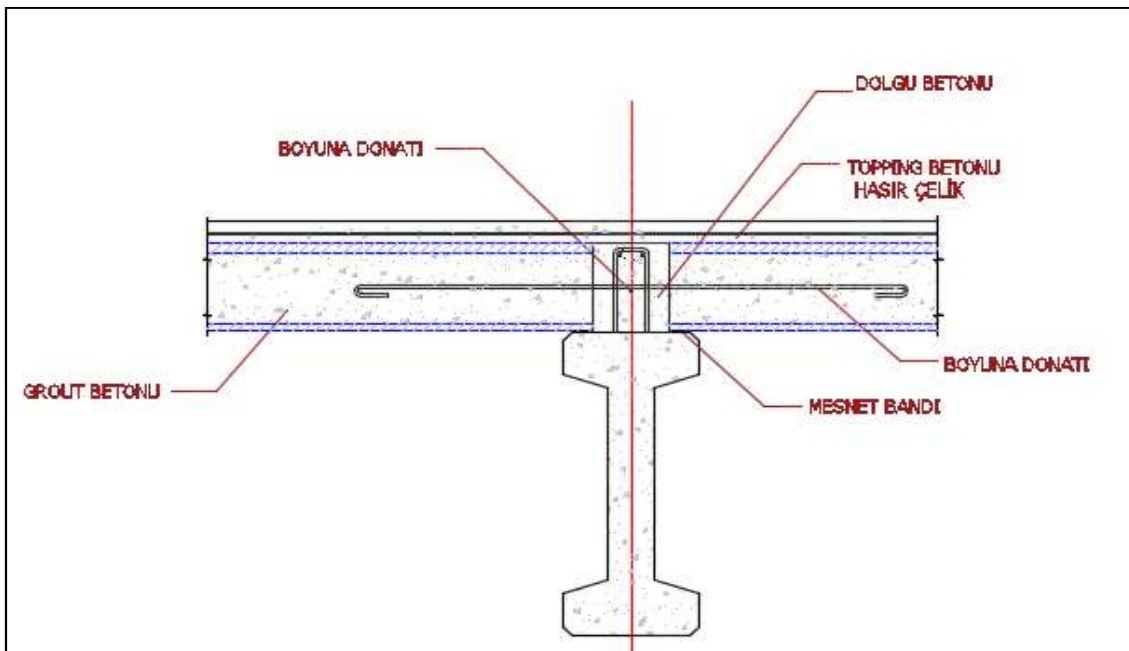
Prefabrik olarak üretilen belirli boyutlarda olan döşeme elemanlarının birbirleriyle ve yerleştirilmiş oldukları taşıyıcı elemanlar ile birleşimleri yük transferi ve sistemin diyafram çalışması açısından oldukça önemlidir.

Döşemelerin yan yana birbirleri ile veya üzerine oturdukları taşıyıcı eleman ile birleşim bölgelerinin projede verilen açıklık tolerans sınırlarında olması çok önemlidir. Bu açıklıkların arası döşemelere gelecek olan kesme kuvvetlerini alacak ve diyafram çalışmayı sağlayacak donatıların ve kaplama betonunun girebileceği ölçülerde olmalıdır. Döşemelerin üzerine ve arasına dökülecek olan bu kaplama betonunun beton sınıfının en az C30 olması, kalınlığının minimum 40 mm olması ve içerisine hasır çelik konulması önerilmektedir. Yapıda kullanılan döşeme tipi eğer öngerilmeli boşluklu döşeme ise bu döşemelerin deliklerinin tamamı kaplama betonu ile dolmaması için özel tıkaçlar ile tıkanmalıdır. Fakat bu deliklerden bir kaçının tıkaçları kaplama betonu ile döşemenin birleşebilmesi adına daha içeriden konulmalıdır.

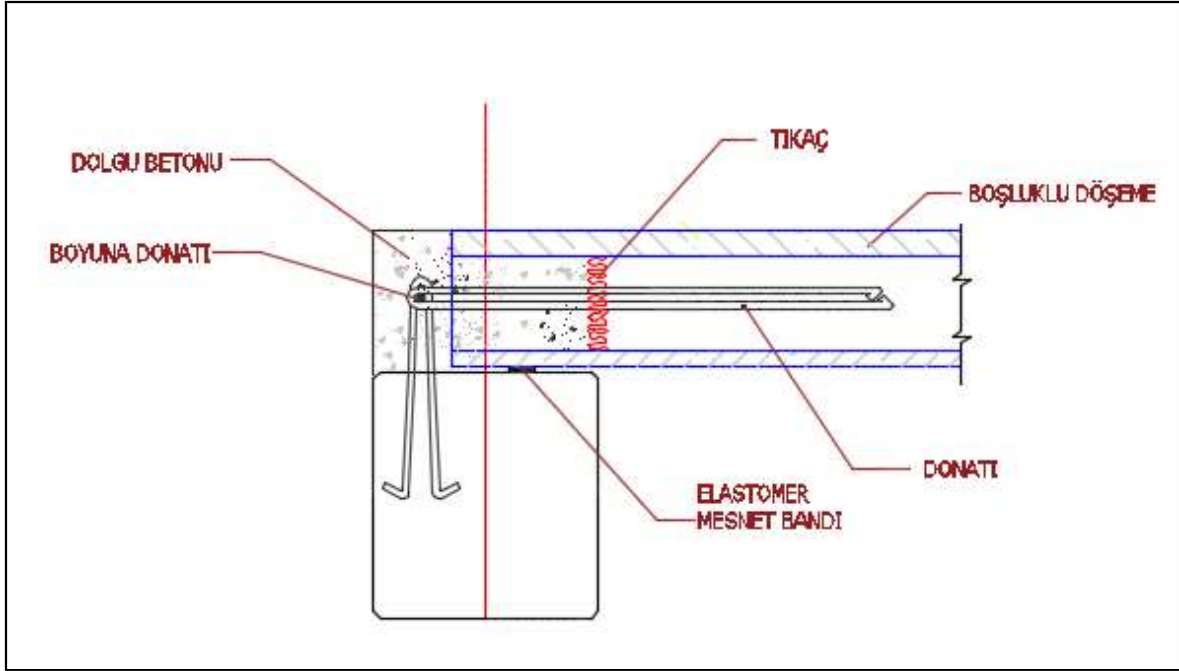
Döşemelerin üzerine oturacağı taşıyıcı elamanların üzerine döşemelerin mesnetlenme bölgelerine denk gelecek şekilde elastomer mesnetler konulmalıdır. Bu mesnetlerin kullanım amacı döşemenin üzerine oturduğu taşıyıcı elemanın yüzeyinin düzgün olmaması gibi bir durumda mesnetlenme kısımlarına basınç yapıp kırılmasını engellemektir. Şekil 3.18’de döşeme birleşim kısımlarının TS EN 1168+A3’e göre minimum boyutları verilmiştir. Şekil 3.19-20-21’de de döşemelerin birbirleriyle, kirişlerle ve kolonlar ile birleşim detayları gösterilmiştir.



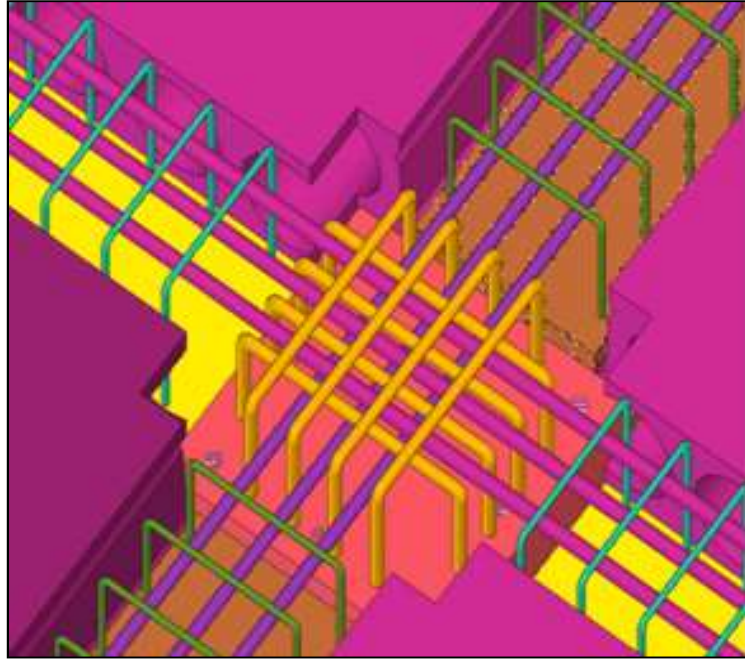
Şekil 3.18. Boşluklu döşeme elemanları birleşim detayları, mm (TS EN 1168+A3)



Şekil 3.19. Öngerilmeli boşluklu döşeme orta birleşim detayı (Anonim, 2010)



Şekil 3.20. Öngerilmeli boşluklu döşeme köşe birleşim detayı (Anonim, 2010)



Şekil 3.21. Öngerilmeli boşluklu döşeme kolon ve kiriş birleşimi

4. ÖNGERİLME

Günerman (2017, s.11) öngerilme kavramını şu şekilde açıklamaktadır:

“Bir yapı elemanına servis yükü verilmeden önce bir basınç gerilmesi uygulanması ve dolayısıyla, bu gerilme ile servis yükünün eleman üzerindeki etkisinin azaltılmasıdır. Bu işlem normal servis yükleri altında yapı elemanında çekme gerilmesi oluşacak bölgelerde, önceden basınç uygulanarak, bu çekmenin kimi zaman tümünün kimi zaman da bir bölümünün ortadan kaldırılması anlamına gelmektedir.”

Literatüre bakıldığında betonun basınca karşı dayanımı yüksek olsa da çekmeye karşı dayanımı düşüktür. Yüksek dayanıma sahip beton ve çelik birlikte kullanılarak öngerilmeli betonarme elemanlar üretilir. Bu üretim esnasında betonun dayanımının zayıf olduğu çekme bölgesine çelik çubuklar yerleştirilir. Çelik çubuklarda öngerme işleminden kaynaklanan gerilme kuvveti sayesinde betonarme elemanın çekme bölgesinde basınç gerilmeleri meydana gelir. Eleman içerisindeki gerilmeler öngerme işlemi sonucunda dengelenmiş olur. Bir yapı elemanında öngerilme öncelikle çelik ve beton masraflarının azaltılmasını bu sebeple yapının öz ağırlıklarının azaltılmasını sağlar. Aynı zamanda betonda çatlama dayanımının artmasını, eğilmenin azalmasını ve yapı ömrünün uzatılmasını sağlamaktadır. Öngerme aynı kesitli bir elemanla daha fazla yük taşımak için ve aynı yükte daha büyük bir açıklığı geçmek için yapılan bir uygulamadır.

4.1. Öngerme Malzemeleri

Öngerilme malzemeleri genel kullanımda öngerme çeliği ve öngerilme betonu olarak ikiye ayrılabilir.

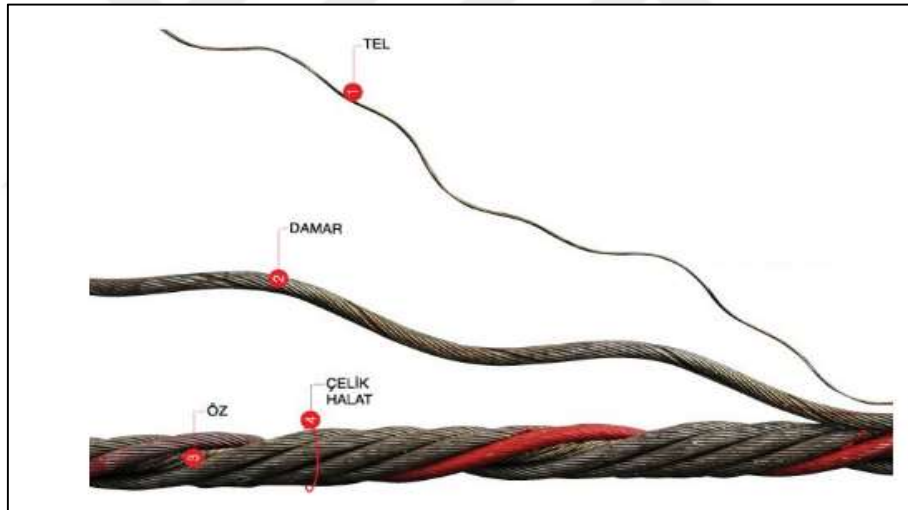
4.1.1. Öngerme çeliği

Öngerme betonarme sistemlerinde öngerilme çeliği; tel, halat ya da çubuk şeklindedir. Önçekmeli sistemlerde genellikle öngerme halatı, ard çekmeli sistemlerde ise genellikle öngerme teli kullanılır. Öngerme çelikleri sıcak haddeden elde edilmektedir. Bu çelikler biraz soğuduktan sonra çaplarını istenilen boyuta indirgemek için çenelerden

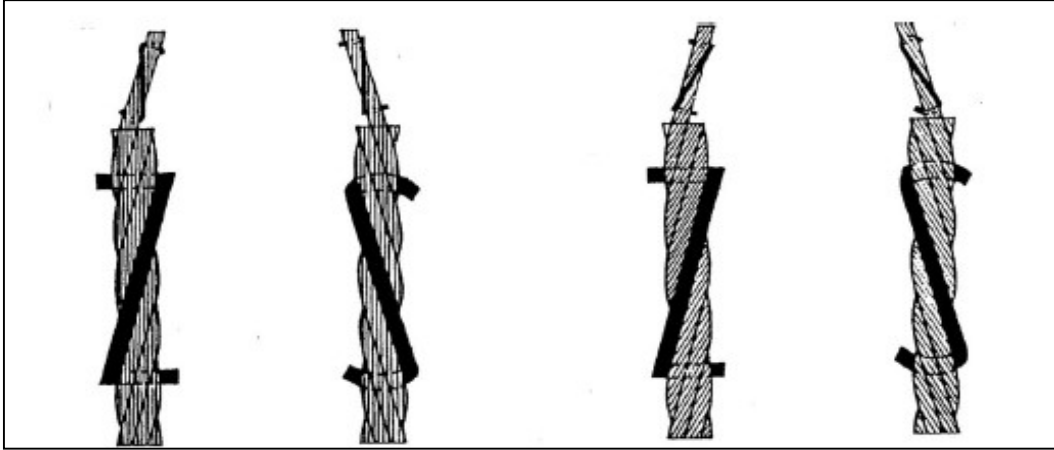
geçirilmekte ve soğuk çekme işlemi uygulanmaktadır. Bu şekilde çeliğin dayanımı yükselmektedir. Öngerme işleminde kullanılan halatlar (toronlar), 2,3... veya 7 telin birbirleriyle sarılmasıyla oluşan demetlerdir (Hüsem, 2016). Çizelge 4.1'de öngerme halatının özellikleri verilmiştir. Şekil 4.1'de öngerilme halatının detayı, Şekil 4.2'de halatların sarım tipleri görülmektedir.

Çizelge 4.1. Öngerme halatı mekanik özellikleri (TS3233, 1979)

Tel Çapı (mm)	Tel Sayısı	Minimum Kopma Dayanımı kgf/cm ² (N/mm ²)	Minimum Akma Limiti = %1 Birim Uzama Karşılığı Gerilme	Kopmada Birim Uzama %(min.)	Elastisite Modülü kgf/cm ² (N/mm ²)
2 ile 3	2 veya 3	16000 (1600)	Kopma Dayanımının %85'i	3,5	1,8 x 10 ⁶ (1,8 x 10 ⁵)
2 ile 4	7	16000 (1600)			



Şekil 4.1. Öngerilme halat detayı (Anonim, 2019)



(a)Çapraz sağ sarımlı halat (s/Z) (b)Çapraz sol sarımlı halat (z/S) (c)Düz sağ sarımlı halat (z/Z) (d)Düz sağ sarımlı halat (s/S)

Şekil 4.2. Düz sarımlı ve çapraz sarımlı halat tipleri

Tel halatlar TS 1918 normunda standartlaştırılmış haldedir. Buna göre bir tel halatın gösterimi:

Halat 20 TS 1918/10 - LÖ ÇT 1570 s/Z

20: Halat anma çapı (mm)

TS1918/10: Halatın kordon tipine göre bulunduğu norm ve föy numarası (örnek olarak standart halat föy numarası 10)

LÖ: Halatın öz malzemesini belirtir (Lif Özlü)

ÇT: Halatı meydana getiren tellerin özelliğini gösterir (Çıplak Tel)

1570: Halatın kopma mukavemetini belirtir (1570 N/mm²)

s/Z: Halatın sarılış şeklini gösterir (Çapraz sağ sarımlı halat)

Firma tarafından üretilen her çelik halat kangalının ambalajı üzerinde halatın belirli özelliklerini gösteren kısa açıklayıcı sertifikası bulunmaktadır. Bu sertifika kullanacak olan personelin dikkatini çekecek renklere ve okunaklı olmalıdır. Ayrıca alıcı firmaya halatların teknik özelliklerini belirten daha detaylı bir sertifika da gönderilmektedir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de bu sertifikalar görülmektedir.



Şekil 4.3. Çelik Halat Kangal Sertifikası

Kangal		Etiket No		Lot No		Çap (mm)		Kesit(mm ²)		%1 uzamada Mukavemet (kg/mm ²)		Kopma Yüğü (kgf)		Kopma Mukavemeti (kg/mm ²)		Demet Uzama (%)		Elastisite Modülü (kg/mm ²)		R 1000 saat %80 yükte Gevşeme	
Kangal Bobin No						Mini: 12,550 Maxi: 13,350	Mini: 95,25 Maxi: 107,78	Min: 171	Min: 18732	Min: 190	Min: 3,50	Min: 20202	Min: 201	Min: 4,00	Min: 20200	Min: <= %3,5					
5018518086	1	0	12,700	98,21	181	20202	201	4,00	20200	<= %3,5											
5026936011	2	0	12,700	98,21	181	20202	201	4,50	21030	<= %3,5											
5026936032	3	0	12,700	98,33	182	19574,20	203,14	4,50	20500	<= %3,5											


KİMYASAL KOMPOZİSYON					
C	Mn	Si	P max	S max	Cu max
0.35 - 1.00	0.50 - 1.20	0.10 - 0.30	0.035	0.035	0.20
0,81	0,75	0,22	0,010	0,014	0,02

Çelik Halat ve Tel Sanayii A.Ş.
 Tel/Fone : (0 262) 371 12 80 (PBX)
 Faks/Fax : (0 262) 371 51 15
 E-Posta/E-Mail : info@celikhalat.com.tr
 İnt. Sitesi/Web Site : www.celikhalat.com.tr
 Adres/Address : Ertuğrul Gazi Mahallesi Şehitler Caddesi No: 2 Kartepi 41180 Kocaeli/Türkiye

We hereby certify that the material has been made by an approved process and satisfactorily tested in accordance with the Rules of Lloyd's Register

Onay / Approved
 Kalite Müdürlüğü
 19.06.2019

Hayatın olduğu her yerde...
 Everywhere you live in...



Şekil 4.4. Alıcı firmaya gönderilen çelik halat sertifikası

4.1.2. Öngerme betonu

Amerikan Beton Enstitüsü'nde (American Concrete Institute, ACI, 2008) öngermeli beton şöyle tanımlanmaktadır:

“Yüklerden önce verilen öngerme ile dış yüklerin oluşturacağı gerilmelerin istenilen ölçüde dengelendiği beton”

Öngerilmenin uygulanmasında, beton elemanların bazı özel malzemeler kullanılarak oluşturulması gerekir. TS 500'de öngerme uygulanacak elemanlarda beton dayanımının C35'in üzerinde olması tavsiye edilmektedir. C16-C50 dayanım sınıfı arasında bulunan betonlar taşıyıcı normal dayanımlı betonlar, C50 dayanım sınıfından daha büyük dayanıma sahip olanlar ise yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanmaktadır. Öngermeli betonda portland çimentosu tercih edilir. Betonda en az C40 kalitesi aranır. Ancak tasarıma ve yapılan hesaplara göre daha kaliteli beton kullanılması gerekebilir. Kullanılan agrega çapı maksimumu 16 mm çaplı olmalı ve düzgün geometriye sahip olmalıdır. Betonda kullanılacak olan kimyasal katkı CaCl_2 , mineral katkılardan da alkali-agrega reaksiyonunun oluşmasına imkân verecek maddeler içermemelidir. Aksi halde öngerme betonu ve çeliği zarar görebilir (Hüsem, 2016). TS 500'de beton sınıflarına göre özellikler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Beton Sınıfları ve Dayanımları (TS 500, 2000)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck} MPa	Eşdeğer Küp (150mm) Basınç Dayanımı MPa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} MPa	28 Günlük Elastisite Modülü E_c MPa
C35	35	45	2,1	33000
C40	40	50	2,2	34000
C45	45	55	2,3	36000
C50	50	60	2,5	37000

4.2. Öngerme Türleri

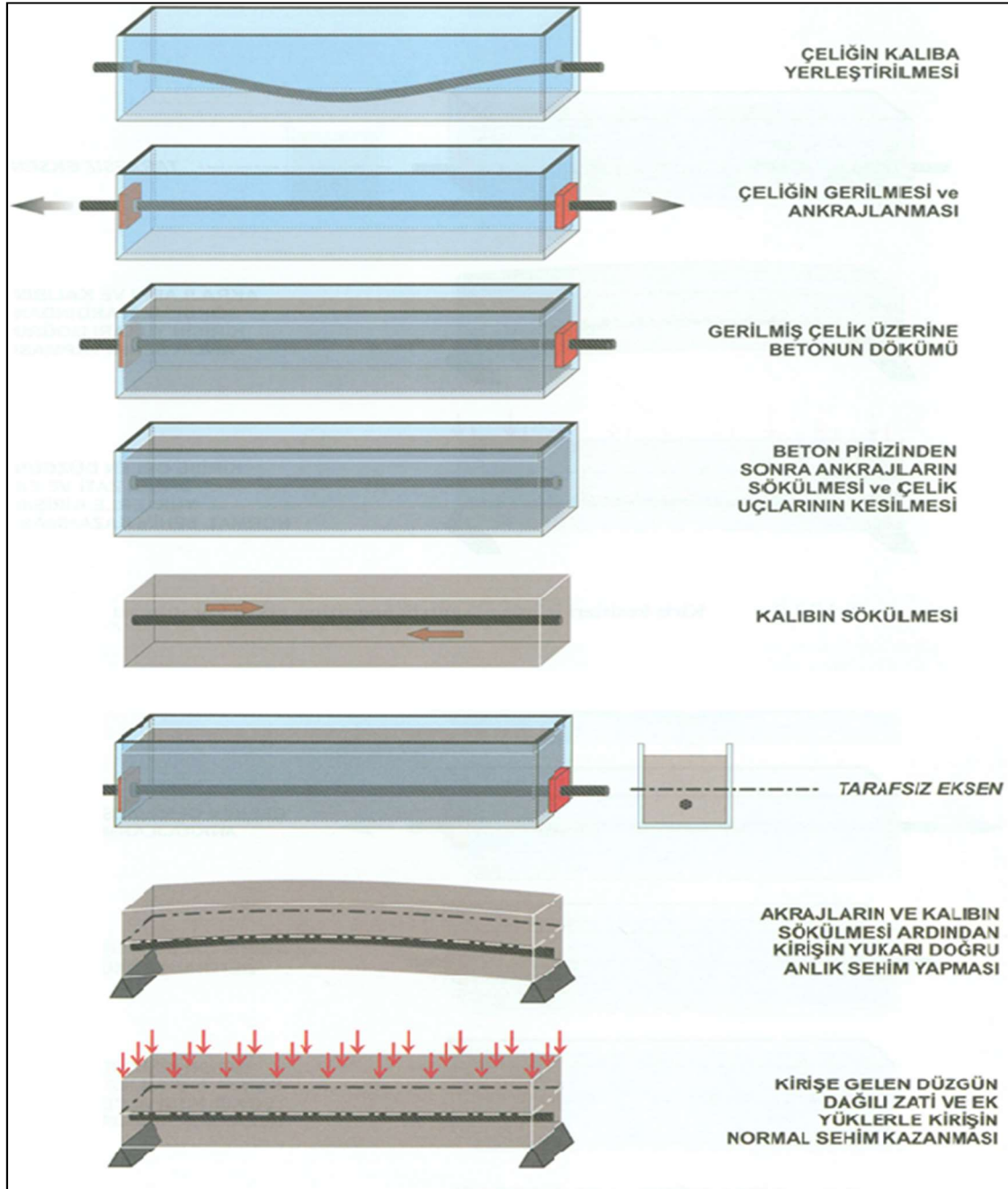
Öngerilme kendi içinde ard çekmeli veya önçekmeli olarak ikiye ayrılır. Beton dökme işlemi öncesinde yapılan öngerilme uygulamasına önçekme denmektedir ve oluşan bu prefabrik eleman ‘Önçekmeli Öngermeli Betonarme’ adını alır. Bu uygulama çoğunlukla fabrika ortamında yapılmaktadır. Beton dökme işlemi gerçekleştirildikten sonra yapılan öngerilme uygulamasına ard çekme denmektedir ve oluşan elemana da ‘Ard çekmeli Beton Elemanı’ adı verilmektedir. Bu uygulama genellikle şantiye ortamında yapılmaktadır. Her iki öngerilme türünde de yapılmak istenen, beton elemanının çekme bölgesinde, basınç gerilmesi meydana getirerek elemanda oluşacak olan çekme gerilmesinin karşılanmasıdır.

4.2.1. Öngermeli öngerilme

Kullanılacak olan yapı elemanına göre öngerme kalıpları oluşturulur ve montajları yapılır. Bu elemanların hesap tasarım aşamasından sonra, kaç adet öngerme tel kullanılacağı, hangi tip tel kullanılacağı ve bu tellerin boyutları belirlenir. Kalıba yerleştirilen teller kriko vasıtasıyla gerilir ve kalıp başlarından çene aparatıyla sabitlenerek gerilmenin telde muhafaza edilmesi sağlanmış olur. Yapı elemanında aynı zamanda yumuşak çelik kullanıldıysa projeye göre hazırlanan donatılar kalıba yerleştirilir ve beton dökme işlemine başlanır. Betonarme eleman yeterli dayanıma ulaştığı zaman, öngerme tellerin çene aparatları sökülerek kesme işleminin daha rahat ve iş güvenliği koşullarına uygun olması sağlanarak gerilmenin bir miktar azaltılması işlemi yapılır ve teller kesilir. Bu şekilde önçekmeli öngermeli betonarme elemanı hazırlanmış olur.

Ön çekmeli sistemde öngerilme teli genellikle yere (aynı zamanda prefabrik elemanın tabanına) paraleldir. Bu paralelliğin olması halinde eleman uzunluğu boyunca sabit moment ve normal kuvvete maruzdur. Öngerilme kuvveti halatlardan prefabrik elemanın uçlarına doğru sıfıra gitmektedir. Bu durumdan dolayı prefabrik elemanların uç kısımlarında büyük negatif moment oluşması engellenmelidir. Bunu engellemek için elemanların başlangıç kısımlarındaki halatlara kılıf geçirilebilir. Böylece negatif momentin daha ilerideki bölgelerde başlaması sağlanmış olur (Ural, 2002) .

Öngerilmeli bir elemanın yükleme ve gerilme durumu Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Öngerilmeli eleman durumları (Karaesmen, 2015)

Şekil 4.6'da öngerilme başlığında çene aparatlarıyla sabitlenmiş olan öngerilme halatları ve bunların yerleşimleri gösterilmiştir.

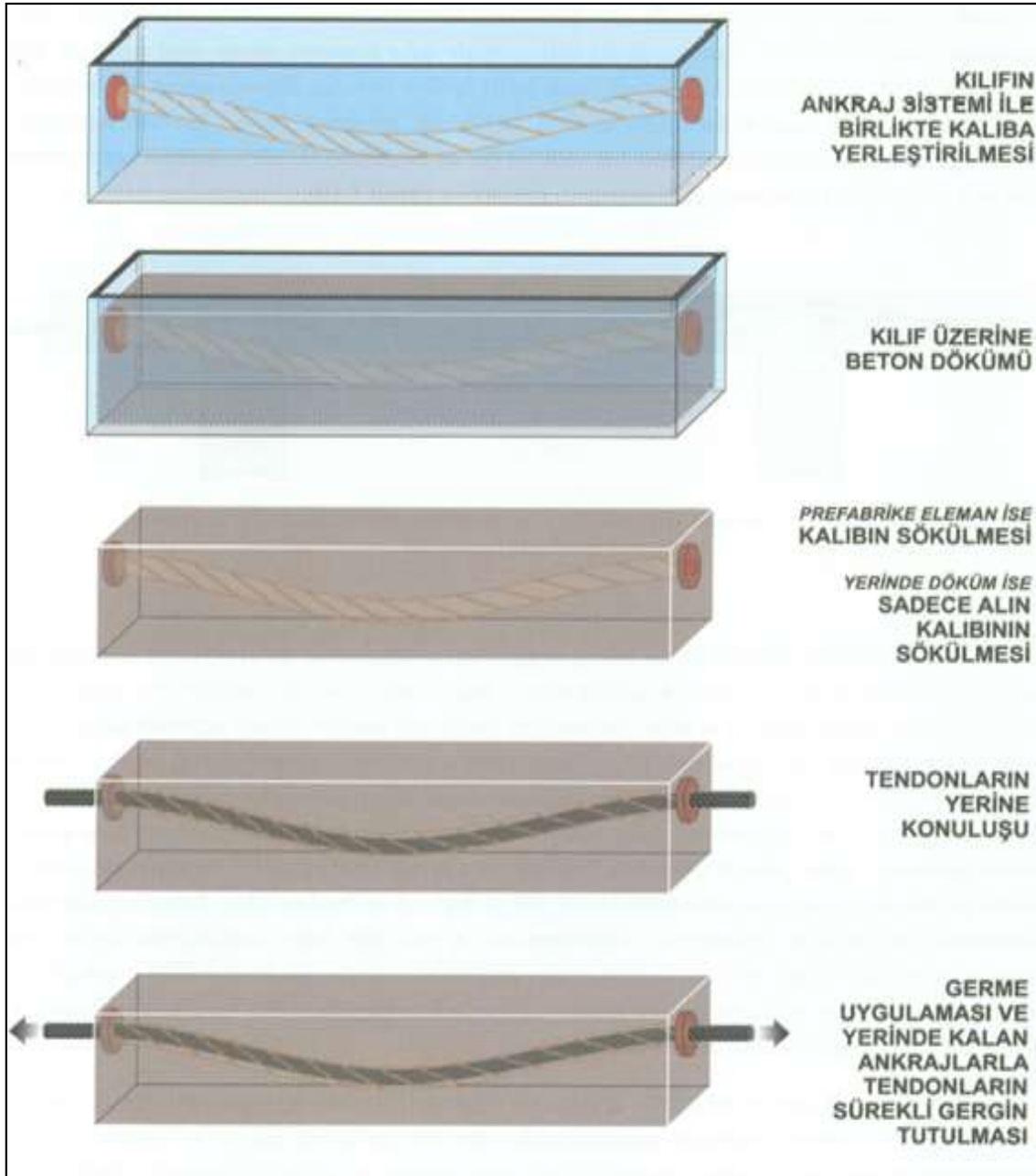


Şekil 4.6. Öngerilme halatları, çene aparatları ve öngerilme halat yerleşim plakası

4.2.2. Ard germeli öngerilme

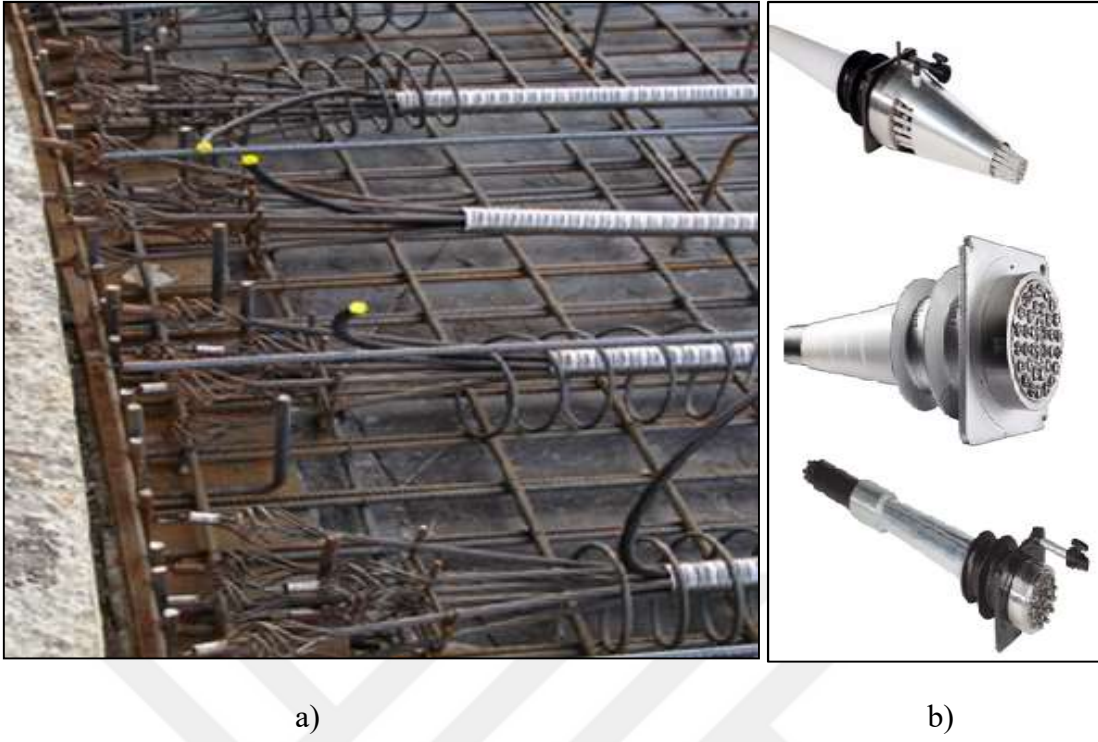
Ard germeli sistemde de yine öngermeli sistemdeki gibi öngerilme kayıpları ve hesapları yapılarak ilerlenir. Kullanılacak olan ard çekme telleri yerine ince cidarlı borular eleman içerisine bırakılır ve beton dökümü gerçekleştirilir. Beton yeterli dayanıma ulaştıktan sonra teller gerilir ve yapı elemanının baş ve son kısımlarından teller sabitlenir. Tel etrafındaki boşluk enjeksiyon yöntemi kullanılarak özel bir harç ile doldurulur ve gerilim telde muhafaza edilir. Bir süre sonra ise teller kesilir. Ard germeli yöntemde germe donatısına ek olarak, çekme bölgesinde daima normal donatı kullanılmalıdır. Bu donatının minimum miktarı TS 3233 ve TS 3721'den alınır. Ard germeli bağlantılarda kiriş ve kolon birleşimlerindeki kesme kuvveti aktarımı ard çekme halatları tarafından oluşturulan kenetlenme kuvveti ve sürtünme ile karşılanır.

Şekil 4.7'de ard germeli bir elemanın yükleme ve gerilme durumları gösterilmektedir.



Şekil 4.7. Ard gerilmeli eleman durumları (Karaesmen, 2015)

Şekil 4.8’de ard germe uygulamasında kullanılan halatlar, ankraj ve boru elemanları gösterilmiş olup, Şekil 4.9’da da ard germe uygulanmış elemanlar gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Ard germe uygulaması ve ard germe aparatları (Anonim, 2013)



5. ÖNGERİLMELİ PREFABRİK BİR DÖŞEMENİN TASARIMI

Öngerilmeli boşluklu döşemelerin tasarımında bazı standartlar kullanılmaktadır.

Bunlar;

- TS 3233 Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (1979)
- ACI 318 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (2008)
- PCI Design Handbook, Precast and Prestressed Concrete 6th Edition (2004)
- CPCI Canadian Design Manual 4th Edition (2007)
- TS 9967 - Yapı Elemanları Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları
- TS EN 1168+A3 Öndökümlü Beton Mamuller – Boşluklu Döşeme Elemanları
- TS EN 13369 Öndökümlü Beton Mamuller-Genel Kurallar

Öngerilmeli boşluklu döşemenin hesaplanmasında ilk olarak yüklemeler belirlenir. Yükleme tipleri genel olarak iki grupta ele alınır. Ölü yükler; döşeme zati ağırlığı, kaplama (topping) ağırlığı, duvar ağırlığıdır. Hareketli yükler; yayılı, tekil, kar, su ve araç ağırlığıdır.

5.1. Öngerilme Kuvvetinin Belirlenmesi

Döşeme elemanları, öngerilme halatlarının çekme kuvveti uygulandığında oluşan kuvveti, gerilme olarak betona aktarmasıyla taşır. Belirlenen yükleme tipine göre öngerilme kuvveti hesaplanır. Bu öngerilme kuvvetine bağlı olarak kesit içerisinde oluşan iç kuvvetler hesaplanır. Oluşan iç kuvvetleri karşılayabilecek öngerilme halatı seçilir. Seçilen öngerilme halatına göre bu iç kuvvetler tekrar hesaplanır (Panelton Tasarım El Kitabı, 1991).

5.2. Öngerilme Kuvveti Kayıpları

Öngerilmeli elemanlarda kuvvet kayıpları; imalat sırasında, montaj öncesi stoklama veya montaj esnasında meydana gelebilir. Bu sebeple bu kayıpların tasarım esnasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu kayıplar alt başlıklar halinde incelenecektir.

5.2.1. Betonun öngerilme esnasında elastik kısılması

Beton karakteristik dayanımı tamamlanmadan önce öngerilme halatlarının germe işlemi yapılmaktadır. Beton dayanımına ulaştıktan sonra öngerilmeli halatlar kesilir. Bu işlem esnasında halatlar kısılmaya çalışır. Rijit hale gelmiş olan beton, halatların kısılmasını belli bir oranda engeller fakat beton kesiti de halatlar ile beraber bir miktar kısılmaya uğrar. Bu işlem sırasında öngerilmeli halatlarda bir miktar kuvvet kaybı yaşanır. TS 3233'e göre bu kayıp toplam ön germe kuvvetinin %3'ü kadardır.

5.2.2. Betonda rötire

Prizini almamış betonda hidrotasyon ısısı veya ortam ısı farklılıkları sonucu betonun su kaybı, betonun büzüşüp çatlamasına sebep olur. Bu durum rötire olarak adlandırılır. Bu çatlaklar, beton yüzeyinde öngörülmeyen şekil değişikliklerine sebep olduğu için öngerilme kuvvetinde kayba neden olur. TS 3233'e göre bu kayıp toplam ön germe kuvvetinin %7'si kadardır.

5.2.3. Betonun sünmesi

Betonda zamana bağlı yüklerden ve değişen nem ortamında bulunmasından dolayı deformasyon meydana gelir. Bu deformasyon sünme olarak adlandırılır. Rötire ile arasındaki temel fark yük etkisidir. TS 3233'e göre bu kayıp toplam ön germe kuvvetinin %6'sı kadardır.

5.2.4. Öngerme halatlarının gevşemesi

Öngerme halatları zamana bağlı olarak gevşeme meydana gelir. Bu gevşeme değerleri TS 5680’de tanımlıdır. Öngerilmeli üretilen betonarme elemanlarda çok düşük gevşemeli öngerilme halatları kullanılmaktadır. TS 3233’e göre bu kayıp toplam ön germe kuvvetinin %2’si kadardır.

5.3. Gerilme Analizi

Panelton El Kitabı’nda gerilme analizleri şu şekilde tanımlanmaktadır:

“Hesaplanan iç kuvvetler ve ön gerilme kuvvetinin kesitte oluşturduğu toplam kesit tesirleri elemanın açıklık ve mesnet, alt ve üst yüzeylerinde ayrı ayrı hesaplanır. Elemanların üretiminden montaj alanına sevkine kadar geçen süre boyunca oluşan gerilmeler ‘Transfer Gerilmeleri’, yapısal kaplama betonu dökülüp döşeme hizmet vermeye başladığı andan itibaren oluşan gerilmelerde ‘Servis Gerilmeleri’ olarak adlandırılır. Her iki durum içinde elemanın açıklık ve mesnetlerindeki alt ve üst bölge gerilmeleri kontrol edilmeli, yapısal kaplama betonunun zarar görmemesi için servis gerilmeleri aşamasında kaplama üzeri gerilmesi de ayrıca gözden geçirilmelidir.”

TS 3233’de betonda meydana gelen gerilmeler için sınır değerler belirlenmiş olup Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Beton Emniyet Gerilmeleri (TS 3233, 1979)

Transfer Gerilmeleri Sınır Değerleri		Servis Gerilmeleri Sınır Değerleri	
Basınç Gerilmesi	Çekme Gerilmesi	Basınç Gerilmesi	Çekme Gerilmesi
0.6fck	1.6√fck mesnette	0.45fck	1.6√fck
	0.8√fck açıklıkta		

5.4. Taşıma Gücü

Öngerilmeli elemanın yapılan tasarım hesaplarında bulunan yüklemeler $1.4G + 1.6Q$ kombinasyonları ile arttırılıp, taşıma gücü hesapları bu arttırılmış kombinasyona göre yapılır. Taşıma gücünde bu kombinasyon ile bulunan moment değerinin, en olumsuz yükleme durumundan elde edilen moment değerinden büyük olması gerekmektedir.

5.5. Kesme ve Birleşik Kesitte Kayma Hesapları

Öngerilmeli boşluklu döşemelerde meydana gelecek kesme kuvvetlerine karşı donatı bulunmamaktadır. Bu sebeple kesme kuvvetini, betonun kayma dayanımının karşılaması beklenmektedir. Döşemeye gelen kesme kuvveti, döşeme kesme kapasitesinden fazlaysa; döşeme içerisinde bulunan boşluklar küçültülebilir, bu boşluklar doldurulabilir veya döşeme yüksekliği arttırılabilir. Alternatif olarak boşluklu döşemelerin boşluklu döşemelerin tasarımında kullanılan yüklerin de artmasına neden olacaktır. Bu durumda tasarım esnasında hesaplamalar yapılırken bu unsur göz önünde bulundurulmalıdır.

Prefabrik yapıda montaj aşamasından sonra öngerilmeli boşluklu döşemelerin üzerine dökülen topping betonunun, bu döşemeler ile kompozit bir kesit olarak birlikte çalışması gerekmektedir. Bunun sağlanması için kompozit kesitte döşeme ile topping betonu arasındaki sürtünme ve yük aktarımı hesaplarının yapılması gereklidir. Bu kesitleri etkileyen kesme kuvvetlerinin, döşeme ile topping betonunun beraber çalışmasını engellememesi gerekmektedir. Bunun için döşemenin yüzey alanı ve pürüzlülük oranına bağlı olarak tasarım yapılmalıdır.

5.6. Sehim Kontrolleri

Öngerilmeli boşluklu döşeme elemanlarında öngerilme kuvvetinden meydana gelen ters sehim hesaplanır. Elemanın zati ağırlığından, yükleme durumlarından ve zamana bağlı öngerilme kuvveti kayıplarından meydana gelen sehimler hesaplanır. Tüm bu sehimler toplanarak nihai sehime ulaşılır. Sehim sınır şartları TS 500'de sınırlandırılmış olup Çizelge 5.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2. Sehim Sınırları (TS500, 2000)

Eğilme Elemanı ve Yeri	Sehim Nedeni	Açıklık / Sehim
Bölme Duvarsız Çatı Elemanları	Hareketli Yüklerden Oluşan Ani Sehim	$L_h / 180$
Bölme Duvarsız Normal Kat Elemanları	Hareketli Yüklerden Oluşan Ani Sehim	$L_h / 360$
Bölme Duvarlı Çatı ve Normal Kat Elemanları*	Sürekli Yüklerden Oluşan Toplam Sehim ile Hareketli Yüklerin Geri Kalan Bölümünden Oluşan Ani Sehim	$L_h / 480$
Bölme Duvarlı Çatı ve Normal Kat Elemanları	Toplamı	$L_h / 240$
(*)Bölme duvar bulunan veya büyük sehimden etkilenebilecek elemanlar taşıyan		

6. ÖNGERİLMELİ PREFABRİK BİR DÖŞEMENİN SAYISAL HESABI

Döşeme Özellikleri

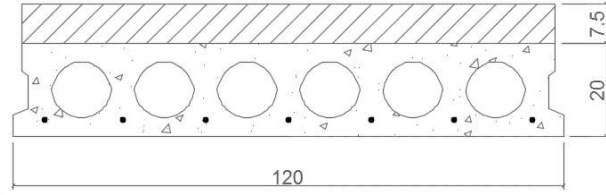
Döşeme boyu, $L = 800$ cm

Döşeme yüksekliği, $h = 20$ cm

Döşeme hesap boyu, $L_h = 790$ cm

Topping (kaplama) betonu yüksekliği = 7,5 cm

Döşeme genişliği, $b = 120$ cm



Malzeme Özellikleri

Beton özellikleri

C40

Öngerme çeliği özellikleri

Öngerme halatı = Düşük gevşemeli öngerilme halatı kullanılacaktır. $f_{pk} = 19000$ kg/cm²

Kayıplardan hesaplanmadan yapılan tasarım aşamasında öngerme telinin kopma dayanımının %75'ine kadar gerilmesi öngörülmüştür.

Halatta germeden dolayı oluşacak çekme gerilmesi: $f_{ps} = f_{pk} \times 0,75 = 14250$ kgf/cm²

Aktarma anında halatta oluşacak çekme gerilmesi: $f_{ps0} = f_{pk} \times 0,75 \times (1 - 0,10) = 12825$ kgf/cm²

İşletme anında halatta oluşacak çekme gerilmesi: $f_{ps\infty} = f_{pk} \times 0,75 \times (1 - 0,20) = 11400$ kgf/cm²

Beton İçin Sınır Gerilmeler

Aktarma anında (t=0)

Basınç güvenlik gerilmesi $\sigma_b = 180$ kgf/cm²

Çekme güvenlik gerilmesi, mesnette $\sigma_{\zeta} = 27,71$ kgf/cm²

Çekme güvenlik gerilmesi, açıklıkta $\sigma_{\zeta} = 13,86$ kgf/cm²

Aktarma anında (t=∞)

Basınç güvenlik gerilmesi $\sigma_b = 180$ kgf/cm²

Çekme güvenlik gerilmesi $\sigma_{\zeta} = 32$ kgf/cm²

Döşeme En Kesit Özellikleri

$$\begin{array}{lll} I=69000 \text{ cm}^4 & W_{\bar{u}}=6900 \text{ cm}^3 & e_{\bar{u}}=10 \text{ cm} \\ A=1690 \text{ cm}^2 & W_a=6900 \text{ cm}^3 & e_a=10 \text{ cm} \end{array}$$

Yük Analizi

Döşeme genişliği $b=120 \text{ cm}$ için:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Döşeme zati ağırlığı} = 0,375 \text{ t/m} \\ \text{Topping ağırlığı} = 0,200 \text{ t/m} \\ \text{Kaplama ağırlığı} = 0,125 \text{ t/m} \\ \text{Hareketli yük} = 0,420 \text{ t/m} \end{array} \right\} \begin{array}{l} g=0,700 \text{ t/m} \\ q=0,420 \text{ t/m} \end{array} \left. \right\} p=1,120 \text{ t/m}$$

Öngerilme Ön hesabı

Döşemede yüklerden meydana gelecek moment: $M_p = p \times L_h^2 / 8 = 8,737 \text{ tm}$

Döşemenin altında oluşacak çekme gerilmesi: $\sigma_{palt} = M_p / W_a = 126,6 \text{ kgf/cm}^2$

Öngerilme donatısının kesitin ağırlık merkezine uzaklığı: $e=6,5 \text{ cm}$

Döşemenin altında oluşan çekme gerilmesini karşılayacak öngerilme kuvveti:

$$(P / A) + ((P \times e) / W_a) = \sigma_{p,alt} - \sigma_{\bar{c}} \quad P=61698 \text{ kg}$$

$$\text{Öngerilme donatısı: } A_{ps}=P / f_{ps\infty} = 5,41 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen halat}=6 \text{ adet } 1/2" = 5,94 \text{ cm}^2$$

Öngerilme Kayıpları

Öngerilme kayıpları PCI ve ACI318-95'den yapılmıştır. Buradaki katsayılar metrik sisteme göre olduğundan sonuçlar bulunduktan sonra SI birim sistemine çevrilmiştir.

Elastik kısalmada meydana gelen kayıplar

$$ES = K_{es} \times (E_s / E_{ci}) \times f_{cir}$$

$$f_{cir} = K_{cir} \times ((P_{ps} / A) + (P_{ps} \times e^2 / I)) - (M_z \times e / I)$$

$$P_{ps} = A_{ps} \times f_{ps}$$

Öngerilmeli eleman için $K_{es}=1$

Öngerilmeli eleman için $K_{cir}=0,90$

$$P_{ps}=84645 \text{ kg}$$

$$f_{cir} = 64,17 \text{ kgf/cm}^2$$

Çeliğin elastik kısalma için elastisite modülü, $E_s=2000000 \text{ kgf/cm}^2$

Öngerilme betonun elastik kısalma için elastisite modülü, $E_{ci}=345000 \text{ kgf/cm}^2$

$$ES = 372,67 \text{ kgf/cm}^2$$

Betonun sünmesinden meydana gelen kayıplar

$$CR = K_{cr} \times (E_s/E_c) \times (f_{cir} - f_{cds})$$

$$f_{cds} = (M_y/I) \times e \quad f_{cds} = 23,88 \text{ kgf/cm}^2 \quad f_{cir} = 64,17 \text{ kgf/cm}^2$$

Normal ağırlıkta üretilen öngerilmeli elemanlar için, $K_{cr}=2$

Betonun elastisite modülü, $E_c=340000 \text{ kgf/cm}^2$

$$CR = 474,78 \text{ kgf/cm}^2$$

Betonun rötresinden meydana gelen kayıplar

$$SH = (8,2 \times 10^6) \times K_{sh} \times E_s \times (1 - 0,06(A/S)) \times (100 - RH)$$

Öngerilmeli eleman için $K_{sh}=1$

Çevredeki görelî nem oranı, $RH=55$ (Nem oranı İstanbul için alınmıştır)

$$A/S = \text{Kesit alanı} / \text{çevre uzunluğu} = 6,04 \text{ cm} \quad SH = 633,96 \text{ kgf/cm}^2$$

Halatın gevşemesinden meydana gelen kayıplar

$$RE = (K_{re} - J \times (SH + CR + ES)) \times C$$

$$f_{ps}/f_{pk} = 0,75 \text{ için } C=1 \text{ alınır} \quad K_{re} = 5000 \quad J = 0,04 \quad RE = 219,21 \text{ kgf/cm}^2$$

Toplam öngerilme kaybı

$$TL = ES + CR + SH + RE$$

$$TL = 1700,62 \text{ kgf/cm}^2$$

$TL(\%)/(f_{ps}/f_{pk} \times f_{ps}) \geq 0,10$ ise bu kayıp değeri kullanılır

$< 0,10$ ise $TL(\%) = 0,10$ değeri kullanılır

$TL(\%) = 0,119 > 0,10$ olduğu için öngerilme toplam kaybı %12 alınabilir.

%12 $<$ %20 olduğu için hesaplarda öngörülen toplam kayıp ile çözüm yapılabilir.

Gerilme TahkikleriTransfer anında gerilme kontrolü

$$P_{eft} = f_{ps0} = 12825 \text{ kgf/cm}^2$$

$$N = P_{eft} \times A_{ps} = 76181 \text{ kgf}$$

*Mesnetten 50φ mesafe=63,5 cm

$$M_t = (N \times e) + (g_z \times L_h / 2 \times 50\phi) - (g_z \times (50\phi)^2 / 2) = 408674 \text{ kgcm}$$

$$\sigma_{t,üst} = (N/A) - (M_t/W_{ii}) = 14,15 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{ç} = 27,71 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{t,alt} = (N/A) + (M_t/W_a) = -104,31 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_b = -180 \text{ kgf/cm}^2$$

*Açıklık ortasında=39,5 cm

$$M_t = (N \times e) + (g_z \times L_h^2 / 8) = 202626 \text{ kgcm}$$

$$\sigma_{t,\text{üst}} = (N / A) - (M_t / W_{\text{ü}}) = -15,71 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{\text{ç}} = 13,86 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{t,\text{alt}} = (N / A) + (M_t / W_{\text{a}}) = -74,74 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{\text{b}} = -180 \text{ kgf/cm}^2$$

Servis anında gerilme kontrolü

$$P_{\text{efs}} = f_{\text{ps}} \infty = 11400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$N = P_{\text{efs}} \times A_{\text{ps}} = 67716 \text{ kgf}$$

$$M_s = (N \times e) + (p \times L_h^2 / 8) = 360473 \text{ kgcm}$$

$$\sigma_{s,\text{üst}} = (N / A) - (M_s / W_{\text{ü}}) = -102,91 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{\text{b}} = -180 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{s,\text{alt}} = (N / A) + (M_s / W_{\text{a}}) = 22,72 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{\text{ç}} = 32 \text{ kgf/cm}^2$$

Taşıma Gücüne Göre Tahkik

$$M_d = (1.4g + 1.6q) \times L_h^2 / 8 = 12,89 \text{ tm}$$

$$\delta_d = A_{\text{ps}} / (b \times d) = 0,003$$

$$f'_{\text{pd}} = f_{\text{pd}} \times (1 - (0,4 \times \delta_d \times (f_{\text{pd}} / f_{\text{cd}}))) = 15375,3 \text{ kgf/cm}^2$$

$$N_{\text{ps}} = f'_{\text{pd}} \times A_{\text{ps}} = 91329 \text{ kg}$$

$$a_1 = N_{\text{ps}} / (0,85 \times f_{\text{cd}} \times b) = 3,13 \text{ cm} < d_1$$

$$M_n = N_{\text{ps}} \times (d - (a_1 / 2)) = 13,64 \text{ tm}$$

$$M_d \leq M_n \text{ ise kesitin taşıma kapasitesi yeterlidir. } M_d = 12,89 \text{ tm} \leq M_n = 13,64 \text{ t}$$

Çatlamış kesitte moment kontrolü

$$M_{\text{cr}} = W_a \times ((P_{\text{efs}} / A) + (P_{\text{efs}} \times e / W_a) + 0,40 \sqrt{f_{\text{ck}}}) = 1,76 \text{ tm}$$

$$M_n \geq 1,20 M_{\text{cr}}$$

$$M_n = 13,64 \text{ tm} \geq 1,20 M_{\text{cr}} = 2,11 \text{ tm}$$

Kesme Kuvveti Kontrolü

$$V_d < V_{\text{res}}$$

$$b_w = b - \sum a > b/4 = 42 \text{ cm}$$

$$V_d = 6,52 \text{ ton} \quad M_d = 12,89 \text{ tonm}$$

$$V_{\text{res}} = (0,043 \sqrt{f_{\text{ck}}} + 4,25 \times d \times (V_d / M_d)) \times b_w \times d = 4,35 \text{ ton}$$

$$V_d = 6,52 > V_{\text{res}} = 4,35$$

$$\text{Ayrıca } (V_d \times d / M_d) < 1,0$$

0,17 $\sqrt{f_{\text{ck}}} \times b_w \times d < V_{\text{res}} < 0,40 \sqrt{f_{\text{ck}}} \times b_w \times d$ koşullarının da sağlanması gerekmektedir.

$$0,084 < 1$$

$$7,45 < 4,35 < 17,53$$

Koşulların hepsi sağlanmadığı için etriye kullanılmalı ya da mesnet bölgelerindeki boşluklar beton ile doldurulmalıdır.

Sehim Hesapları

Transfer anında öngerilmeden meydana gelen sehim

$$M = A_{ps} \times P_{eft} \times e = 4,95 \text{ tm}$$

$$E_{cj} = 10270 \times (f_{ckj})^{1/2} + 140000 = 317882 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_1 = (M \times L_h^2) / (8 \times E_{cj} \times I) = -1,761 \text{ cm}$$

Döşeme zati ağırlığından meydana gelen sehim

$$f_2 = (5 / 384) \times (g_z \times L_h^4) / (E_{cj} \times I) = 0,867 \text{ cm}$$

Kaplama ağırlığından meydana gelen sehim

$$E_c = 10270 \times (f_{ck})^{1/2} + 140000 = 345400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_3 = (5 / 384) \times (g_k \times L_h^4) / (E_c \times I) = 0,222 \text{ cm}$$

Topping ağırlığından meydana gelen sehim

$$E_c = 10270 \times (f_{ck})^{1/2} + 140000 = 345400 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_4 = (5 / 384) \times (g_t \times L_h^4) / (E_c \times I) = 0,355 \text{ cm}$$

Haraketli yükten meydana gelen sehim

$$f_5 = (5 / 384) \times (q \times L_h^4) / (E_c \times I) = 0,745 \text{ cm}$$

Sehim Kontrolü

Transfer anında

$$f_6 = f_1 + f_2 = -0,894 \text{ cm}$$

Uzun süre depolama sonucunda

$$f_7 = (1,80 \times f_1) + (1,85 \times f_2) = -1,565 \text{ cm}$$

Uzun süre ölü yükler sonucunda

$$f_8 = (2,20 \times f_1) + (2,40 \times f_2) + (3,0 \times f_4) = -0,728 \text{ cm}$$

Servis anında

$$f_9 = f_7 + f_4 + f_3 = -0,988 \text{ cm}$$

Uzun süreli servis anında

$$f_{10}=f_8+ (3,0 \times f_3)=-0,062 \text{ cm}$$

Sonuç toplam sehım

$$f_{11}=-f_9+ f_{10}+ f_5=0,931 \text{ cm}$$

$$f_{11} < L_h/360 \text{ olmalıdır} \quad -0,305 \text{ cm} < 2,194 \text{ cm}$$

Kompozit Kesitte Kayma Dayanımı

$$V_r=f_{ht} \times b' \times d_p$$

Kayma donatısız, yüzeyi en az 6 mm genişliğinde taraklanmış ve temizlenmiş prefabrik elaman için: $f_{ht}= 0,5 \text{ N/mm}^2$ alınmıştır.

$$b'=120 \times 320000/340000=110 \text{ cm} \quad d_p=20+7,5-3,5=24 \text{ cm}$$

$$V_d= \tau_h \times b' \times d_p \text{ denklemindeki } \tau_h \leq f_{ht} \text{ olmalıdır}$$

$$\tau_h=0,25 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ht}= 0,5 \text{ N/mm}^2$$

$$V_r=13,2 \text{ ton} > V_d=6,52 \text{ ton} \text{ Kayma donatısına gerek yoktur.}$$

7. MATERYAL VE YÖNTEM

7.1. Materyal

Bu deneysel çalışmada önerilmeli boşluklu döşemelerin içlerinde bulunan boşlukların çelik donatı ve çelik halatlar ile beraber betonla doldurulması sonucu eğilme dayanımları araştırılmıştır. Döşemelerin eğilme kapasitelerini ölçmek için yükleme çerçevesinden, hidrolik yükleme kontrol sisteminden, kullanılan güçlendirme donatılarındaki uzama ve kısalmaları ölçmek için gerinim pullarından, döşemelerin sehimlerini ölçmek için sehim ölçerlerden yararlanılmıştır.

7.1.1. Yükleme çerçevesi

Döşemelerin eğilme dayanımlarını belirlemek için HEB220 çelik kolonlar ve HEB260 çelik kirişlerden yapılmış olan yükleme çevresinden yararlanılmıştır. Yükleme çerçevesi hidrolik pistonu 800 kN yük basma kapasitesine sahiptir. Yükleme çerçevesinde iki adet mesnet bölgesi bulunmaktadır. Bu mesnet bölgelerinde döşemelerin dönmelerinin serbest olabilmesi için iki adet basit mesnet kullanılmıştır. Bu mesnetler 200x500x20 mm ebatlarında olan çelik dikdörtgen plakaların 50 mm çapında çelik silindire kaynaklanmasıyla oluşturulmuştur (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Yükleme çerçevesi

7.1.2. Hidrolik kontrol ünitesi ve yük hücresi

Deneyleerde yükleme çerçevesindeki hidrolik pistonun yükleme kontrolünü sağlamak amacıyla 1000 kN kapasiteye sahip hidrolik kontrol ünitesi kullanılmıştır. Kontrol ünitesinin üzerinde bulunan ekrana istenilen yükleme hızı $N/cm^2/s$ olarak girilebilmektedir. Ekrandaki yükleme hızı % olarak arttırılabilmektedir (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Hidrolik kontrol ünitesi

Yükleme çerçevesinde bulunan hidrolik pistonun ucunda yük hücresi bulunmaktadır. 500 kN basma kapasitesine sahip bu yük hücresi güç ünitesinden gelen yükü hidrolik piston ile deney numunelerine aktarır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3.Yük hücresi

7.1.3. Gerinim pulları, bağlantı terminali ve bağlantı kabloları

Deney esnasında güçlendirme amacı ile kullanılan nervürlü çelik donatıların ve çelik halatların birim uzama değerlerini bilgisayar ortamına aktarımını sağlamak için gerinim ölçer pullardan yararlanılmıştır. Gerinim ölçerlerde gerinim arttıkça tellerin boyunun uzamasıyla ve kesit alanlarının azalmasıyla teldeki elektrik direnci artar. Bu direnç ve gerinim pullarının Gauge faktörü ile gerinim değeri bulunmuş olur. BF-120-10AA tek eksenli gerinim ölçer pullar 10 mm genişliğinde, 167 mm boyunda ve 120 ohm dirence sahiptir. Gerinim pullarının bağlanabilmesi için bu pulların model numaraları ile uyumlu TFY-2S tipi bağlantı terminaleri kullanılmıştır. Bağlantı terminalerini bilgisayar ortamına bağlamak için çok telli iletken kablolar kullanılmıştır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Gerinim pulu, bağlantı terminali ve bağlantı kabloları

7.1.4. Sehim ölçerler

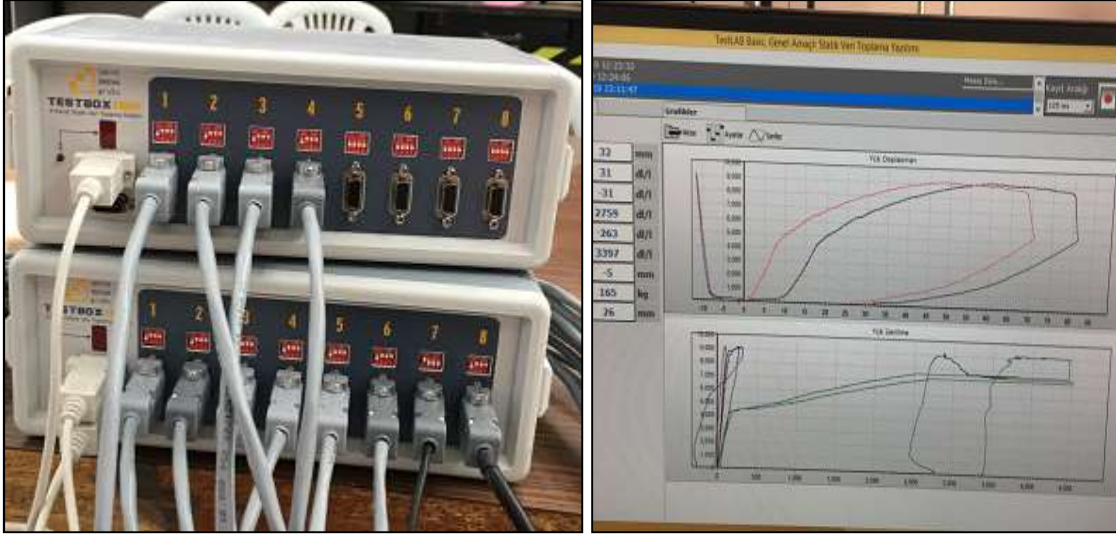
Deneyleerde döşemelerde oluşacak sehimleri ölçmek için 100 mm ölçme kapasitesine sahip, deney sırasında hidrolük pistonda oluşabilecek sehimleri ölçmek için ise 50 mm ölçme kapasitesine sahip iki adet sehim ölçer kullanılmıştır (Şekil 7.5).



Şekil 7.5. Sehim ölçer

7.1.5. Veri toplama cihazı ve veri toplama yazılımı

Deneyleerde kullanılan yük hücresindeki, gerinim pullarındaki ve sehim ölçerlerdeki verilerin bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için TESTBOX1001 model veri toplama cihazı ve EASYTEST BASIC veri toplama yazılımından yararlanılmıştır. TESTBOX1001 veri toplama cihazında bulunan kanallara veri almak istenilen tüm ekipmanlar bağlanmıştır. EASYTEST BASIC programında bu ekipmanların özellikleri bağlandıkları kanala ait özellikler girilmiştir. Deney öncesi her ekipmanın kalibrasyonu yapılmıştır (Şekil 7.6).



a)

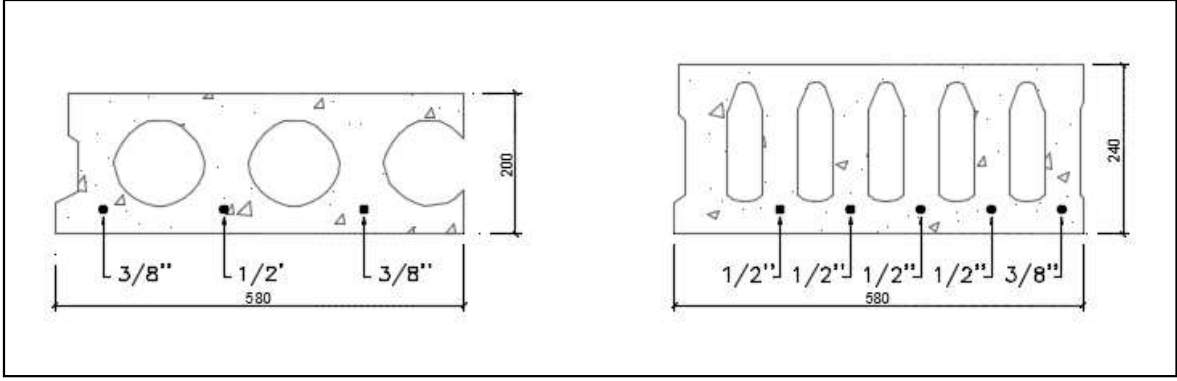
b)

Şekil 7.6. Veri toplama cihazı (a) ve veri toplama yazılımı (b)

7.1.6. Öngerilmeli boşluklu döşemeler

Deneylerde 8 adet öngerilmeli boşluklu döşeme elemanı kullanılmıştır. Döşemelerin 4 adedi 200 mm yüksekliğinde, 580 mm genişliğinde ve 4000 mm boyundadır. Diğer 4 adet döşeme ise 240 mm yüksekliğinde, 580 mm genişliğinde ve 4000 mm boyundadır. 200 mm yüksekliğe sahip ilk grup döşemelerde 2 adet 9,53 mm (3/8 inch) ve 1 adet 12,7 mm (1/2 inch) çapında öngerilme halatı bulunmaktadır. 240 mm yüksekliğe sahip ikinci grup döşemelerden 4 adet 12,7 mm (1/2 inch) ve 1 adet 9,53 mm (3/8 inch) çapında öngerilme halatı bulunmaktadır.

Şekil 7.7 ve 7.8’de deneylerde kullanılan öngerilmeli boşluklu döşemelerin kesitleri ve donatıları görülmektedir.



Şekil 7.7. Deneylerde kullanılan öngerilmeli boşluklu döşeme tipleri



Şekil 7.8. Deneylerde kullanılan döşemeler

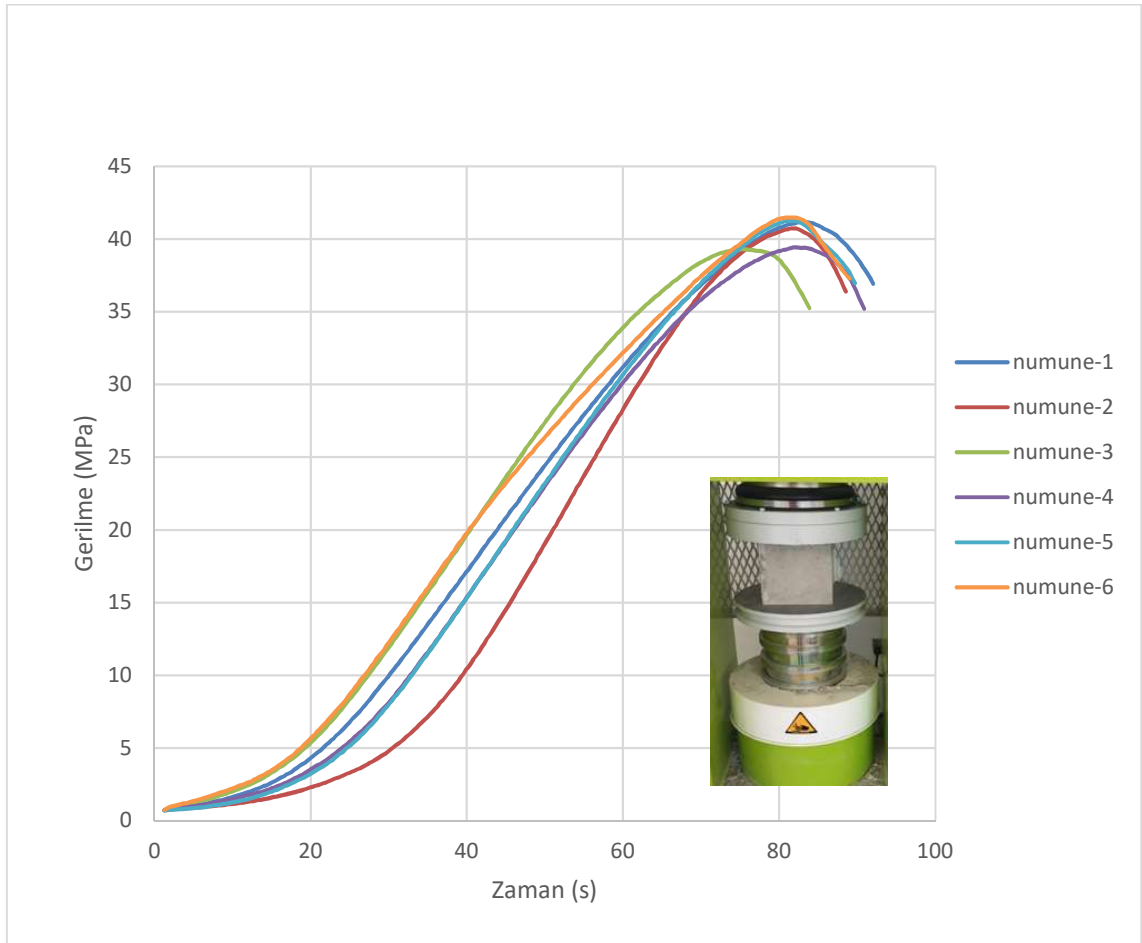
7.1.7. Güçlendirme için kullanılan beton

Döşemelerin güçlendirilmesinde C30/37 beton kullanılmıştır. Beton döküm esnasında transmikserden 6 adet 150x150x150 mm ebatlarında içerisi yağlanmış ve temiz olan küplere beton numuneleri alınmıştır. Betonun küp kalıplara yerleştirilmesi 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Her aşama esnasında küp numune yüzey alanına eşit gelecek şekilde sıkıştırma çubuğu ile darbeler uygulanmıştır. Son kat yerleştirilip sıkıştırıldıktan sonra beton yüzeyi mala yardımı ile düzeltilmiştir. Doldurma işlemi esnasında betonun içerisinde

oluşabilecek hava kabarcıklarını önlemek amacıyla tokmak yardımı ile kalıpların etrafına hafifçe vurulmuştur.

Küp numunelere alınan betonun 28 günlük dayanımlarını ölçmek için basınç dayanım testleri deney düzeneğinde yapılmıştır. Numune deney düzeneğine yerleştirilirken alt ve üst yüzeylerinin pürüzsüz olmasının dikkat edilmiştir. Bu numunelerin dayanım değerleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Küp Numunelerin Beton basınç dayanım grafiği



Çizelge 7.2. Küp numunelerin beton basınç dayanımları

Küp Numunelerin Ortalama Beton Basınç Dayanımı		
Numune Adı	Gerilme (Mpa)	Ortalama Gerilme (Mpa)-SS
1. Numune	41,17	$\sigma_{\text{ortalama-SS}}=39,69$
2. Numune	40,74	
3. Numune	39,31	
4. Numune	39,44	
5. Numune	41,25	
6. Numune	41,48	
Standart Sapma (SS)	0,87	

7.1.8. Güçlendirme için kullanılan çelik donatı ve çelik halatlar

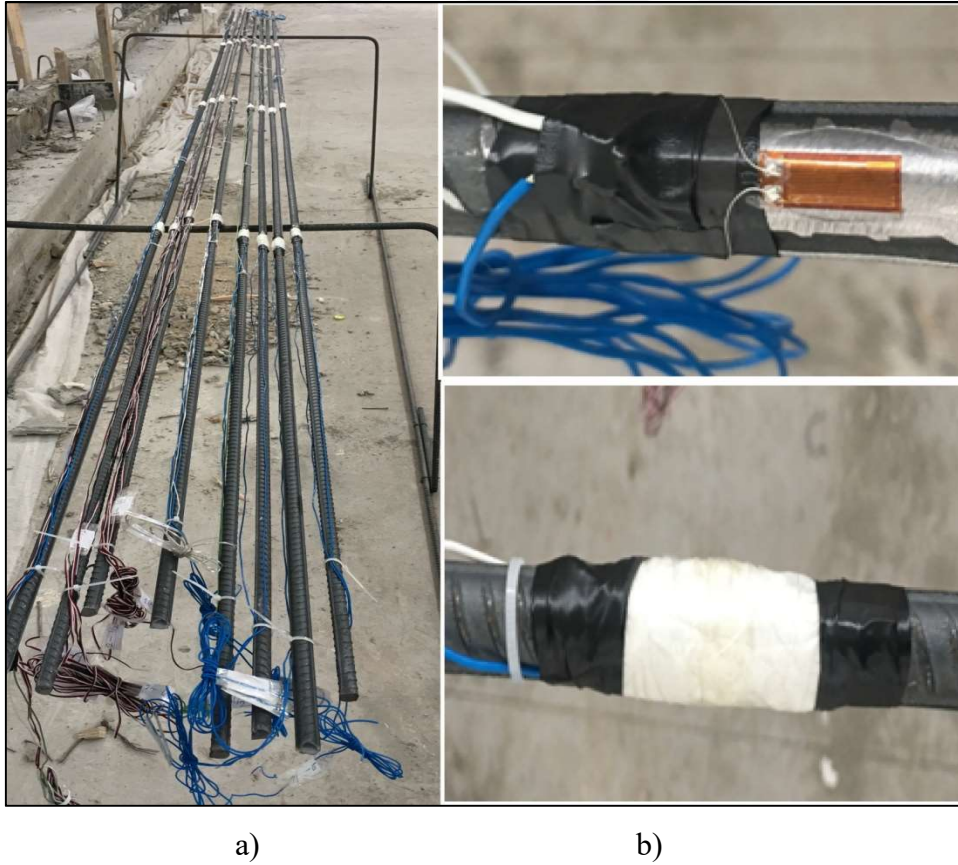
Deneylerde güçlendirme için minimum kopma dayanımı 50 kgf/mm² olan S420 sınıfı 12 mm çapında ve 400 mm uzunluğunda nervürlü çelik donatı ve minimum kopma dayanımı 201 kgf/mm² olan 7 telli 12,7 mm (1/2 inch) çapında ve 400 mm uzunluğunda çelik halat kullanılmıştır. Çelik donatıların kopma dayanımı TS708 Çizelge 3'den, çelik halatların kopma dayanımı üretici firma sertifikasından alınmıştır. Bu değerler Çizelge 7.3'de gösterilmiştir. Nervürlü çelik donatıların elastisite modülü TS500 Madde 3.2'de belirtildiği gibi 2x10⁴ kgf/mm², çelik halatların elastisite modülü üretici firma tarafından verilen sertifikadan ortalama olarak 2,05x10⁴ kgf/mm² kabul edilmiştir.

Çizelge 7.3. Çelik donatıların mekanik özellikleri (TS708,2010)

Tip	Nervürlü		
	S 420	B 420C	B 500C
Sınıf			
Akma dayanımı (en az) R_e (N/mm ²)	420	420	500
Çekme dayanımı (en az) R_m (N/mm ²)	500	-	-
Çekme dayanımı/ akma dayanımı oranı R_m/R_e	1,15 (en az)	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,15$ $< 1,35$
DeneySEL akma dayanımı/ karakteristik akma dayanımı oranı $R_{e \text{ act}}/R_{e \text{ nom}}$ (max)	1,3	1,3	1,3
Kopma uzaması (en az) A_5 (%)	10	12	12
Maksimum yükte toplam uzama (en az) A_{gt} (%)	-	7,5	7,5
Bükme açısı (°)	180	-	-

7.2. Yöntem

Deneyde kullanılan güçlendirme donatılarının yüzeyleri zımpara ile düzeltilmiş ve paslanmayı önleyici yağdan arındırılmıştır. Yüzeyi düzeltilen kısımlara bağlantı terminali ve kablolarıyla lehim yapılarak bağlanmış olan gerinim pulu düzeneği yerleştirilmiştir. Gerinim pulları yerleştirilirken pulların bağlantı terminaline lehimi için bulunan ince kabloların donatıya temas etmemesi için bantlar ile yalıtım yapılmıştır. Ayrıca her bir gerinim pulunun beton döküm esnasında zarar görmemesi için veri iletimini etkilemeyecek şekilde pamuk yardımı ile izole edilmiştir. Bir adet donatıya L/2, sağdan ve soldan L/3 mesafeleri olmak üzere toplamda 3 adet gerinim pulu yerleştirilmiştir. Bağlantı terminaline lehimlenen iletken kabloların buldukları mesafe ve yön göz önünde bulundurularak isimlendirmeler yapılmıştır. Şekil 7.9'da güçlendirme donatılarının bağlantı aşamaları görülmektedir.

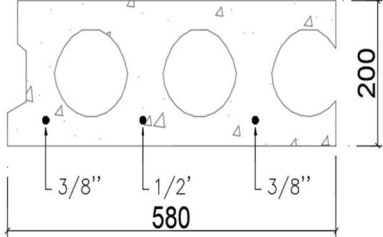
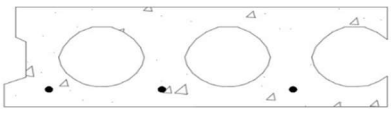
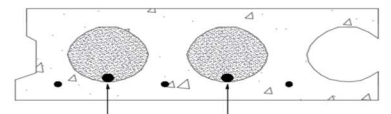
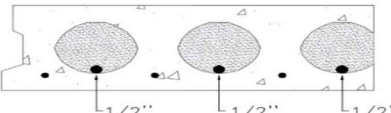
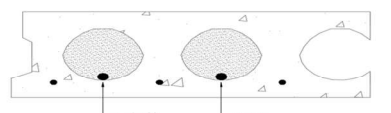
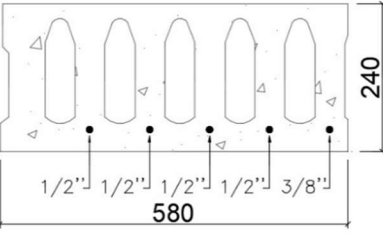
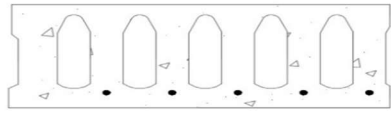
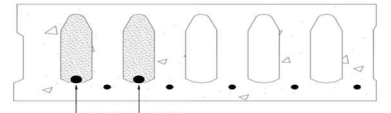
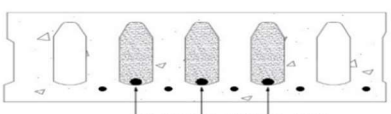
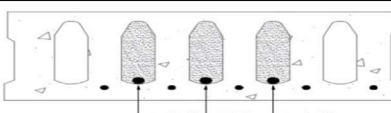


Şekil 7.9. Gerinim pulunun donatıya bağlanması (a) ve izolasyonu (b)

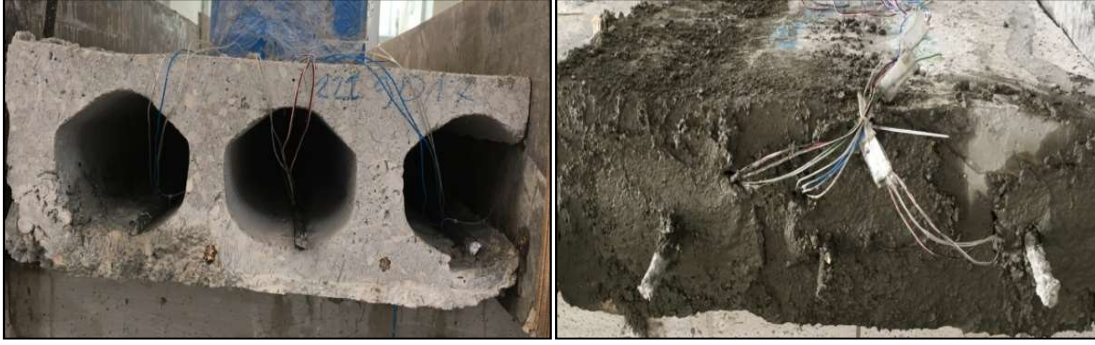
200 mm yüksekliğe sahip döşemelerin 1 adedi güçlendirmeyi kıyaslayabilmek için kontrol numunesi olarak kullanılmıştır (BD20-1). 1 adet döşemede bulunan 2 boşluk içerisine 12 mm çapında çelik donatı yerleştirilmiştir (BD20-2), farklı 1 adet döşemede bulunan 3 boşluk içerisine de 12,7 mm (1/2 inch) çapında çelik halat yerleştirilmiştir (BD20-3). Diğer 1 adet döşemede bulunan 2 boşluk içerisine de 12,7 mm (1/2 inch) çapında çelik halat ve 1 boşluk içerisine de 12 mm çapında çelik donatı yerleştirilmiştir (BD20-4).

240 mm yüksekliğe sahip döşemelerin de 1 adedi kontrol numunesi olarak kullanılmıştır (BD24-1). Diğer 1 adet döşemede bulunan 2 boşluk içerisine 12 mm çapında çelik donatı yerleştirilmiştir (BD24-2). 1 adet döşemede bulunan 5 boşluktan 3 tanesinin içerisine 12,7 mm (1/2 inch) çapında çelik halat yerleştirilmiştir (BD24-3) ve diğer 1 adet döşemede bulunan 5 boşluktan 2 tanesinin içerisine 12,7 mm (1/2 inch) çapında çelik halat ve 1 boşluk içerisine de 12 mm çapında çelik donatı yerleştirilmiştir (BD24-4). Döşemelerin güçlendirme kombinasyonları Çizelge 7.4'de görülmektedir.

Çizelge 7.4. Deneylerde kullanılan döşeme tipleri

DÖŞEME KESİTİ DETAYI	DÖŞEME ETİKETİ	DÖŞEME RESİMLERİ
	BD20-1	
	BD20-2	
	BD20-3	
	BD20-4	
	BD24-1	
	BD24-2	
	BD24-3	
	BD24-4	

Donatılar yerleştirildikten sonra 200 mm yüksekliğe sahip BD20-3 numaralı döşemenin yan tarafına kalıp çakılmıştır ve döşemelerin delikleri tek tarafları beton geçişini engelleyici süngerler yardımı ile kapatılmıştır. Döşemelerin bu boşlukları Şekil 7.10'da görüldüğü gibi C30 sınıfı beton ile doldurulmuş ve 28 gün boyunca betonun mukavemetini alması için mevcut konumlarında bırakılmıştır.



a)

b)

Şekil 7.10. Döşeme boşluklarına donatı yerleştirilmesi (a) ve beton ile doldurulması (b)

Beton döküm esnasında transmikslerden alınan küp numunelerin basınç dayanım testleri yapılmıştır. Yapılan bu testler sonucunda döşemelerin boşlukları içerisine doldurulan betonun istenilen dayanıma ulaştığı görülmüş ve deneylere başlanılmıştır.

Yükleme çerçevesinde bulunan çelik mesnetler üzerine döşemeler yerleştirilmiştir. Döşemelerin orta noktası işaretlenmiştir. Hidrolik yüklem hücresi bu işaretlenen bölgeye getirilerek çelik plakalar üzerine gelecek şekilde sabitlenmiştir. Döşemelerin yüzey alanlarında bulan pürüzlerden dolayı bu plakalar konulmuştur ve yük aktarımının düzgün bir şekilde dağılım gösterdiği kabul edilmiştir (Bkz. Şekil 7.3).

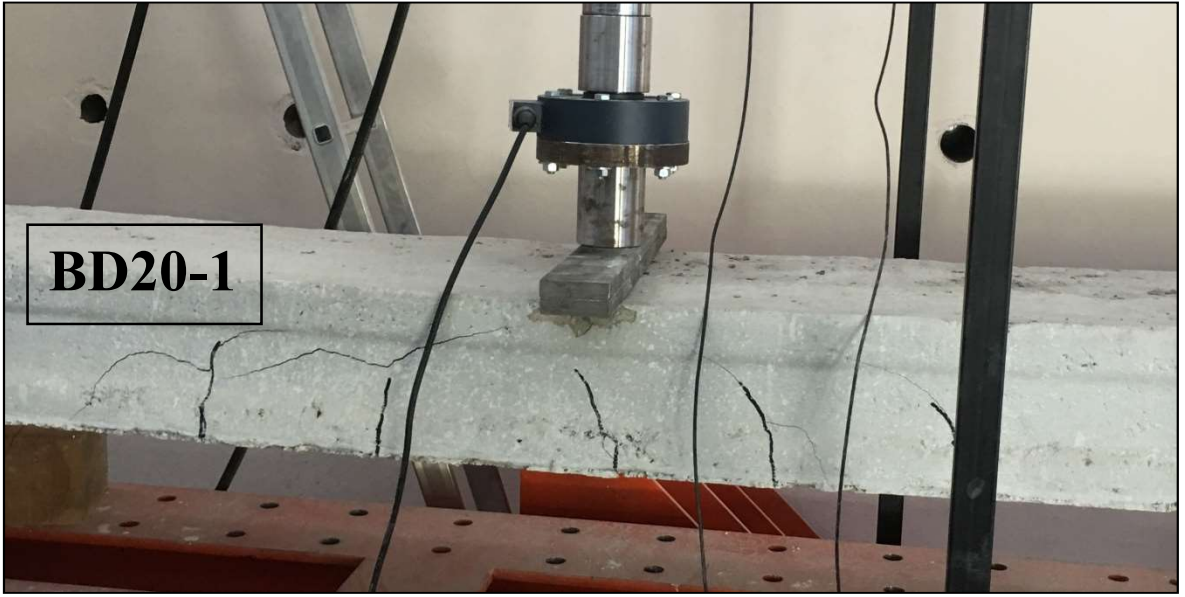
Hidrolik yük hücresi üzerine döşemede oluşan deplasmanı ölçmek için bir adet sehim ölçer bağlanmıştır. Yüklem çerçevesindeki hidrolik pistonun basma yükünden meydana gelen ters sehimi ölçmek için de bir adet sehim ölçer çerçeve düzeneğine bağlanmıştır.

Döşemelerde bulunan gerinim pullarına bağlı olan kablolar, hidrolik yük hücresi ve sehim ölçerler bilgisayar sistemine bağlanmıştır.

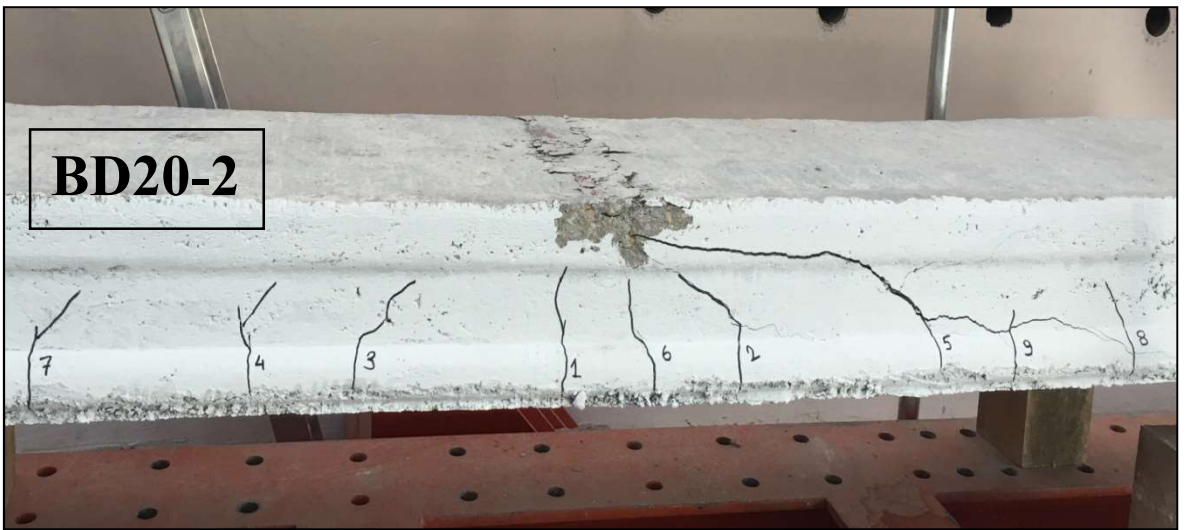
Döşemeler hidrolik yük hücresi yardımı ile göçme çatlakları oluşana kadar yüklenmiştir. Bilgisayar sisteminde yük kapasitesindeki ani düşüş görüldüğü anda yüklem durdurulmuş ve deney sonlandırılmıştır.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

Güçlendirme yapılan döşemelerin güçlendirme yapılmayan döşemelere göre eğilme dayanımlarının arttığı görülmüştür. Şekil 8.1'de 200 mm yüksekliğe sahip döşemelerin çatlakları ve Şekil 8.2'de 240 mm yüksekliğe sahip döşemelerin çatlakları görülmektedir.



a)

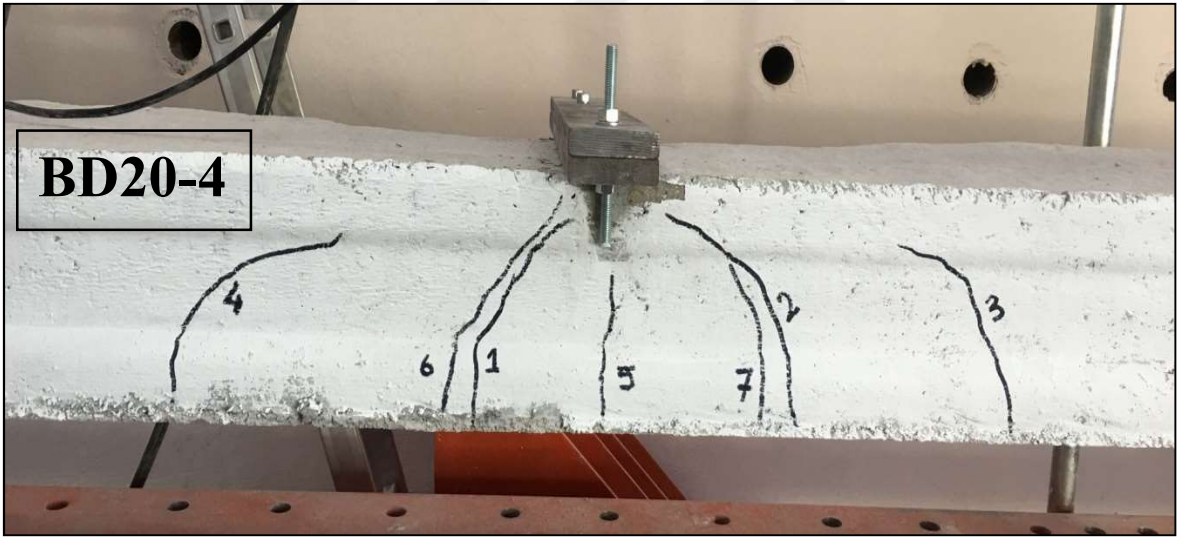


b)

Şekil 8.1. 200 mm yükseklikteki döşemeler: a) BD20-1, b) BD20-2, c) BD20-3, d) BD20-4

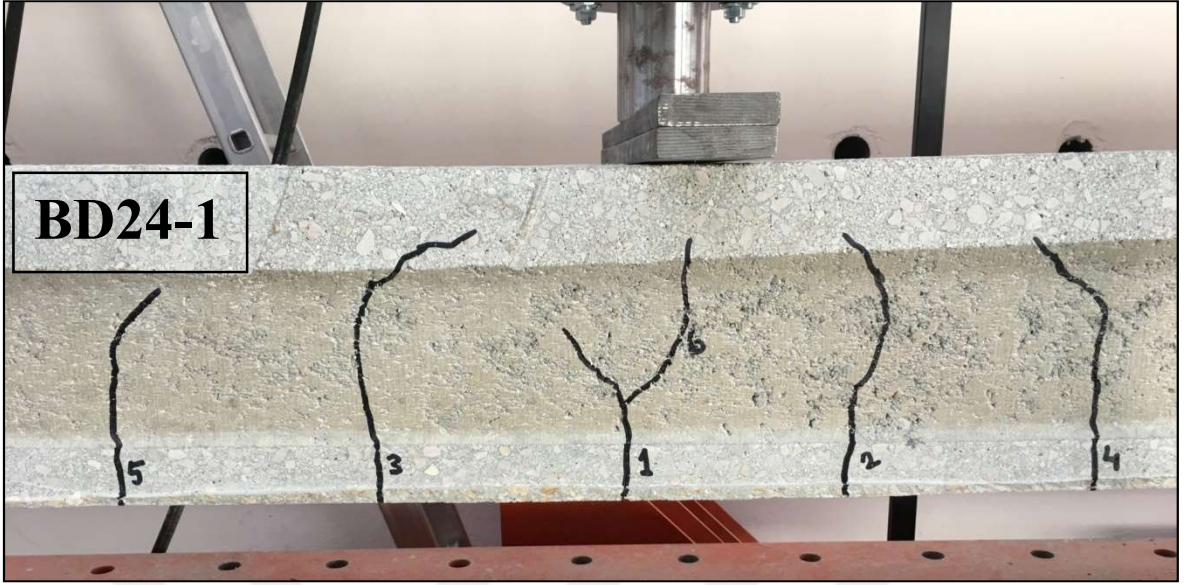


c)

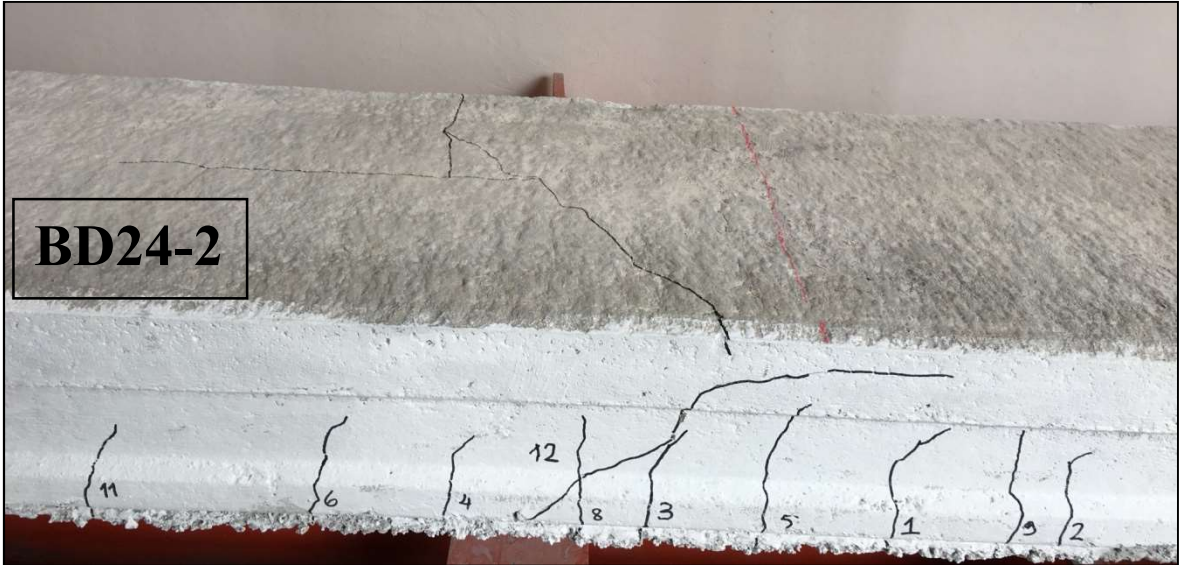


d)

(Şekil 8.1. Devam)



a)

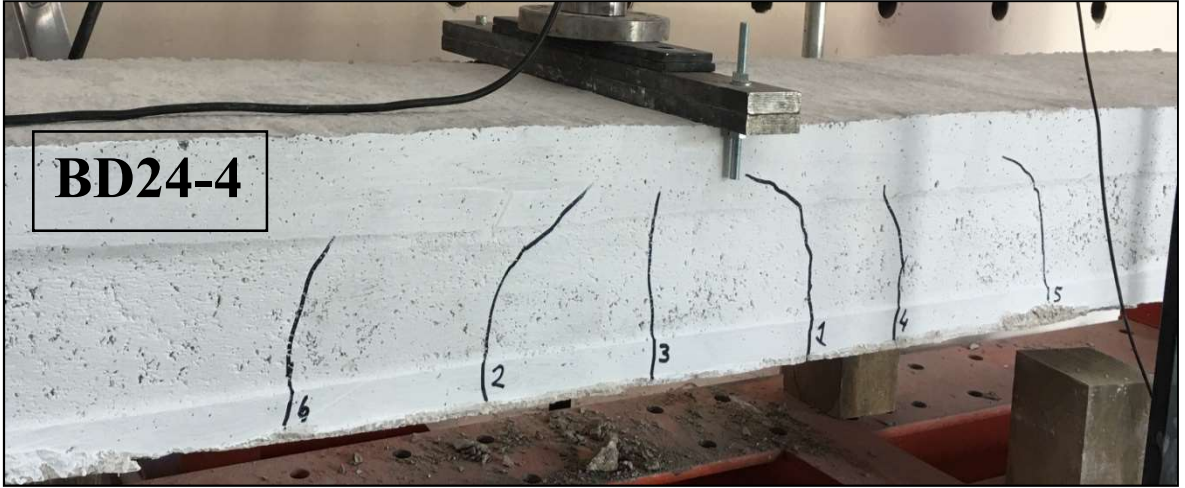


b)

Şekil 8.2. 240 mm yükseklikteki döşemeler: a) BD24-1, b) BD24-2, c) BD24-3, d) BD24-4



c)



d)

(Şekil 8.2. Devam)

Yüksekliği 200 mm olan döşemelerdeki boşluklar doldukça döşemelerin eğilme dayanımları artmıştır. Fakat doluluk arttıkça döşemelerin içlerinde bulunan öngerilme donatılarına paralel yönde döşemelerin üst yüzeylerinde çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Tüm boşlukları doldurulmuş olan BD20-3 numaralı döşemenin üst yüzeyinde oluşan bu çatlaklar Şekil 8.3'de gösterilmiştir.



Şekil 8.3. BD20-3 numaralı döşeme

Yüksekliği 240 mm olan döşemelerdeki boşluklar doldukça bu döşemelerin de eğilme dayanımları artmıştır. Doluluk arttıkça döşemelerin içlerinde bulunan öngerilme donatılarına paralel yönde döşemelerin üst ve alt yüzeylerinde çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu döşemelerin mesnet bölgelerinde derin kesme çatlakları oluşmuştur. BD24-2, BD24-3 ve BD24-4 numaralı döşemelerde oluşan bu çatlaklar Şekil 8.4, 8.5 ve 8.6'da da gösterilmiştir.



Şekil 8.4. BD24-2 numaralı döşeme



Şekil 8.5. BD24-3 numaralı döşeme

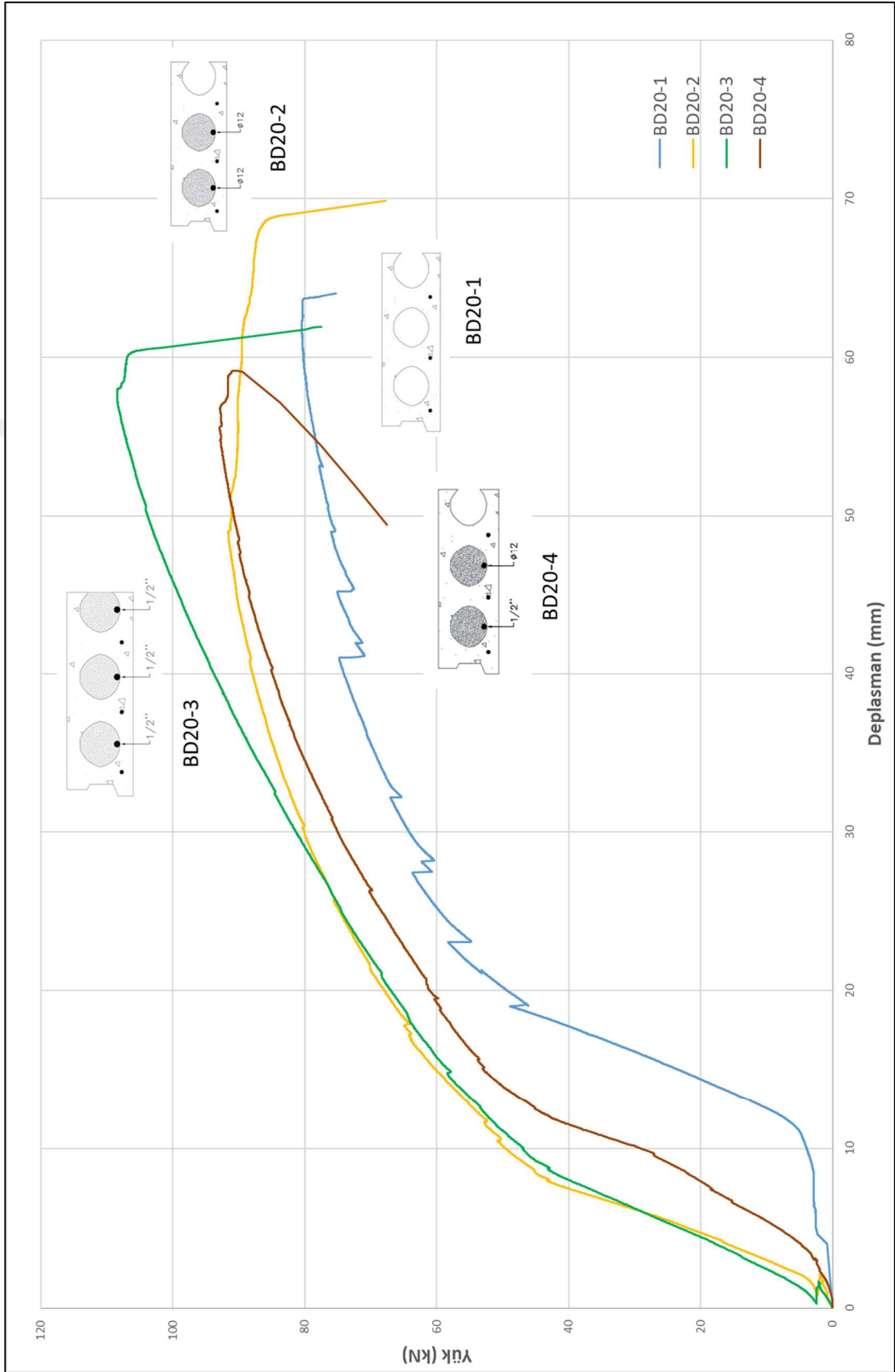


Şekil 8.6. BD24-4 numaralı döşeme

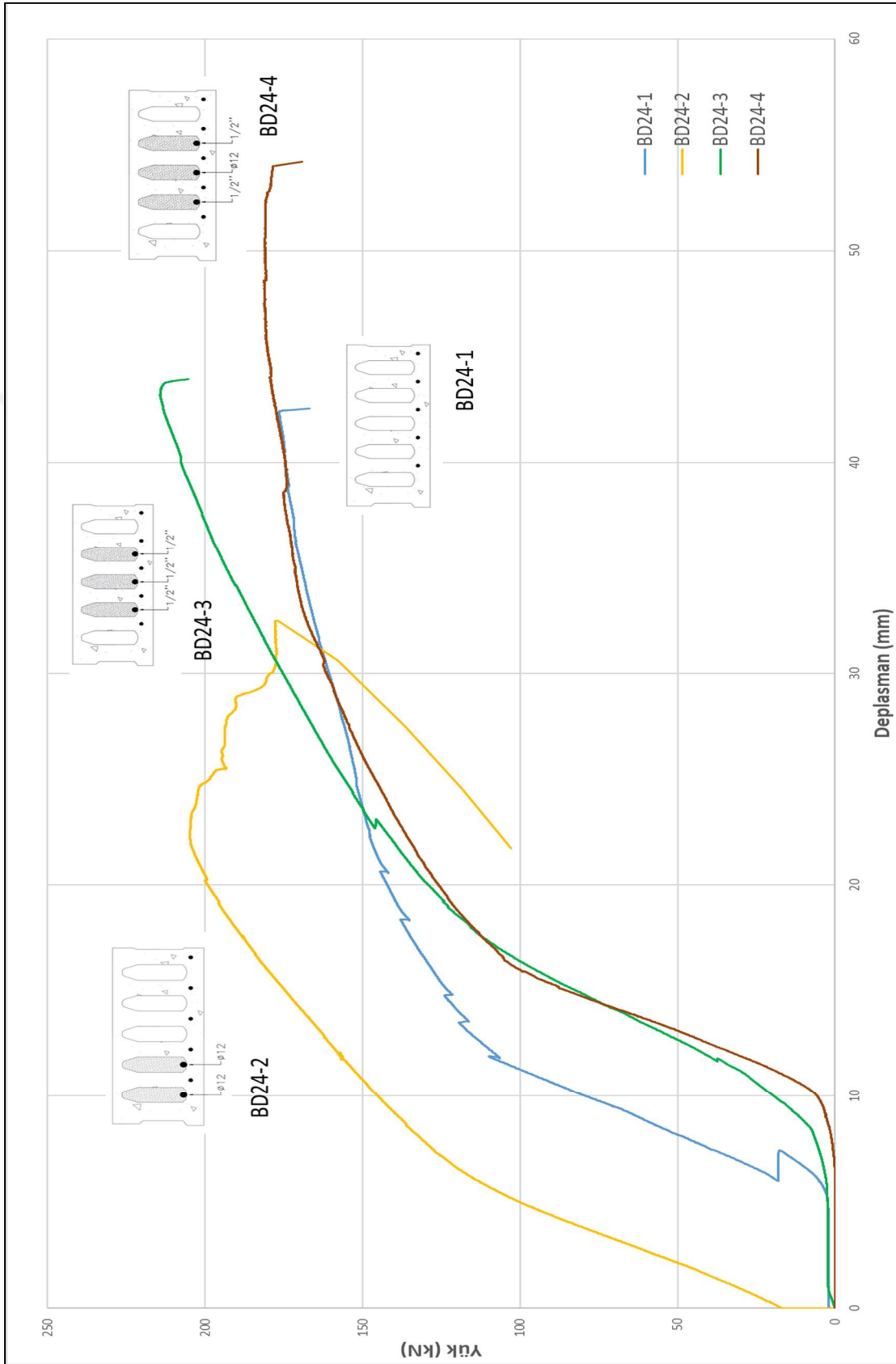
Çizelge 8.1’de 200 mm ve Şekil 8.2’de 240 mm yüksekliğindeki döşemelerin Yük-deplasman grafikleri gösterilmiştir. Döşemelerin özellikleri, tipleri, güçlendirme durumları ve maksimum dayanım yüklerini içeren Çizelge 8.3’de verilmiştir.

BD20-1 döşemesi ile BD20-2 döşemesi karşılaştırıldığında eğilme dayanımında %14 artış olduğu, BD20-3 döşemesi karşılaştırıldığında eğilme dayanımında %35 artış olduğu ve BD20-4 döşemesi karşılaştırıldığında eğilme dayanımında %15 artış olduğu görülmüştür. BD24-1 döşemesi ile BD24-2 döşemesi karşılaştırıldığında eğilme dayanımında %16 artış olduğu, BD24-3 döşemesi karşılaştırıldığında eğilme dayanımında %21 artış olduğu ve BD24-4 döşemesi karşılaştırıldığında eğilme dayanımında %3 artış olduğu görülmüştür.

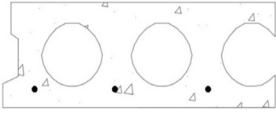
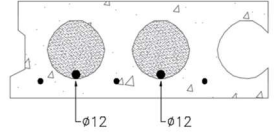
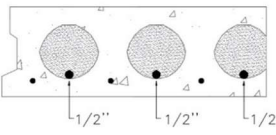
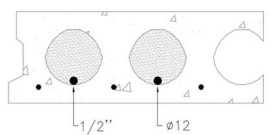
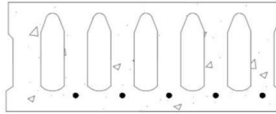
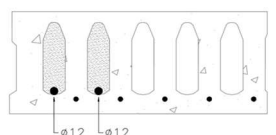
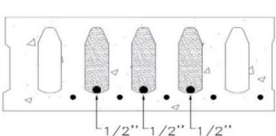
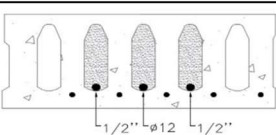
Çizelge 8.1. BD20 döşemeleri yük-deplasman grafiği



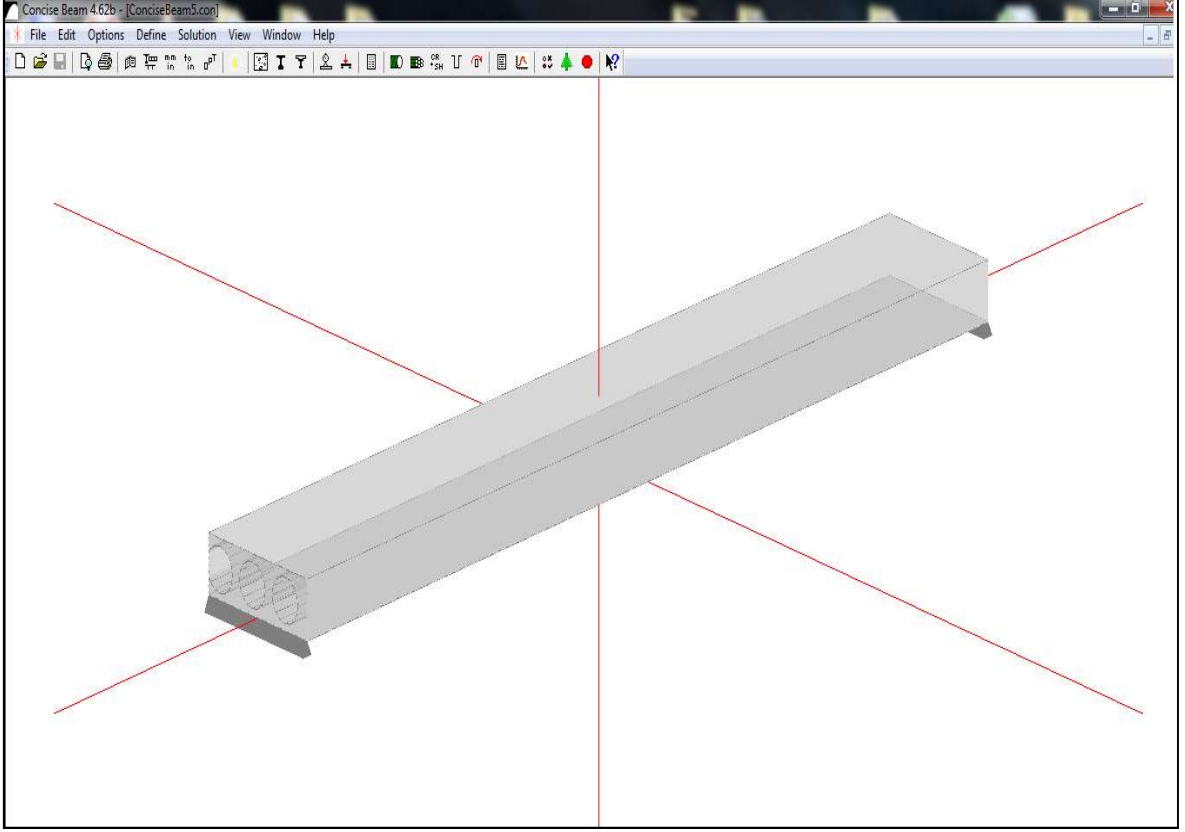
Çizelge 8.2. BD24 döşemeleri yük-deplasman grafiği



Çizelge 8.3. Deney sonuçlarının karşılaştırılması

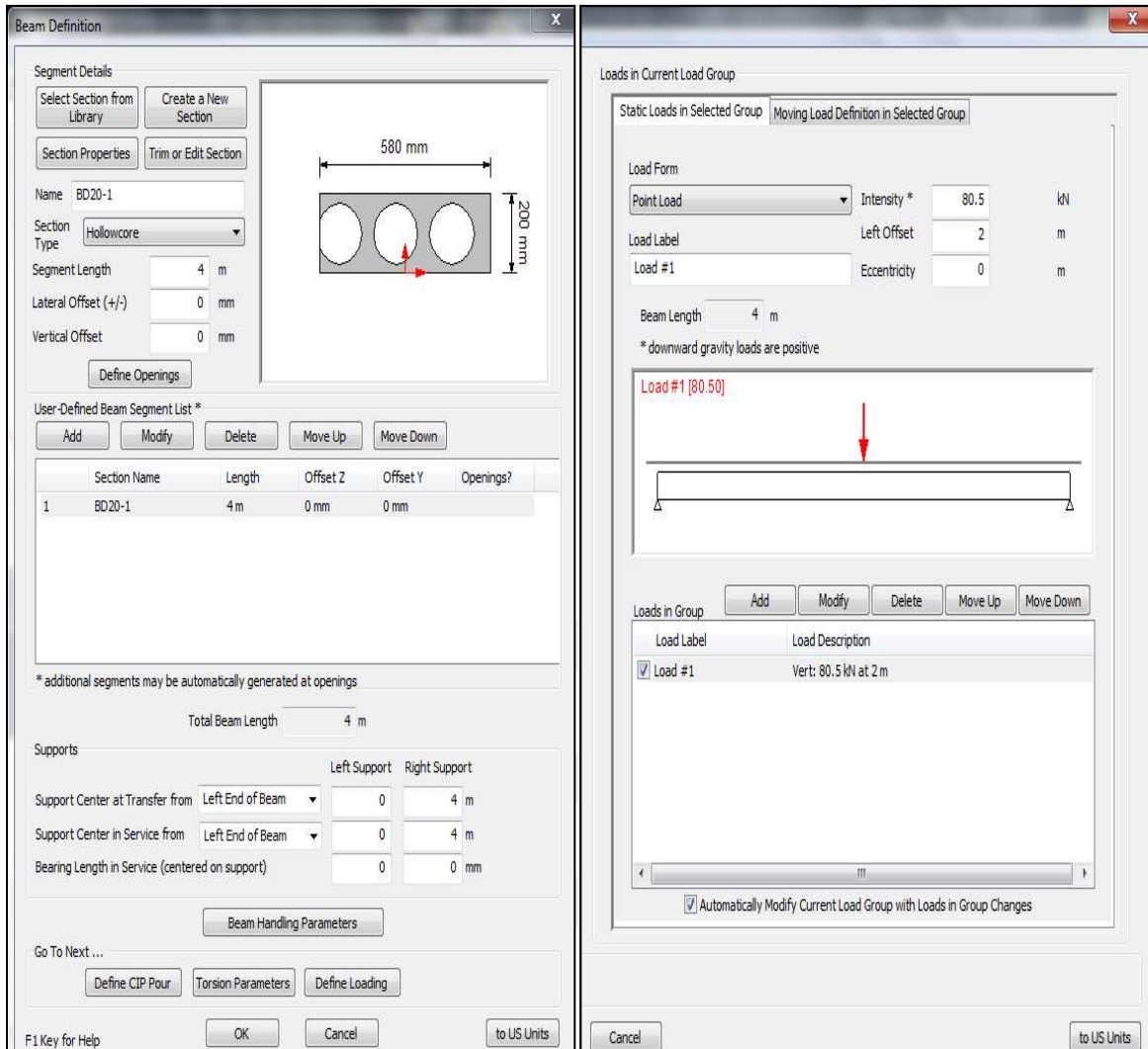
DÖŞEME ETİKETİ	DÖŞEME RESİMLERİ	DOLU DELİK SAYISI	GÜÇLENDİRME DONATISI	MAX EĞİLME DAYANIMI (kN)	EĞİLME DAYANIMI ARTIŞI (%)	ÖLÇÜLEN SEHİM (mm)
BD20-1		-	-	80,49	-	62
BD20-2		3	3Φ12	91,61	14%	49
BD20-3		3	3Φ1/2"	108,46	35%	57,5
BD20-4		3	2Φ1/2" + Φ12	92,88	15%	55,5
BD24-1		-	-	176,51	-	42,5
BD24-2		5	5Φ12	204,92	16%	22,5
BD24-3		3	3Φ1/2"	214,27	21%	43,5
BD24-4		3	2Φ1/2" + Φ12	181,34	3%	48,5

Güçlendirme yapılmamış döşemeler ile dayanım yüzdesi fazla olan döşemeler Concise Beam programı ile analiz edilmiş ve bulunan sehim sonuçları kıyaslanmıştır. Program ile analiz edilen BD20-1 döşemesi Şekil 8.7’de gösterilmiş olup sonuçlar Çizelge 8.4’de verilmiştir.



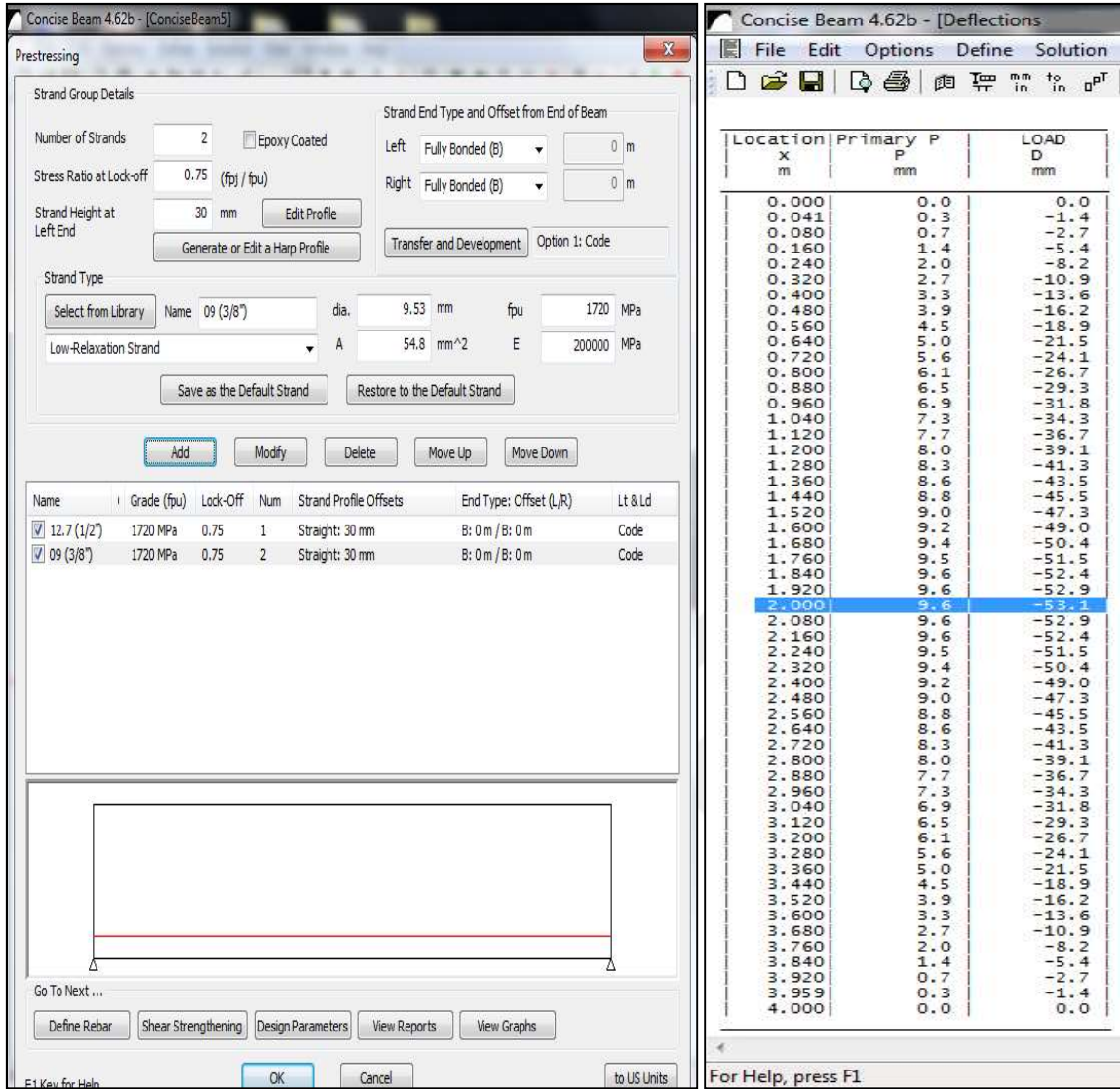
a)

Şekil 8.7. a) BD20-1 numaralı döşeme modeli, b) döşeme boyutları ve yük değerleri, c) öngerilme halatları ve sehim değerleri



b)

(Şekil 8.7. Devam)



c)

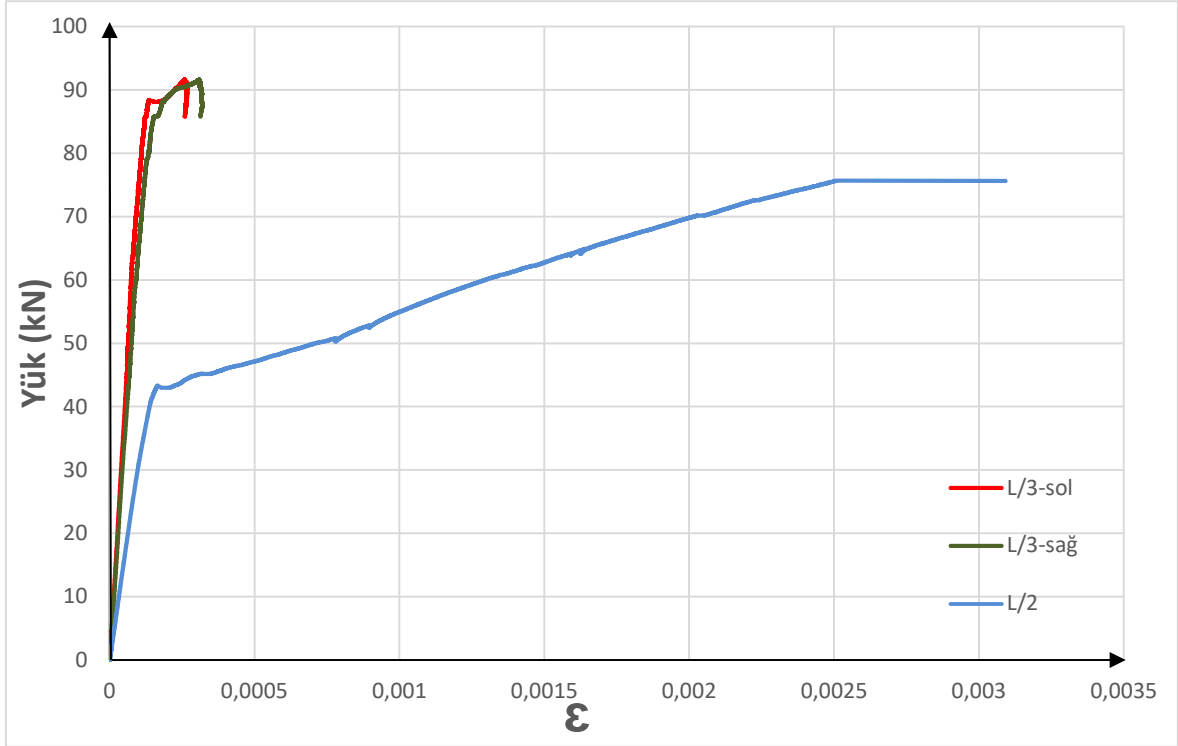
(Şekil 8.7. Devam)

Çizelge 8.4. Sehim değerlerinin karşılaştırılması

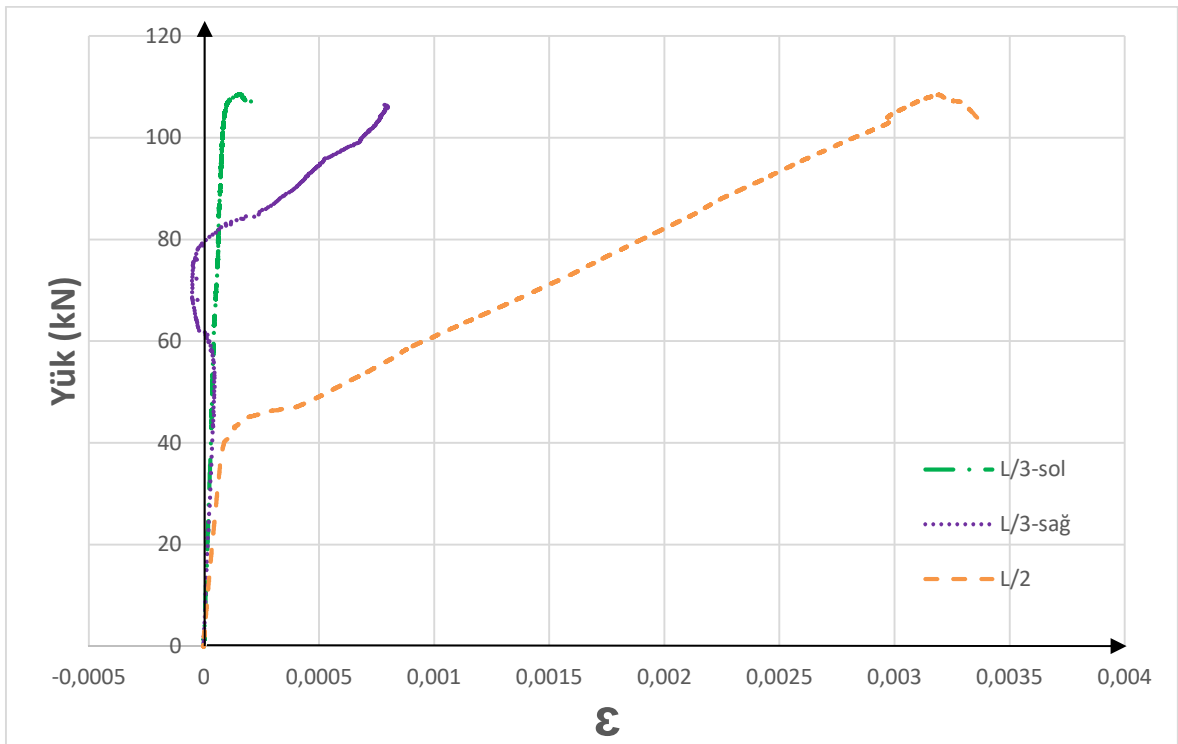
Döşeme Adı	Deney Sonucu Bulanan Sehim (mm)	Hesaplanan Sehim (mm)
BD20-1	62	63
BD20-3	57,5	53,5
BD24-1	42,5	44,5
BD24-3	43,5	45,5

BD20 döşemeleri için gerinim pullarından alınan birim şekil değiştirmelerin yük tanım alanındaki değişimi Çizelge 8.5-6-7’da verilmiştir.

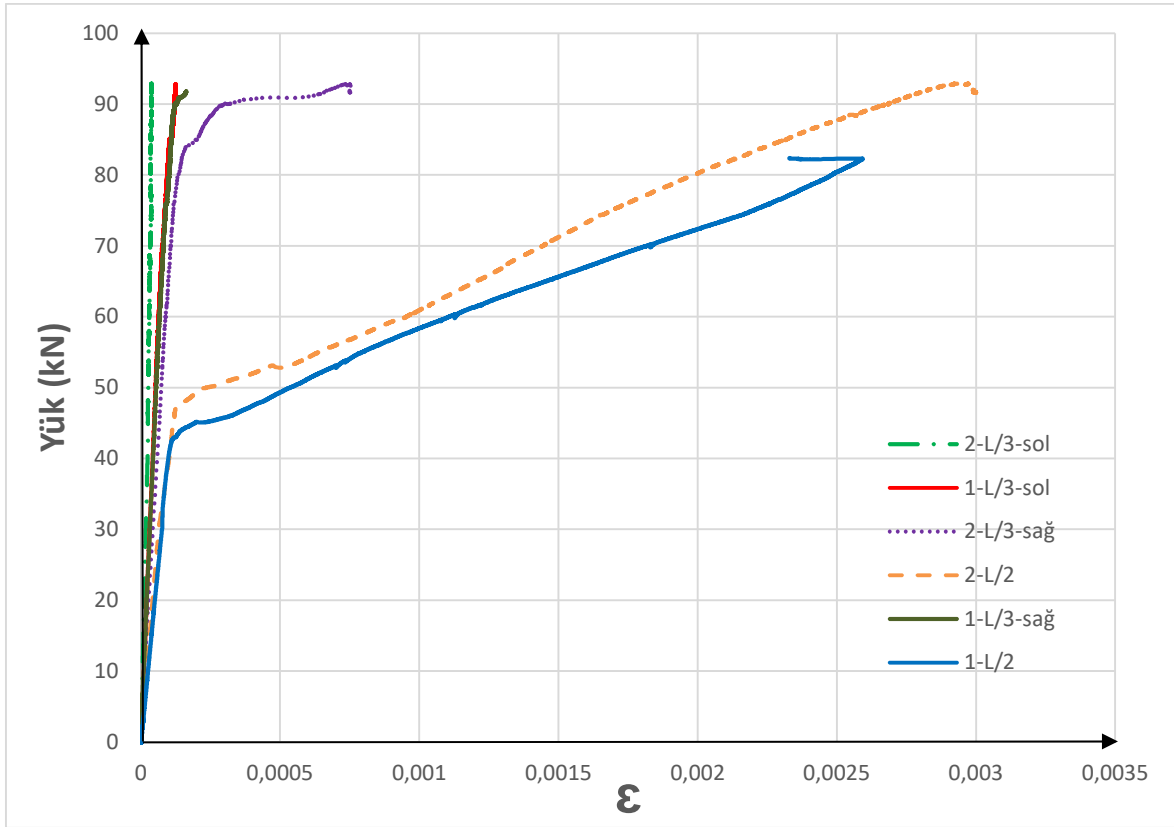
Çizelge 8.5. BD20-2 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği



Çizelge 8.6. BD20-3 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği



Çizelge 8.7. BD20-4 döşemesi güçlendirme donatıları yük-ε grafiği

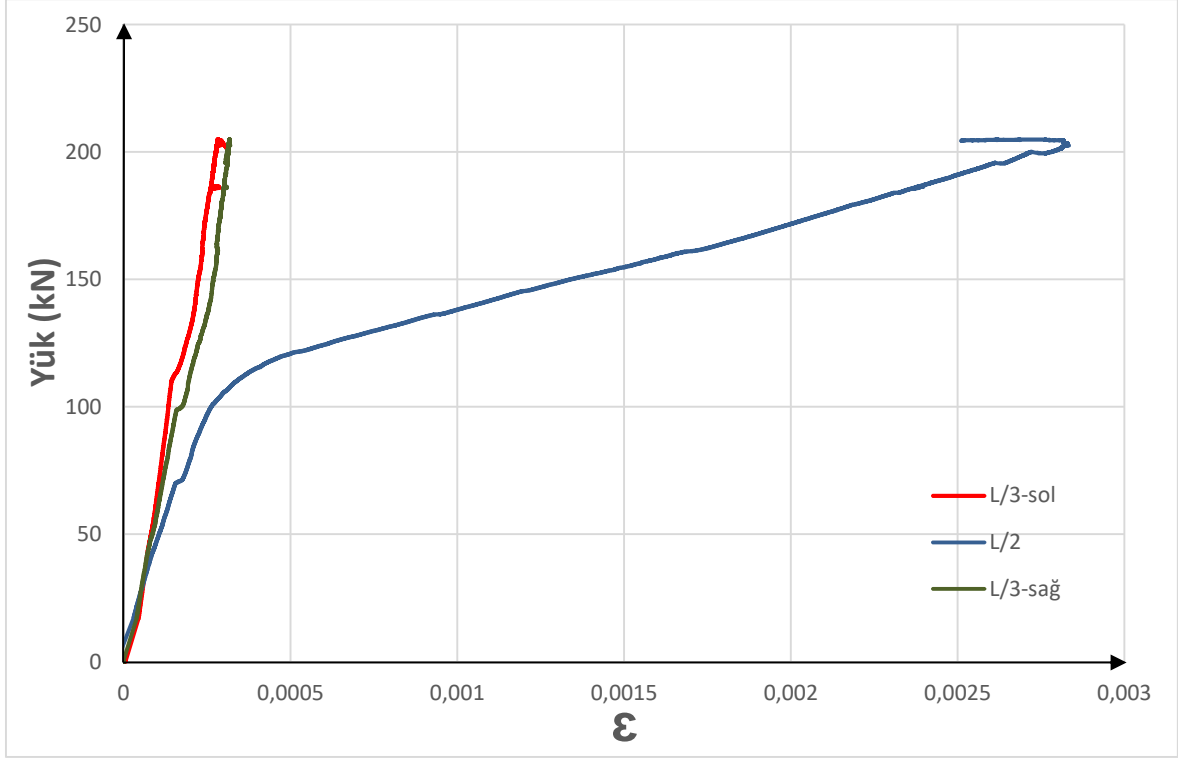


Güçlendirme donatılarından nervürlü çelik donatılar için "1", öngerilme donatıları için "2" numaraları kullanılarak gerinim pullarının isimlendirmeleri yapılmıştır. BD20-2 döşemesinin güçlendirme donatısı nervürlü donatılardan, BD20-3 döşemesinin güçlendirme donatıları öngerilme halatlarından oluşmaktadır. BD20-4 döşemesinin 1 numaralı güçlendirme donatıları nervürlü donatılardan, 2 numaralı güçlendirme donatısı öngerilme donatılarından oluşmaktadır.

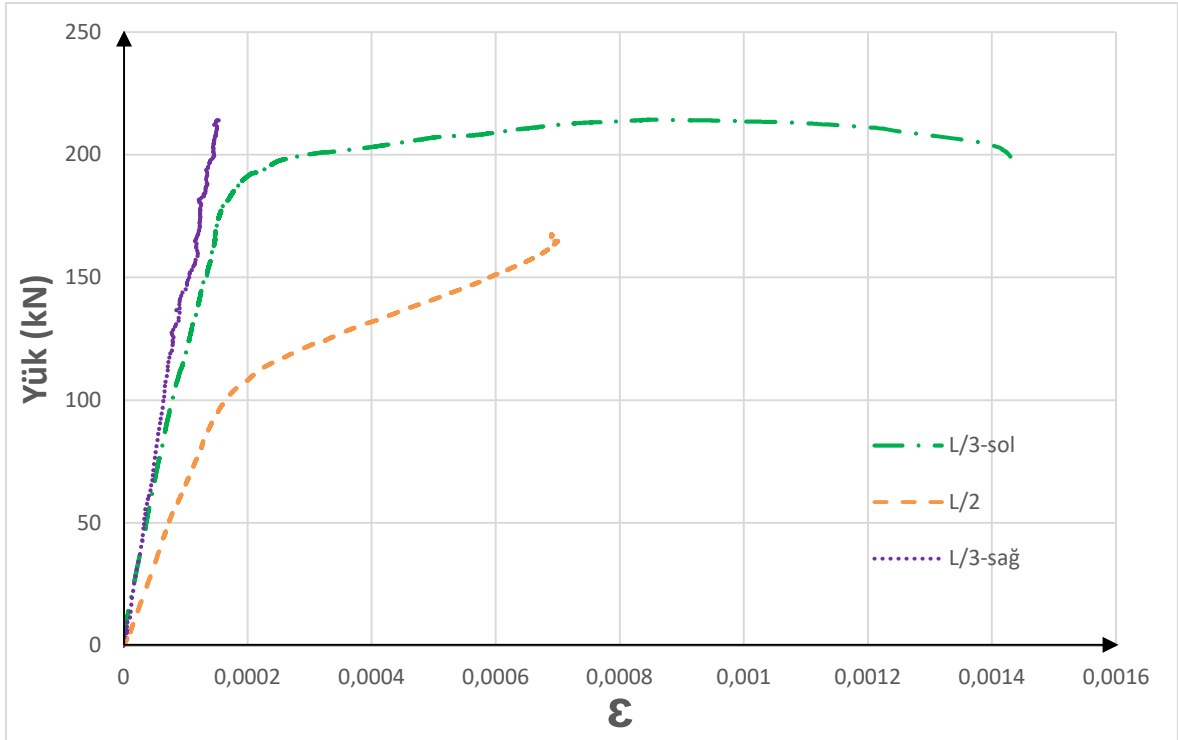
BD20-2 ve BD20-4 döşemelerinin nervürlü çelik donatıların L/2 mesafesinde bulunan gerinim pullarından alınan okuma değerlerine göre donatılar 0.0025 değerinde akmıştır. BD20-3 ve BD20-4 döşemelerinde bulunan öngerilme halatlarının L/2 mesafesindeki gerinim pullarından alınan okuma değerlerine göre halatlar yaklaşık 0.003 değerinde akmıştır. L/3 sol ve sağ gerinim pullarında ise donatılarda ve öngerilme halatlarında akma olmadan gerinim pulları kopmuş veya hasar görmüştür. Bunun sebebi döşemelerin ortadan tekil yüklenmesi sonucu güçlendirme donatılarının L/3 mesafesine yeterli yük gelemeden döşemeler eğilme dayanımından kırılmıştır.

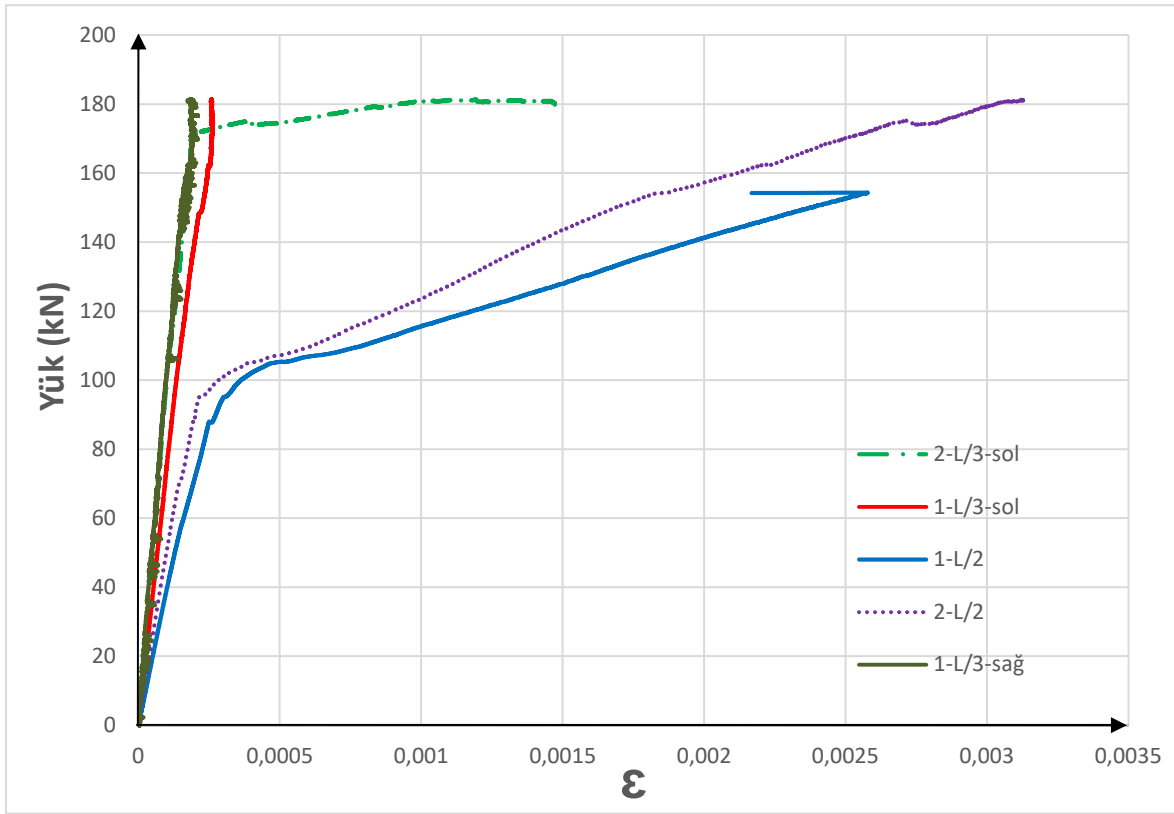
BD24 döşemeleri için gerinim pullarından alınan birim şekil değıştirmelerin yük tanım alanındaki değışimi Çizelge 8.8-9-10'da verilmiştir.

Çizelge 8.8. BD24-2 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği



Çizelge 8.9. BD24-3 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği



Çizelge 8.10. BD24-4 döşemesi güçlendirme donatıları yük- ϵ grafiği

BD24-2 döşemesinin güçlendirme donatısı nervürlü donatılardan, BD24-3 döşemesinin güçlendirme donatıları öngerilme halatlarından oluşmaktadır. BD24-4 döşemesinin 1 numaralı güçlendirme donatıları nervürlü donatılardan, 2 numaralı güçlendirme donatısı öngerilme donatılardan oluşmaktadır.

BD24-2 ve BD24-4 döşemelerinin nervürlü çelik donatıların L/2 mesafesinde bulunan gerinim pullarından alınan okuma değerlerine göre donatılar yaklaşık olarak 0.0025-0.003 değerlerinde akmıştır. L/3 sol ve sağ gerinim pullarındaki okumalara göre donatılar döşemelerin kırılma yüküne kadar birim şekil değiştirme yapmış ve donatılarda akma meydana gelmeden gerinim pulları kopmuştur. BD24-3 döşemesinde bulunan öngerilme halatının L/2 mesafesindeki gerinim pulundan alınan okuma değerlerine göre halat yaklaşık 0.007 değerine kadar birim şekil değiştirme yapmış ve sonrasında gerinim pulu kopmuştur. L/3 sol gerinim pulu 0.0014 değerine kadar birim şekil değiştirme ölçümü yapmış, L/3 sağ gerinim pulu ise yaklaşık döşeme kırılma yüküne kadar okuma yapıp halat

birim Şekil değiştirme yapmadan kopmuştur. BD24-2 dőŐemesindeki L/2 ve L/3 gerinim pulları okumalarına göre öngerilme halatı akmadan döşeme maksimum eğilme dayanımına ulaŐmıŐ ve kırılmıştır. Öngerilme donatısı L/3 sağ gerinim pulundan veri alınamamıŐtır.



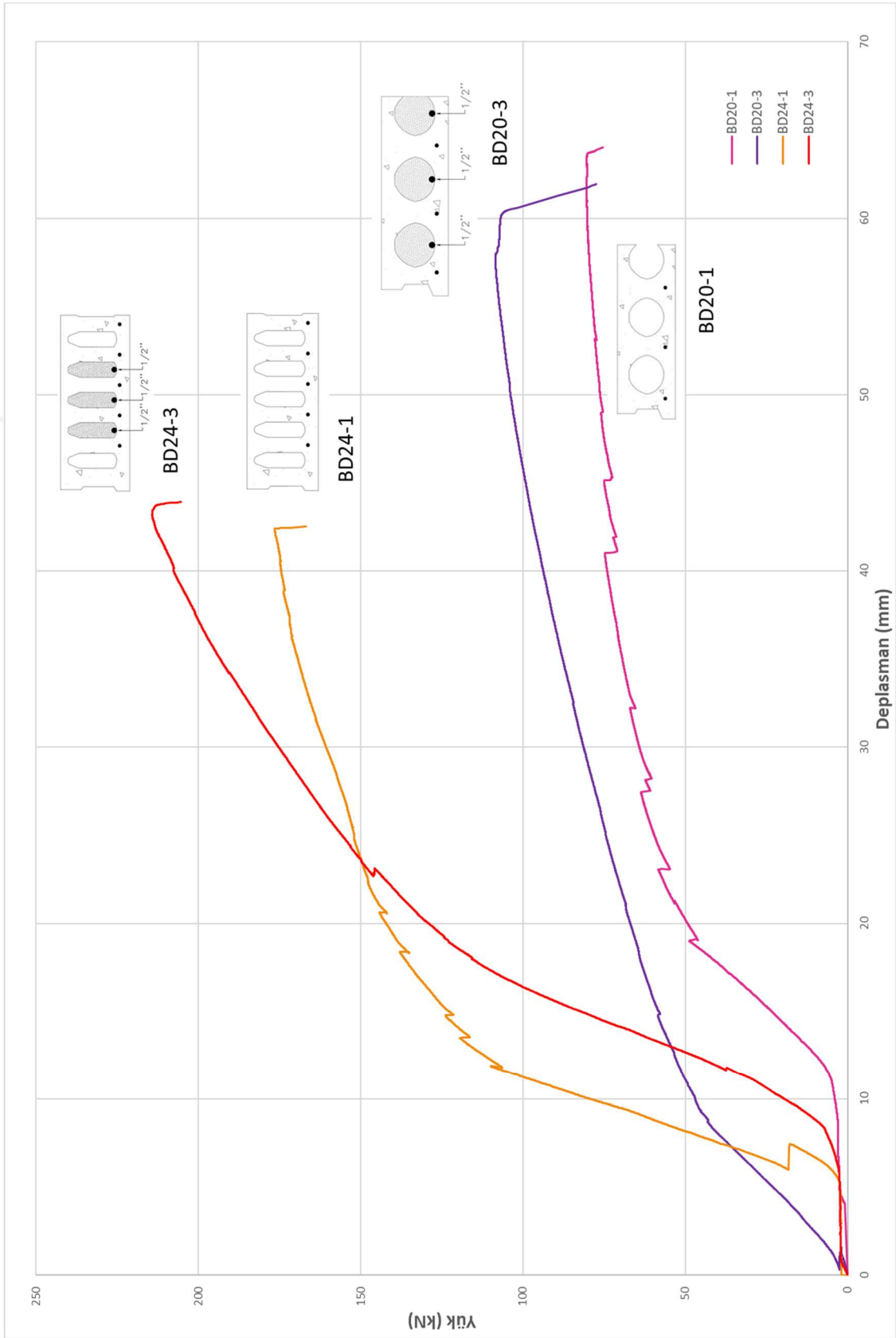
9. SONUÇ VE ÖNERİLER

200 mm yüksekliğe sahip güçlendirilmemiş BD20-1 döşemesi ile güçlendirme yapılan diğer BD20 döşemeleri karşılaştırıldığında eğilme dayanımı olarak en iyi güçlendirme sonucu BD20-3 numaralı döşemede görülmüştür. BD20-2 ve BD20-4 döşemelerinin iki delikleri dolu fakat deliklerdeki güçlendirme donatıları farklı olmasına rağmen eğilme dayanımları birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Bu durumdan döşemenin içerisine konulan güçlendirme donatısından çok eğilmeye karşı mukavemet gösteren döşeme kesitinin rijitliğinin daha önemli olduğu varsayımı çıkartılabilir.

240 mm yüksekliğe sahip güçlendirilmemiş BD24-1 döşemesi ile güçlendirme yapılan diğer BD24 döşemeleri karşılaştırıldığında eğilme dayanımı olarak en iyi güçlendirme sonucu BD24-3 numaralı döşemede görülmüştür. BD24-2 döşemesinin iki deliği, BD24-3 döşemesinin ise 3 deliği beton ile doldurulmuştur. Fakat bu döşemeler güçlendirilmemiş döşeme ile karşılaştırıldığında iki döşemenin dayanımları arasındaki farkın 200 mm yüksekliğe sahip iki deliği beton ile doldurulmuş olanlar ile 3 deliği beton ile doldurulmuş olan döşeme arasındaki dayanım farkından daha az olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda döşemelerin kesildiği genişlikte simetrik olmalarının ve dolu bölgelerden kesilmelerinin eğilme dayanımları açısından önemli olduğu anlaşılmıştır.

Döşemelerin orta noktalarından yüklenmesi sebebiyle güçlendirme donatılarının L/2 mesafelerinde bulunan gerinim pulu okuma değerleri L/3 mesafelerindekilere göre daha iyi sonuç vermiştir. L/3 mesafeden alınan okumalara göre donatılar ve öngerilme halatları neredeyse birim şekil değiştirme yapmadan döşemeler kırılmıştır. Genel olarak BD20 ve BD24 döşemelerinde bulunan güçlendirme donatıları eğilme anında yük alamadan döşemeler kırılmış ve bu sebep ile döşemelerin eğilme dayanımlarının araştırılmasında 3 noktalı eğilme dayanımı deneyi için yaklaşık aynı çapa ve elastisiteye, farklı kopma dayanımlarına sahip güçlendirme donatılarının dayanıma etkisinin olmadığı sonucu çıkartılmıştır.

Çizelge 9.1. BD20 ve BD24 döşemeleri yük-deplasman grafiği



Deney sonuçları eğilme dayanımları bakımından değerlendirildiğinde 200 mm yükseklik ve 580 mm genişliğe sahip döşemeler için BD20-3, 240 mm yükseklik ve 580 mm genişliğe sahip döşemeler için BD24-3 kombinasyonları yapılarda kullanılacak parça döşemelerin güçlendirilmesi için önerilmektedir (Çizelge 9.1).



KAYNAKLAR DİZİNİ

Anonim, 2019, Prefabrik Sistem, <https://www.presan.com.tr/tr-TR/urunler>, erişim tarihi: 05.04.2019

Anonim, 2019, Prefabrik kreyn kirişi, <https://www.presan.com.tr/tr-TR/urunler/kreyn-kirisi-2>, erişim tarihi: 05.04.2019

Anonim, 2012, Öngerilmeli boşluklu döşemelerin istiflenmesi, <http://www.spcind.com/usr/product6566.html?id=189>, erişim tarihi: 05.04.2019

Anonim, 2010, Öngerilmeli boşluklu döşeme orta birleşim detayı, <http://www.ymprefab.com.tr>, erişim tarihi: 05.04.2019

Anonim, 2010, Öngerilmeli boşluklu döşeme köşe birleşim detayı, <http://www.ymprefab.com.tr>, erişim tarihi: 05.04.2019

Anonim, 2019, Öngerilme halat detayı, <http://guvencelikhalat.com.tr/urunler>, erişim tarihi: 05.04.2019

Anonim, 2013, Ard germe uygulaması ve ard germe aparatları, http://www.kinaci.com.tr/upresimler/IMO_Ankarasubesi_ArdGerme_Sunumu_Zaf_er_Kinaci.pdf, erişim tarihi: 05.04.2019

Anonim, 2015, Ard germe krikosu ve halat yerleşimi, <https://www.ardgerme.org/blank?lightbox=dataItem-jakz9k3s>, erişim tarihi: 05.04.2019

ACI 318, 2008, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

CPCI, 2007, Canadian Design Manual 4th Edition

Elgabbas, F., El-Ghandour, A.A., Abdelrahman, A.A., El-Dieb, A.S., 2009, Different CFRP strengthening techniques for prestressed hollow core concrete slabs: Experimental study and analytical investigation, p. 401-411

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Günerman, H.,2017, Öngerme El Kitabı, s. 11

Güzel, Ö., 1997, Öngerilmeli Boşluklu Döşeme Elemanlarda Yinelenen Tekil Yükler ve Kalıcı Şekil Değişirmelerin Yığılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Hosny, A., Ezzeldin Y. S., Amr A., Naser A., 2006, Strengthening precast-prestressed hollow core slabs to resist negative moments using carbonfibre reinforced polymer strips: an experimental investigation and a critical review of Canadian Standards Association, p. 955-967

Hüsem, M., 2016, Öngermeli Beton, s. 9-13

İlbay, G.,1992, Türkiye’de prefabrikasyon sanayi’nin yer seçim kararlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Karaesmen, E., 2015, Ardgermeli Beton ve Yeni Çözümler, s. 9-15

Li, X., Wu, G., Popal, M. S., Jiang, J., 2018, Experimental and numerical study of hollow core slabs strengthened with mounted steel bars and prestressed steel wire ropes, p. 456-469

Pachalla, S., Prakash, S., 2016, Efficient near surface mounting CFRP strengthening of pretensioned hollowcore slabs with opening – An experimental study, p. 28-38

PCI Design Handbook, 2004, Precast and Prestressed Concrete 6th Edition

Prakash, S., Kankeri, P., 2017, Efficient Hybrid Strengthening for Precast Hollow Core Slabs at Low and High Shear Span to Depth Ratios, p. 1-32

Türkiye Prefabrik Birliği, 2018, Beton Prefabrikasyon El Kitabı, Barka G., Ataköy H., Yüksel E.(Derl.), s. 46-47, s. 174-179

TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

TS 708, 2010, Çelik – Betonarme İçin – Donatı Çeliği

TS EN 1168+A3, 2012, Öndökümlü Beton Mamuller – Boşluklu Döşeme Elemanları

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

TS EN 13369, 2013, Öndökümlü Beton Mamuller-Genel Kurallar

TS 3233, 1979, Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları

TS 5680, 1988, Çelik Demetler-Öngerilmeli Beton İçin

TS 9967, 1992, Yapı Elemanları Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları

Ural, A., 2002, Öngerilmeli Boşluklu Döşeme Elemanlarının Hesap ve Tasarım Esasları, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Merkezi,1991, Panelton El Kitabı