

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT ÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAŞLIKSIZ BETONARME PERDELERİN KARBON
LİFLİ POLİMER DEMETLERİ İLE BAŞLIK BÖLGESİ
OLUŞTURULARAK GÜÇLENDİRİLMESİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Hakan YILMAZ**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV
II. Danışman
Doç. Dr. Oğuz DÜĞENCİ**

**Nisan 2025
KAYSERİ**

**T.C.
NUH NACİ YAZGAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BAŞLIKSIZ BETONARME PERDELERİN KARBON
LİFLİ POLİMER DEMETLERİ İLE BAŞLIK BÖLGESİ
OLUŞTURULARAK GÜÇLENDİRİLMESİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Hakan YILMAZ**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV
II. Danışman
Doç. Dr. Oğuz DÜĞENCİ**

**Nisan 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hakan YILMAZ



YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

“Başlıksız Betonarme Perdelerin Karbon Lifli Polimer Demetleri ile Başlık Bölgesi Oluşturularak Güçlendirilmesinin Deneyisel Araştırılması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Hakan YILMAZ

Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV

KABUL VE ONAY SAYFASI

Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV danışmanlığında **Hakan YILMAZ** tarafından hazırlanan “**Başlıksız Betonarme Perdelerin Karbon Lifli Polimer Demetleri ile Başlık Bölgesi Oluşturularak Güçlendirilmesinin Deneysel Araştırılması**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

28/04/2025

JÜRİ:

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Şaban Suat ÖZSARIYILDIZ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Anıl DİNDAR

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Kurulunun / / tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Burcu ORALHAN
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bu tezi yazmamda yardımcı olan ve benden desteğini esirgemeyen hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV'e ve teşekkürü bir borç bilirim.

Zorlu deneysel çalışmalar sırasında ve akademik anlamda bana katmış oldukları değerleri katkılarından dolayı hocalarım Sayın Doç. Dr. Oğuz DÜĞENCİ'ye, Sayın Doç. Dr. Tamer DİRİKLİGİL'e, Sayın Arş. Gör. Hüseyin Hilmi ASLANBAY'a değerli katkıları için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yenilikçi ve teknolojik yaklaşımları ile yapı güçlendirme ürünleri üretimi ve uygulanması noktasında ülkemizin önde gelen kurumlarından Tetraglobe Yapı Malzemeleri Pazarlama Anonim Şirketinin değerli Yöneticilerine ve çalışanlarına çalışmalarına vermiş oldukları desteklerden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgmeden yanımda bulunan meslektaşlarım Sayın İnş. Müh. Ersin YİĞİT'e, Sayın İnş. Müh. Mustafa ÖZDEMİR'e, Sayın İnş. Müh. Ferdi TOY'a Sayın Yüksek Mimar Elifnaz YILMAZ'a ve uzun yıllardır beraber çalıştığımız Sayın Mustafa İDİŞ'e, Sayın Mustafa ŞAHAN'a, Sayın Cemal ÖZBEK'e, Sayın Tolga YILMAZ'a ve Sayın Ahmet ERDEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca tüm hayatım boyunca varlıkları ile onur ve gurur duyduğum, yaşamımın her anında maddi ve manevi destek olarak yanımda hissettiğim başta babam Sayın Öztürk YILMAZ'a, annem Sayın Elmas YILMAZ'a, amcam ve eşi Sayın Prof. Dr. Adem YILMAZ ve Prof. Dr. Figen YILMAZ başta olmak üzere tüm aileme ve değerli abim Sayın Mimar İsmail Taner KARATEKİN'e sonsuz saygılarımla teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak çalışmalarım sırasında özveri ile yardımlarını esirgemeyen kıymetli eşim Sayın Nedime Yılmaz'a, oğlumuz Özgür Deniz YILMAZ'a ve kızımız Derin YILMAZ'a anlayışları ve destekleri için teşekkürlerimi sunarım. (Kayseri, Nisan 2025)

Hakan YILMAZ

İnşaat Mühendisi

BAŞLIKSIZ BETONARME PERDELERİN KARBON LİFLİ POLİMER DEMETLERİ İLE BAŞLIK BÖLGESİ OLUŞTURULARAK GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Hakan YİLMAZ

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Nisan 2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV

ÖZET

Ülkemizin, dünyanın en yıkıcı depremlerini oluşturan aktif fay hareketliliği olan bir bölgede olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Bu nedenle gelişen teknolojik çalışmalar ve mühendislik çalışmaları sonucunda yönetmeliklerimiz sürekli güncelenerek yayımlanmaktadır. Bu duruma karşılık yapı stoğumuzu depremlere dayanıklı hale getirmemiz gerekliliğini göstermektedir. Bir çok araştırmacı mevcut yapıların güçlendirilmesi hususunda çalışmalarla ülkemizin gelişimine katkı sağlamaya devam etmektedirler. Ülkemizde 1998 yılında yayımlanan yönetmelik ile betonarme perde duvarlarda başlık bölgesi oluşturulması sağlanmıştır. Ancak bu tarihten önce yapılmış yapılarda perdelerde başlık bölgesi olmadığından deprem kuvvetlerine karşı güçlendirilmesi gereklidir.

Yapılan çalışmalar sonucu karbon elyaf ile perdelerin başlık bölgesine yapılan güçlendirmelerin süneklik kapasitesinde artış sağladığı ortaya konmuştur. Karbon kumaş demetlerin perdelerdeki başlık donatısı şekli verilerek sonradan dışardan uygulanabilir olması yeni bir güçlendirme metodu olarak kabul edilebilir. Bu yeni metodda başlık bölgesine açılan dişlerin kesitte azalmaya sebep olduğundan görelî kat ötemelerin 0.008 seviyesine kadar rijitlikte azalmaya sebep olmuş ise de daha ileri ötelenmelerde karbon halatların ciddi rijitlik kazandırdığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Karbon Lifli Polimer Halatlar, Başlıksız Perdeler, Betonarme Perde Güçlendirme Yöntemleri

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE SEISMIC RETROFITTING OF NON-CONFINED REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS BY FORMING BOUNDARY ELEMENTS USING CARBON FIBER POLYMER ROPES

Hakan YILMAZ

Nuh Naci Yazgan University, Institute of Graduate Studies

Master Thesis, April 2025

Supervisor: Asst. Prof. Ertan SÜLEV

SUMMARY

It is an indisputable fact that Turkey is located in a tectonically active region, which makes it highly vulnerable to some of the world's most destructive earthquakes. As a result, national seismic codes are regularly revised and improved in light of advances in engineering and technology. This ongoing risk highlights the urgent need to enhance the seismic performance of the existing building stock. Numerous researchers continue to contribute to this effort by developing and evaluating retrofitting methods for deficient structures.

In 1998, a significant regulation was introduced in Turkey that mandated the inclusion of boundary elements in reinforced concrete shear walls. However, many structures constructed prior to this regulation lack such elements and therefore require seismic retrofitting to improve their resistance to earthquake-induced forces.

Recent studies have demonstrated that the application of carbon fiber reinforcement to the boundary elements of shear walls significantly enhances their ductility. A novel retrofitting technique has been proposed, in which carbon fiber bundles are externally applied to the boundary elements of shear walls. Experimental observations indicate that the grooves opened in the boundary elements initially lead to a reduction in stiffness up to a story drift ratio of 0.008. Nevertheless, at higher drift levels, carbon fiber reinforcement contributes significantly to the structural stiffness, making this method a promising alternative for the seismic strengthening of existing structure elements

Keywords: Carbon Fiber Polymer Ropes, Boundary Elements Shear Wall, Reinforced Shear Wall Retrofit Methods, CFRP



İÇİNDEKİLER

BAŞLIKSIZ BETONARME PERDELERİN KARBON LİFLİ POLİMER DEMETLERİ İLE BAŞLIK BÖLGESİ OLUŞTURULARAK GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
SUMMARY	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv

1. BÖLÜM: GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Çalışması.....	3

2. BÖLÜM: DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deney Elemanlarının Tanımlanması	39
2.2. Deney Numunelerine Hazırlık Aşaması	47
2.3. Deney Numunelerinin İmalatı Aşaması.....	55
2.4. Deneyin Düzenine Hazırlanması Aşaması	59
2.5. Sonlu Elemanlar Modeli ile Analiz Aşaması.....	65
2.6. Deney Öncesi Çalışmalar.....	66
2.7. Numunelerin Deneye Hazırlanması Aşaması	72
2.8. FEMA Yükleme Protokolü Tanımlama Aşaması	75

3. BÖLÜM: DENEYSEL ÇALIŞMA AŞAMASI VE ANALİZİ

3.1. Deney Prosedürü Uygulama Bilgileri.....	79
3.2. Deney Prosedürü Açıklaması.....	79
3.3. Deney Numuneleri Sonuçları.....	80

3.3.1. P-REF-C12 Numunesi Deney Sonuçları.....	80
3.3.2. P6-RET10-C12 Numunesi Deney Sonuçları	93
3.3.3. P2-RET20-C12 Numunesi Deney Sonuçları	108
3.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	120

4. BÖLÜM: SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar	135
4.2. Öneriler	138

EKLER 141

EK 1. P-REF-C12 Numunesi Deney Fotoğrafları	141
EK 2. P6-RET10-C12 Numunesi Deney Fotoğrafları	143
EK 3. P2-RET20-C12 Numunesi Deney Fotoğrafları	145

KAYNAKÇA..... 148

ÖZGEÇMİŞ 155

KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
A_c	Kolonun veya perde uç bölgesinin brüt enkesit alanı
A_g	Brüt enkesit alanı
a_i	Kesit çevresindeki boyuna donatıların eksenleri arasındaki uzaklık
$A_{s, uç}$	Perde uç bölgesi boyuna donatı alanı
b	Numune genişliği
b_c, d_c	Yatay ve dikey doğrultuda en dış sargı donatısı merkezi arasındaki mesafe
b_k	Birbirine dik yatay doğrultuların her biri için, kolon veya perde uç bölgesi çekirdeğinin enkesit boyutu (en dıştaki enine donatı eksenleri arasındaki mesafe)
b_o, h_o	Göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutları
b_w	Perde kalınlığı
d	Faydalı yükseklik
E_c	Betonun elastisite modülü
E_s	Donatı çeliğinin elastisite modülü
f_c	Sargılı betonda basınç gerilmesi (MPa)
f_{cc}	Sargılı beton dayanımı
f_{cd}	Betonun dizayn basınç dayanımı (MPa)
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa)
f_{co}	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_e	Etkili sargılama basıncı
f_s	Donatı çeliğindeki gerilme
f_{su}	Donatı çeliğinin kopma dayanımı
f_{sy}	Donatı çeliğinin akma dayanımı
f_y	Donatı akma dayanımı (MPa)
f_{yk}	Çeliğin karakteristik akma dayanımı (MPa)
h	Numune derinliği
H	Perde yüksekliği
H_{cr}	Kritik perde yüksekliği
h_{if}	Kat yüksekliği

H_w	Perde yüksekliği
k_e	Sargılama etkinlik katsayısı
l_b	TS 500'de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu
l_p	Perde mafsalsal boyu
l_u	Perde uç bölgesi uzunluğu
l_w	Perde uzunluğu
N_{dm}	Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında (TS498'de hareketli yükler için tanımlanmış olan hareketli yük azaltma katsayıları da dikkate alınarak) hesaplanan eksenel basınç kuvvetlerinin en büyüğu
$\varnothing_h$	Enine donatı çapı
$\varnothing_w$	Boyuna donatı çapı
r	Numune köşe yuvarlama yarı çapı
s	Enine donatı aralığı
s'	İki enine donatı arasındaki net mesafe
S_f	Şerit aralıkları
S_h	Enine donatı aralığı
S_w	Boyuna donatı aralığı
V_d	Hesap kesme kuvveti
w'	İki boyuna donatı arasındaki net mesafe
w_f	LP genişliği
ρ_h	Yatay donatı oranı
ρ_s	Toplam enine donatının hacimsel oranı
$\rho_{uç}$	Perde uç bölgesi boyuna donatı oranı
ρ_v	Boyuna donatı oranı
ρ_x, ρ_y	İlgili doğrultulardaki enine donatı hacim oranı
ΣA_g	Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamı
A'_{sh}	Kiriş mesnet bölgesinde eğik beton basınç kuvvetinin yatay birleşenini alan donatı alanı
A_h	İnceltilmiş uç bölgesine konulan yatay donatı alanı
A_s	Boyuna donatı alanı

A_{sh}	s enine donatı aralığına karşı gelen yükseklik boyunca, kolonda veya perde uç bölgesindeki tüm etriye kollarının ve çirozların enkesit alanı değerlerinin göz önüne alınan bk'ya dik doğrultudaki izdüşümlerinin toplamı
A_v	İnceltilmiş kiriş ucunda düşey etriyeler toplam alanı
E_{cfRP}	Karbon Lifli polimer elastisite modülü
f_l	Efektif yanal gerilme değeri
n_f	LP sargı kat sayısı
t_f	LP kalınlığı
ε_c	Beton basınç birim şekil değiştirmesi
ε_{cc}	Sargılanmış eksenel şekil değiştirme
ε_{co}	Sargısız eksenel şekil değiştirme
ε_{cu}	Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekil değiştirmesi
ε_f	LP tabakasının etkin birim uzama sınır değeri
ε_{sh}	Donatı çeliğinin pekleşme akma sonrası birim şekil değiştirmesi
ε_{su}	Donatı çeliğinin kopma birim şekil değiştirmesi
ε_{sy}	Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi
κ_a	Kesit şekline bağlı etki faktörü

Kısaltma

Açıklama

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	American Concrete Institute
CED	Kümülatif Enerji Dağılımı
CEN	Avrupa Standartlar Komitesi
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
Eurocode-8	Avrupa Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı
EVDC	Eşdeğer Viskoz Sönümleme Katsayısı
FEM	Finite Element Model [^]
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FIB	The International Federation for Structural Concrete
FRP EBR	Externally bonded fibre reinforced polymer

FRP	Fiber Reinforced Polymer
GDYGS	Güncel Deprem Yönetmelikleri Gereksinimlerini Sağlamayan
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer
LP	Lifli Polimer
LVDT	Lineer Değişken Diferansiyel Transformatör
RC	Reinforced Concrete
SG	Strain gauge (gerinim ölçer)
TBDY: 2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS 498	Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS 500: 2000	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TS 708:2016	Çelik-Betonarme için- Donatı Çeliği
UHPFRC	Ultra Yüksek Performanslı Fiber Takviyeli Beton

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Betonarme Eleman Tasarım Standartları ve Deprem Yönetmeliklerinde Perde Duvar Tasarım Koşulları.....	38
Tablo 2. Beton Malzeme Özellikleri	40
Tablo 3. Donatı Çeliğinin Malzeme Özellikleri	42
Tablo 4. Karbon Lifli Polimer Demetlerin (CFRP Rope) Kimyasal Özellikleri.....	44
Tablo 5. PVC Boruların Malzeme Özellikleri.....	45
Tablo 6. Plywood Malzeme Özellikleri.....	47
Tablo 7. Beton Numuneleri 7 Günlük Kırım Sonuçları	53
Tablo 8. C25 ve C12 Beton sınıfı numunelerin C25 VE C12 28 günlük eksenel basınç dayanım sınıfları	54
Tablo 9. Karot ile Alınan Beton Numunelerin Basınç Dayanım Sonuçları	55
Tablo 10. Bağlı Yükleme Geçmiş Yeri Değiştirme Genlikleri	76
Tablo 11. P1-Ref-C12 Deney Sonuçları Çatlak Gelişim Tablosu.....	81
Tablo 12. P6-RET-R10-C12 Deney Sonuçları Çatlak Gelişim Tablosu	94
Tablo 13. P2-RET-R20-C12 Deney Sonuçları Çatlak Gelişim Tablosu	108

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Karot numune dayanım deneylerinden bir görünüm	4
Şekil 2.	Yüke maruz kalan yapısal duvar.....	7
şekil 3.	Betonarme yapının çatlak oluşumu.....	9
Şekil 4.	Ortalama duvar indekslerinin türkiye ve diğer ülkelere göre karşılaştırmaları	17
Şekil 5.	Taze beton görünümü	40
Şekil 6.	Donatı çeliği görünümü	42
Şekil 7.	Donatı çekme deneyi sonuç grafiği	43
Şekil 8.	Karbon lifli polimer demetleri (CFRP Rope)	44
Şekil 9.	Pvc boru görünümü.....	45
Şekil 10.	Plywood malzeme görünümü	46
Şekil 11.	Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı.....	48
Şekil 12.	Modelin 3B görünümü.....	49
Şekil 13.	Temel ve perde aplikasyon planı(donatılı)	49
Şekil 14.	Temel kalıp imalatı	50
Şekil 15.	Temel donatı yerleştirilmesi	51
Şekil 16.	Temel beton dökümü	52
Şekil 17.	Donatı çeliği çekme deney sonuç grafikleri	52
Şekil 18.	Perde elemanlardan deney sonrası alınan karot çalışması	54
Şekil 19.	Temel beton dökümü	55
Şekil 20.	Temel için küp ve silindir numuneler	56
Şekil 21.	Perde donatı yerleşimi	57
Şekil 22.	Perde kalıp imalatı	57
Şekil 23.	Perde beton dökümü	58
Şekil 24.	Betonarme modelin beton döküm sonrası görünümü	58
Şekil 25.	Perde için küp ve silindir numuneler	59
Şekil 26.	Yükleme düzeneği yerleşimi	60
Şekil 27.	Yatay ve düşey yüklem düzeneği yerleşimi.....	61
Şekil 28.	Deney düzeneğinin farklı açılardan 3d görüntüsü	62
Şekil 29.	Deney Düzeneği, lvd't ve data logger cihazı görselleri	64
Şekil 30.	Model tasarımı 3d görünümü	65

Şekil 31. Modelin mesh komutu görünümü.....	66
Şekil 32. Modelin malzeme dayanımları	67
Şekil 33. Modelin geometrisi	67
şekil 34. modelin düşey yükler ve yatay birim yük altındaki görüntüsü.....	68
Şekil 35. Perde elemanın fiber-p-m3 mafsalları tanımı	68
Şekil 36. Perde Elemandaki fiberlerin üzerindeki birim şekil değiştirme- gerilim grafikleri (donatı akma seviyesi)	69
Şekil 37. Perde Elemandaki fiberlerin üzerindeki birim şekil değiştirme- gerilim grafikleri (donatı kopma seviyesi)	70
Şekil 38. Perde elemanın pushover analizi ile kuvvet-deplasman grafiği	71
Şekil 39. P1-REF-C12 numune görünümü	72
Şekil 40. CFRP demet uygulama hazırlığı görünümü	73
Şekil 41. CFRP Rope uygulama görünümü	74
Şekil 42. Kullanılan yükleme geçmişinin kavramsal diyagramı.....	76
Şekil 43. Yükleme protokolü	77
Şekil 44. ETABS programında oluşturulan perdenin pushover eğrisi ve akma yer değiştirme değeri.....	77
Şekil 45. Deneyde kullanılan yükleme protokolü	78
Şekil 46. P1-Ref-C12 numunesi deney sonrası deformasyon görüntüleri	93
Şekil 47. P6-RET-R10-C12 numunesi deney sonrası deformasyon görüntüleri	107
Şekil 48. P2-RET-R20-C12 numunesi deney sonrası deformasyon görüntüleri	119
Şekil 49. P1-REF-C12 numunesi kuvvet- yer değiştirme eğrisi	121
Şekil 50. P-REF-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği	122
Şekil 51. P1-REF-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği.....	122
Şekil 52. P1-REF-C12 numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği.....	123
Şekil 53. P1-REF-C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği	123
Şekil 54. P1-REF-C12 numunesinin tokluk grafiği	124
Şekil 55. P6-RET-R10-C12 numunesi kuvvet- yer değiştirme eğrisi.....	124
Şekil 56. P6-RET-R10-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği	125
Şekil 57. P6-RET-R10-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği	125

Şekil 58. P6-RET-R10-C12 numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği.....	126
Şekil 59. P6-RET-R10-C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği.....	126
Şekil 60. P6-RET-R10-C12 numunesinin tokluk grafiği.....	127
Şekil 61. P2-RET-R20-C12 numunesi kuvvet- yer değiştirme eğrisi.....	127
Şekil 62. P2-RET-R20-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği	128
Şekil 63. P2-RET-R20-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği	128
Şekil 64. P2-RET-R20-C12 numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği.....	129
Şekil 65. P2-RET-R20 -C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği.....	129
Şekil 66. P2-RET-R20-C12 numunesinin tokluk grafiği.....	130
Şekil 67. Tüm numunelerin birlikte histerezis karşılaştırması.....	130
Şekil 68. Tüm numunelerin birlikte enerji tüketim karşılaştırması	131
Şekil 69. Tüm numunelerin birlikte tokluk kapasitesi karşılaştırması.....	131
Şekil 70. Tüm numunelerin birlikte zarf eğrileri karşılaştırması	132
Şekil 71. Tüm numunelerin birlikte süneklik oranları karşılaştırması	132
Şekil 72. Tüm numunelerin birlikte elastik ve plastik enerji tüketimlerinin karşılaştırması	133
Şekil 73. Tüm numunelerin birlikte rijitlik-ötelenme karşılaştırması.....	133
Şekil 74. Tüm numunelerin birlikte (Mak.:75mm) deplasman seviyesinde histerezis karşılaştırması.....	134

1. BÖLÜM:

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Giriş

Betonarme yapı tekniği tarihi 19. yüzyılda Joseph Monier tarafından geliştirmeye başlamıştır. Monier beton içerisine demir çubuklar eklenmesiyle çekme dayanımını artırmıştır. 1903 yılında ise Almanya’da hazır beton üretimine başlanmış ve ABD yaygınlaşmıştır. Günümüz beton teknolojisinde beton üretimi hızla gelişmiştir. Kimyasal katkıları ve yeni malzemeler eklenerek beton kullanılmaya başlanmıştır. Beton içine eklenen katkı maddeleri sayesinde güçlendirmeler yapılarak dayanıklı hale getirilmiştir [1].

Beton çimento, su, agrega ve kimyasal katkı maddelerinin homojen bir şekilde karıştırılmasıyla şekil verilebilen ve zamanla sertleşerek dayanım kazanan bir yapı malzemesidir. Çevrede görülen binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller ve hava alanları gibi birçok yapılar çoğunlukla betondan yapıldığı görülmektedir [2]. Beton içerisinde demir donatı kullanarak güçlendirme yapılarak imal edilerek oluşturulan yapı malzemesine betonarme denir [3]. Betonarme yapılarda yükü taşımak ve yükü temele aktarmak için taşıyıcı sistem olarak döşemeler, kolonlar, kirişler ve perdeler kullanılır. Betonarme perdeler planda uzun kenarının kısa kenarına oranı; ülkemizde tabii olunan 1975 yönetmeliğinde 1/5, 1998 yönetmeliğinde 1/7; 2007 yönetmeliğinde 1/7 ve en son TBDY 2018’de 1/6 olarak tanımlanmıştır. Betonarme perdeler, diğer taşıyıcı yatay ve düşey elemanlar gibi yapı üzerinde bulunan sabit yükler (G), hareketli yükler (Q), rüzgar yükleri (W) ve deprem yüklerini (E) temele aktarmak için tasarlanmış taşıyıcı elemanlardır.

Deprem yükleri altında perdeler binaya yatay rijitlik ve dayanım sağlamaktadır. Perdeler olası bir şiddetli depremlerde özellikle yüksek katlı binalarda hasara yol açan görece kat ötelemelerini ve yanal yer değiştirmelerini büyük ölçüde azaltırlar. Plan üzerinde perdeler doğru şekilde yerleştirildiklerinde göçmeyi engelledikleri gibi, yapısal hasarların sınırlandırılmasında da oldukça etkilidirler. Deprem yönetmeliğinin olmadığı yıllarda yapılmış olan yapılarda betonarme perdelerin yetersiz donatı miktarı, donatı malzeme kalitesi ve dökülen beton kalitesiyle inşa edildikleri görülmektedir.

Dünyada yapı mühendisliği açısından yapılarda betonarme perde kullanılmasının önerilmesi, 1923 yılında Japonya Büyük Kanto depremi sonrasında T. Naito tarafından yapılmıştır. Naito perde duvarların betonarme yapıların, depreme karşı daha rijit davranacağını önermiştir. 1968 yılında Tokachioki tarafından yapılan araştırmalar neticesinde bina kapalı alanının her 1 m²'si için yapının her bir ekseninde 30 cm²/m² miktarında betonarme perde kullanılan yapıların ağır hasar almadığı gözlemlenmiştir [5].

Ülkemiz deprem bölgesi olması sebebiyle oluşan depremler sonrası ilk kez 1940 yılında 1939 yılındaki Erzincan depreminden sonra deprem yönetmeliği hazırlanmıştır. Bu yönetmelik ülkedeki yapıların geneli için değil de yapının bulunduğu bölgelerdeki olası afetlerden zarar görmemesini öngörerek bölgesel olarak hazırlanmıştır [4].

1940 yönetmeliğinden sonra ülkemizde 1944, 1949, 1953, 1962, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında yönetmelikler güncellenerek şu an kullanılan son halini almıştır. Tezimizin ana konusu olan betonarme perde elemanlara ilk kez 1968 yılında yayımlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliği (ABYYHY-1968)'de yer verilmiştir. İlgili bilgiler detaylı deprem yönetmeliklerine kıyasla daha basit ve sınırlıydı. Daha sonra yayımlanan yönetmeliklerin perde duvarların, yapıların deprem yüklerini karşılamasında etkili bir taşıyıcı sistem olarak kullanılabileceği temel bir yaklaşım olarak belirtilmiştir. O dönemde perde sistemleri genellikle yüksek yapılarda kullanılmaya başlanmış ancak henüz modern anlamda yaygınlaşmamıştı. Perde duvarlar, yapının deprem sırasında yatay yükler altındaki rijitliğini ve stabilitesini artırmak için önerilmiştir. Özellikle yüksek yapılarda veya deprem riski yüksek bölgelerde tercih edilmiştir. Betonarme perdelerin kalınlığı, genellikle yapının kat yüksekliğine ve yük durumuna bağlı olarak belirlenirdi. Bu kalınlık, genellikle 20-25 cm aralığında öngörülmüştür. Perdenin boyutları ve malzeme kalitesi, dönemin standartlarına göre genel mühendislik prensipleriyle belirlenmiştir. Perde elemanlarının, temelle bütünleşik olarak tasarlanması gerektiği belirtilmiştir. Bu, deprem sırasında perdenin etkili bir şekilde yük transferi yapabilmesini sağlamak için önemliydi. 1940 Deprem Yönetmeliği'ndeki perde elemanlar, günümüzdeki Türk Deprem Yönetmeliği 2018 gibi modern yönetmeliklerdeki kadar ayrıntılı tanımlanmamıştır. Günümüzde perde elemanlarıyla ilgili çok daha net ve detaylı kurallar bulunmaktadır. Minimum ve maksimum donatı oranları, boyutlandırma kuralları (en-boy oranları, kalınlık sınırlamaları), RG sünek tasarım ilkeleri, perde başlık bölgelerindeki özel donatı düzenlemeleri yer almaktadır [5]. Ülkemizde betonarme perdelerin yatay yüklerden oluşacak yükleri karşılamak için ilk kez 1998 Türkiye Deprem Yönetmeliğinin 7.6.5.2.

maddesinde tanımlanmıştır. Betonarme perdelerin yatay yüklere karşı dayanımı artırmak kabulüne bağlı olarak ilk kez perde başlık bölgelerine kesme kuvvetlerine karşı gelmesi için etriye tanımlaması zorunlu kılınmıştır.

Ülkemizde bulunan mevcut yapı stoğunun önemli bir oranını oluşturan binaların yeterli mühendislik hizmeti alamadığı ve uygun materyaller ile inşa edilemediği aşıkardır. Bu konu ile ilgili araştırmacılar, söz konusu yapıların güçlendirilerek can ve mal sağlığını sağlamak noktasında günümüz şartlarına yaklaştırmak için çalışmalar yapmışlardır. Ülkemizde en çok kullanılan güçlendirme yöntemleri; taşıyıcı sistem elemanlarına betonarme mantolama yapılması, taşıyıcı sistem elemanlarının çelik levha, korniyer ve saclar ile güçlendirme yapılması ve yapıya ek olarak betonarme perde duvar eklenmesidir. Bu metotların uygulanmasında; yapıya ilave yükleme yapılması, ekonomik olarak maliyetinin yüksek olması, yapım süresi nedeniyle yapının kullanılamaması ve mimari kullanım alanlarında azaltmalar olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada çeşitli mühendislik disiplinleri tarafından geliştirilmiş birçok alanda kullanılmak üzere geliştirilmiş teknolojik ürünlerden olan Karbon Lifli Polimer Demet - Carbon Fiber Reinforcement Rope (CFRP) ile ülkemizde 1998 yönetmeliğinden önce imal edilmiş yapılarda kullanılan betonarme perde duvarlarda yapılmamış olan başlık bölgelerini CFRP ile oluşturarak, yapının yük çekme kapasitesinin ve dayanımının değişimi deneysel araştırılması ve sonuçların bu kapsamda değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

1.2. Literatür Çalışması

Literatür taramasında betonarme perdeler, yapıların güçlendirilmesi için yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Eski ve yeni yönetmeliklerin kıyaslanması ile ilgili çalışmalarda ayrıca incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda aşağıda yazılan tezler ve makaleler bulunmuştur.

Yaltır [6], Betonarme Perdelerin, yapılarda yanal rijitliğin sağlanması noktasında Yükseklik/Boy (H_w/L_w) oranına göre farklı numuneler kullanılarak deneysel araştırmalar yapılmıştır. Betonarme perdelerin davranışında etkin parametre olan ℓ_w/b_w oranı yönetmeliğe ve başka ülkelerin standartlarında farklı değerlerle sınırlandırıldığı görülmektedir. İncelenen standartlarda değişkenliklerin olması belirsizliklerin var olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada farklı boy/en (7, 6, 5) oranlarına sahip betonarme perdelerin 63 kesme perdesi olarak tasarımının ardından, bu betonarme perdelerin

davranışlarının deneysel ve nümerik olarak araştırılması hedeflenmiştir. Sonuçlar analitik olarak yorumlanmıştır.



Şekil 1. Karot Numune Dayanım Deneylerinden Bir Görünüm

Karaca [7], bir okul binasının eski yönetmelikle yapılmış ve mevcut bir okul binasına sahip TBDY-2018 yönetmeliği dikkate alınarak mevcut betonarme bir okulun doğrusal olmayan hesap yöntemi (nonlineer analiz) ile performans değerlendirmesi yapılmış ve yapıların güçlendirilmesine karar verilmiştir. Ardından da bu yapı için üç farklı güçlendirme önerisinde bulunulmuş ve istenilen deprem yer hareketleri için güçlendirilmiş durumların performans analizleri yapılmıştır. Yapının istenilen deprem performans düzeyine ulaşması sağlanmıştır.

Bayükle [8], Betonarme yapıların perde duvar eklenmesiyle güçlendirilen işlemlerde karşılaşılan çeşitli uygulama sorunlarını gidermek ve bu sorunlara çözüm önerilerinde bulunmaktadır. Yapıların güçlendirilme öncesinde ve sonrasında değerlendirilmesi DBYBHY -2007 yönetmeliğine göre incelenmiştir. Eklenen perde duvarların yapı üzerindeki etkileri ve getireceği sorunlar incelenmiştir.

Keskin [9], Depremlerin betonarme yapılara etkiyen hasar tipleri açıklanmış, taşıyıcı sistem elemanları üzerinde oluşan hasarlar nedenleriyle beraber açıklanmıştır. Ülke yapı stoğumuzun büyük çoğunluğu gerekli standartları sağlamadığı ve bu yapıların yıkılıp yeniden yapılmasının ekonomik olmaması nedeni ile yapıların onarım ve güçlendirmesi önerilmektedir. Bu çalışmada onarım ve güçlendirme malzemelerinden biri olan FRP'ler üzerinde durulmuştur. FRP'nin iç yapısı, mekanik ve fiziksel özellikleri, çeşitleri, uygulanış şekilleri ve diğer sistemlerden ayrılan özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca deneysel davranışları incelenmiş, FRP ile sarılmış elemanların, analitik çözümleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Şahinkaya [10], 1998 yönetmeliği öncesi inşası yapılmış mevcut betonarme binalarda kullanılan yatay yük taşıyıcı perde elemanlarının donatı ayrıntılarının incelenmesi, betonarme elemanların sonlu eleman analizlerinde uygulanan yöntemlerin özetlenmesi ve elde edilen donatı ayrıntılarından biri dikkate alınarak narin bir perde eleman için sonlu eleman analizi yapılmıştır. Bu amaçla, 16 farklı bina projesi değerlendirilmiş ve seçilen şahit perdelerin sonlu eleman analizleri ile kullanılan analiz yaklaşımları kısaca özetlenmiştir.

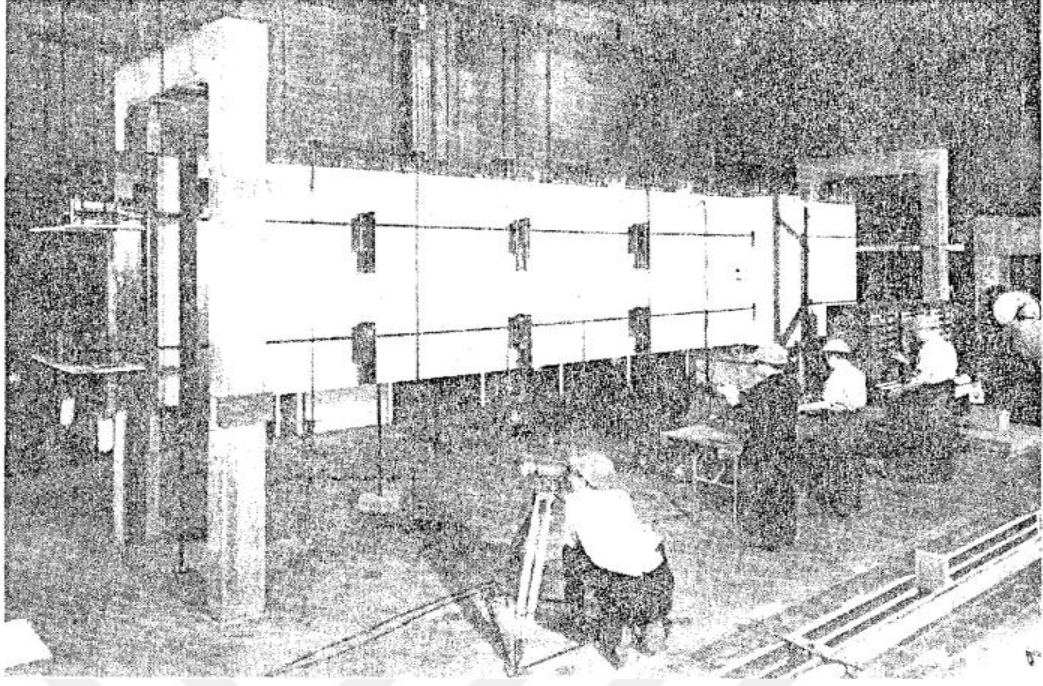
Olabi ve Ark. [11], Güncel deprem yönetmelikleri gereksinimlerini sağlamayan (GDYGS) perde duvarların davranışının detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada GDYGS betonarme perde duvarların tekrarlı yatay yük etkisi altındaki davranışları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada Türkiye'deki yapı stoğu dikkate alınarak 6 adet numune üretilmiştir. Bu numuneler 1ad referans numune TBDY 2018 gereksinimlerini sağlamıştır. Diğerlerinde ise gövde donatısı, perde uç bölgesi donatısı ve etriyelerin farklı bağlanma şekillerine göre düzenlenmiştir. Opensees sonlu elemanlar programı ile numunelerin sayısal modelleri oluşturulup, sayısal model ile deney sonuçlarının doğrulamaları kontrol edilecektir.

Zolmaz [12], çalışmada, yapıların güçlendirilmesi amacıyla uygulanan betonarme perde donatı ilavesinin, yapı performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca, yapıya eklenen perde donatı oranının belirlenmesi için deneysel modeller kalibre edilerek, Görgülü'nün doktora tezine dayanan kapsamlı bir sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda, eklenen perde donatı oranının yapı performansına olan etkisi değerlendirilmiş ve bu oranın, performans açısından yeterli olup olmadığı sorgulanmıştır. Son olarak, güncellenmiş deprem yönetmeliği çerçevesinde performans kavramına

yaklaşım ilke ve prensipleri ile mevcut yapıların TBDY-2018'e göre performans değerlendirmesinin ilke ve kuralları ele alınarak, bu çerçevede bir analiz yapılmıştır.

Zhao ve ark. [13], Direnci arttırmak için sınır elemanlarında CFRP çubuklarla güçlendirilmiş betonarme perde duvarların sismik performansına ilişkin deneysel araştırma, kararlı direnç kapasitesi ve küçük kalıntı deformasyonu için beklenen şekilde sunulmuştur. Sınır elemanlarında uzunlamasına çekme malzemeleri olarak CFRP çubukları ile güçlendirilmiş altı RC perde duvar, sırasıyla 0.17, 0.26 ve 0.33'lük farklı eksenel yük oranları ile sabit eksenel sıkıştırmaya tabi tutulurken ters döngüsel yanal yükleme altında test edildi. Her eksenel yük oranı için, sınır elemanlarında dikdörtgen ve dairesel üzengi olmak üzere iki tür üzengi kullanıldı. CFRP çubuklarının mükemmelliğini belgelemek için bir referans numunesi olan sıradan RC perde duvarları da tanıtıldı. Test sonuçları, CFRP çubukları kullanan duvarların küçük kalıntı deformasyonlara ve kalıntı çatlak genişliklerine sahip olduğunu gösterdi. Eksenel yük oranlarının artmasıyla daha düşük çatlak ilerleme yüksekliği ve daha büyük beton kırma bölgesi, taşıma kapasitesi ve eşdeğer viskoz sönümleme katsayısı (EVDC) gözlenebilir. Etriye formlarının deney sonuçları üzerindeki etkileri eksenel yük oranı ile ilişkili bulunmuştur. Eksenel yük oranı küçük olduğunda, dairesel etriyeli perde duvarlar, belirli bir sürüklenme seviyesinde dikdörtgen etriyelere göre daha iyi enerji dağılımına sahipken, kümülatif enerji dağılımı (CED) benzerdi. Eksenel yük oranının artmasıyla, duvarlar aynı sürüklenme seviyesinde benzer enerji dağılımı sergiledi, ancak dikdörtgen etriyeli perde duvarlar daha büyük CED'e sahip olduğu görülmüştür.

Corley [14] tarafından yapılan çalışmada rüzgara bağlı yanal yükler göz önünde bulundurulsa da deprem ya göz ardı edildi ya da basit bir şekilde ele alındı. Portland Çimento Birliği'nde başlatılan ilk deneysel araştırma, yapısal duvarların dokusuna benzer oranlara sahip ince derin elemanların kesme dayanımını belirlemek için oldukça temel bir çalışmaydı. Sadece monotonik yükler uygulanmıştır. Duvarlar çok büyük örneklerin kullanımına izin verecek şekilde yan taraflarında test edilmiştir. Bu testlerden elde edilen bilgilerin bir kısmı, 1969 Kaliforniya Yapı Mühendisleri Birliği Yıllık Toplantısı'nda açıklanmıştır.



Şekil 2. Yüke Maruz Kalan Yapısal Duvar

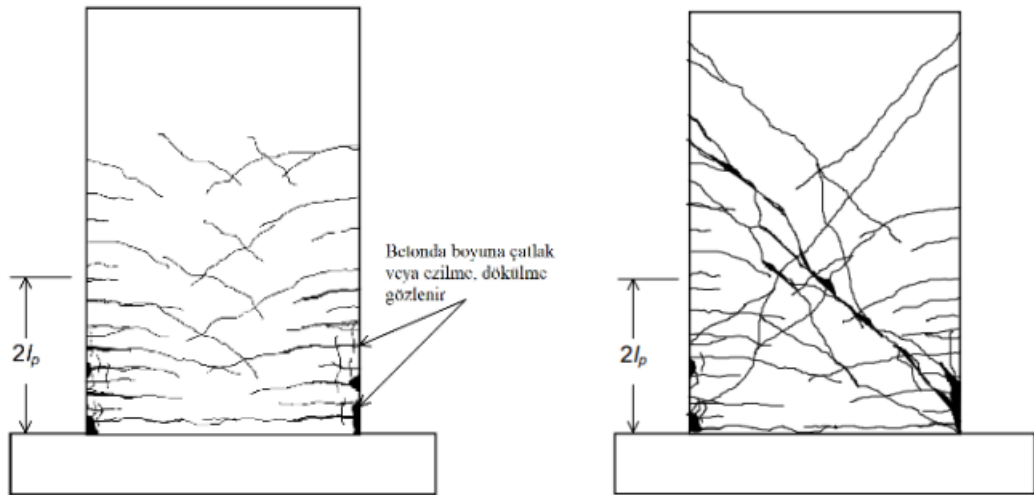
Eğilme ile kontrol edilen mukavemete sahip duvarlar için, hapsedme kasnakları sünekliği artırdı, ancak mukavemeti artırmadı. Ağ kırma ile yönetilen duvarlar için, hapsedme kasnakları mukavemeti artırdı, ancak sünekliği artırmadı. Hapsedilmeden bile önemli süneklik elde edildiğine dikkat edilmelidir. Bu araştırmadaki deneysel ve analitik çalışmanın amacı, sonuçları Kaliforniya Üniversitesi, Illinois Üniversitesi ve şu anda yapısal duvarlar üzerinde çalışan diğer kurumlardan elde edilen sonuçlarla birlikte kullanmak ve yapısal duvarların sağladığı olumlu performanstan tam olarak yararlanacak bir tasarım prosedürü geliştirmektir.

Bertero [15], Betonarme perde duvarların dinamik yüklere maruz kalma davranışının deneysel ve teorik olarak incelenmesini ele almaktadır. İlk bölüm, bu tür yapısal elemanların çalışmasında yer alan farklı faktörlerin kısa bir tartışmasını içerir. Dinamik yükleme makinesinin bir analizi takip eder. Bu makine özellikle bu araştırma için tasarlanmıştır. Betonun mukavemeti dışında her açıdan aynı olan dört numune test edildi ve gerçek yapısal ve yükleme koşullarını simüle etmek için girişimlerde bulunuldu. Örnekler, tek katlı, bir bölme genişliğinde bir binada standart bir kesme panelinin yaklaşık $\frac{1}{4}$ boyutunda kopyalarıydı. Bu dört duvardan biri statik yük altında test edildi. Elde edilen sonuçlar eğriler, tablolar ve fotoğraflar şeklinde sunulmuştur. Teorik analiz için kafes analogisi kullanılmıştır. Bay Finerman tarafından daha önce yapılan bir araştırma sırasında elastik davranış için kullanılan basitleştirilmiş kafes, çatlak aralığı için

değiştirildi. Modifiye edilmiş eşdeğer kafesin özelliklerini belirlemek için birkaç varsayım yapılmıştır. Bu varsayımlardan yararlanılarak, WHIRLWIND I ve IBM 70h dijital bilgisayarları için programlama geliştirildi. Her iki program da ve elde ettikleri sonuçlar teorik tartışmaya dahil edilmiştir.

Mohammadi-Doostdar [16], Sismik yükleme altında alçak katlı beton perde duvarların davranışını araştırmak için birleşik bir deneysel ve analitik araştırma yapılmıştır. Araştırma programının deneysel kısmı, elastik olmayan yük ters çevirmeleri altında iki büyük ölçekli perde duvar numunesinin testlerini içerir. Duvarlar 1500 mm yüksekliğinde ve 100 mm kalınlığında ve 2000 mm veya 1500 mm uzunlukta idi, bu da 0.75 ve 1.0 en-boy oranları ürettiyordu. En boy oranının kayma ve arıza modları üzerindeki etkisi, ana test parametrelerinden biriydi. Sonuçlar, her iki duvarın da eğilme verimi geliştirebildiğini ve diyagonal payandaların ezilmesinde başarısız olduğunu gösterdi. En boy oranları 0.75 ve 1.0 olan duvarlarda sırasıyla yaklaşık %0.92 ve %1.83'e kadar çok az veya hiç mukavemet azalması gözlenmedi. Kayma kayması, mukavemet bozulmasının başlamasından önce toplam yanal yer değiştirmenin yaklaşık % 10'u ile sınırlıydı ve bu mekanizmanın neden olduğu erken bir arıza olmadığını gösterdi. Deformasyon bileşenleri, bu duvarlarda eğilme ve kaymanın eşit derecede önemli olduğunu ve toplam yanal yer değiştirmenin yaklaşık % 80'ini oluşturduğunu göstermektedir. Analitik araştırmanın bir parçası olarak yeni bir analiz prosedürü geliştirilmiştir. Prosedür, en boy oranları 1.0 veya daha az olan alçak perde duvarlar için mukavemet ve deformasyon hesaplamaları için kullanılabilir. Denge, uyumluluk ve malzeme modellerine dayanır. Potansiyel arıza düzlemleri öncelikle belirlenir ve duvar kesitlerinin analizleri yapılır. Potansiyel arıza düzlemlerinden biri, tabandaki yatay duvar bölümüdür ve eğilmeye karşı kritiktir. Bu bölümde standart bir düzlem kesit analizi yapılır. Düzlem kesit analizinden belirlenen sıkıştırma bölgesi, yükleme köşesine doğru eğimli olan ikinci arıza düzlemini oluşturmak için kullanılır. Deneysel olarak gözlemlenen gerinim değişimine dayalı olarak bu bölüm boyunca eğimli bir kesit analizi yapılır. Eğimli beton payandada diyagonal sıkıştırma ezilmeye karşı kontrol edilir. Eğik kesit analizinden hesaplanan gerinim durumu, kesme kuvveti-kesme deformasyonu ilişkisini kurmak için yeterli bilgi sağlar. Analiz prosedürü, mevcut test verilerine karşı kapsamlı bir şekilde doğrulanmıştır. Analitik yaklaşım, tasarımda kullanılmak üzere basitleştirildi. En boy oranları 1.0 veya daha az olan alçak perde duvarlar için bir tasarım prosedürü önerilir.

Efe [17], Ülkemizde son yaşanan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri dahil olmak üzere depremler sonrası yapılan saha çalışmalarında iyi bir perde duvara sahip bir binada deprem etkisi karşısında iyi çalışmış perde duvarın, yapının rijitliğini arttırarak, ötelenmesini azalttığı ve bu şekilde binanın göçmesinin ve ağır hasar almasının önüne geçildiği görülmüştür. Buna karşılık binalardaki kusurlu perdelerin ise deprem esnasında ağır hasar aldığı ve binanın toptan göçme riskini oldukça arttırdığı gözlemlenmiştir. Kusurlu betonarme perdelerin davranışlarını iyileştirecek alternatif güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi ya da bu perdelerin belirlenip, güçlendirilerek etkin hale getirilmesi önem kazanmaktadır. Perde duvarın güçlendirilmesi binanın deprem performansına katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada yanal yükler nedeni ile betonarme perde duvarlarda eğilme ve kesme etkileri sonucu oluşabilecek hasarların güçlendirilmesine yönelik literatürde birçok çalışma bulunmasına karşılık farklı detayların incelenebileceği deneysel çalışma yapılması gerekliliği görülmüştür.



Şekil 3. Betonarme Yapının Çatlak Oluşumu

Polat [18], Bu tez çalışmasında, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) esas alınarak, birinci kolonların eksenel basınç dayanımlarının artırılması, ikinci olarak kolonların sünekliliğinin yükseltilmesi ve son olarak da kolonların yetersiz bindirme boyu için sargılama yöntemleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca, TDY2007'de betonarme kirişlerin kesme ve eğilme davranışlarının iyileştirilmesine yönelik doğrudan bir öneri bulunmamakta olup, bu nedenle TS500 esaslarına dayalı denge ve uygunluk denklemleriyle çift donatılı ve tablasız kirişler için eğilme ve kesme kapasitelerinin hesaplanmasına yönelik analitik

yöntemler geliştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar, elde edilen analiz sonuçları ile deneysel veriler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Lifli polimerler ile yapılacak güçlendirmelerde, ACI-440 R2 ve FIB tarafından önerilen azaltma katsayılarının kullanılmasıyla daha güvenli bir tasarım elde edileceği ve istenilen güçlendirme kapasitelerine rahatlıkla ulaşılabileceği sonucuna varılmıştır. Kolonlar için gerçekleştirilen FRP güçlendirme analizlerinde ise deneysel sonuçlar doğrultusunda daha değerlendirmelerin yapıldığı ve yönetmelik formüllerinin herhangi bir azaltma katsayısı kullanılmadan uygulanabileceği gösterilmiştir.

Karamuk [19], karbon lif takviyeli polimer tabakalar ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilme yapılan normal dayanımlı, kare kesitli, dikdörtgen kesitli ve daire en kesitli betonarme yapının bir adet beton elemanının, eksenel yükler altındaki davranışı üzerine yapılan çalışma sonuçları bulunmaktadır. Çalışmalarda elde edilen verilere göre polimer lif tabakası kalınlığına, kesit şekline, enine donatı oranına ve polimer lif sargıların etkinliğini artırıcı davranış gösterdiği görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda incelenen güçlendirme yönteminin numunelerin dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerini önemli oranda artırdığı görülmüştür. Bu deneysel çalışma sonucunda elde edilen f'_{cc} ve ϵ_{cc} değerleri teorik model kullanılarak hesap edilen f'_{cc} ve ϵ_{cc} değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Gündoğan [20], Deprem performanslarını değerlendirmek amacıyla seçilen projeler, 1975 yönetmeliği dikkate alınarak projelendirilmiş dokuz adet mevcut betonarme bina projesidir. 9 adet bulunan projelerden beş adeti İstanbul ilinin Sarıyer ilçesinde, dördü ise Bolu ilinin Gerede ilçesinde belirlenen ve ilgili belediyelerden projeler temin edilmiştir. Binaların inşaat yapımı 1973 ile 1990 yılları arasında olup tamamı 1975 yılına ait yönetmelik esaslarına dayanarak tasarlanmıştır. Türkiye deprem bölgeleri haritasına göre Sarıyer ilçesi 3. derece deprem bölgesi, Gerede ilçesi ise 1. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Malzeme kalitesi açısından, projelerin 1997 yılından önce olması nedeniyle beton çeliği dayanımı $f_{yk}=220$ MPa olarak ve betonun basınç dayanımı 10, 14 ve 20 MPa değerlerinde değerlendirilecektir. Çünkü o dönemde beton dayanımının genellikle düşük olduğu bilinmektedir. Betonun karakteristik basınç dayanımı (f_{cm}), zemin sınıfı ve etriye aralığı değiştirilerek her bir bina için toplamda 108 farklı kombinasyon oluşturulmaya çalışılmış ve her bir kombinasyon için performans değerlendirmesi yapılmıştır. Oluşan kombinasyonlar, her bina için 12'şer farklı kombinasyondan oluşmaktadır.

Şahin [21], 1975 yılında Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre Adapazarı'nda yapılmış ve 1999 Marmara Depremi'nden sonra farklı hasar durumuna sahip üç yapı sistemi, Yeni Deprem Yönetmeliği'nde yer alan doğrusal(lineer) ve doğrusal olmayan(nonlinear) performans analizi yöntemlerinin değerlendirme kuralları kullanılarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda depremde hasar görmeyen yapı sistemi, doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan performans analizi yöntemleriyle incelenmiş ve yapı göçme durumunda bulunmuştur. Depremde orta hasar alan yapı sistemi, doğrusal elastik analiz yöntemlerinden Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi ile incelenmiş ve yapı sisteminin x yönünde güçlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Göçmüş yapı sistemi ise doğrusal elastik analiz yöntemlerinden Mod Birleştirme Yöntemine göre sınırlı bilgi, orta bilgi ve kapsamlı bilgi düzeyleri için ayrı ayrı incelenmiş ve yapının göçme durumunda bir performans sergilediği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma, kullanılan yöntemlerin birbirine yakın sonuçlar vermesi gerektiğinin önemi üzerinde durmuştur.

Çoban [22], betonarme taşıyıcı sistemler tanımlanmış ardından eski yönetmeliklerden uzun süre yürürlükte kalmış ve günümüzde mevcut binaların çoğunun projelendirilmesine esas olan ABYYHY-1975 yönetmeliği ile TDY-2007 yönetmeliği tanıtılmış ve model taşıyıcı sistemler analiz edilmiştir. TDY-2007 ve ABYYHY-1975'e göre yapılan analizler arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Türkay [23], yürürlükte bulunan deprem yönetmeliğinde tasarımı yapılan betonarme perdelerin basit burulma etkisi altındaki davranışları analitik ve deneysel olarak incelenmiştir. 7, 6 ve 5 boy/en oranlarına sahip betonarme perdeler 1/2 ölçeğinde tasarlanmıştır. Tasarlanan bir adet betonarme perde referans ve her bir orandan üç adet olmak üzere toplamda on adet betonarme perde numunesi üretilmiştir. Betonarme perdeler, eksenel yük altında ve tersinir tekrarlanır yükler kullanılarak salt burulma etkilerine maruz bırakılmışlardır.

Analitik çalışmalarda ANSYS sonlu eleman programı ile TS-500 2000, ACI 318-14 ve Eurocode 2 standartları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, betonarme perdeler için çatlak dağılımları, burulma çatlama momentleri, maksimum burulma momentleri, çatlama öncesi ve çatlama sonrası burulma rijitlikleri ile dönme açıları elde edilmiştir. Elde edilen veriler tablo ve grafikler yardımıyla karşılaştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Boy/en oranı büyük olan betonarme perdelerin burulma dayanımlarının ve burulma rijitliklerinin daha büyük olduğu elde edilen sonuçlarda görülmektedir. Ayrıca,

burulma çatlaması ile betonarme perdelerin burulma rijitliklerinde önemli bir düşüş meydana gelmektedir.

İnceoğlu [24], Yüksek riskli deprem bölgelerinde, betonarme perde duvarlar, binaya önemli derecede yatay rijitlik ve dayanım sağlayarak, deprem ve rüzgâr yüklerine karşı tasarımda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, EuroCode 8, ASCE 7, ACI 318-14, JSC-2001 ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik-2007 gibi modern deprem şartnameleri yürürlüğe girmeden önce inşa edilen betonarme perdeli binalarda, çoğunlukla donatı ve detaylandırma açısından eksiklikler tespit edilmiştir. Geçmişte meydana gelen depremler sonrası yapılan incelemeler, bu binaların şiddetli hasar görme veya göçme riskine sahip olduklarını ortaya koymuştur. Bu tür hasara yatkın binaların gelecekteki depremlerden alacağı hasarı azaltmak için, mevcut yapıların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ve mevcut perdelerin iyileştirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, betonarme perde duvarların kesme dayanımına etki eden parametreler incelenmiştir. Bu parametreler arasında duvarın geometrik özellikleri, eksenel yük ve yanal donatı miktarı gibi faktörler yer almaktadır. Betonarme perde duvarların davranışını anlamada en önemli faktörlerden biri, bu duvarların kesme dayanımıdır. Mevcut perdeli binaların daha etkin bir şekilde değerlendirilmesi için kesme dayanımının doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Bu doğrultuda, daha önce yapılmış perde duvar deneyleri incelenmiş ve uygun deney sonuçları kullanılarak kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Bu veri tabanında yapılan istatistiksel analizler sonucunda, DBYBHY-2007'ye göre hesaplanan teorik kesme dayanımının, kesme kontrollü duvarlarda deneysel kesme dayanımından %7 daha düşük olduğu, karma ve eğilme kontrollü perdelerde ise sırasıyla %34 ve %44 daha yüksek sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. ACI 318-14 (2014) normunda kullanılan kesme dayanımı formülü ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu formüle göre, kesme kontrollü duvarlarda teorik dayanım %11 daha düşük, karma ve eğilme kontrollü duvarlarda ise sırasıyla %21 ve %34 daha yüksek hesaplanmıştır. Son olarak, JSC-2001 formülüne bakıldığında, bu formülün daha fazla parametre içerdiği ve güvenilirlik analizi açısından gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. JSC formülü ile hesaplanan teorik kesme dayanımı, kesme kontrollü duvarlar ve karma duvarlar için deneysel verilerden sırasıyla %3 ve %8 daha düşük, eğilme kontrollü duvarlarda ise %9 daha yüksek hesaplanmıştır.

Kalyoncuoğlu [25], Bu tez çalışması, Türkiye'deki mevcut betonarme yapıların korozyon nedeniyle deprem riski oluşturmalarına karşı ekonomik ve etkili bir güçlendirme yöntemi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, özellikle ekonomik zorluklar nedeniyle mevcut yapıların yeniden yapılmasının zor olduğu bir ortamda, güçlendirme yöntemlerinin masraflı olmadan uygulanabilirliğine odaklanmıştır.

DeneySEL çalışma, düşük beton dayanımına ve yetersiz donatıya sahip, yönetmeliklere uymayan kolon numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, hızlandırılmış korozyon yöntemleriyle korozyona uğratılmış ve bu korozyon sonucu beton ve donatı arasındaki aderans kaybı, çatlaklar ve kesit kayıpları gözlemlenmiştir. Korozyon hasarı tespit edildikten sonra, kolonlar onarılmış ve güçlendirilmiştir. Güçlendirme, karbon lifli polimerler ve tamir harcı kullanılarak yapılmıştır.

Testler, güçlendirilmiş numunelerin dayanım ve süneklik açısından iyileştiğini ancak bazı durumlarda, düşük beton dayanımına sahip kolonlarda korozyonun etkisiyle sınırlı bir iyileşme sağladığını göstermiştir. Karbon lifli polimerlerin kullanımı, dayanımı ve sünekliği artırmış, ancak bazı durumlarda donatının kopmasına yol açmıştır. Sonuçlar, güçlendirme yöntemlerinin dayanımı ve öteleme kapasitesini artırmasına rağmen, numunelerin hâlâ standartların çok altında olduğunu ve bu konuda daha fazla çalışma yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu çalışma, betonarme yapılarındaki korozyon sorununu çözmeye yönelik gelecekteki araştırmalar için önemli veriler sunmakta ve bu sorunun küresel ölçekte çözülmesine katkı sağlayacak potansiyele sahiptir.

Vlach ve ark. [26], Bu makale, içi boş HPC kirişlerinin çapraz sargılı CFRP kesme takviyesini tanıtmaktadır. CFRP takviyesi, karbon ipliklerinin uzunlamasına ekseninde $\pm 45^\circ$ yönlendirilmiş olduğu kare boru şeklinde bir ağ formunda üretilmiştir. Kesme takviyesi, 1600 ve 3700 tex doğrusal yoğunluklara sahip karbon ipliklerinden iki varyantta uygulanmıştır. BFRP çubuklarından yapılan çekme takviyesi, doğrudan içi boş çekirdeğin etrafına yerleştirilmiş ve kesme takviyesinin manuel olarak sarılması için bir platform olarak kullanılmıştır. İçi boş kirişler, farklı koşullar altında kesme donatısının etkisini daha iyi değerlendirebilmek için, dört konfigürasyona sahip çekme BFRP donatısı ile üç noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. 1600 tex kesme donatısı, herhangi bir kesme donatısı olmayan numunelere kıyasla nihai eğilme dayanımını en az %89 oranında artırmıştır. 3700 tex kesme donatısı çoğu durumda biraz daha iyi sonuçlar vermiştir, ancak bu numuneler, kesme donatısının beton matrisinden ayrılması nedeniyle

kesme kapasitesinde tam olarak kullanılmamıştır. Kiriş kesitinde fazla takviye bulunmaktaydı.

Beyli [27], Araştırmacı bu çalışmada 1975 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış birçok katlı betonarme bir binanın 1998 deprem yönetmeliğine göre statik deprem hesapları incelenmesi araştırılmış. Araştırma sonucunda yapının yeni deprem yönetmeliğine uygun olmadığı ve yapının güçlendirilmesine karar verilmiştir. Taşıyıcı sistemi 1975 yönetmeliğine göre tasarlanmış 10 katlı betonarme binanın çerçeve boşluklarına betonarme perde ilave edilmesi metodu ile güçlendirilmesi tercih edilmiş. Güçlendirme amacı için yapıya eklenen perdelerin yeri iyi seçilmeli, ek burulma momenti meydana getirilmesini önlemek için de binanın dış çerçevelerine eklenmeli. Ayrıca yapılacak güçlendirmenin deprem kuvvetlerine karşı yapının güvenliğini artırmış olsa dahi, mevcut yapının ekonomik ömrünün göz önünde bulundurulması tavsiyesi verilmiştir.

Delta Yapı [28], Hasar görmüş betonarme yapı elemanlara başlangıçtaki orijinal mukavemetlerini kazandırmak veya güçlendirmek amacı ile karbon lifli veya cam lifli takviyeli epoksi esaslı kompozit malzemeler ile çelik plakalarla yapılan geleneksel güçlendirme sistemlerine alternatif geliştirilmişlerdir. Çekme dayanımları çelikten fazla olan kompozit malzemelerin en önemli avantajları korozyona uğramamaları, hafif olmaları ve rulolar halinde saklanabilmeleri açısından kolaylıkla uygulanabilmeleridir.

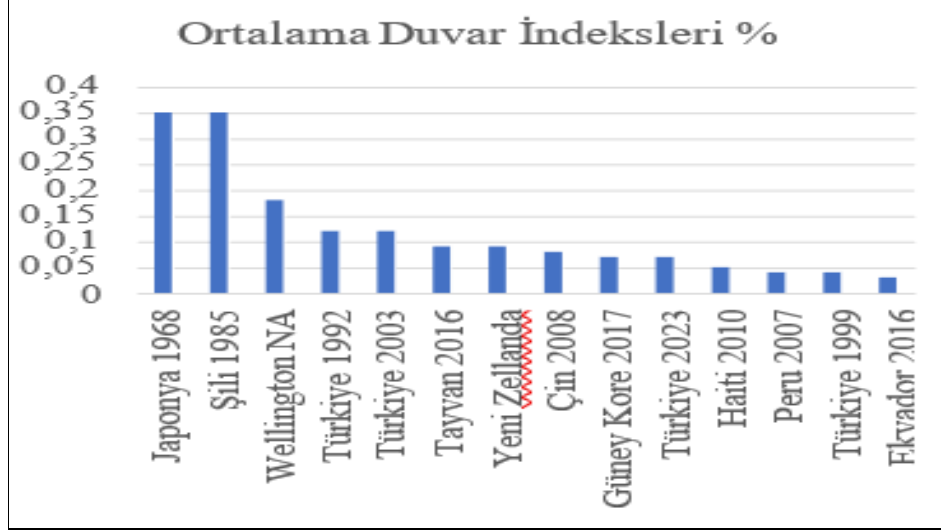
Sivri ve ark. [29], Mevcut betonarme (RC) perde duvarlar için çelik tel örgü (SWM) ve polimer harç kullanılarak yeni bir güçlendirme tekniği türü önerilmiştir. Deneysel kampanya, bir konvansiyonel RC perde duvar numunesinin ve döngüsel yanal yükleme altında farklı çelik tel örgü oranları ve sarma yöntemleri konfigürasyonları kullanılarak güçlendirilmiş dört numunenin test edilmesinden oluşmaktadır. Deneysel sonuçlar, çelik tel örgüler ve polimer harç uygulamasının sadece kesme çatlakları oluşumunu geciktirmekle kalmayıp, aynı zamanda çatlak ilerlemesini de etkili bir şekilde kontrol ettiğini göstermiştir. Güçlendirilmiş numunelerin çatlama yükündeki ortalama artış yaklaşık% 79 idi. Güçlendirilmiş numunelerin yanal yük taşıma kapasitesi, kontrol numunesine kıyasla dikkate alınan çelik tel örgü takviye oranındaki artışla artmıştır. Çelik tel örgülerin perde duvar yüzeyinin etrafına sarılması, polimer harç tabakalarının ayrılmasını önledi ve sadece açıkta kalan yüzeylere sarmaya kıyasla performansı artırdı. Güçlendirilmiş perde duvarların kapasitesini tahmin etmek için teorik bir ifade, yumuşatılmış payanda ve bağ modeline dayalı olarak önerildi. Önerilen ifade, mevcut ve önceki çalışma için güçlendirilmiş örneklerin kapasitesini adil bir şekilde öngördü.

Al-Shalif [30], Perde duvarlar, birincil yanal dirençli yapısal elemanlardan biridir. Mimari ve teknik ihtiyaçlar nedeniyle, yapısal duvardaki açıklıklar neredeyse kaçınılmazdır. Süreksizlik bölgeleri ve duvar sertliğinde azalma bu açıklıklardan kaynaklanır. Elyaf takviyeli polimer (FRP) sistemlerinin kullanılması, bu alanları güçlendirmek için sürdürülebilir bir inşaat çözümüdür ve bütünlüklerini ve hizmet verilebilirliklerini geri kazanmak için uygun bir yöntemdir. Bu makale, cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) levhalar kullanılarak güçlendirilmiş, çeşitli boyut ve konumlarda açıklıklara sahip betonarme (RC) perde duvarların davranışı üzerine deneysel ve analitik bir çalışma sunmaktadır. On RC perde duvar döküldü ve test edildi; başlangıçta güçlendirmeden; ve daha sonra açıklığın etrafına eklenen bir çift yönlü GFRP tabakası tabakası ile yeniden test edildi. FE kullanımı sürdürülebilirliğe katkıda bulunduğundan, modelleme için sonlu elemanlar (FE) programı ANSYS kullanılmıştır. Sonuçlar, %6.25 açıklığa sahip güçlendirilmemiş duvarlar ve %11.11 açıklığa sahip güçlendirilmiş duvarlar için rijitlik bozulma oranının oldukça düşük olduğunu göstermiştir. Açıklık boyutu büyüdükçe, mukavemet ve sertlik değerleri büyük ölçüde azaldı; Orta yükseklik konumunda bir açıklığa sahip perde duvarlar da alt ve üst açılma konumlarına kıyasla daha küçük yük kapasitelerine sahiptir. Ek olarak, GFRP levhalarının gerilme yeniden dağılımını ve çatlak ilerlemesini kontrol etme yeteneği, duvarların genel performansını iyileştirdi. FE ve deneysel sonuçlar iyi bir şekilde eşleşiyor. Ayrıca, ACI ve ECP hesaplamaları, açılma konumunu dikkate almadan yanal yük kapasitesinin iyi bir tahminini ortaya koyarken, önerilen diğer modeller yanlıştı. Son olarak, yazar, açıklık boyutlarına ve konumlarına bağlı olarak ECP-203-2020 tarafından sağlanan kesme mukavemeti denkleminde bir indirgeme faktörü (β) önerdi; ve uygun performansı sağlamak ve beklenmedik arızaları önlemek için açıklıkların etrafında FRP levhaların kullanılmasını önerir.

Balık ve ark. [31], Bu makale, sismik olarak kesme kusurlu bodur betonarme (RC) perde duvarlar, döküm UHPFRC katmanları/ceketi ile güçlendirilmiş, yanal yarı-statik ters döngüsel yüklemeye ve sabit bir eksenel yüke maruz kalmış deneysel bir araştırma sunmaktadır. Deney ölçeği 1/3, en boy oranı 1.5 olan ve düşük beton dayanımına sahip dört özdeş dikdörtgen betonarme perde duvar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Referans numune olarak, perde duvarlardan biri Ultra Yüksek Performanslı Fiber takviyeli Beton UHPFRC ile güçlendirilmemiş, diğer üçü ise (i) sadece bir uzun kenarda bir katman (ii) uzun kenarlarda iki katman, (iii) duvarın her tarafı (ceket) olmak üzere farklı konfigürasyonlar kullanılarak UHPFRC ile güçlendirilmiştir.

Tüm örneklerin hasar mekanizmasının değerlendirilmesi için dijital görüntü korelasyonu (DIC) tekniği kullanıldı. Elde edilen sonuçlara göre, güçlendirme teknikleri, özellikle UHPFRC mantolama ile güçlendirilmiş betonarme duvarlar için yanal yük dayanımı, süneklik ve enerji dağıtma kapasitelerini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Sonuçlar, iki UHPFRC tabakası ile güçlendirilmiş duvar için debonding (yapışma arızası) meydana geldiğini göstermiştir. Referans beton ile güçlendirilmiş özdeş duvar numunelerinin kesme ve eğilme dayanımı kapasiteleri ACI 318 koduna göre değerlendirilmiş ve etkinlikleri UHPFRC ile güçlendirilmiş duvarların deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. UHPFRC ile güçlendirilmiş teknikler, yanal yük taşıma kapasitelerini orijinal duvarın %70 ila %227'si kadar artırdı.

Efe [32], Araştırmacılar bu makalede perde duvarların tanımı, güçlendirilmesi ve yayımlanmış ulusal ve uluslararası yönetmeliklerdeki uygulaması hakkında literatür taramaları yapmışlardır. Makale özellikle ülkemizde yaşanan 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri dahil olmak üzere deprem sonrası yapılan saha çalışmalarında betonarme perde duvarların karşılamış olduğu deprem yüklerinin açıklamasını yapmayı hedeflemiştir. Literatür taramaları sonucunda, depremde gözlenmiş hasar ve LP üzerinde yapılmış bulunan araştırmalar hakkında önemli tespitler yapmışlardır. Çeşitli ülkelerin yapılarında perde duvarların yapı taşıyıcı sistem oranı hakkında Şekil.4'te karşılaştırmalı bir grafik sunulmuştur. Bunlar; literatürde 25 MPa'dan daha yüksek dayanıma sahip betonarme perde duvarlar üzerinde çalışılmış olduğu gözlemlenmiş, uç bölgesi oluşturulmamış perde duvarların güçlendirilmesinde LP ile farklı kombinasyonlarda güçlendirilme yapılmadığı tespit edilmiş ve perdelerin donatı detaylarının yönetmeliklere uygun yapılmadığından tevzi demir eksikliğinin LP ile güçlendirilip araştırılmadığı görülmüştür. Doğru tasarlanmış ve uygulanmış bir perde duvarın; yapının rijitliğini artırarak, ötelenmesini azalttığı ve bu şekilde binanın göçmesinin ve ağır hasar almasının önüne geçtiğini görmüşlerdir. Buna karşılık özellikle eski yönetmeliklerde tanımlanmayan başlık bölgesi olmayan perde duvar kullanılan yapılar, düşük beton kalitesi kullanılan yapılar ve planda gerekli alan oranında kullanılmamış perde duvarsız yapıların; deprem esnasında ağır hasar aldığı ve binanın toptan göçme riskini oldukça arttırdığı gözlemlenmiştir. Saha araştırmaları sonucunda kusurlu perdelerin alternatif yöntemlerle güçlendirilmesinin, yapıya etkiyen yanal yükler nedeni ile betonarme perde duvarlarda eğilme ve kesme etkileri sonucu oluşması muhtemel hasarların incelenmesi için deneysel çalışmalar yapılmasının gerekli olduğunu görmüşlerdir.



Şekil 4. Ortalama Duvar İndekslerinin Türkiye ve Diğer Ülkelere Göre Karşılaştırmaları [64]

Kamal Alı Alı [33], Bu araştırma, deprem etkisi altındaki betonarme çerçevelerde perde duvarların farklı konumlandırılmasının, yapının burulma etkileri ve kuvvet-deplasman ilişkileri üzerindeki etkilerini hem deneysel hem de sayısal yöntemlerle incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, her iki yönde iki açıklığı bulunan tek katlı, üç boyutlu bir çerçeve oluşturulmuş, biri perdesiz olmak üzere dört farklı konumda perde yerleştirilerek toplam beş adet yarı ölçekli betonarme taşıyıcı sistem laboratuvar ortamında test edilmiştir. Deney sonuçları literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

Çalışmanın sonunda, dayanım zarfı, rijitlik, enerji tüketimi, burulma, çatlak oluşumu, geliştirilmiş yöntemle elde edilen tepe deplasmanı ve malzeme gerilmeleri gibi parametreler hem deneysel hem de sayısal olarak değerlendirilmiştir. Betonarme perdenin konumuna göre, akma yükü, tepe deplasmanı ve burulma gibi faktörlerde belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu deneyler, betonarme perdelerin simetrik ve düzenli yerleştirilmesinin yapının deprem dayanıklılığı açısından kritik olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle perde duvarın tek taraflı dış aksa yerleştirilmesi burulmaya neden olurken, iç aksta bulunması yapının direncine daha fazla katkı sağlamaktadır. Ayrıca, perdenin orta aksta yer alması durumunda, itme kuvveti tarafında bulunması çekme tarafında yer almasından daha etkili bir enerji yutma ve direnç sağladığını göstermiştir.

Yapı deplasmanının ve burulmanın belirlenmesinde Total Station cihazının kullanımı, geleneksel deplasman ölçerler kadar etkili bir yöntem olarak kanıtlanmıştır. Bu çalışma, yapı hareketlerini tespit etmek için yeni ve etkili bir yaklaşım sunarak,

betonarme perdenin konumunun en iyi tasarım için nasıl belirlenebileceği konusunda önemli bulgular sağlamıştır.

Akyıldız [34], Bu çalışmada, performansa dayalı ve deformasyon kontrollü lineer olmayan bir analiz yöntemi olan Statik İtme Analizi Yöntemi ele alınmıştır. Bu yöntem ile yapıların deprem karşısındaki tepkileri değerlendirilmiş, depreme karşı güvenlikleri kontrol edilmiş ve güçlendirme çalışmaları detaylandırılmıştır. 1975 Deprem Yönetmeliği'ne göre inşa edilen bir betonarme yapı üzerinden kapsamlı bir uygulama gerçekleştirilmiştir.

İlk bölümde, çalışmanın amacı ve önemi üzerinde durulmuş, genel bir bilgi sunulmuştur. İkinci bölümde, performans kavramı açıklanmış; yapısal ve yapısal olmayan performans seviyelerinin birleşimi ile oluşan yapı performans seviyeleri ve bu seviyelerin kriterleri detaylandırılmıştır. Üçüncü bölümde ise Statik İtme Analizi tanıtılmıştır. Bu analizde kullanılan kapasite spektrumu, talep spektrumu ve performans noktası gibi önemli kavramlar ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Dördüncü bölümde, Statik İtme Analizi'nin pratik ve hızlı uygulanabilmesi için SAP2000 analiz yazılımı kullanılarak yapıyı modellemede izlenmesi gereken adımlar anlatılmıştır. Dört katlı betonarme bir yapının mevcut haliyle statik itme analizi gerçekleştirilmiş, göçme yükü ve deprem güvenliği değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yapı üzerinde güçlendirme çalışmaları yapılmış ve bu çalışmaların ardından göçme yükü ile deprem güvenliği yeniden değerlendirilmiştir. 2007 deprem yönetmeliği öncesinde yapılar, kuvvet dayalı değerlendirme ile analiz edilirken, yeni deprem yönetmeliği ile yer değiştirme ve şekil değiştirmeye dayalı değerlendirme, özellikle mevcut yapılar için daha fazla önem kazanmıştır. Yer değiştirmeye dayalı değerlendirme, belirli bir deprem etkisi altında yapıda oluşan yer değiştirmenin, beklenen performans hedeflerini karşılayıp karşılamadığını kontrol etmeyi içerir.

Bağcılar Hoca Ahmet Yesevi İlköğretim Okulu binasının güçlendirme öncesi ve sonrası performansı, 2007 deprem yönetmeliği çerçevesinde doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi ile değerlendirilmiştir. 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip deprem seviyeleri ve bu seviyelerde binalar için belirlenen asgari performans hedefleri dikkate alınarak, binanın deprem performansı belirlenmiştir. Doğrusal olmayan statik artımsal itme analizi sonuçlarına göre: Yapı, güçlendirme öncesinde göçme durumunda olduğundan yeterli deprem güvenliğine sahip değildir ve güçlendirilmesi gerekmektedir. Güçlendirme modeli olarak ek perdeler yapının tüm katlarına eklenmiştir. Ek perdelerin beton dayanımı BS30 ve donatıları BÇIII olarak seçilmiş, bu şekilde yapının genel

malzeme özellikleri iyileştirilmiştir. Bu güçlendirme sonrası, yapının deprem performansı hemen kullanım seviyesine yükseltilerek güvenlik sağlanmıştır. Deprem riski altındaki Türkiye'de, birçok yapı, özellikle stratejik ve sosyal öneme sahip resmi binalar, beklenen büyük depremler karşısında yeterince dayanıklı değildir. Bu binaların güçlendirilmesi için acil önlemler alınması gerekmektedir.

Mamdouh [35], Perde duvarlar, yapıların yatay yük taşıyıcı sistemlerinde en önemli elemanlardan biridir. Ancak mimari ve teknik gerekçelerle, bu duvarlarda açıklıkların (pencere, kapı vb.) bulunması çoğu zaman kaçınılmazdır. Bu açıklıklar, süreksizlik bölgeleri oluşturmakta ve duvarın rijitliğinde azalmaya neden olmaktadır. Bu tür açıklıkların bulunduğu bölgelerin güçlendirilmesinde fiber takviyeli polimer (FRP) sistemlerinin kullanımı, sürdürülebilir ve etkili bir yapı çözümü olarak kabul edilmekte; duvar bütünlüğünün ve servis kabiliyetinin yeniden kazandırılması açısından uygun bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma, farklı açıklık boyut ve konumlarına sahip betonarme perde duvarların, cam fiber takviyeli polimer (GFRP) levhalar ile güçlendirilmesi üzerine yürütülen deneysel ve analitik bir araştırmayı sunmaktadır. Toplamda 10 adet perde duvar dökülmüş ve önce güçlendirme yapılmadan, ardından açıklık çevresine çift yönlü GFRP levha uygulaması ile yeniden test edilmiştir. Modelleme çalışmaları için ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılmış, çünkü sonlu elemanlar tabanlı modellemeler sürdürülebilir mühendislik çözümlerine katkı sağlamaktadır. Sonuçlara göre, %6,25 oranında açıklığa sahip güçlendirilmemiş duvarlar ve %11,11 açıklıklı güçlendirilmiş duvarlarda rijitlik kaybı makul düzeyde kalmıştır. Açıklık oranı arttıkça dayanım ve rijitlik değerlerinde ciddi azalmalar gözlenmiştir. Açıklığın duvarın orta yüksekliğinde yer aldığı durumlarda, alt ya da üst bölgedeki açıklıklara göre taşıma kapasitesi daha düşüktür. Ayrıca, GFRP levhaların, gerilme yeniden dağılımını kontrol etme ve çatlak ilerlemesini sınırlama becerisi sayesinde duvarların genel performansı iyileşmiştir. Sayısal ve deneysel sonuçlar birbiriyle yüksek oranda örtüşmüştür. ACI ve ECP yönetmeliklerine göre yapılan hesaplamalar, açıklık konumu dikkate alınmaksızın yatay yük kapasitesinin başarılı bir şekilde tahmin edilebildiğini, buna karşın diğer önerilen modellerin daha az isabetli olduğunu göstermiştir.

Son olarak, yazar, açıklıkların boyut ve konumuna bağlı olarak, ECP-203-2020 yönetmeliğinde verilen kesme dayanımı denkleminde uygulanabilecek bir indirgeme katsayısı (ϕ) önermiş ve açıklık çevresine FRP levha uygulanmasının, beklenmedik

göçmeleri önlemek ve uygun performansı sağlamak açısından gerekli olduğunu vurgulamıştır.

Rivera [36], Düşük boy/en oranına sahip betonarme perde duvarlar, birçok az ve orta katlı bina ile neredeyse tüm yapılarda, yapı sistemine yatay dayanım ve rijitlik sağlayan temel elemanlardır. Bu tür perdeler, genellikle kesme etkisi altında göçmeye eğilimlidir. Ticari yapılarda, bu tür perdelerin, tasarım depremi sırasında orta düzeyde, en büyük öngörülen deprem sırasında ise şiddetli düzeyde hasar alması beklenmektedir. Nükleer yapılarda ise, tasarım depreminden daha şiddetli sarsıntılar altında orta düzeyde hasar oluşabileceği öngörülmektedir. Ancak, bu duvarların sismik davranışı, yaygın kullanımına rağmen, literatürde yeterince anlaşılmış değildir. Özellikle, bir deprem sonrası hangi hasar seviyesinin onarımı zorunlu kıldığına dair net bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bu bağlamda, Amerika'daki Buffalo Üniversitesi'nde, Ulusal Bilim Vakfı tarafından finanse edilen bir proje kapsamında, 12 adet büyük ölçekli düşük boy/en oranlı perde duvar inşa edilerek test edilmiştir. Bu projenin amacı, söz konusu perde duvarların:

- Yatay rijitliği
- Maksimum yatay taşıma kapasitesi
- Taşıma kapasitesi sonrası çevrimsel davranışı

Hasar fonksiyonu olarak artık taşıma kapasitesi gibi parametrelerle sismik performansını daha iyi karakterize etmek olmuştur. Testlerden elde edilen veriler, I-Crack adlı, temassız ve otomatik bir çatlak dokümantasyon aracının geliştirilmesi ve doğrulanmasında kullanılmıştır. Bu araç; betonarme duvarlarda çatlak uzunluğu, genişliği, konumu ve yönelimi gibi verileri toplayarak hem laboratuvar hem de saha uygulamalarına uygundur. I-Crack MATLAB kodu, çalışmanın raporunda sunulmuştur. Betonun çatlaması ve ezilerek parçalanması, her yük adımında dikkatle belgelenmiştir. Beton yüzeyindeki çatlaklar, hem I-Crack aracı hem de manuel olarak haritalanmıştır. Çatlakların uzunluk ve genişlikleri, hem en büyük geçici kat ötelemesinde hem de her yük adımındaki sıfır yatay yük anında belgelenmiştir ve bu açıdan alanında ilk olan bir veri seti oluşturulmuştur.

Toplanan bu veriler şu amaçlarla analiz edilmiştir:

- a) Güleç ve ark. tarafından geliştirilen kırılgenlik fonksiyonlarının güncellenmesi,
- b) Bir mühendisin veya denetçinin, duvarın maksimum kesme kapasitesine ulaşip ulaşmadığını, sadece sıfır yatay yük anındaki çatlak genişliği bilgisiyle değerlendirebilmesini sağlamak.

Bu tür bir bilgi, deprem sonrası saha denetimlerinde, duvarın onarım gerektirip gerektirmediğini belirlemek açısından kritik olacaktır. Ayrıca veri seti, çatlak genişliklerine göre, En büyük geçici yer değiştirme anı, Sonraki boşaltma sırasında sıfır yatay kuvvet anı gibi anlara göre analiz edilerek, farklı yer değiştirme seviyelerinde çatlak genişlik oranları belirlenmiştir. Bu bulgular, gelecekte düşük boy/en oranlı betonarme perde duvarların deprem sonrası değerlendirmesi için önemli bir referans oluşturmaktadır.

Matsui [37], 2010 Maule Şili depremi sırasında birçok orta ve yüksek katlı betonarme yapı hasar görmüştür. Bazı binalarda sınır kolonu bulunmayan dikdörtgen kesitli betonarme perdelerde, çok katlı duvarlarda meydana gelen eğilme-bası göçmeleri, dikkat çekici düzeyde olmuştur. Bu durum, perde duvarların sınır uçlarının tasarımının ve deformasyon performanslarının değerlendirilmesinin son derece önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu bağlamda, eğilme-bası göçmesine maruz kalması muhtemel mevcut binalardaki perde duvarların, hasar azaltımı amacıyla güçlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu çalışmada, dikdörtgen kesitli betonarme perde duvarların karbon fiber levhalarla (CFRP) güçlendirilmesine yönelik performans doğrulama deneyi gerçekleştirilmiştir. Daha önce, kesme göçmesi gösteren ya da tek tarafında sınır kolonu bulunan duvarlara CFRP uygulanmasına ilişkin bazı çalışmalar yapılmış olsa da bu çalışma eğilme göçmesine uğrayan duvarların güçlendirilmesine odaklanmaktadır. Diğer bir ifadeyle, dayanım artışı beklenmese de CFRP uygulaması ile duvar tabanındaki beton ezilmesi geciktirilerek deformasyon kapasitesinin artırılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda üç adet perde duvar numunesi hazırlanmıştır. Deney değişkenleri olarak, karbon fiber güçlendirmesinin varlığı/yokluğu ve güçlendirme kapsamı seçilmiştir. Bir numune, güçlendirilmemiş kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Diğer bir numune, duvar boyunca tamamen güçlendirilmiştir. Son numune ise yalnızca duvarın sınır uçları güçlendirilmiştir. Tüm numunelere sabit eksenel yük altında, çevrimsel yatay yükleme uygulanmıştır. Ayrıca, iki adet düşey kriko ile numune üst kısmına moment etkisi uygulanarak, kesme açıklığı oranı 1.5 olacak şekilde yükleme gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçlarına göre:

- Karbon fiber levhalarla güçlendirilen perdelerde, maksimum dayanım sonrası bozulma daha yavaş gelişmiş,
- Deformasyon performansı iyileştirilmiştir.
- Sadece sınır uçları güçlendirilen numunenin nihai deformasyonu, tüm duvar boyunca güçlendirilen numuneye kıyasla daha büyük olmuştur.

- Beton basınç gerinimi, güçlendirilmiş numunede, güçlendirilmemiş numuneye göre daha yüksek bulunmuş ve bu da CFRP ile güçlendirilmiş betonun, yüksek gerinim bölgesinde daha büyük basınç kuvvetlerine karşı dirençli olabileceğini göstermiştir.

Ayrıca, deney sonuçlarına göre, nihai eğilme deformasyonunun değerlendirilmesi yapılmış ve plastik mafsallık uzunluğu 200 mm (duvar kalınlığının 2,5 katı) alındığında, hesaplanan eğilme deformasyonlarının deneysel sonuçlarla yüksek uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Paterson [38], Kaliforniya, Berkeley'deki mevcut bir binanın çekirdek duvarına önerilen sismik güçlendirme yönteminin etkinliğini değerlendirmek amacıyla dört adet perde duvar numunesi test edilmiştir. 1960'lar ve 1970'lerin başlarında inşa edilen birçok betonarme perde duvarda olduğu gibi, bu binadaki çekirdek duvar da süneklik açısından yetersiz sismik davranışa yol açabilecek donatı detaylarıyla inşa edilmiştir.

Bu yetersiz detaylar şunlardır:

- Boyuna donatıda bindirme eklerinin, eğilme akmasının beklendiği bölgelerde yer alması,
- Sınır bölgelerdeki sarılma donatısının yetersiz olması,
- Enine donatının ankrajının yetersiz olması.

Önerilen sismik güçlendirme stratejisi, aşağıdaki öğeleri içermektedir:

- Başlık donatıları
- Karbon fiber sargı
- Duvar tabanına yerleştirilen betonarme yaka elemanları

Testler, her biri tersinir çevrimsel yükleme altında gerçekleştirilen dört adet perde duvar numunesiyle yapılmıştır. İki duvar numunesinde, boyuna donatıda duvar tabanında bindirme ek bulunmaktaydı. Diğer iki numunede ise, bindirme ek duvar tabanından 600 mm yukarıda yer almaktaydı. Bu numunelerin birer tanesi mevcut durumda, diğer ikisi ise güçlendirme uygulandıktan sonra test edilmiştir. Test sonuçları, önerilen güçlendirme stratejilerinin perde duvarların sünekliğini ve enerji sönümleme kapasitesini artırmada başarılı olduğunu göstermiştir.

Segura Jr [39], Son depremler ve laboratuvar testleri, yürürlükteki yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış ince betonarme perde duvarların, Amerikan yönetmeliklerinde izin verilen şekil değiştirme seviyelerine ulaşmadan önce gevrek basınç göçmesine maruz kalabildiğini ortaya koymuştur. Bu durum, mevcut

yönetmeliklerdeki olası yetersizliklerin belirlenmesi ve giderilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaçla, ACI 318-14 yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmış yedi adet yarı ölçekli perde duvar numunesi, sabit eksenel yük altında tersinir çevrimsel yatay yüklemeye tabi tutulmuştur. Deneysel bulgular, en ince duvarlarda, yalnızca 0.011 radyanlık plastik dönmelerde bile yatay taşıma kapasitesinde ani bir kayıp ve eksenel taşıma kapasitesinde büyük bir azalma yaşandığını göstermiştir. Buna karşın, kalınlığı %25 ve %50 oranında artırılmış ve/veya ACI 318-14 gerekliliklerini aşan sarılma detaylarına sahip duvarlarda, 0.025 radyandan daha büyük plastik dönmeler ölçülmüştür. Deneysel sonuçlara dayanarak, ince duvarların şekil değiştirme kapasitesini artırmak için şu öneriler sunulmuştur:

- Çapraz bağlantı ile yapılan sarılma detaylandırmasından kaçınılmalı,
- Plastik mafsal bölgesindeki gövde boyuna donatılar için enine donatı sağlanmalıdır.

Modern tasarım standartları, mühendislerin, büyük depremler sonucu oluşan yatay yükleri taşıyabilecek perde duvar sistemlerini; yeterli dayanım, süneklik ve enerji sönümleme kapasitesine sahip şekilde tasarlamalarına olanak tanımaktadır. Bu sayede, can kaybının önlenmesi amaçlanmaktadır. Ancak, deprem dayanımlı tasarım alanındaki ilerlemelere rağmen, hala çok sayıda eski ve daha düşük standartlara (ACI 318-68; CSA A23.3-77) göre tasarlanmış perde duvar yapısı mevcuttur ve bu yapılar, orta ve büyük ölçekli depremler karşısında ciddi hasar riski taşımaktadır.

Ghaseminia [40], Betonarme perde duvarlar, yapılarda düşey yükleri taşımanın yanı sıra, esas olarak yatay yükleri karşılamak üzere tasarlanmaktadır. Avustralya beton standardında (AS 3600:2018) yapılan son değişiklikler doğrultusunda, perdelerin süneklik özelliğine sahip olarak kabul edilebilmesi için, yatay ve düşey doğrultuda çift kat donatıya sahip olması zorunlu hale getirilmiştir. Buna karşılık, merkezde yer alan tek katmanlı donatıya sahip perdeler, sünek olmayan yapılar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tür perde duvarların, düzlem içi yatay ve düşey yükler altındaki davranışı, birçok parametrenin etkili olması nedeniyle oldukça karmaşıktır. Bu çalışmada, tek katmanlı ve çift katmanlı donatılı perdelerin performansına ilişkin bilgi birikimini genişletmek amacıyla, deneysel testler ve detaylı veri analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında, aynı donatı oranına sahip, ancak donatıları tek katmanlı veya çift katmanlı olarak düzenlenmiş iki perde numunesi, düzlem içi çevrimsel kesme yükleri altında test edilmiştir. Bu deneylerin temel amacı, donatı düzenlemesinin (tek kat vs. çift kat) perdenin davranışı üzerindeki etkisini incelemek olup; donatı oranı, beton basınç

dayanımı, aksenel yük düzeyi, boy/en oranı ve incelik oranı gibi diğer yapısal parametreler sabit tutulmuştur. Deneysel sonuçlar, çift katmanlı perdenin, tek katmanlı perdeye göre yaklaşık %30 daha yüksek düzlem içi dayanım ve yaklaşık %9,7 daha yüksek yer değiştirme sünekliği sağladığını ortaya koymuştur. Bu bulguların doğrulanması amacıyla, daha önce yapılmış deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak, tek ve çift katmanlı perde duvarlara ait bir veri tabanı oluşturulmuş ve bu yapıların düzlem içi yük kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca, AS 3600:2018 ve ACI 318-19 gibi mevcut yapı yönetmeliklerindeki tasarım hükümleri kullanılarak, bu perdelerin düzlem içi yük kapasiteleri tahmin edilmiş ve elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

Xie [41], Bu çalışmada yeni bir güçlendirme yöntemi, mevcut betonarme perde duvarlar için geliştirilmiş olup, bu yöntemde çelik tel örgü ve polimer harç birlikte kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında, bir adet konvansiyonel perde duvar numunesi ve farklı oranlarda çelik tel örgü ile farklı sarım yöntemleri kullanılarak güçlendirilmiş dört numune, çevrimsel yatay yükleme altında test edilmiştir. Elde edilen deneysel bulgular, çelik tel örgü ve polimer harç uygulamasının yalnızca kesme çatlaklarının oluşumunu geciktirmekle kalmayıp, aynı zamanda çatlakların yayılımını da etkili biçimde kontrol ettiğini ortaya koymuştur. Güçlendirilmiş numunelerde çatlama yükü ortalama %79 oranında artış göstermiştir. Ayrıca, kullanılan çelik tel örgü donatı oranının artmasına bağlı olarak, yatay yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %55 oranında bir artış elde edilmiştir. Çelik tel örgülerin perde duvar yüzeyine tamamen sarılması, polimer harç katmanlarının yüzeyden ayrılmasını önlemiş ve yalnızca açık yüzeylere sarım yapılan numunelere kıyasla yapısal performansı daha fazla artırmıştır. Güçlendirilmiş perde duvarların taşıma kapasitesinin belirlenmesine yönelik olarak, yumuşatılmış strut-and-tie modeline dayanan teorik bir ifade geliştirilmiş ve bu ifadenin hem mevcut çalışmada hem de önceki çalışmalarda elde edilen deneysel verileri makul düzeyde yansıttığı görülmüştür.

Woods [42], Bu çalışma, düşük boy/en oranına sahip, sünek olmayan betonarme perde duvar numunelerinin sismik performansını artırmak amacıyla dıştan yapıştırılmış karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) levhaların etkinliğini değerlendirmiştir. Numuneler, 1960 ve 1970'li yıllarda inşa edilen eski betonarme yapılarda yaygın olarak görülen yapısal yetersizlikleri temsil edecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sünek olmayan donatı detayları; yetersiz kesme donatısı, sınır elemanlarının eksikliği ve düşük beton basınç dayanımı gibi unsurları içermektedir. Numuneler, düşey ve yatay yönlerde CFRP

levhalar ile onarılmış veya güçlendirilmiş, ardından deprem etkilerini simüle eden çevrimsel yüklemeye tabi tutulmuştur. CFRP levhaların taşıdığı çekme kuvvetinin numune temel sistemine aktarılabilmesi için boru tipi ankraj sistemi kullanılmıştır.

Deneysel sonuçlar, CFRP güçlendirme sisteminin ağır şekilde hasar görmüş numunelerin ilk dayanımını ve başlangıç rijitliğini geri kazandırabildiğini, ayrıca uygulandığında eğilme dayanımı, süneklik ve enerji yutma kapasitesinde önemli artışlar sağladığını göstermiştir.

Habibi [43], Bu çalışma, güçlendirilmiş betonarme perde duvarların sismik davranışını, 3 boyutlu sonlu eleman analizi kullanarak araştırmayı amaçlamaktadır. Aynı boyutlara ve donatı oranlarına sahip perde duvarların güçlendirilmesinde kullanılan dört farklı karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) konfigürasyonu ve dört farklı çelik eleman düzenlemesi, iki farklı güçlendirme yönteminin karşılaştırılması amacıyla değerlendirilmiştir. Perde duvarlara ABAQUS Explicit yazılımı kullanılarak çevrimsel yatay yük altında doğrusal olmayan simülasyonlar uygulanmıştır. Ayrıca hem CFRP kompozitlerle hem de çelik elemanlarla güçlendirilmiş perde duvarlara ait sayısal modellemeler, daha önce yapılmış deneysel çalışmalarla doğrulanmıştır. Sayısal sonuçlar, her iki güçlendirme yönteminin de kontrol numunesi olan perde duvara kıyasla; nihai taşıma kapasitesi, göçme yer değiştirmesi, enerji sönümleme kapasitesi ve süneklik açısından olumlu performans sergilediğini ortaya koymuştur.

Buna ek olarak, sekant rijitlik ve sönümlenen enerji gibi yapısal yanıt parametrelerinin değerlendirilmesi sonucunda, çelik elemanların kullanımının, CFRP kompozitlere kıyasla daha avantajlı olduğu belirlenmiştir.

Belay [44], Yangın kaynaklı yapısal hasarın, betonarme perde duvarların sismik performansı üzerindeki etkisi, yangın-deprem senaryosu durumlarında kritik önem taşımaktadır. Ancak, yüksek sıcaklıklarda betonarme perde duvarların sismik davranışını inceleyen çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışma, fiber takviyeli betonarme perde duvarların yüksek sıcaklıklardaki sismik performansını, ABAQUS sonlu eleman yazılımı kullanarak analiz etmektedir. Model doğrulaması için, literatürde bulunan yangına maruz bırakılan perde duvarların sismik davranışına ilişkin deneysel veriler ile cam fiber takviyeli polimer (GFRP) donatıların termal özellikleri kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli ile deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum gözlenmiş ve bu nedenle model, benzetimlerde güvenle kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analiz sonuçlarına göre, perde duvarların yangına maruz kalması, duvarın taşıma kapasitesini önemli ölçüde düşürmektedir. Şu bulgular öne çıkmaktadır:

- 3.2% maksimum yer değiştirme seviyesinde, beton örtü kalınlığı sırasıyla 20 mm, 25 mm ve 30 mm olan duvarların taşıma kapasitesi, referans perde duvarın sırasıyla yaklaşık %70, %76 ve %85'ine düşmüştür.
- Yangına maruz kalma süresi 30, 60 ve 120 dakika olan duvarlarda ise dayanım kaybı, referans duvarın sırasıyla %80, %75 ve %68'ine düşmüştür.
- Sadece bir yüzü, iki yüzü veya tüm yüzeyleri yangına maruz kalan duvarlarda dayanım, referans duvarın sırasıyla %68, %56 ve %50'sine gerilemiştir.

Genel olarak, yangının maruz bırakıldığı yüzey sayısının, diğer parametrelere kıyasla perde duvarın dayanımı üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, GFRP donatıların sıcaklığa karşı elik donatılara göre daha hassas olduğu da tespit edilmiştir.

El-Sokkary [45], Son birkaç yılda, yeni betonarme perde duvarların tasarımında önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu ilerlemeler arasında, performansa dayalı sismik tasarım ve kapasite tasarımı ilkeleri öne çıkmaktadır. Bu gelişmeler, mevcut betonarme perde duvarların sismik performansının iyileştirilmesi yönünde de eş zamanlı bir gereksinim doğurmuştur. Özellikle sismik talebin yüksek olduğu bölgelerde, mevcut perde duvarların taşıma kapasitelerinin artırılması amacıyla güçlendirme yapılması zorunlu hale gelmiştir. Bu güçlendirme, duvarın tabanındaki plastik mafsallarda ya da yüksek mod titreşim etkilerinin görüldüğü st katlarda gerekebilir.

Bu araştırmanın amacı, dıştan yapıştırılmış karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) levhaların perde duvarların sismik güçlendirilmesindeki etkinliğini değerlendirmektir. Araştırma üç aşamadan oluşmaktadır: İlk aşamada, NBCC 2005 ve CSA-A23.3-04 standartlarına göre tasarlanmış iki adet 8 katlı RC perde duvar, CFRP kompozitlerle rehabilite edilerek dinamik uyartım altında test edilmiştir. Deneyler, cole Polytechnique de Montral'de yer alan sarsma tablası kullanılarak yapılmış ve titreşim modlarının etkisiyle duvarlarda özellikle altıncı kat panosunda yüksek doğrusal olmayan davranışlar ve talepler gözlemlenmiştir. Bu duvarlar hem zemin seviyesinde hem de altıncı kat seviyesinde güçlendirilmiş, ardından farklı seviyelerdeki yer hareketleriyle yeniden test edilmiştir. İkinci aşamada, Concordia Üniversitesi Yapılar Laboratuvarı'nda,  perde duvar paneli, çevrimsel yatay yükler altında test edilmiştir. Bu paneller, biri kontrol duvarı olmak üzere, iki farklı CFRP güçlendirme şeması uygulanmış panelleri temsil etmektedir. Duvar panelleri, ilk aşamadaki 8 katlı duvarların altıncı kat panosundaki donatı detayları ile benzer şekilde hazırlanmıştır. Deneylerde, sabit eksenel yük altında, eş zamanlı moment ve kesme kuvveti uygulanmıştır. FRP güçlendirme şemalarının

amacı, eğilme ve kesme dayanımını artırmak ve bu şemaların göçme noktasına kadar etkinliğini değerlendirmek olmuştur. Üçüncü aşamada, çevrimsel yüklemeye maruz bırakılan kontrol ve güçlendirilmiş duvar panellerinin davranışını simüle eden makro düzeyde sayısal bir model geliştirilmiştir. Deneysel bulgular, hem iki adet 8 katlı perde duvarda hem de üç duvar panelinde uygulanan CFRP güçlendirme şemalarının, eğilme dayanımını artırarak başarılı bir performans sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, geliştirilen doğrusal olmayan makro model, çevrimsel yükler altındaki panel davranışlarını hem monotonik hem de çevrimsel yükleme koşullarında başarıyla simüle etmiştir.

Abdullah [46], Bazı binalarda, betonarme perde duvar ile temel arasındaki bağlantı yetersizdir ve güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu probleme ilişkin literatürdeki çalışmaların çoğu, doğrudan perde duvarın kendisini güçlendirmeye odaklanmakta, perde-temel bağlantısının güçlendirilmesine dair çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu çalışma, Fiber Takviyeli Polimer (FRP) güçlendirme sistemlerinin, düzlem içi yüklemeye maruz bırakılan perde-temel bağlantılarının davranışı üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Deneysel çalışma kapsamında; FRP türü (GFRP veya CFRP), güçlendirmenin uygulandığı yüzey sayısı, kullanılan kat sayısı, FRP kaplama oranı, içte bulunan çelik başlangıç donatısının varlığı/yokluğu ve fiber ankrajların kullanımı gibi çeşitli parametreler incelenmiştir. Araştırma, toplamda 10 numunenin test edildiği iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, FRP kaplamanın duvarın bir veya her iki yüzeyine tam boy olarak uygulanması durumunda, bağlantının taşıma kapasitesinde önemli artışlar sağlanabileceğini göstermektedir. FRP ankrajlarının kullanımı, tersinir çevrimsel yükler altında sistemin yüzeye yapışık kalma (bonding) kapasitesini büyük ölçüde artırmakta ve bağlantının yalnızca kısmi kaplamayla da güçlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Çalışma süresince gözlemlenen birçok numunede görülen yüzeyden ayrılma göçme modunun, genellikle duvarın yukarıya doğru kalkması ile başladığı tespit edilmiştir. Bu çalışma, perde-temel birleşiminde harici uygulanan fiber takviyeli sistemlerin kavramsal olarak uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Woods [47], Eski perde duvarlardaki yaygın yetersizlikler arasında; düşük düzlem içi rijitlik, yetersiz kesme dayanımı ve süneklik eksikliği yer almaktadır. Bu tür yetersizlikleri gidermek ve yapıların sismik performansını artırmak amacıyla birçok güçlendirme yöntemi mevcuttur. Geleneksel güçlendirme yöntemlerine alternatif olarak, dıştan yapıştırılmış fiber takviyeli polimer (FRP) levhaların kullanımı, dikkat çekici bir çözüm sunmaktadır. Önceki çalışmalar, FRP levhaların, betonarme perde duvarların eğilme dayanımını artırmak amacıyla kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu çalışmada, FRP

levhaların, sismik açıdan yetersiz betonarme perde duvarların performansını artırmadaki etkinliği değerlendirilmiştir. İncelenen perde duvarlar, yetersiz kesme donatısı ve sınır bölgelerdeki zayıf sarılma nedeniyle gevrek kesme davranışı sergilemekte ve bu da zayıf sismik performansa yol açmaktadır. Numuneler, FRP levhalarla güçlendirilmiş veya onarılmış, ardından çevrimsel yükleme altında göçme noktasına kadar test edilmiştir. Bu FRP güçlendirme sisteminin önemli bir bileşeni ise yenilikçi bir tüp ankraj sistemidir. Bu sistemin amacı, düşey FRP levhaların taşıdığı yükü etkin şekilde yakın yapısal elemanlara aktarmak ve FRP ile beton arasında oluşabilecek erken yüzeyden ayrılma göçmesini önlemektir. Sonlu eleman analizleri, tüp ankraj sisteminin performans özelliklerini araştırmak ve optimum bir tasarım prosedürü geliştirmek için gerçekleştirilmiştir. Yeni tüp ankraj sistemi ile FRP ile güçlendirilmiş yetersiz perde duvar numuneleri üzerinde yapılan deneysel test sonuçları, sonlu eleman modellemeleriyle elde edilen analitik öngörülerle karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır.

Deneysel bulgular, bu FRP güçlendirme sisteminin şu etkilerini doğrulamaktadır:

- Düzlem içi rijitlik artışı
- Eğilme dayanımı artışı
- Süneklik ve enerji sönümleme kapasitesinin gelişimi
- Şiddetli hasar görmüş perde duvar numunelerinde başlangıç rijitliğinin geri kazanılması

Hamoda [48], Betonarme perde duvarlar, yapıların düşey ve yatay yükleri karşılamasında temel yapısal elemanlar olarak kullanılmaktadır. Bu elemanların, ek yükleri taşıyabilecek şekilde güçlendirilmesi ve hizmet ömrünün uzatılması gerekebilir. Bu nedenle, perde duvarların rehabilitasyonu için düşük maliyetli, sürdürülebilir malzemelerle, etkili ve optimum koşullarda uygulanabilir güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi kritik önem taşımaktadır. Bu çalışma, yakın yüzeye monte çelik donatılarla güçlendirilmiş, normal beton ile inşa edilmiş betonarme duvarlara ilişkin deneysel ve sayısal bir araştırma sunmaktadır. Güçlendirme, bazı örneklerde dıştan yapıştırılmış galvanizli çelik levhalar ile sarma yöntemiyle, bazı örneklerde ise sadece çelik çubuklarla uygulanmıştır. Toplamda altı betonarme duvar numunesi inşa edilmiş, yükleme yapılarak göçene kadar test edilmiştir. İncelenen parametreler şunlardır:

- Güçlendirme tekniği türü,
- Kullanılan malzeme tipi,
- Güçlendirmenin konumu ve yerleşim şekli.

Sırasıyla galvanizli elik levhalar ve elik çubuklar kullanılarak, düşey ve yatay kuvvetlere karşı uygulanmıştır.

- Deneysel bulgular, bu parametrelerin:
- Çatlak kontrolü,
- Enerji sönümleme kapasitesi,
- Göçme modu ve nihai taşıma kapasitesi üzerinde önemli etkiler yarattığını göstermiştir.

Ayrıca, doğrusal olmayan üç boyutlu sonlu eleman modelleri geliştirilmiş ve deneysel sonuçlarla ortalama %95 doğrulukla doğrulanmıştır. Bu doğrulamanın ardından, düşey donatılı ya da donatısız sarılma uygulamalarının etkisini inceleyen parametrik bir çalışma yürütülmüştür. Hem deneysel hem de sayısal sonuçlar, bu güçlendirme tekniklerinin, duvarların nihai taşıma kapasitesini %20 ila %38 oranında artırabildiğini doğrulamıştır.

Dukes [49], Yapıların güçlendirilmesi ve onarımı, farklı koşullar altında gerçekleştirilse de mevcut bina stokunun iyileştirilmesi ve toplumların afetlere karşı dirençliliğin artırılması açısından her ikisi de gereklidir. Bu bağlamda, fiber takviyeli polimer (FRP) sistemleri, hafif yapısı, korozyona karşı dayanıklılığı ve uygulama kolaylığı gibi avantajları sayesinde hem güçlendirme hem de onarım uygulamaları için cazip bir seçenektir. Bu alışma, FRP ile güçlendirilmiş veya onarılmış betonarme perde duvarların yapısal davranışına ilişkin literatür taramasını derlemektedir. FRP ile güçlendirilmiş perde duvarlara ait; FRP konfigürasyonu, kullanılan malzemeler ve duvar geometrisi gibi detaylar sunulmaktadır. Makale, FRP ile güçlendirilmiş perde duvarların performansını daha iyi anlamaya yönelik gelecekteki olası araştırma konuları ile sona ermektedir.

Hassanein [50], Yalnızca cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) donatı ile güçlendirilmiş betonarme perde duvarların, çeşitli yönetmeliklerde belirtilen makul dayanım ve ötelenme gereksinimlerini karşılayıp karşılayamayacağını araştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan numuneler, yarı statik tersinir çevrimsel yatay yüklemeye tabi tutulmuştur. Raporlanan test sonuçları, uygun şekilde tasarlanmış ve detaylandırılmış GFRP donatılı betonarme perdelerin, eğilme kapasitelerine ulaştığını ve herhangi bir dayanım kaybı yaşamadığını açıkça göstermektedir. Aynı zamanda, test edilen duvarların, izin verilen ötelenme sınırlarına kadar kendini toparlayabilen ve geri kazanılabilir deformasyon davranışı sergilediği gözlemlenmiştir. Bu duvarlar, elik

donatılı betonarme perdelerle karşılaştırılabilir düzeyde maksimum drift kapasitesine ulaşabilmektedir. Elde edilen bu umut verici sonuçlar, GFRP donatılarla perde duvar inşası için güçlü bir gerekçe sunmakta ve GFRP donatılı yatay yük taşıyıcı sistemlerin kullanımına yönelik önemli bir adım oluşturmaktadır. Ayrıca, GFRP donatılı perde duvarların deformasyon kapasitesini önemli bir dayanım kaybı olmaksızın artırabilmek için, sınır bölgelerde betonun sarılmasını artırmanın etkili bir çözüm olabileceği öngörülmüştür. Bu bağlamda, sınır bölgelerde farklı donatı sarılma detaylarına sahip çeşitli perde duvarlar inşa edilmiştir. Bu makalede, ilk test edilen perde duvar ile daha önce raporladığı bir perde duvar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, sınır bölgesindeki sarılma donatısı oranının iki katına çıkarılmasıyla, yatay ötelenmede yaklaşık %79 ve dayanımda yaklaşık %27 oranında artış sağlandığını göstermektedir. Bu güçlendirme yöntemi sayesinde duvarın sismik davranışı önemli ölçüde iyileştirilmiş ve deformasyon kapasitesi belirgin şekilde artırılmıştır.

Lombard [51], Dıştan yapıştırılmış karbon fiber şeritlerin, betonarme perde duvarların sismik güçlendirme ve onarımı amacıyla kullanılmasının uygulanabilirliğini ve etkinliğini değerlendirmek üzere deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışma, bir kontrol duvarının, bir onarılmış duvarın ve iki adet güçlendirilmiş perde duvar numunesinin, önceden belirlenmiş bir yarı statik yükleme dizisine göre düzlem içi yönde göçene kadar test edilmesini içermektedir. Perde duvar testlerinin sonuçlarına göre, dıştan yapıştırılmış karbon fiber levhaların uygulanmasının, sismik olarak hasar görmüş duvarların düzlem içi rijitliğini geri kazandırmada ve eğilme dayanımını artırmada etkili bir teknik olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, bu yöntemle hasar görmemiş duvarların düzlem içi eğilme dayanımı, kesme kapasitesi ve rijitliği de artırılabilir. Deneysel programa ek olarak, tasarım uygulamaları için uygun bir analitik model geliştirilmiştir. Bu model, çevrimsel yüke maruz kalan ve dıştan karbon fiber şeritlerle güçlendirilmiş betonarme perde duvarların nihai eğilme kapasitesini öngörmek amacıyla kullanılmaktadır. Analitik modelden elde edilen sonuçlar, deneysel bulgularla yüksek düzeyde uyum göstermektedir.

Almassri [52], Perde duvarlar, rüzgâr ve deprem gibi yatay yükleri karşılayan temel yapısal sistemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma, beş adet perde duvar numunesi üzerinde gerçekleştirilen gelişmiş deneysel ve sonlu eleman analizlerini sunmaktadır. Bu numunelerden dört tanesi, iki farklı teknikle güçlendirilmiştir.

Deneysel program kapsamında, beş adet numune karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ve harici çelik levha kullanılarak güçlendirilmiştir. İlk iki CFRP ile

güçlendirilmiş perde duvarda CFRP kaplamanın yüzeyden ayrılması ana göçme modu olarak gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kalan numunelerde taşıma kapasitesini artırmak amacıyla harici çelik levha uygulaması yapılmıştır. Ayrıca, ticari Abaqus yazılımı kullanılarak 3 boyutlu bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Bu çalışma, literatürde daha önce araştırılmamış olan, CFRP ve çelik levhaların birlikte kullanıldığı yeni ve özgün bir hibrit güçlendirme yöntemini tanıtmaktadır. Aynı zamanda bu modelleme hem taşıma kapasitesini hem de deneysel sonuçlarda gözlemlenen debonding göçme davranışını yakalayabilmek için, CFRP'nin beton yüzeye bağlanma biçimini ileri düzeyde simüle etmektedir. Sonlu eleman analiz sonuçları, tüm test edilen numuneler için deneysel sonuçlarla yüksek uyum göstermiştir. CFRP ve çelik levha ile güçlendirilen perde duvarlar, kontrol numunesinin kesme dayanımının yaklaşık %38'ini geri kazanmayı başarmıştır.

Elnady [53], 1970'ler öncesi yönetmeliklere göre tasarlanmış mevcut binalardaki taşıyıcı perdelerde kesme donatısı ve bindirme detaylandırmaları yetersiz olabilir. Duvar tabanındaki bindirme donatıları, sadece basınç kuvvetleri göz önüne alınarak ve 24 çap uzunluğunda ankraj ile tasarlanmıştır. Ancak, taşıyıcı perde duvarlar büyük bir deprem sırasında yatay yüklere maruz kaldığında, bu bindirme bölgesi maksimum moment ve kesme kuvveti bölgesinde kalmakta ve çekmeye zorlanabilmektedir. Bu tür bir tasarım, sünek olmayan davranışa ve bindirme bölgesinde meydana gelen kesme veya aderans kaynaklı ani göçmelere neden olabilir. Bindirme bölgesi olmayan perde duvarlarda yapılan kesme kapasitesi ve süneklik iyileştirmelerinin, duvarın kesme dayanımı ve sünekliğinde gelişim sağladığı, dolayısıyla genel yapısal süneklik ve deprem yüklerine karşı dayanımın arttığı gözlemlenmiştir. Ancak hem kesme donatısı hem de bindirme detaylandırması yetersiz olan betonarme taşıyıcı perde duvarların güçlendirilmesine yönelik çalışmalara hâlâ ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, sünek olmayan betonarme taşıyıcı perde duvarların güçlendirme öncesi ve sonrası sismik davranışını, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) sistemleri kullanarak değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda deneysel ve analitik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın deneysel aşamasında, yetersiz kesme dayanımına ve bindirme detaylandırmasına sahip büyük ölçekli betonarme perde duvar modelleri üretilmiş ve test edilmiştir. Bu modellerde büyük depremler sonrasında gözlemlenen göçme türlerinin yeniden oluşturulması ve güçlendirme yöntemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Toplamda 10 adet betonarme perde duvar inşa edilmiş ve çevrimsel yüklere maruz bırakılmıştır. Üç adet kontrol numunesi, sünek olmayan detaylandırma ile

mevcut haliyle test edilmiştir. Diğer yedi duvar ise testten önce çeşitli yöntemlerle güçlendirilmiştir. Bu güçlendirme uygulamaları ile hedeflenen, kesme veya aderans kaynaklı gevrek göçmelerin önüne geçmek ve duvarların süneklik ile enerji tüketim kapasitesini artırmaktır. Çalışmanın analitik aşamasında, sünek olmayan perde duvarlara sahip betonarme konut binalarının ve bu duvarların CFRP ile güçlendirilmiş hallerinin doğrusal olmayan dinamik davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda, taşıyıcı perde duvarların itme, çevrimsel ve dinamik sismik yükler altındaki davranışını temsil edebilecek verimli bir makroskobik model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, duvarların histeretik davranışını yeterli düzeyde tanımlayabilecek ve hem eğilme hem de kesme etkisi altındaki doğrusal olmayan şekil değiştirmeleri doğru şekilde öngörebilecek kapasitededir. Modelden elde edilen tahminler, deneysel verilerle karşılaştırılmış ve modelin taşıyıcı perdelerin doğrusal olmayan tepkisini yüksek doğrulukla öngörebildiği gösterilmiştir. Bu sayede, geliştirilen modelin mevcut bir binanın deprem etkisi altındaki davranışını, güçlendirme öncesi ve sonrası için değerlendirmede kullanılabileceği kanıtlanmıştır.

Zavala [54], 21. yüzyılın ilk on yılında Peru'da yaşanan inşaat patlamasıyla birlikte düşük süneklikli duvar sistemine sahip binalar yaygın olarak inşa edilmeye başlandı. Hükûmetin “Mi Vivienda” (“Evim”) programı kapsamında teşvik ettiği bu sistemde, tel hasır donatılı duvarlarla inşa edilen 5 katlı düşük katlı binalar, makul maliyetlerle konut açığını kısmen gidermeye yönelik bir çözüm sundu. Ancak zamanla bina kat yükseklikleri artarak 12 ila 16 kata kadar ulaştı. Bu tür duvarların tasarımında, duvar köşe bölgelerinde sıkılaştırılmış donatı önerilmektedir; çünkü duvarların birleşik davranışı, deprem etkisi altında sınırlı süneklik sağlamaktadır. Bu çalışmada, H-şekilli bir duvar ile tek düzlemli bir duvarın karşılaştırması sunulmaktadır. Bu amaçla, sabit eksenel yük (40 kN) etkisi altındaki çevrimsel yükleme koşullarında deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, H-şekilli duvarın elastik rijitliğinin tek düzlemli duvara göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ayrıca H-şekilli duvarın taşıma kapasitesi artış göstermiştir; ancak her iki duvar tipinde de süneklik düzeyi benzer kalmıştır.

Layssi [55], Tam ölçekli perde duvar numunelerinin tersinir çevrimli yükleme davranışı, güçlendirme öncesi ve sonrası olmak üzere incelenmiştir. Perde numuneleri, 1960'lı yılların sünek olmayan betonarme yapım pratiğini temsil edecek şekilde tasarlanmış ve detaylandırılmıştır; bu yapım tarzında, potansiyel plastik mafsallık bölgesinde boyuna donatıların bindirme ekleri bulunmakta ve sınır bölgelerde yetersiz

sıkılaştırma mevcuttur. Bu perdelerdeki bindirme ekleri, esas eğilme donatısı akmaya ulaşmadan önce gevrek şekilde göçmüştür. Karbon lif takviyeli polimer (CFRP) sarımlarının, bindirme ek davranışını ve perdelerin kesme dayanımını iyileştirmedeki kullanımı ve etkinliği araştırılmıştır. Duvarlar, uç noktalarına yakın bir bölgeden uygulanan tersinir çevrimli yüklemeye maruz bırakılmıştır. Uygulanan CFRP güçlendirme tekniği, yer değiştirme sünekliğini, enerji sönümleme kapasitesini artırmış ve bindirme eklerinde oluşabilecek erken göçmeleri önlemiştir. Bu CFRP ile güçlendirme sonucunda, 2.0 süneklik düzeyi hedefi başarıyla elde edilmiştir.

Konstantinos [56], Bu makale, modern yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış, düşük incelik oranına sahip betonarme perdeler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarını sunmaktadır. Perdeler önce çevrimsel yüke maruz bırakılarak göçene kadar test edilmiş, ardından geleneksel yöntemlerle onarılmış ve sonrasında lif takviyeli polimer (FRP) kuşaklarla güçlendirilmiştir. Onarım sürecinde, plastik mafsallık bölgesindeki hasar görmüş beton yüksek dayanımlı harçla değiştirilmiş ve kırılmış donatılar bindirme kaynağı yöntemiyle birleştirilmiştir. Güçlendirme işlemi ise, perdelerin FRP kuşaklarla sarılmasını ve hem eğilme hem de kesme kapasitesini artırmak amacıyla duvar kenarlarına FRP şeritlerin uygulanmasını içermektedir. Deneylerde, çelik ve FRP donatıların farklı düzenlemelerine ek olarak, eğilme dayanımını artırmak için kullanılan karbon FRP (CFRP) şeritlerin nasıl ankrajlandığı da temel bir parametre olarak ele alınmıştır. Bu amaçla cam elyafı FRP (GFRP) ankrajlar, ankraj şeritleri ve çelik ankraj plakalarının çeşitli kombinasyonları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, GFRP ankrajlara ve şeritlere çelik plakaların eklenmesinin daha etkili bir ankraj sağladığını ortaya koymuştur. Uygun şekilde ankrajlanan FRP şeritlerin kullanılmasıyla, yalnızca geleneksel olarak onarılmış numunelere kıyasla yaklaşık %30'a varan dayanım artışı elde edilmiştir. Ancak, modern yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmış orijinal duvarların enerji sönümleme kapasitesi tam anlamıyla geri kazanılamamıştır.

Beyer [57], Literatürde yer alan 34 adet ince yapısal betonarme perde üzerinde gerçekleştirilen yarı-statik çevrimsel deneylerden elde edilen deneysel sonuçlar, elastik olmayan yer değiştirme talepleri altındaki kayma deformasyonlarını incelemek amacıyla kullanılmıştır. Bu sonuçlara dayanarak, perdelerdeki kayma birim şekil değiştirmelerinin dağılımı ve üst uç yer değiştirmeleriyle birlikte kayma deformasyonlarındaki değişim tartışılmıştır. Kayma aktarım mekanizması önemli ölçüde bozulmayan perdeler için, kayma/eğilme deformasyonu oranının, uygulanan yer değiştirme sünekliklerinin tüm aralığı boyunca yaklaşık olarak sabit kaldığı gösterilmiştir. Buna karşılık, kayma aktarım

mekanizması önemli ölçüde zayıflayan perdelerde, kayma/eğilme deformasyonu oranı artış göstermektedir. İlk gruptaki perdeler için, kayma/eğilme deformasyonu oranının tahmin edilmesine olanak tanıyan basit bir model önerilmiştir. Günümüzde eğilme kontrolünde olan ince betonarme yapısal perdelerin, doğrusal olmayan (elastik olmayan) aralıkta sismik davranışlarının kiriş elemanları ile modellenip analiz edilmesinde, genellikle kayma rijitliğinin yükleme süreci boyunca sabit kaldığı ve nominal taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra kayma deformasyonlarının artmadığı varsayılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, betonarme yapısal perdeler üzerinde yapılan yarı-statik deneylerin sonuçlarıyla bu varsayımların geçerli olmadığını göstermektir. Pek çok gözlem yeni olmamakla birlikte, daha 1970'li yıllarda Wang ve ark., Vallenas ve ark., ve Oesterle ve ark. tarafından da yapılmıştır. Bu çalışmaların tamamında, artan üst uç yer değiştirmeleriyle birlikte kayma/eğilme yer değiştirme oranının yaklaşık sabit kaldığı ya da süneklik talebiyle arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgulara ve diğer yarı-statik çevrimsel testlerin değerlendirilmesine dayanarak gözlemler yapılmıştır. Bu gözlemler eğilme mafsallı oluşturan ve kararlı bir kayma aktarım mekanizmasına sahip BA perdelerde, duvarlar nominal taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra kayma/eğilme yer değiştirme oranı tüm süneklik aralığında yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Kararlı bir kayma aktarım mekanizması için, kayma donatısının büyük ölçüde elastik kalması, betonun çapraz doğrultuda ezilmemesi ve eğimli çatlaklar boyunca meydana gelen beton sürtünmesi gibi diğer mekanizmaların sınırlı olması gerekmektedir. Bu tür perdelerde, en büyük yer değiştirme seviyesindeki kayma rijitliği, perdedeki eğilme rijitliğiyle benzer oranda azalmaktadır. Bu davranış, eğilme kontrolünde olan perdeler için gözlemlenmiştir ve beton ezilmesi başlamadan önceki çevrimlerde ani ezilme ile göçen duvarlar için de geçerli olabilir. Kayma aktarım mekanizması belirgin şekilde zayıflayan perdelerde, kayma deformasyonları, eğilme deformasyonlarından daha fazla oranda artış göstermektedir. Bu tür perdelerde, kayma/eğilme yer değiştirme oranı süneklik talebiyle birlikte artma eğilimindedir. Ayrıca bu oran, yükleme geçmişine de yüksek oranda bağlıdır. Bu davranış, kayma kontrolünde olan perdelerde gözlemlenmiştir. Perdelerdeki kayma birim şekil değiştirme dağılımı düzgün değildir. Demec ölçümleri, kayma birim şekil değiştirmelerinin, eksenel şekil değiştirmelerin büyük olduğu bölgelerde yoğunlaştığını göstermiştir bu da duvarın elastik olmayan deformasyon geçirdiği bölgelerdir. Bu durum, U-şekilli duvarlarda yapılan deneysel çalışmalarla da doğrulanmıştır; özellikle büyük çekme gerinimlerinin olduğu duvar bölümleri ve yükleme yönlerinde $\Delta s/\Delta f$ oranlarının oldukça yüksek olduğu görülmüştür. İncelenen

konsol duvarların yaklaşık yarısında (U-şekilli duvarlarda farklı yükleme yönleri ve duvar bölümleri ayrı ayrı sayılmıştır), elastik olmayan davranış aralığında kayma deformasyonları, eğilme deformasyonlarının %20'sinden fazlasını oluşturmuştur. Bu nedenle, eğilme kontrolünde olsalar bile BA perdelerin sismik davranışı analiz edilirken kayma deformasyonları mutlaka dikkate alınmalıdır. Toplam deformasyon içindeki kayma katkısı, daha kısa perdelerde daha büyüktür. Ancak, çok ince perdelerde dahi, eğilme deformasyonlarının yoğunlaştığı kat seviyelerinde katlar arası ötelemelerin değerlendirilmesinde kayma esnekliği dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde, yalnızca eğilme deformasyonlarının göz önüne alındığı bir analizde bu seviyedeki kat ötelemeleri beklenenden daha büyük olacaktır. Bu durum, bu seviyede yer alan diğer yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki deformasyon taleplerini de artıracaktır. Bu bulgular, eğilme kontrolündeki perdeler için $\Delta s/\Delta f$ oranlarını tahmin etmeye yönelik basit bir model içinde özetlenmiştir. Bu tür tahminler, mühendislerin eğilme yer değiştirmelerine dayanarak beklenen kayma deformasyonlarını değerlendirmesine ya da belirli bir üst uç yer değiştirme düzeyi için yaklaşık kayma rijitliğini hesaplayarak kiriş modelleri ile birlikte kullanmasına olanak tanır. Bu yöntemin uygulandığı bir örnek Beyer ve ark. tarafından sunulmuştur. Farklı perdelerin analizleri ayrıca göstermiştir ki, eğilme yer değiştirmelerinin aksine, deneysel kayma yer değiştirmelerinin değerlendirilmesinde farklı teknikler kullanılmıştır. Bu yöntemlerden bazıları hatalı bulunmuş olup, yapısal perde deneylerinden kayma yer değiştirme bileşeninin hesaplanmasında kullanılmamalıdır. Bu da kayma deformasyonları için daha homojen bir deneysel veri setine katkı sağlayacak ve farklı deney serileri arasındaki değişkenliği azaltmaya yardımcı olacaktır.

El-sokkary [58], Bu çalışma, sarsma tablasından uygulanan taban etkilerine maruz bırakılan iki adet 8 katlı konsol betonarme perde duvarın, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) kompozit levhalarla güçlendirilmesi sonrası davranışlarını incelemektedir. Kontrol amacıyla kullanılan iki ölçekli (1:0.429) duvar, çok katlı perdelerdeki yüksek mertebeden titreşim modlarının davranış üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla École Polytechnique de Montréal'e ait sarsma tablasında test edilmiştir. Duvarlar, Kanada Quebec eyaletine bağlı Montréal şehri için 2005 tarihli Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği (NBCC 2005) tasarım spektrumuna uygun çeşitli zemin hareketi düzeylerine maruz bırakılmıştır. Kontrol duvarlarında, tabandaki plastik mafsala ek olarak 6. kat seviyesinde önemli oranda elastik olmayan deformasyonlar gözlemlenmiştir. Her iki kontrol duvarı üzerinde gerçekleştirilen sarsma tablası

testlerinden sonra, bu duvarlar güçlendirilmiş ve aynı düzeydeki zemin hareketlerine yeniden maruz bırakılmıştır. Bu çalışma, kontrol duvarlarının FRP ile güçlendirilmesine odaklanmaktadır. Duvarlara uygulanan güçlendirme şeması, 6. kat seviyesindeki panelde meydana gelen talep artışına karşılık olarak bu seviyedeki eğilme ve kesme kapasitesini artırmayı amaçlamıştır. Taban paneli ise CFRP levhalarla sarılarak dayanım artırılmadan süneklik kapasitesinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Güçlendirilmiş duvarlar, 6. kat panelinde artan eğilme kapasitesi ile tatmin edici bir performans göstermiştir. Güçlendirme uygulaması, duvar dönmesini azaltmış ve 6. kat panelinde eğilme donatılarındaki gerinim değerlerinin düşmesine neden olmuştur.

Hiotakis [59], Dört adet 2/3 ölçekli betonarme perde duvar numunesi, dıştan yapıştırılmış Karbon Lif Takviyeli Polimer (CFRP) levhaların, betonarme perde duvarların sismik onarımı veya güçlendirilmesinde etkinliğini değerlendirmek amacıyla üretilmiş ve test edilmiştir. Bu deneysel çalışma, Carleton Üniversitesi'nde daha önce gerçekleştirilen ve CFRP levhalarla betonarme perde duvarların güçlendirilmesi ve onarılabilir olmasının araştırıldığı çalışmanın ikinci aşamasıdır. Araştırmanın ilk aşamasında, test duvarlarının düzlem dışı davranışı gözlemlenmiş ve bu davranışın, numunelerin nihai yatay yük taşıma kapasiteleri üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Mevcut çalışmada ise, deney düzeneğindeki iyileştirmeler sayesinde bu düzlem dışı davranış önemli ölçüde azaltılmış veya tamamen ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışmanın bir diğer önemli katkısı, FRP levhaların taşıdığı çekme kuvvetinin, güçlendirilmiş veya onarılmış duvardan destekleyen yapı temel sistemine aktarımı için yeni bir ankraj yönteminin geliştirilmesidir. Yeni ankraj sistemi, önceki araştırma aşamasında kullanılan L-şekilli ankraj sisteminde gözlemlenen eksantriklik problemini ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bir referans duvarı, bir onarılmış duvar ve üç adet güçlendirilmiş duvarın çevrimsel yük altında test edilmesi gerçekleştirilmiştir. Duvarlar, maksimum tepe yüküne ulaştıktan sonra yatay yük taşıma kapasitelerinin %80 oranında azalması ile tanımlanan "nihai göçme" durumuna kadar yüklenmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları, CFRP levhaların uygulanmasının, hasar görmüş duvarların ilk elastik rijitlik ve taşıma kapasitesini etkili biçimde geri kazandırabildiğini ve hem akma hem de nihai yük kapasitelerini önemli ölçüde artırabildiğini göstermektedir. Deneysel veriler ayrıca, geliştirilen yeni ankraj sisteminin oldukça başarılı bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Bu sistem, CFRP levhaların taşıdığı kuvvetlerin aktarımı açısından etkili ve güvenilir bir ankraj çözümü sağlamaktadır. Ankraj sisteminin eksantrik olmayan yapısı sayesinde, CFRP levhaların yüksek çekme dayanımı tam kapasiteyle kullanılabilmekte

ve sismik yükler altında erken göçme riski azaltılmaktadır. Böylece, yüksek dayanımlı FRP donatı malzemelerinin daha verimli kullanımı mümkün hale gelmektedir.

Carrillo [60], Son on yılda, Latin Amerika'da betonarme duvarlar ve döşemelerden oluşan düşük katlı konutların inşası önemli ölçüde artmıştır. Bu kutu tipi yapılar, genellikle yüksek yatay rijitlik ve dayanım özelliklerine sahip olup, düşük yatay yer değiştirme ve kesme kuvveti talepleri göstermektedir. Sismik taleplerin düşük olması, tasarımcıları 15 ila 20 MPa aralığında beton dayanımları ve çoğu tasarım standardında öngörülen minimum değerinin altında kalan ağ donatı oranlarına sahip 100 mm kalınlığında duvarlar kullanmaya yöneltmiştir. Bu tür yapıların kendine özgü duvar özellikleri göz önünde bulundurulduğunda, mevcut yönetmeliklerdeki tasarım gerekleri doğrudan uygulanabilir nitelikte değildir. Ayrıca, bu gereklerin körü körüne uygulanması bir konut birimi için gerekçelendirilemeyecek ölçüde yüksek maliyetlere yol açabilmektedir.

Bu tür yapıların tasarım yöntemlerini geliştirmek amacıyla, düşük katlı konut duvarlarının maksimum kesme dayanımını tahmin edebilen bir davranış modeli ve bağıntılar geliştirilmiş ve deneysel sonuçlar doğrultusunda kalibre edilmiştir. Deneysel program, farklı yükseklik/uzunluk oranlarına (h_w/l_w) ve açıklıklara sahip duvarların yarı-statik ve sarsma tablası testlerini içermektedir. İncelenen değişkenler arasında beton tipi, ağ donatı oranı ve ağ donatısının tipi yer almaktadır.

Tahmin edilen ve ölçülen kesme kuvvetleri oranlarının istatistiksel analizi, önerilen modelin, bu yapı türü için tasarım ve değerlendirme rehberleri ile yönetmeliklere dâhil edilebilecek uygun bir tasarım aracı olduğunu göstermiştir.

2. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

Tezin konusuyla ilgili arşiv ve literatür taraması ayrıntılı olarak yapılmış olup elde edilen bilgiler doğrultusunda deneysel çalışmanın en verimli olması için edinilen bilgiler ışığında çalışmalar ortaya konulacaktır. Yapılan araştırmalarda betonarme perdelerin davranışında etkin parametre olan l_w/b_w (perde plandaki boyu/perde plandaki genişliği) oranının; Türk Deprem Yönetmeliği ve diğer yabancı ülke standartlarında farklı değerlerle sınırlandırıldığı Tablo 1’de görülmektedir. L_w/b_w oranı, perdenin kesme kapasitesi, eğilme kapasitesi ve süneklik performansı üzerinde doğrudan etkilidir. L_w/b_w oranı büyük perdeler, eğilme etkilerine karşı daha etkili olurken, l_w/b_w oranı düşük perdeler kesme etkilerine karşı daha dayanımlı olduğu görülmektedir. Değerlerin incelenen standartlarda farklılık göstermesi konuyla ilgili birkaç değişken faktör olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Betonarme Eleman Tasarım Standartları ve Deprem Yönetmeliklerinde Perde Duvar Tasarım Koşulları [17]

Gereklilik	TBDY 2018	ACI 318	Eurocode -8
Minimum Beton Dayanımı	C25/30	Minimum 2500 psi (17,24 MPa)	C20/25
Perde Boyut Koşulu Min. l_w	$\geq 6 b_w$	$\geq 2.5 b_w$	$\geq 4 b_w$
Perdelerde Eksenel Yük Sınırı	N_{dm} $A_c \geq 0.35 f_{ck}$	$\phi P_{n,max} \geq P_u$ $\geq 0.2 f'_A c. g$	N_{ed} , $EC \leq 0.35 f_{cd} A_c$
Genişlik koşulu Min. b_w	250 mm, $h_{kat}/16$	Min (101.6 mm (4inch); $h/25$)	200 mm, $h_s/15$
Maks. s_w ; Maks. s_h	250 mm	Min ($l_w/5$, $3h$, 18 in (457 mm))	250 mm; 25. b_w
Min. ϕ_w ; Min. ϕ_h	8 mm	$\leq No. 5 (\phi 16)$	8 mm
Min ρ_v ; Min ρ_h	0.0025; 0.0025	0.0012; 0.0020	0.002; 0.002
Min $\rho_{uç}$	0.002; 0.001 (Hcr dışı)	$6 f'_c / \sqrt{c u} f_y$ (Hcr dışı)	0.005; 0.002 (Hcr dışı)
Min $A_{s,uç}$	4 $\phi 14$	$\leq No. 5 (\phi 16)$	$\phi 12$
Min $l_{uç}$ (Hcr iç; dış)	Maks(0.2 l_w ; 2 b_w) / Maks(0.1 l_w ; b_w)	0.15. l_w	Maks(0.15 l_w ; 1.50 b_w)
Maks. $s_{uç}$ (Hcr iç; dış)	Min (150 mm; $b_w/2$) / min (200 mm; b_w)	152 mm	Min (100 mm; 8.dbl) /
Perde Duvar Uç Bölge Koşulu	Oluşacak aşırı gerilmelere karşı uç bölgesinin sargılanması istenmektedir. Belli sargılama şekilleri detaylı paylaşılmıştır.	Oluşacak aşırı gerilmelere karşı uç bölgesinin sargılanması istenmektedir.	Oluşacak aşırı gerilmelere karşı uç bölgesinin sargılanması istenmektedir.

Ülkemize gelindiğinde 1998 Deprem Yönetmeliğinde; perde başlık donatı kriterleri gereğince tasarımı yapılan numunelerin her biri için perde uç bölgesi oluşturulmamış ve perde gövdesi tüm kesiti olarak göz önüne alınmıştır. Perde yüksekliğinin tamamı $H_{cr} \geq \ell_w$ ve $H_{cr} \geq H_w/6$ koşulları dikkate alınarak kritik perde yüksekliği olarak belirlenmiştir. $H_{cr} \geq \ell_w$ şartı, perdenin geometrik olarak stabil ve etkin bir şekilde çalışabilen eleman olması için temel bir kriterdir. Bu oran, genellikle betonarme perdelerin davranışının eğilmeye ya da kesme kuvvetlerine karşı tasarımı için kullanılır. Başlıksız betonarme perdelerin karbon elyaf lifler ile güçlendirilmesi durumunda, $H_{cr} \geq \ell_w$ oranı yüksek belirlendiğinde eğilme dayanımını artıracak şekilde başlık bölgesinde uygulanmalı ve uç bölgelerde de fiberlerin yük taşımaya katkı sağlaması için yoğunlaştırılması önerilir. $H_{cr} \geq \ell_w$ oranı düşük tutulur ise kesme kuvvetine karşı dayanımı artırmak için başlık bölgesi oluşturulmalı ve karbon elyaf lifler çapraz ya da şerit şeklinde uygulanmalıdır [28].

Perdelerin enine ve boyuna gövde donatıları ile ilgili olarak 1998 ve 2018 Deprem Yönetmeliği'nde "Perde kolu her iki ucundan yanal doğrultuda bir perde ile tutulu ise, perde kolu kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 250 mm'den küçük olmayacaktır." denilmektedir. Bu çalışmada yönetmelikte bulunan koşullar göz önünde bulundurularak perde elemanların donatı teşkili söz konusu yönetmeliklerin bu ortak maddesine göre yapılmıştır. Ülkemizdeki eski yönetmeliklere tabi olarak yapılmış yapı stoku göz önüne alındığında, bu tür yapılarda eski yönetmeliğe bağlı tasarım ve üretim şartlarına bağlı olarak yapıların betonarme perde elemanlarında başlık bölgesinde yatay enine donatı ile başlık bölgesindeki boyuna donatıların sargılanmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak bu deneysel çalışmada bu tür yapıların betonarme perde elemanlarında dışarıdan sonradan yapılacak yeni bir güçlendirme müdahalesinin deneysel çalışma ve sonuçları sunulacaktır. Söz konusu bu betonarme perdelerin davranışının deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir.

2.1. Deney Elemanlarının Tanımlanması

Çalışma kapsamında 1940-1992 yönetmeliğindeki yapı malzeme özellikleri kullanılmıştır. 1940 yönetmeliğinde beton sınıfı, genellikle betonun basınç dayanım kapasitesi ile belirlenmiştir. Beton sınıfı o dönemlerde M (örneğin, M 200, M 250) sınıfıyla ifade edilmiştir ve yazılan sayı betonun 28 günlük basınç dayanımını (kg/cm^2 veya N/mm^2) belirtmektedir. Örneğin M 150: Betonun 28 günlük basınç dayanımı 150

kg/cm² veya yaklaşık 15 N/mm² olarak gösterilmiştir. Bu deneysel çalışma kapsamında bu modeller için C12 MPa beton dayanım sınıfına ait hazır beton kullanılmıştır.



Şekil 5. Taze Beton Görünümü

Beton malzemesinin kimyasal özellikleri aşağıdaki tabloda yazmaktadır.

Tablo 2. Beton Malzeme Özellikleri

Özellik	Açıklama
Ana Bileşenler	Çimento, su, kum, çakıl ve kırma taş gibi agregalardan oluşur. Ayrıca, katkı maddeleri ve mineral katkıları (örneğin, uçucu kül, silis dumanı) eklenebilir.
Çimento Kimyasal Bileşimi	Çimentoda başlıca kimyasal bileşenler kalsiyum oksit (CaO) , silisyum dioksit (SiO₂) , alüminyum oksit (Al₂O₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) bulunur.
pH Değeri	Beton, genellikle alkalik bir malzemedir ve pH değeri 12-13 civarındadır. Bu yüksek pH, betondaki demir donatıları korozyona karşı korur.
Karbonsizasyon	Beton, karbondioksit (CO₂) ile reaksiyona girerek kalsiyum karbonat (CaCO₃) oluşturur. Bu süreç, betonun zamanla sertleşmesine neden olur, ancak aşırı karbonsizasyon donatının korozyonuna yol açabilir.
Sülfat Direnci	Beton, sülfat içeren sularla temas ettiğinde kalsiyum alüminat (C₃A) ile reaksiyona girerek kalsiyum alüminat sülfat (ettringit) oluşturabilir. Bu reaksiyon betonun şişmesine ve çatlamasına neden olabilir.
Su/Çimento Oranı	Betonun dayanıklılığı, su/çimento oranına bağlıdır. Düşük su/çimento oranı, betonun daha dayanıklı ve güçlü olmasını sağlar.
Çimento Türleri ve Katkılar	Beton, kullanılan çimento türüne ve katkılara bağlı olarak farklı kimyasal özellikler gösterebilir. Örneğin, yüksek performanslı beton ek katkılarla yapılır.

Tablo 2. Beton Malzeme Özellikleri (devamı)

Özellik	Açıklama
Mineral Katkılar	Uçucu kül, silis dumanı gibi katkıları, betonu daha dayanıklı ve daha az geçirgen yapabilir, aynı zamanda çimentonun hidratasyon reaksiyonlarını iyileştirebilir.
Isı Gelişimi	Çimentonun hidratasyon reaksiyonları, özellikle portland çimentosu kullanıldığında önemli miktarda ısı üretir. Bu ısı, betonun çatlamasına yol açabilir, bu nedenle büyük yapıların dökümü sırasında sıcaklık kontrolü önemlidir.
Mikro Yapı ve Kristal Yapılar	Betonun dayanıklılığı, iç yapısındaki kristal yapıların düzgünlüğüne bağlıdır. Çimentonun hidratasyon ürünü olan C-S-H jel ve Ca(OH)₂ gibi kristaller betonun mekanik özelliklerini etkiler.
Donma-Çözülme Direnci	Betonun donma-çözülme döngülerine karşı direnci, içindeki suyun ve hava boşluklarının miktarına bağlıdır. Su ile temas ettiğinde, donma-çözülme reaksiyonları betonun dayanıklılığını azaltabilir.
Geçirgenlik	Betonun geçirgenliği, suyun ve çözünmüş maddelerin beton içinde hareket etmesine olanak tanır. Düşük geçirgenlik , betonun uzun ömürlü olmasını sağlar.

Yukarıdaki tablo, betonun kimyasal özelliklerinin temel bir özetini sunar. Beton, mühendislik ve inşaat endüstrisinde, dayanıklılığı ve mukavemeti nedeniyle en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Kimyasal süreçler ve bileşimler, betonun performansını ve kullanım ömrünü doğrudan etkiler.

1975 Deprem yönetmeliğinde, betonarme perde duvarları için genellikle betonun dayanımı, donatı oranları ve betonun özellikleri gibi temel konularda genel ilkelere yer verilmiş olsa da detaylı olarak hangi çapta donatı kullanılacağına dair doğrudan modern standartlarla karşılaştırılabilir bir ayrıntı yer almamaktadır. Ancak genel olarak perde duvarları için donatı kullanımı, taşıyıcı sistemin özelliklerine ve statik hesaplamalara göre belirlenmektedir. 1975 Yönetmeliğinde özel olarak, betonarme perde duvarlarında kullanılan donatıların çapı genellikle yapının gereksinimlerine göre hesaplanır, perde duvarlarında kullanılan donatı çaplarının modern ölçütlerle belirli aralıklarla 8 mm, 10 mm, 12 mm gibi çaplarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ise perde başlık bölgelerindeki düşey donatılar 14 mm, perde orta bölgesinde düşey donatıları 12 mm, perde tevzi ve çiroz donatıları 8 mm ve temel donatıları 16mm çapında nervürlü B420Ç donatı seçilmiştir.



Şekil 6. Donatı Çeliği Görünümü

Çelik donatının kimyasal özelliklerini özetleyen bir tablo:

Tablo 3. Donatı Çeliğinin Malzeme Özellikleri

Özellik	Açıklama
Kimyasal Bileşim	Genellikle karbon (C) , demir (Fe) , manganez (Mn) , silisyum (Si) , krom (Cr) , nikel (Ni) , fosfor (P) , kükürt (S) içerir.
Karbon İçeriği	Çelik donatının karbon içeriği genellikle %0.2 ile %0.6 arasındadır, bu da çeliğin sertliğini ve dayanıklılığını etkiler.
Sertlik	Karbon içeriği arttıkça çelik donatının sertliği artar, ancak şekil verilebilirlik ve kaynak yapılabilirlik azalır.
Çekme Dayanımı	Çelik donatılar, yüksek çekme dayanımına sahiptir ve betonun taşıma kapasitesini artırmak için kullanılır.
Darbe Dayanımı	Çelik donatının darbe dayanımı, düşük sıcaklıklarda azalabilir. Özellikle karbon içeriği ve alaşım elementleri bu özelliği etkiler.
Alaşımlar	Çelik donatıların bazıları, daha fazla dayanıklılık ve korozyon direnci için krom , nikel gibi alaşım elementleri içerir.
Korozyon Direnci	Çelik donatının korozyon direnci, çevresel faktörlere ve alaşım elementlerine bağlıdır. Korozyon, betonun içindeki nem ve tuzlar tarafından tetiklenebilir.
Sıcaklık Dayanımı	Yüksek sıcaklıklarda çelik donatılar zayıflar ve genellikle 500-600°C'de dayanımları azalır. Ancak, bazı özel çelikler yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdır.
Elastik Modül	Çelik donatının elastik modülü, yaklaşık 210 GPa civarındadır. Bu, çeliğin deformasyona karşı direnç gösterme yeteneğini belirtir.
Kaynama Noktası	Çelik donatının kaynama noktası yaklaşık 1538°C'dir. Bu, çeliğin erime noktasını belirtir ve yüksek sıcaklık koşullarında çeliğin özelliklerini etkiler.
İzotermal Özellikler	Çelik donatılar, farklı sıcaklık koşullarında farklı mikro yapılar ve özellikler gösterebilir. Bu özellik, özellikle sıcaklık farklarının olduğu inşaat alanlarında önemlidir.

Tablo 3. Donatı Çeliğinin Malzeme Özellikleri (devamı)

Özellik	Açıklama
Yüzey Özellikleri	Çelik donatılar genellikle pürüzsüz ve düzgün yüzeye sahiptir, ancak korozyonu önlemek için çeşitli kaplamalarla korunabilirler.
Termal Genleşme	Çelik donatılar, sıcaklık değişimlerine karşı genleşir. Termal genleşme katsayısı, yaklaşık olarak $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ civarındadır.
Yoğunluk	Çelik donatının yoğunluğu yaklaşık 7.85 g/cm^3 'tür. Bu, çeliğin fiziksel yapısını ve taşıma kapasitesini etkiler.

Çelik donatılar, inşaat mühendisliğinde betonarme yapılar için kritik bir rol oynar ve bu özellikler, dayanıklılık, güvenlik ve uzun ömürlü yapılar için önemlidir. 8mm,10mm,12mm ve 14mm donatı çeliklerinin mekanik testleri sonucu elde edilen çekme dayanımları aşağıdaki grafiklerde verilmektedir.

ANMA ÇAPLARI			Ø8 ()	Ø12 ()	Ø14 ()	Ø16 ()									
DENEY SONUCU BULUNANLAR									TS 708/MART 2016 Standart Sınır Değerler						
No	Anma Çapı d mm	Kütle Kg/m	Akma (Re) MPa	Çekme (Rm) MPa	Çekme/Akma Rm/Re	Re act / Re nom	Kopma Uz. %(A ₅)	Çelik Sınıfı	Akma MPa Min	Çekme MPa Min	Çekme/Akma Rm/Re	Re act / Re nom Max	Kopma Uz. % (A ₅) Min	Anma Kütlesi Kg/m	
														Min	Max.
1	8.0	0.400	465	579	1.24	1.11	22.3	B420C	420	0	>1.15	1.30	12	0.371	0.419
2		0.393	528	654	1.24	1.26	24.8	B420C	420	0	<1.35	1.30	12		
3		0.398	522	656	1.26	1.24	20.8	B420C	420	0	<1.35	1.30	12		
4	12.0	0.907	483	576	1.19	1.15	25.5	B420C	420	0	>1.15	1.30	12	0.848	0.928
5		0.891	517	658	1.27	1.23	22.5	B420C	420	0	>1.15	1.30	12		
6		0.913	489	590	1.21	1.16	20.0	B420C	420	0	<1.35	1.30	12		
7	14.0	1.213	446	575	1.29	1.06	23.3	B420C	420	0	>1.15	1.30	12	1.156	1.264
8		1.219	523	665	1.27	1.24	21.0	B420C	420	0	<1.35	1.30	12		
9		1.217	494	616	1.25	1.18	23.6	B420C	420	0	<1.35	1.30	12		
10	16.0	1.613	460	578	1.26	1.10	23.1	B420C	420	0	>1.15	1.30	12	1.509	1.651
11		1.596	527	674	1.28	1.25	22.1	B420C	420	0	>1.15	1.30	12		
12		1.602	483	599	1.24	1.15	20.6	B420C	420	0	<1.35	1.30	12		

Şekil 7. Donatı Çekme Deneyi Sonuç Grafiği

Bu çalışmada uç bölgesi teşkil edilmeyen beton sınıfı düşük betonarme perde elemanlara uç bölgesi dışarıdan oluşturularak güçlendirilmesi amacıyla karbon lifli polimer demetler kullanılacaktır. Karbon lifli polimer kumaşlar (CFRP) betona uygulandığında betonun gevrekliğini azaltarak daha sünek bir davranış sergilemesini sağladığı görülmektedir. Bu nedenle yapıların depreme dayanıklılığı artırır, betonarme elemanın servis ömrünü uzatır. [30]



Şekil 8.Karbon Lifli Polimer Demetleri (CFRP Rope)

Karbon Lifli Polimer Demetlerin (CFRP Rope) kimyasal özelliklerini özetleyen bilgiler Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Karbon Lifli Polimer Demetlerin (CFRP Rope) Kimyasal Özellikleri

Özellik	Açıklama
Ana Bileşenler	Karbon lifleri (C) ve polimer reçine (epoksi, polyester, vinilester gibi) içerir.
Karbon Liflerinin Kimyasal Yapısı	Karbon lifleri genellikle grafitik yapıya sahiptir ve yüksek oranda karbon (yaklaşık %90 ve üzerinde) içerir.
Polimer Reçinesi	Polimer reçineleri, karbon liflerini bağlamak için kullanılır ve genellikle epoksi veya polyester gibi termoset reçinelerden yapılır.
Karbon Liflerinin Kimyasal Karakteristiği	Karbon lifleri, korozyona dayanıklı ve elektriksel iletken olabilir. Polimer reçine, lifleri bağlayarak mekanik özellikleri artırır.
Sıcaklık Dayanımı	Karbon lifli polimer demetleri yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır, ancak kullanılan polimerin türüne bağlı olarak 120°C ila 250°C arasında değişebilir.
Ağırlık ve Yoğunluk	Düşük yoğunluklu, genellikle 1.6-2.0 g/cm³ arasındadır. Bu, karbon lifli polimer demetlerinin hafif olmasını sağlar.
Mekanik Dayanıklılık	Karbon lifli polimer demetleri, yüksek çekme dayanımı , yüksek modül ve sertlik özelliklerine sahiptir.
Darbe Dayanıklılığı	Karbon lifli polimer demetleri yüksek darbe dayanımına sahiptir, ancak sertlikleri nedeniyle kırılabilirler.
Kimyasal Direnç	Yüksek kimyasal direnç gösterir, özellikle asidik ve alkali maddelere karşı dayanıklıdır.

Söz konusu malzeme inşaat, otomotiv, havacılık ve denizcilik gibi birçok endüstride üstün mekanik ve kimyasal direnç özellikleri sayesinde tercih edilmektedir.

Temel donatı yerleşimi esnasında modelin deney platformu ile bağlantıyı sağlaması amacıyla temel içerisinde boşluklar bırakılır. Bu boşluklara 100 mm çapında PVC borular yerleştirilecektir.



Şekil 9. PVC Boru Görünümü

PVC (Polivinil Klorür) borularının kimyasal özelliklerini özetleyen bir tablo:

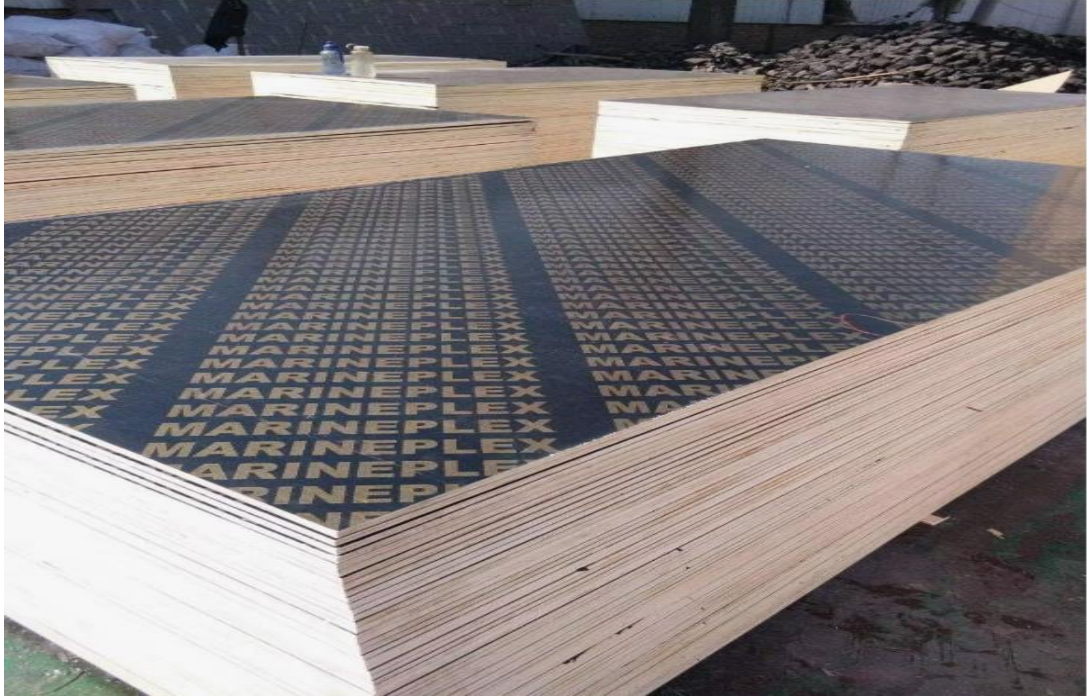
Tablo 5. PVC Boruların Malzeme Özellikleri

Özellik	Açıklama
Kimyasal Yapı	PVC, polivinil klorür monomerlerinin polimerizasyonu ile elde edilen bir termoplastik polimerdir.
Kimyasal Bileşenler	PVC boru, esas olarak karbon (C) , hidrojen (H) ve klor (Cl) elementlerinden oluşur.
Düşük Sıcaklık Dayanımı	PVC, yüksek soğuk dayanımına sahip değildir. -15°C'nin altındaki sıcaklıklarda kırılganlık gösterebilir.
Sıcaklık Dayanımı	PVC borular genellikle 60°C'ye kadar dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı sınırlıdır.
Kimyasal Direnç	PVC, asitler, bazlar, alkoller ve çözücüler gibi pek çok kimyasal maddeye karşı dayanıklıdır. Ancak bazı organik çözücülere (örneğin, asetona) karşı hassastır.
Su Emme Kapasitesi	PVC, suyu nadir olarak emer ve suya karşı dayanıklıdır. Bu, boruların su altında uzun süre dayanmasını sağlar.
Elektriksel İletkenlik	PVC, yalıtkan bir malzemedir ve elektrik iletkenliği yoktur. Elektriksel iletkenlik gerektiren uygulamalarda kullanılmaz.
Yangın Direnci	PVC, yanıcı bir malzeme olup, yangına dayanıklı değildir . Ancak, PVC'nin içeriğinde genellikle yangın geciktirici maddeler bulunur.
Termal Genleşme	PVC, sıcaklık değişimlerine karşı düşük termal genleşme katsayısı gösterir.

Tablo 5. PVC Boruların Malzeme Özellikleri (devamı)

Özellik	Açıklama
UV Dayanımı	PVC, uzun süreli UV ışınlarına maruz kaldığında renk değişimi ve mekanik özelliklerinde bozulma gösterebilir. Bu nedenle dış mekan uygulamalarında genellikle kaplamalarla korunur.
Mekanik Dayanıklılık	PVC borular, yüksek dayanım gösterir, ancak darbelere karşı kırılkan olabilir. Sertleşmiş PVC, daha dayanıklı hale gelir.
Çözünürlük	PVC suyu çözmez, ancak bazı yağlar ve organik çözücülerde çözünebilir.
Ağırlık ve Yoğunluk	PVC boruların yoğunluğu genellikle 1.35-1.45 g/cm³ civarındadır, bu da onları hafif yapar.
Kaplama Özellikleri	PVC, yüzeyinde pürüzsüz bir dokuya sahip olup, korozyon direnci yüksek olan bir malzemedir.
Hidrolik Özellikler	PVC borular, su akışını engellemek için düşük sürtünme katsayısına sahiptir.

Deney modellerinde 5 x 10 boyutlarında kereste (5cm eni-10cm boyunda) çam ağacından biçilmiş olan ahşap kalıp takviye elemanları ve plywood adı verilen huş ağacı, çam ve kavak ağacı talaşlarının karışışının reçine ile karıştırılıp basınç altında birleştirilmesinin üzerine kaplama yapılmış ahşap malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 10. Plywood Malzeme Görünümü

Plywood (kontrplak) malzemesinin kimyasal özelliklerini özetleyen bir tablo:

Tablo 6. Plywood Malzeme Özellikleri

Özellik	Açıklama
Ana Bileşenler	Ağaç katmanları (genellikle çam , meşe , akçaağaç vb.) ve sentezle yapılmış reçineler (fenolik, üre-formaldehit vb.) içerir.
Reçine Türü	Genellikle fenolik reçineler (suya dayanıklı), üre-formaldehit (daha ekonomik ancak daha az dayanıklı) ve melamin reçineleri kullanılır.
Kimyasal Bağlantılar	Plywood'da, ağaç katmanları arasında güçlü kimyasal bağlar ve özellikle reçine ile yapılan bağlar bulunur. Bu bağlar, dayanıklılığı artırır.
Asidik ve Bazik Direnç	Üre-formaldehit reçineleri, asidik ortamda iyi performans gösterir, ancak daha asidik koşullarda bazı toksik gazlar salabilir. Fenolik reçineler ise genellikle daha asitle dayanıklıdır .
Hidrolik Özellikler	Plywood, suya karşı dayanıklıdır ancak kullanılan reçine türüne bağlı olarak suya karşı olan dayanımı değişebilir. Fenolik reçine kullanılan plywood suya dayanıklıdır.
Formaldehit Salınımı	Formaldehit , özellikle üre-formaldehit reçinelerinde kullanılan, düşük seviyelerde salınım gösteren bir bileşiktir. Sağlık açısından uzun süreli maruziyet zararlı olabilir.
Termal Dayanıklılık	Plywood, ısıya dayanıklıdır ancak genellikle 250-300°C'nin üzerinde yapısal bozulmalar başlayabilir.
Yangın Dayanıklılığı	Kontrplak, yüksek sıcaklıklarda yangına karşı düşük direnç gösterir. Ancak, yangın geciktirici maddelerle kaplanabilir.
Mekanik Dayanıklılık	Plywood, yüksek mekanik dayanım gösterir ve dayanıklı, sağlam bir yapıya sahiptir. Özellikle kesilme ve eğilme kuvvetlerine karşı dirençlidir.
Dış Mekanizmaya Karşı Direnç	Dış ortam koşullarına (yağmur, nem) karşı daha fazla dayanıklılık sağlamak için fenolik reçine ile işlenmiş plywoodlar kullanılabilir.
Kimyasal Etkileşim	Plywood, çoğu asidik ve bazik maddelere karşı dayanıklıdır ancak bazı çözücüler (örneğin, alkol, aseton) malzemenin yüzeyine zarar verebilir.
Biyolojik Dayanıklılık	Kontrplak, bakteri ve mantarlara karşı dayanıklıdır ancak aşırı nem ve suya maruz kaldığında kavlama veya çürüme gibi biyolojik etkilere açık olabilir.
Kaplama ve Yüzey Özellikleri	Plywood, genellikle düz ve pürüzsüz bir yüzey sunar. Ancak yüzeyde kullanılan vernik, kaplama veya laminat, kimyasal etkileşimi etkileyebilir.

2.2. Deney Numunelerine Hazırlık Aşaması

Deneyisel çalışmalar Erciyes Üniversitesi'nde bulunan Deprem Araştırma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 11. Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı

Tasarımı yapılan modelin gerçek boyutlarda üretilmesi için laboratuvar çevresinde uygun bir yer belirlenmiştir. Belirlenen yer modelin tasarımı yapıldıktan sonra hem laboratuvar içerisine taşınmasında kolaylık sağlaması hem de çevrede rahatsızlık vermeyecek şekilde konumlandırılması ön görülmüştür.

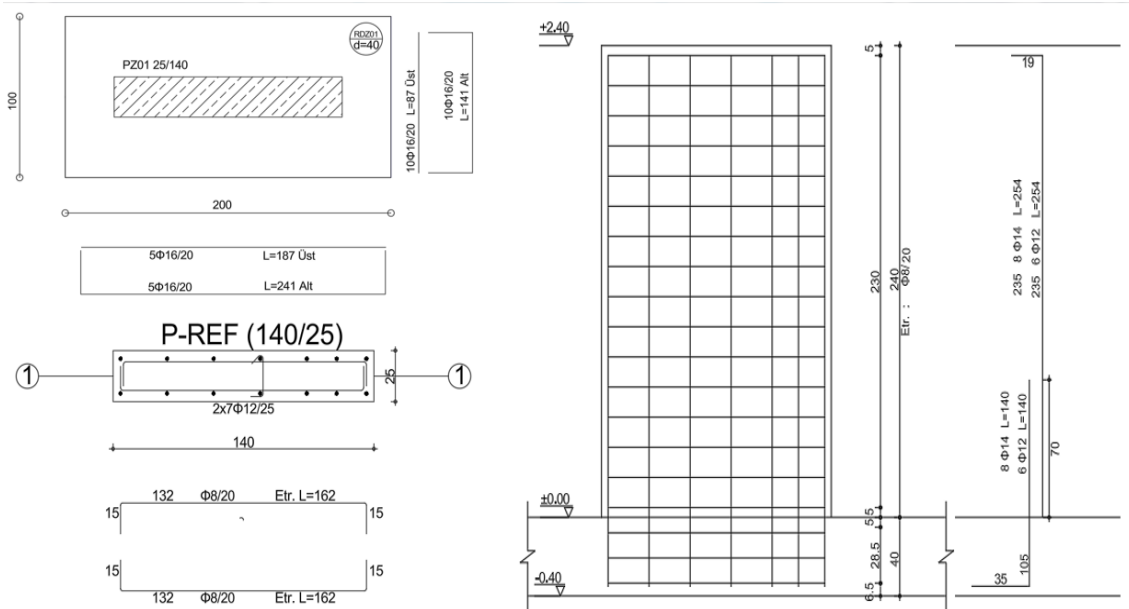
Çalışmada deney modeli rijit bir şekilde ankastre olarak bağlanmasını sağlayan ve temeli oluşturan aynı özelliklere sahip 40x100x200cm boyutlarında radye temel sistemi ve 25x140x240cm perde beton tasarlanmak istenmiştir.

Bu ölçülere esas alınarak toplamda 3 model oluşturulmuştur. 3 model 1975 yılında yayımlanmış Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te belirtilen betonarme perde duvar şartlarına göre imal edilmiştir. Söz konusu yönetmelikte, her ne kadar ülkemizde daha önce yayımlanan yönetmeliklerin aksine betonarme perdelerin uygulaması için geniş sayılabilecek bilgi verilmiş olsa da betonarme perde duvarların başlığı hakkında bir detaya yer verilmemiştir. Hazırlamış olduğumuz numuneler 1975 yılı yönetmeliğine uygun, perde uç bölgesine bulunan boyuna donatıları sarararak hem boyuna donatıların burkulmasını engellemeye hem de perde uç bölgesine gelen ilave kesme kuvvetlerini karşıladığı bilinen etriyeler oluşturulmadan hazırlanmıştır.



Şekil 12. Modelin 3B Görünümü

Model radye temel ve betonarme perdeden oluşmaktadır. Radye temel 40x100x200cm boyutlarında; perde elemanlar ise 25x140x240cm boyutunda modellenmiştir. Radye temelde pas payı 5 cm, perde elemanlarda ise pas payı 2,5 cm seçilmiştir. Modeli tamamlanan numunelerin üretimi için laboratuvar çevresinde belirlenen alanda imalatı yapılmıştır.



Şekil 13. Temel ve Perde Aplikasyon Planı(donatılı)



Şekil 14. Temel Kalıp İmalatı

Temel boyutları 2 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde 40 cm yükseklikten oluşmaktadır. Temelin kenarları sac kalıp panoları ile çevrelendikten sonra kalıp takviyeleri dışarıdan 5x10 ahşap kerestelerle desteklenmiştir. Bunun amacı kenarların beton dökümü sırasında dışarıya doğru açılmasını önlemektir. Temel kalıp yapımı tamamlanmasının ardından içerisine donatı yerleşimine geçilmiştir. Donatı yerleşimi 1975 yönetmeliğine uygun olarak donatılar x yönünde $\phi 16$ 'lık 20 cm aralıklarla ve y yönünde $\phi 16$ 'lık 20 cm aralığında yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Laboratuvara taşınmasında kolaylık sağlaması amacıyla temelin dört köşesine 18 mm çapında sehpa donatı bağlanmıştır.

Temel ve perde betonları iki sefer olacak şekilde dökümü gerçekleştirilir. Bunun amacı deney sırasında temel ve perde birleşim noktasının, sahadaki betonarme imalatında perdeler ile döşemeler eş zamanlı beton imalatı olmamasından dolayı perdeler ile döşeme/temeller arasında oluşan soğuk derz etkilerinin de hesaba katılabilmesi adına numuneler monolog beton döküm yerine temeller bir, perde elemanlar bir ayrı zamanlı olarak imalatı gerçekleştirildi. Ayrıca betonarme temel betonu C25/30 dayanım sınıfı tercih edilmiş olup temel elemanlarının deney sırasında deforme olmasının engellenmesi amaçlanmıştır.



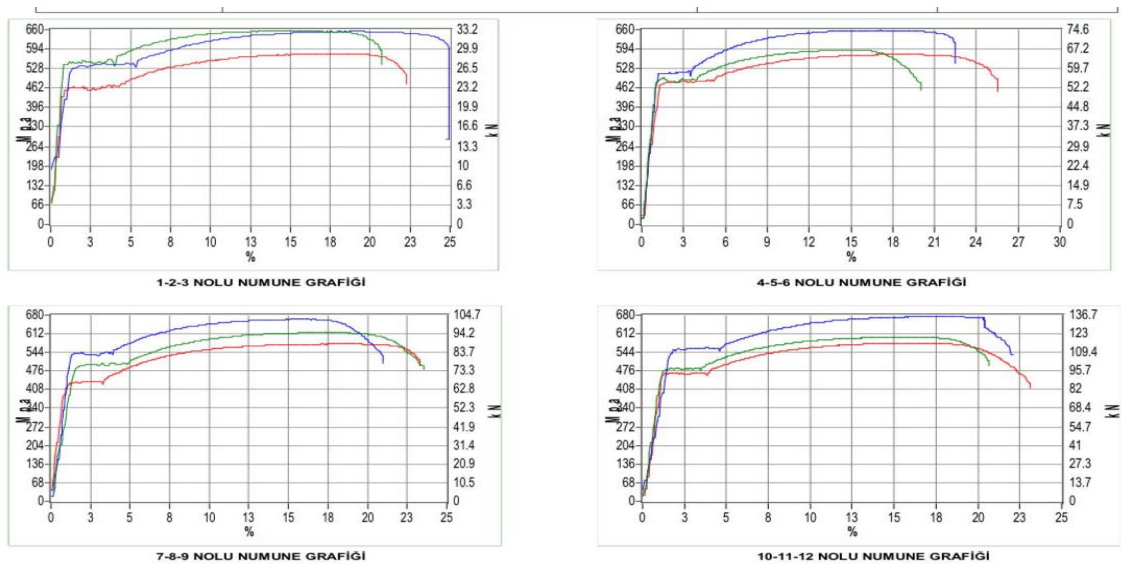
Şekil 15. Temel Donatı Yerleştirilmesi

Temel içine deney düzeneğinde temeli ankastre mesnet oluşturmasını sağlamak amacı ile 6 adet 100 mm çapındaki PVC borular yerleştirilmiştir. Konulan PVC boruların boşlukları deney platformunun deney numuneleri ile bağlantısının sağlanmasında kullanılan çelik millerin geçmesi amacıyla yapılmıştır. Temel imalatında TBVD18 yönetmeliğine uygun donatı yerleşimi yapılmıştır. Perde elemanların boyuna donatıları temel elemanların içine gerekli filiz boyları bırakılarak yerleştirilmiştir. Çalışmanın sadece 2007 Deprem yönetmeliği öncesi yapılan yapılarıdaki betonarme perde elemanların başlık bölgesi donatı detayının etkilerinin araştırılması olduğundan dolayı perde elemanların temel ile bağlantısındaki bütün detaylar TBVD18 uygun gerçekleştirilmiştir. Temelden perde elemanlara çıkan donatı filizleri başlık bölgesinde 14mm gövde bölgesinde ise 12mm nervürlü B420Ç donatı sınıfı kullanılmıştır.



Şekil 16. Temel Beton Dökümü

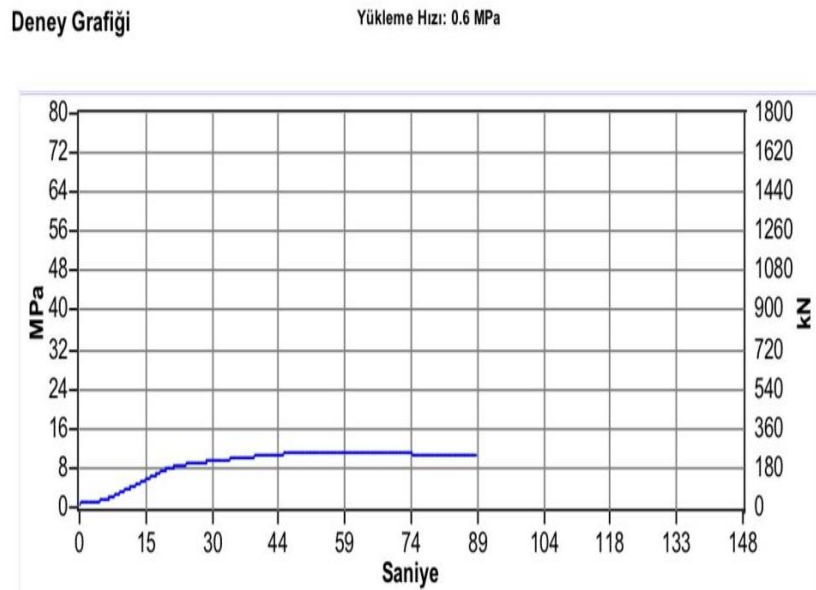
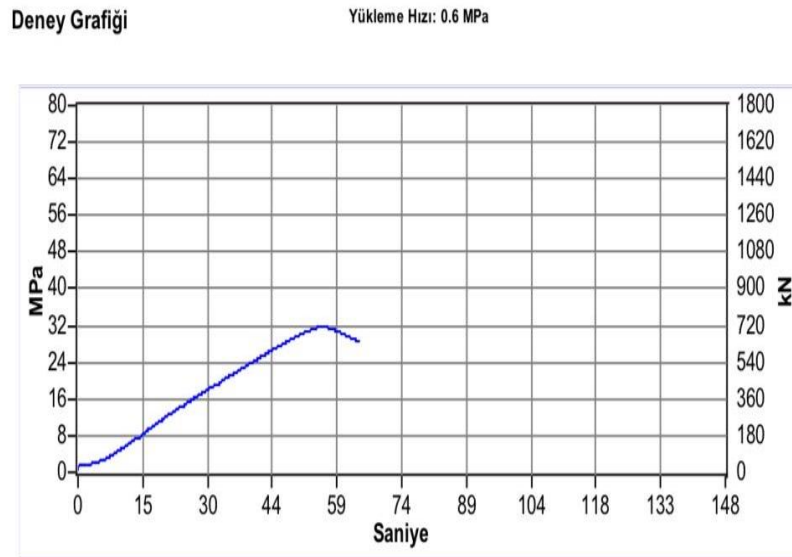
Deneysel eleman olarak kullanılan donatı çeliği perde duvar kesitleri içerisinde kullanılan enine ve boyuna donatılar 8-12-14 mm çaplarında, temellerde kullanılan enine donatılar ve boyuna donatılar 16 mm çapında nervürlü donatılardır. Kesme etkisine karşı perde kesitlerine yerleştirilen tevzi ve çirozlarda 8 mm çapındaki nervürlü donatılardan kullanılmıştır. Ayrıca perde duvar imalatı sırasında kullanılan donatılardan ve temel donatılarından alınan 1000 mm uzunluğundaki numune örnekleri laboratuvarında çekme presi ile test edilmiştir. Test elemanlarının akma dayanım ve kopma dayanım değerlerini de aşağıdaki Şekil 17’de sunulmaktadır.



Şekil 17. Donatı Çeliği Çekme Deney Sonuç Grafikleri

Oluşturulan temel deney numunelerin üretimi için kullanılacak malzeme özellikleri betonarme perde duvar beton 28 günlük basınç sınıfı C12/14 ve temel üretiminde kullanılmak üzere betonunun 28 günlük basınç dayanımı C25/30 olarak kullanılmıştır. Betonarme perde duvarlardan alınan ıslak numune sonuçları Tablo 8 ve Tablo 9’da sunulmuştur. Perde temelleri ve perde elemanlarında kullanılan farklı çaplardaki nervürlü donatı çeliğinin akma dayanımı ise 420 MPa olacak şekilde ilgili firmalardan tedarik edilmiştir. Temin edilen bu malzemelerin gerçek mekanik özelliklerini belirlemek için deney öncesi yönetmeliğe uygun gerekli testler yapılmıştır. Test sonuçları malzemelerin mekanik özellikleri aşağıdaki alt başlıklarda sunulmuştur.

Tablo 7. Beton Numuneleri 7 Günlük Kırım Sonuçları



Tablo 8. C25 ve C12 Beton sınıfı numunelerin C25 VE C12 28 günlük eksenel basınç dayanım sınıfları

Nr	Kesit Alanı (cm ²)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Birim Ağırlık (g/mm ³)	Numune Yaşı (gün)	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanım (MPa)	Ort. MPa
1	225	3375	8053.0	2.386	28	05.12.24	02.01.25	875.9	38.9	37.5
2	225	3375	8140.0	2.412	28	05.12.24	02.01.25	813.4	36.2	
3	225	3375	8052.0	2.386	28	05.12.24	02.01.25	838.5	37.3	

Nr	Kesit Alanı (cm ²)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Birim Ağırlık (g/mm ³)	Numune Yaşı (gün)	Alınış Tarihi	Test Tarihi	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanım (MPa)	Ort. MPa
1	225	3375	7856.0	2.328	28	05.12.24	02.01.25	269.9	12.0	12.0
2	225	3375	8041.0	2.383	28	05.12.24	02.01.25	303.1	13.5	
3	225	3375	8033.0	2.380	28	05.12.24	02.01.25	235.0	10.	

Perde numunelere beton dökümü ve kürlenme esnasında dış ortam sıcaklığının kritik değerlere yaklaşmasından dolayı deneylerin sonuçlarını etkilemesi adına numunelerden deney sonrası olmak üzere her birinden 3'er adet karot numuneleri alınmıştır. Mevcut betonun beton basınç mukavemetleri tayin edilmiştir. Numuneler üzerindeki karot seçim yerleri 3 bölgede tayin edilmiştir.

1. Bölge perde elemanın üst bölgesi olup deney sırasında hiç hasar almayan bölge olması özellikle istenmiştir.

2. Bölge perde elemanın yaklaşık ortasına denk gelecek şekilde olup, deney esnasında perdede oluşan çatlaklardan izole olmuş kesiminden alınmıştır.

3. Bölge ise perde elemanın alt bölgesinden yine çatlakların olmadığı bölgeden alınmıştır.



Şekil 18. Perde Elemanlardan Deney Sonrası Alınan Karot Çalışması

Tablo 9. Karot le Alınan Beton Numunelerin Basınç Dayanım Sonuçları

Karot Basınç Dayanımı Sonuçları			
Numune İsmi	P-REF-C12	P6-RET-R10	P2-RET-R20
Karot Basınç Dayanımı	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
1. Bölge (Üst)	9.5	11.4	12.8
2. Bölge (Orta)	12.2	12	15.3
1. Bölge (Alt)	12.4	10.7	16.1

2.3. Deney Numunelerinin İmalatı Aşaması

Temel beton dökümüne hazır hale geldikten sonra santralden getirtilen hazır beton; numune deney alanına geldiğinde ilk olarak TS-EN12390-1 'de belirtilen numune alma kriterlerine göre küp ve silindir numuneler alınmıştır. Temel dökümünde 4 adet küp numune, 3 adet silindir numune, perde için 4 adet küp numune, 3 adet silindir numune alınmıştır.



Şekil 19. Temel Beton Dökümü

Alınan küp numuneler üzerine etiket yapıştırılarak beton kür havuzuna konulmuştur. Etiket üzerinde beton sınıfı, beton alınan tarihi ve hangi kırım

gerçekleşeceğine dair bilgiler yer alır. Kür havuzu beton numunelerin dayanıklılığını artırmak ve betonun istenilen mukavemete ulaşmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Betonun nemli kalmasını sağlayarak su kaybını engeller ve hidrasyon sürecinin tamamlanmasını sağlamaktadır. Kür havuzunda betonun kürlenme süresi **28 gün** olarak kabul edilir. Bu süre boyunca kür, betonun maksimum dayanımına ulaşmasını sağlar. Genellikle 7. Gün sonunda betonun dayanımının %70-80'ine ulaşması için yeterli görülür.



Şekil 20. Temel için Küp ve Silindir Numuneler

Test elemanlarının temel betonlarında alınan 4 adet küp numune ve 3 adet silindir numune alınmıştır. Alınan numuneler 7. gün sonunda kırımı gerçekleştirilmek üzere laboratuvarında bulunan kür havuzuna konmuştur. Kür havuzunda bekletilen bu numunelerin test sonuçları beklenirken dökülen beton 7 gün boyunca belirli aralıklarla kürlenmiştir. Betonun priz alması sürecinde, gün içerisinde değişkenlik gösteren dış hava koşullarının sebep olabileceği kılcal çatlaklar ulaşılması hedeflenen dayanımı vermeyebilir. Bu nedenle betonun priz sürecinin ilk 7 günü çimento reaksiyonunun oluşturduğu sıcaklığın sabit tutulması, hedeflenen dayanım sınıfına ait beton elde etmek için büyük önem arz etmektedir. Kür havuzu içine giren küp numuneler 7. Günün sonunda kırım işlemine tabii tutulmuştur. Kırım deneyi olan numunelerin dayanımına bakılarak betonarme perde betonun döküm işlemine geçilmiştir. Tablo 7 ve Tablo 8'de alınan numune sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 21. Perde Donatı Yerleşimi

Perde betonun ölçüleri 240 cm yüksekliğinde 140 cm uzunluğunda ve 25 cm genişliğindedir. Perde betonun üretiminde tevzi donatıları $\varnothing 8$ 'lik 25cm aralıklarla, boyuna donatı ise başlık bölgesinde $4\varnothing 14$ 'lük gövdesinde $2 \times 3\varnothing 12$ 'lik 20cm aralıklarla ve çiroz donatılar ise $\varnothing 8$ 'lik m²'de 10 adet olmak üzere çelik donatı imalatı gerçekleştirilmiş ve ardından perde elemanın kenar kalıp kapakları kapatılmıştır.



Şekil 22. Perde Kalıp İmalatı

Kalıp imalatından sonrası beton döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Beton döküm esnasında perde betonu dayanım deneyleri için alınan numunelerden 4 adet küp ve 3 adet silindir numune kür havuzunda bekletilmiştir. Silindir ve küp numuneler test sonucu beklenirken kürleme işlemi gerçekleştirilmiştir. 7.gün sonunda perde beton numuneleri kırım testine tabi tutularak malzemelerin dayanımları gözlemlenmiştir.



Şekil 23. Perde Beton Dökümü



Şekil 24. Betonarme Modelin Beton Döküm Sonrası Görünümü



Şekil 25. Perde İçin Küp ve Silindir Numuneler

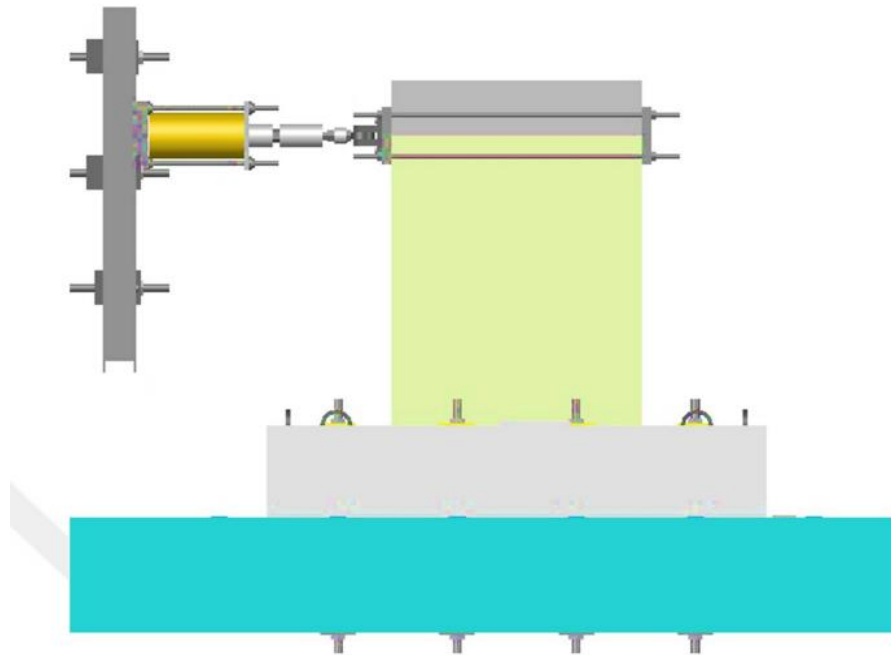
Hazırlanan numuneler kalıp sökülmesi ve kürlleme işlemleri tamamlanmasının ardından deneyin gerçekleştirileceği laboratuvar platformuna taşınma işlemi yapılmıştır. Taşınma sırasında numunelerin zarar görmelerini engellemek için forklift araçları kullanılmıştır. Yüksek tonajlara dayanıklı sapan adı verilen halatlar yardımı ile taşınma işlemi gerçekleştirilmiştir. Taşıma ve yerleştirme sırasında beton numunelerde titreşime bağlı kılcal çatlak oluşumu olmamasına dikkat edilmiştir.

2.4. Deneyin Düzeneklerinin Hazırlanması Aşaması

Deney alanında bulunan 3 adet model laboratuvar içerisine taşınımı sağlanır. Temel döküm esnasında temel dört köşesine imal edilen sehpa donatıları kullanılarak forklift yardımıyla laboratuvara taşınmıştır. 36 mm çapında sekiz dişli mil aracılığıyla, 50 cm arayla yuva bulunduran rijit bir platforma bağlanmıştır. İkinci aşama olarak, Şekil 26'da gösterildiği gibi modeller yatay yükleme düzeneği üzerinde hidrolik kriko ve loadcell(yük hücresi) yükleme duvarına montajı gerçekleştirilmiştir. Yükleme duvarı, 50 cm kalınlık ve 6 metre genişliğinde olup, duvar ile bağlantı kurması için 50 cm aralıklarla 70 mm çapında yuvalar barındıran bir yapıdır. Yatay yükleme düzeneği, hidrolik kriko, uçlarda bulunan mafsallar ve bu parçaların birbirine bağlanmasını sağlayan bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Bu düzenek, yükleme yönünde perdelerin üst noktasından itme ve çekmeyi sağlayacak şekilde rijit yükleme duvarına bağlanmıştır. Deney

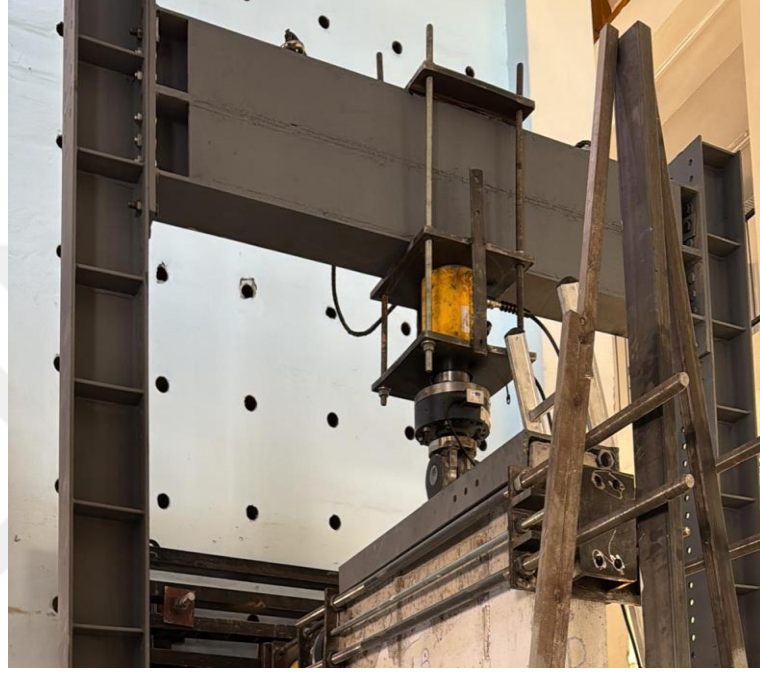
numunesinin hem itme hem de çekme yüzeylerine yerleştirilen iki levha arasındaki bağlantı, Ø27 mm çapında 6 adet transmisyon mili kullanılarak oluşturulmuştur. Yanal yükleme, düzenekte itme ve çekme hareketi yapabilen, 100 ton kapasiteli iki parçalı hidrolik kriko ile yapılmıştır. Krikonun birinci parçası, yük çıkış noktası olan hidrolik pistondan, ikinci parçası ise pistonu yağ basmayı sağlayan manuel yükleme kolundan oluşmaktadır. Hidrolik krikodan alınan yatay yükleme değerleri, kapasitesi +100/-100 ton olan bir yük hücresi aracılığıyla ölçülmüş ve bu veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Çalışmalara geçmeden önce, krikoların mafsallar ve yük hücreleri ile bağlantılarını sağlamak için gerekli dişli parçalar üretilmiş ve bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Yük hücresi ayrıca kalibre edilerek, aktüatöre çelik bağlantı plakaları ile monte edilmiştir. Yatay yükleme doğrultusuna dik şekilde hareket edebilen mafsalların, yükleme duvarı ve deney numunesi ile bağlantısı, mafsal ucundaki levhanın özel ölçülerdeki levhaların bulonlar ile bağlanması sağlanmıştır. Mafsalların yatay yükleme sırasında hareket edebilmesi, deney düzeneğinin yatay konumunu koruması açısından büyük önem taşımaktadır. Yükleme düzeneğinin bir gösterimi Şekil 26'da sunulmaktadır. Yatay yükleme sırasında, yüklemenin uygulandığı bölgedeki betonun ezilmesini engellemek amacıyla, test elemanlarının üretimi sırasında bu bölgelere 20 mm ve 30 mm kalınlıklı sac levhalar yardımı ile ezilmeye karşı kuvveti artırılmış ve daha rijit bir bölge elde edilmiştir.



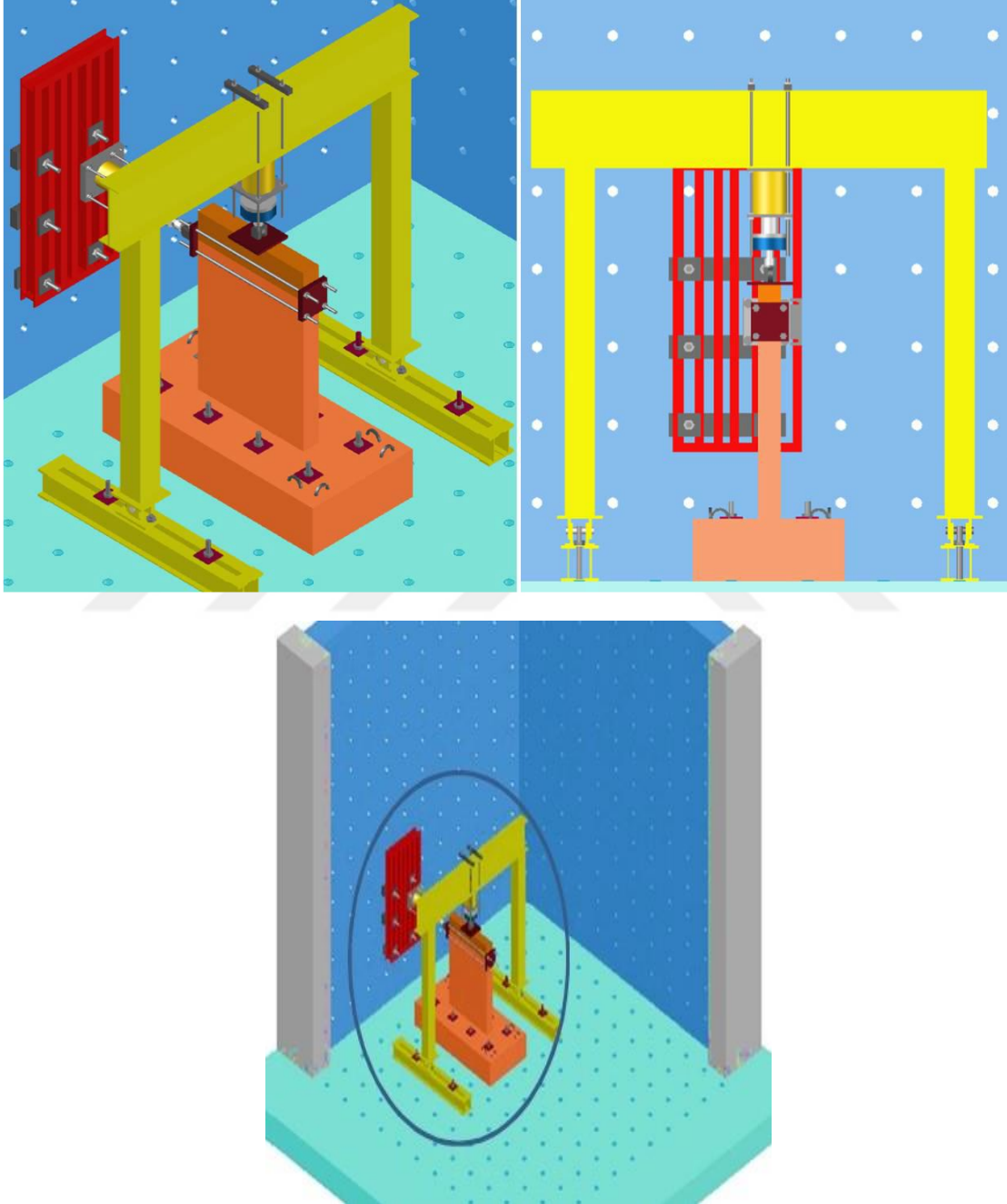
Şekil 26. Yükleme Düzeneği Yerleşimi

Yatay yükleme levhasının yerleştirildiği bölgedeki donatı düzeni, düşey yükleme düzeneği ile birlikte çalışmaktadır. Düşey yüklemede, yükün homojen dağılımını sağlamak için UPN 300 profil perde üzerine sabitlenmiştir. Bu düzenek, 60 ton kapasiteli bir hidrolik kriko, 50 ton kapasiteli bir yük hücresi ve düşey yük konumunu korumaya yarayan bir mafsaldan oluşmaktadır. Hidrolik kriko, yük hücresi ve mafsal bağlantıları dişli parçalar ile sağlanmıştır.



Şekil 27. Yatay ve Düşey Yükleme Düzeneği Yerleşimi

Düşey yükleme düzeneğinin bağlantısının yapıldığı eksenel yükleme çerçevesi, HEA 240 profilden 370 cm yüksekliğinde imal edilen iki kolon, HEA 400 profilden imal edilen bir kiriş ve güçlendirme amaç ile kiriş içerisine ve kiriş zayıf eksen yönüne 15 mm sac ile berkitme levhalarından teşkil edilmiştir. Yükleme düzeneğinin 3D görüntüsü Şekil 27'de sunulmaktadır.



Şekil 28. Deney Düzeneğinin Farklı Açılardan 3D Görüntüsü

Deney düzeneğinin yüzeylerinin isimlendirmeleri perde elemanlarının plandaki uzun doğrultuları A ve B yüzü; plandaki kısa doğrultuları C ve D yüzü olacak biçimde

isimlendirilmiştir. Deney sırasında numunelerin farklı yüzlerinde oluşan deformasyonlar bu isimlendirmelere göre tarif edilmektedir. Şekilde belirtilen A ve B yüzlerinde yükleme sırasında oluşması muhtemel çatların izlenmesi ve işaretlenmesi için boş bırakılmıştır. C yüzeyi Şekil 29'da görüneceği gibi LVDT (Linear Variable Differential Transformer) saatlerinin konumlandırıldığı alandır. Bu yüzeyde 1. Saat temel üzerinden 60 cm yüksekliğe, 2. Saat temel yüzeyinden 120 cm yükseklikte, 3. Saat temel yüzeyinden 180 cm yüksekliğe ve çizim grafiğimize esas teşkil eden 4. Saat deplasmanın okunduğu temel yüzeyinden 240 cm yüksekliğe konumlandırılmıştır. Saatlerin deney yükleri dışında hareketini engellemek açısından, deney düzeneğinden bağımsız olacak şekilde RHS profiller ile ayrıca bir düzenek kurulmuş ve zemine sabitlenmiştir. D yüzeyi ise temel üzerinden 200 cm ve 240 cm aralığında yatay yükleme pistonunun konumlandırıldığı alandır. Piston düzeneğinin altında kalan alanlar ise gerekli işaretlemeler yapılmış ve deney sırasında oluşacak deformasyonların gözlemlenmesine açık bırakılmıştır.

Mafsallı ayaklara sahip olan sistem yatay yük yükleme sırasında ileri geri hareket edebilecek şekilde tasarlanmıştır. Eksenel yük altında numunemizin itme ve çekme yapılması halinde düzeneğin rijit kalarak, üzerine yük çekmesinin önüne geçilmiştir. Düzenekte mafsallı oluşturan sac levhalar 20 mm kalınlığındadır. Çalışma kapsamında düşey yükleme düzeneğinin perdenin plan alanı olan 25x140 cm ölçülerine sahip alanı için UPN 300 profil temin edilerek, perdenin üstüne sabitlenmiştir. Bu sayede eksenel yükün perdenin tamamına homojen dağılması öngörülmüştür. 3 model için ideal bir kurulum sağlamak amaçlanmıştır. Her bir modelin deney öncesi gerekli düzenlemeleri yapılmış ve deneye hazır hale gelmiştir.

Deney sırasında gerinim ölçerlerden ölçüm yapılabilmek ve nümerik çalışmalardan elde edilen kuvvet, yer değiştirme ve yer değiştirme verileri ile kıyaslama yapılabilmesi amacıyla gerekli veriyi sağlamak için ekipmanlar kullanılmıştır. Bu ekipmanlar deneylerde yatay ve düşeyde olmak üzere iki adet yük hücresi (load cell), LVDT adı verilen cihazlar kullanılmıştır. Deneyler sırasında ölçüm aletlerinden elde edilen veriler, bir veri kaydedici cihaz (data logger) olan ve bununla uyumlu bir bilgisayar yazılımı yardımıyla toplanarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. (Şekil 29).

Düzeneğin kurulumunda son olarak C ve D yüzleri tarafından temel üzerine çelik profillerden kirişler yapılarak, sabitlenmiştir. Buradaki amaç temelin olası hareketi engelleyerek en doğru sonuçları elde edebilmektir. (Şekil 29).



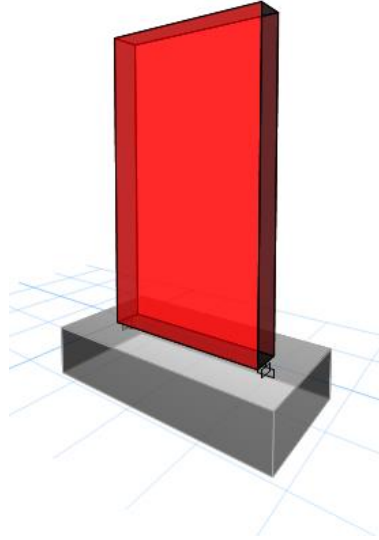
Şekil 29. Deney Düzeneği, LVDT ve Data Logger Cihazı Görselleri

2.5. Sonlu Elemanlar Modeli ile Analiz Aşaması

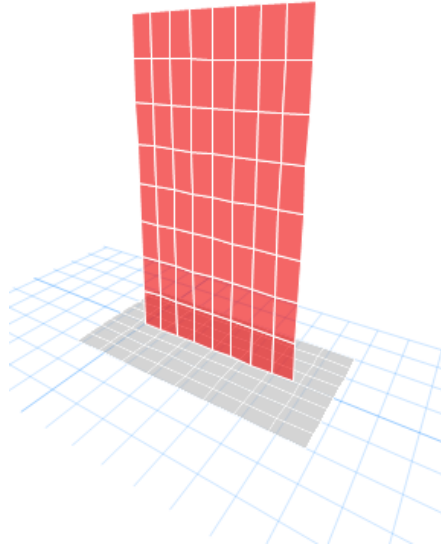
Sonlu Elemanlar Modeli (Finite Element Model - FEM), mühendislik ve bilim alanlarında karmaşık fiziksel sistemlerin analiz edilmesi için kullanılan bir **matematiksel yöntem** ve sayısal modelleme tekniğidir. FEM, özellikle **gerilme analizi, termal analiz, akışkanlar mekaniği, titreşim analizi ve elektromanyetik analiz** gibi alanlarda yaygın olarak kullanılır. Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık bir fiziksel yapıyı veya sistemi daha küçük ve daha basit alt parçalara, yani **sonlu elemanlara** böler. Her bir eleman, sistemin davranışını tanımlayan diferansiyel denklemleri çözmek için ayrı ayrı analiz edilir. Bu elemanların birleşimi, tüm sistemin yaklaşık çözümünü oluşturur. Böylece hata oranını en aza indirmiş olmuştur.

Gelişen teknolojiyle birlikte betonarme yapılar için analitik hesap yöntemleri bilgisayar ortamında model oluşturulabilir. Bu çalışma kapsamında 3 boyutlu modelleme ETABS [63] programı sayesinde gerçekleştirilmiştir.

ETABS programı, yapıların üç boyutlu çizimleri ve yüklemeler altında statik analizlerini yapabilmek için tasarlanmıştır. Bu nedenle sayısal hesaplamalarda oldukça etkilidir. Verilerin görselleştirilmesi ve grafiklerin oluşturulması için olanak tanır. Bu sayede statik hesaplamalara birkaç adımla sonuç alınabilmesine olanak sağlamaktadır. İlk olarak modelin 3D tasarımı gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen modelin yapı elemanlarına malzeme tanımlamaları yapılır. Kullanılan beton ve donatı çeliğinin mekanik özellikleri atamaları yapılır. Kullanılan donatıların aralıkları ve donatı çapları tanımlatılır. Daha sonra Pushover (itme) analizi yaptırılarak, tekrarlı yükler altında numunenin karşılayabileceği yük ve deplasmanlar tablo halinde sunulur.



Şekil 30. Model Tasarımı 3D Görünümü



Şekil 31. Modelin Mesh Komutu Görünümü

2.6. Deney Öncesi Çalışmalar

Yapılan literatür çalışmalarında birçok betonarme perde elemanın eğilme ve kesme üzerine deneylerinin yapıldığı görülmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda beton sınıfı düşük perde elemanlarda başlık bölgesinin olmaması durumunda eğilme dayanımlarını güçlendirmeye yönelik çalışmalar ya sınırlı ya da geleneksel güçlendirme metodu olan mantolama yöntemi ile güçlendirildiği görülmüştür.

Perde elemanların sismik hareketlerden kaynaklı yatay kuvvetlere maruz kaldığında perde elemanlarda düzlem içi hareket yapmaya çalıştığında özellikle tersinir yatay kuvvetlerde perde elemanın başlık bölgesinde büyük gerilme yığılmaları gözlenmekte olduğu bilinmektedir. Bu başlık bölgesinin eğilme altında kesme kuvvetlerine de karşı koymaya çalıştığı için başlık bölgesindeki boyuna donatılarda özellikle temel ile bağlantı noktalarında burkulmalar gözlenmektedir. Pas payının yetersiz kalması sonucu oluşan bu burkulmalara bağlı olarak perde elemanlarda boy kısalması oluşmakta ve perdenin düzlem içi davranışında eksantiristeye bağlı olarak perde elemanların düzlem dışı çalışması da perdenin eğilme davranışında koordine etmeye başlamaktadır

Bu etkilerin başlık bölgesindeki 2007 deprem yönetmeliği öncesi uygulanmayan yatay enine etriyeler ile başlıktaki boyuna donatıların sargılanmaması sonucu olduğu düşünüldüğünde perde elemanların paspayları açılarak içeride sonradan etriye uygulamasının yapılamayacağından dolayı dışardan az tahribatlı yöntemle güçlendirilerek bu problemin ortadan kaldırılması düşünüldüğü bu deneysel çalışma takvimi planlanmıştır. Deneylerden önce başlıksız perdelerin doğrusal olmayan

davranışını görmek adına modellerin oluşturulmasında sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapabilen ETABS 19[63] programı kullanılmaktadır.

1/1 ölçekli modellerde betonarme perdeler modellenmiştir. Modellerin hepsi TS 500-2000[65] de yer verilen konstrüktif esaslara göre modellenmiştir. Bu çalışmada 4 katlı bir yapının aks aralığı her iki doğrultuda 4'er metre olan bir döşemeye bağlanan perde elemanının taşıyacağı düşey yükler hesaplanmış ve perde modeline düşey çizgisel yük olarak modele aktarılmıştır. Düşey yük altında çözümlemesi yapılan perde elemanın temel ile bağlantı noktası ankastre varsayılabilir. Çalışmada TS500-2000'deki gerekli şartlar dikkate alınarak modeller oluşturulmuştur.

Nümerik çalışmada, perde elemanın boyutları 1/1 ölçekte olup 240 cm yüksekliğinde 140 cm uzunluğunda ve 25 cm genişliğinde seçilmiştir. Ancak seçilen perde eleman boyutlarının bu ölçülerde seçildiği taktirde perde elemanın taşıyabileceği maksimum eksenel yük kapasitesi deneylerde kullanılan krika ve loadcell(yük hücrelerinde)'in mevcut kapasitelerini aşabileceği düşünülmüştür.

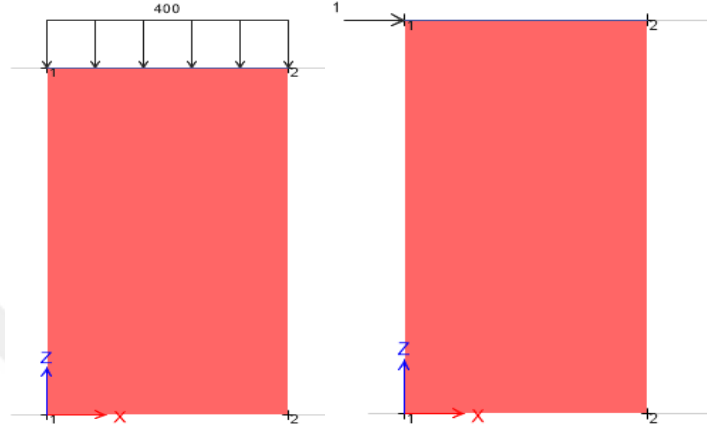
The image shows two side-by-side screenshots of the ETABS software interface. The left screenshot displays the 'General Data' and 'Material Weight and Mass' sections for a concrete material named 'C12/15'. The 'General Data' section includes fields for Material Name, Material Type (Concrete), Directional Symmetry Type (Isotropic), Material Display Color (Yellow), and Material Notes. The 'Material Weight and Mass' section has radio buttons for 'Specify Weight Density' and 'Specify Mass Density', with input fields for Weight per Unit Volume (24.9626 kN/m³) and Mass per Unit Volume (2548.538 kg/m³). The 'Mechanical Property Data' section includes fields for Modulus of Elasticity, E (27000 MPa), Poisson's Ratio, U (0.2), Coefficient of Thermal Expansion, A (0.00001 1/C), and Shear Modulus, G (11250 MPa). The right screenshot displays the same sections for a rebar material named 'S420'. The 'General Data' section includes fields for Material Name, Material Type (Rebar), Directional Symmetry Type (Uniaxial), Material Display Color (Blue), and Material Notes. The 'Material Weight and Mass' section has radio buttons for 'Specify Weight Density' and 'Specify Mass Density', with input fields for Weight per Unit Volume (76.9729 kN/m³) and Mass per Unit Volume (7849.047 kg/m³). The 'Mechanical Property Data' section includes fields for Modulus of Elasticity, E (199947.98 MPa) and Coefficient of Thermal Expansion, A (0.0000117 1/C).

Şekil 32. Modelin Malzeme Dayanımları

The image shows a screenshot of the ETABS software interface displaying the 'General Data' and 'Property Data' sections for a wall property named 'p25'. The 'General Data' section includes fields for Property Name, Property Type (Specified), Wall Material (C12/15), Notional Size Data (Modify/Show Notional Size...), Modeling Type (Shell-Thick), Modifiers (Currently Default) (Modify/Show...), Display Color (Yellow), and Property Notes (Modify/Show...). The 'Property Data' section includes a field for Thickness (250 mm) and a checkbox for 'Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall'.

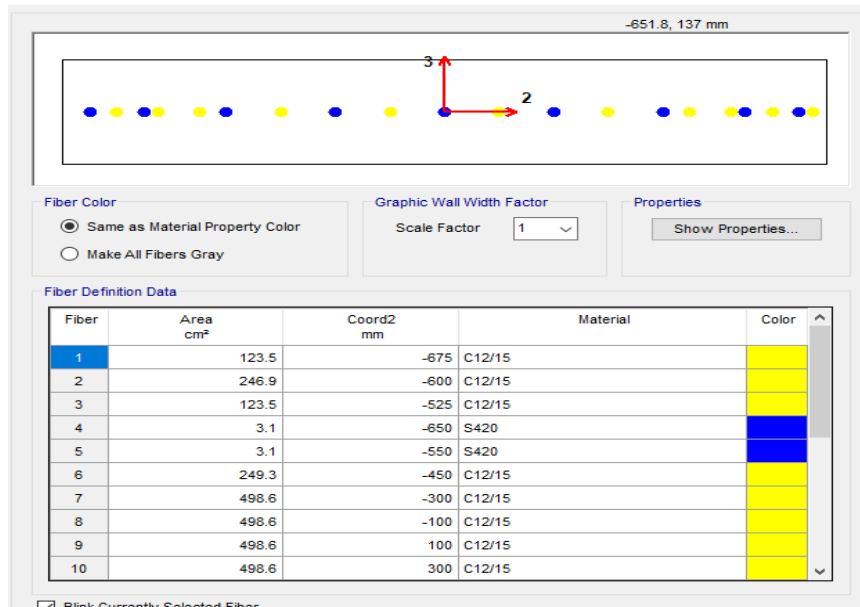
Şekil 33. Modelin Geometrisi

Bu sebeple deney düzeneğinde aksel yük kapasitesi yukarıda bahsedilen 4 katlı bir yapıdaki döşemelerin G+Q yüklemesi sonucu üzerinde oluşan düşey yüklerin perde elemana düşen miktarı olan 400kN seviyesinde tek eksenli noktasal yükü perde elemanının tepesinde çelik profilden oluşturulmuş kılıf sayesinde perdenin plandaki düzlemi boyunca çizgisel yük olarak tanımlanmıştır.



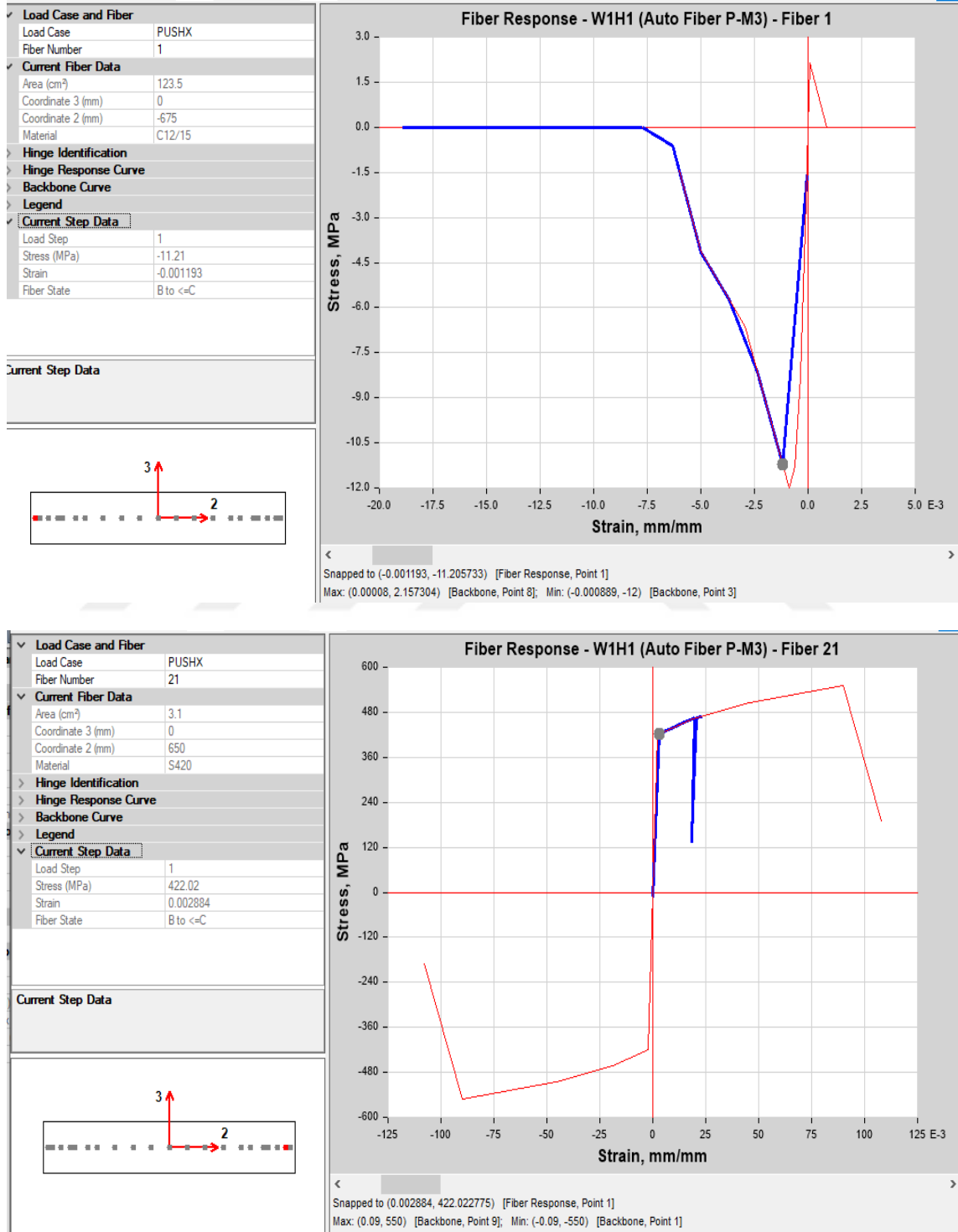
Şekil 34. Modelin Düşey Yükler ve Yatay Birim Yük Altındaki Görüntüsü

1/1 ölçekli modelin numerik çalışmasında doğrusal olmayan itme analizi (pushover) uygulanmıştır. Önce referans numune modellenerek analiz edilmiştir. Analizde perde elemanı için mafsalsız atamada Fiber-P-M2-M3(lif) yöntemi seçilmiştir. Mafsalsız mesafesi ise ETABS programında otomatik mafsalsız atması ile belirlenmiştir. Böylece perdenin bileşenleri beton ve donatının akma durumları doğrusal olmayan itme analizinde her adımda rahatlıkla gözlemlenebilmiştir.



Şekil 35. Perde Elemanın Fiber-P-M3 Mafsalsız Tanımı

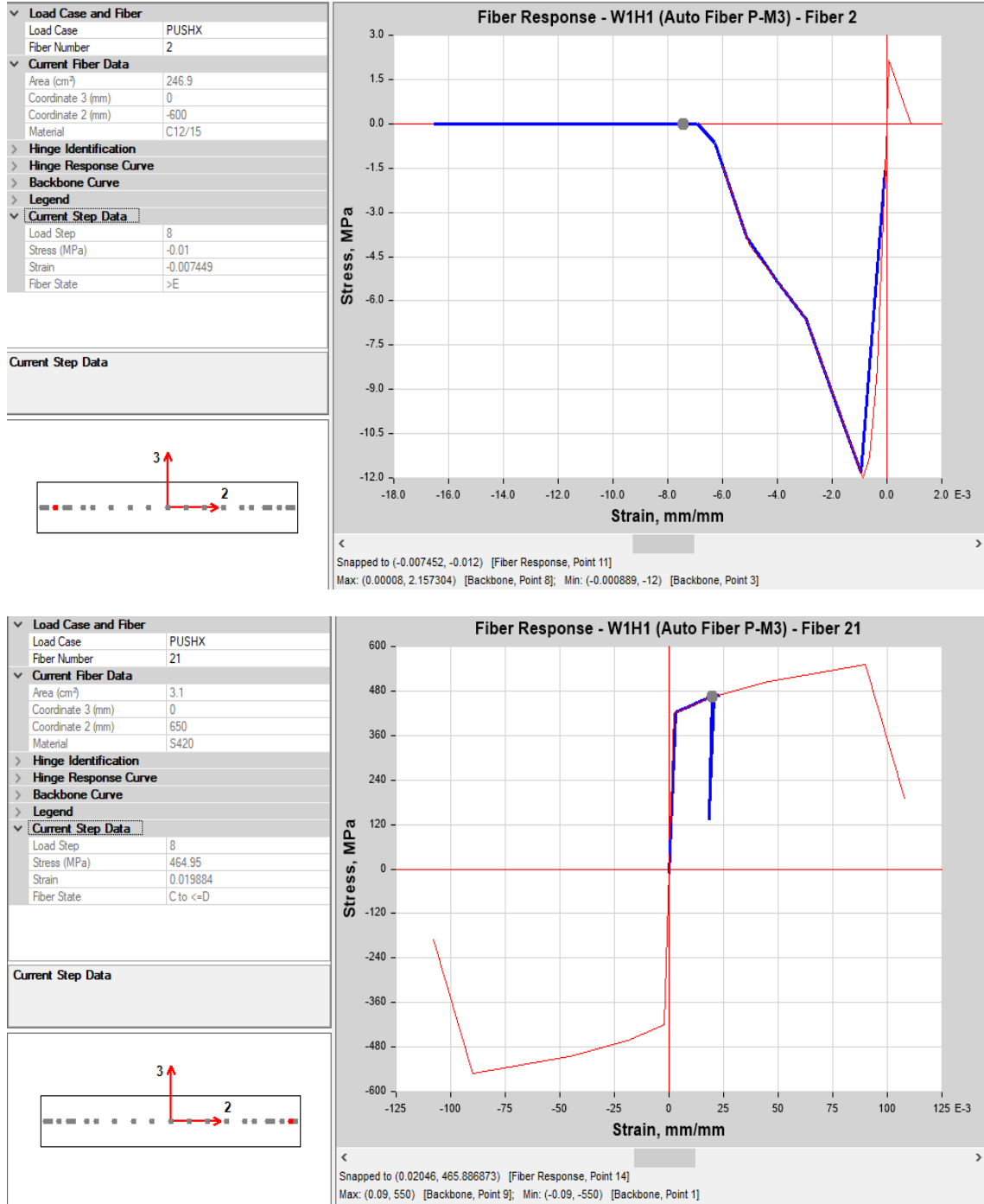
Perde elemanının içinde fiber olarak modellenen beton ve çeliğin birim şekil değiştirmeleri ve üzerlerindeki gerilme değerleri her yük basamağında ayrı ayrı görülmektedir program yardımıyla. Perde elemanının en dış lifindeki donatının aktığı anda donatı-beton birim şekil değiştirmeleri ayrı ayrı görülmektedir. Şekil (36)



Şekil 36. Perde Elemandaki Fiberlerin Üzerindeki Birim Şekil Değiştirme- Gerilim Grafikleri (Donatı Akma Seviyesi)

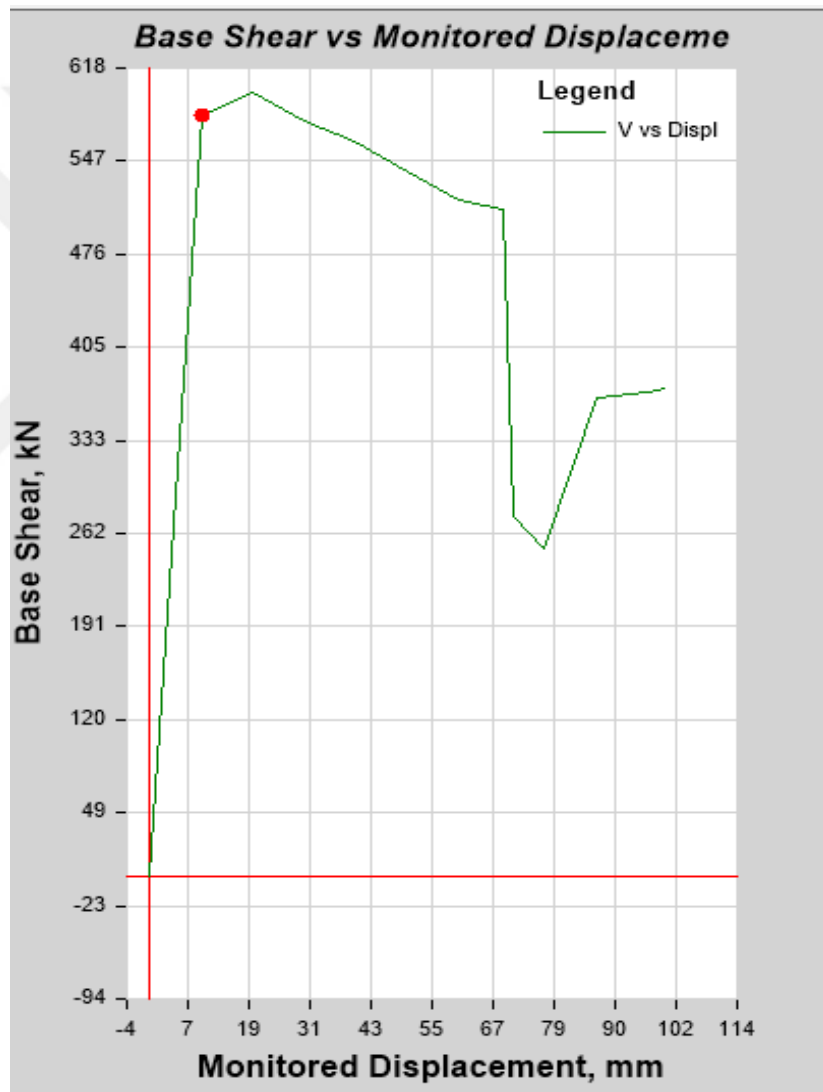
Bu adımda artık perde elemanda mafsallaşmalar maksimum seviyesine ulaşmıştır. Yani beton birim şekil değiştirmesi 0.003 seviyenin üzerine geçtiğinde donatının da 420 MPa değerini geçtiği ve donatının akmasının devam ettiği görülmektedir.

Ayrıca pekleşme bölgesinde olduğu bu durumdan dolayı bu adımdan sonraki adımın artık perde elemanda mekanizma durumuna geçildiği görülür. Şekil (37)



Şekil 37. Perde Elemandaki Fiberlerin Üzerindeki Birim Şekil Değiştirme- Gerilim Grafikleri (Donatı Kopma Seviyesi)

Bunun oluşmasının nedeni kullanılan donatının pekleşmesi ve sonraki deplasmanlarda donatı koparak sistem mekanizma haline dönüşmesidir. Deneysel çalışmadaki numunelerin deneyden önce nümerik çalışmalarına bakılmıştır. Ayrıca deney sırasında numunelere uygulanacak eksenel ve yatay kuvvetlerin ulaşacağı seviye ile birlikte o yük seviyelerindeki yer değiştirmeler belirlenmiştir. Belirlenen parametrelere göre laboratuvaradaki uygun hidrolik presler belirlenmiş ve yük aktarma düzenekleri bunlara göre şekillendirilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında uygulanacak yükleme protokolü “FEMA” bu analiz çalışması sonucu elemanın aktığı yükün ve deplasmanın belirlenmesinde önem arz etmektedir.



Şekil 38. Perde Elemanın Pushover Analizi ile Kuvvet-Deplasman Grafiği

2.7. Numunelerin Deneye Hazırlanması Aşaması

Çalışmamızda aynı mekanik özelliklere sahip 3 adet 25 x 140 x 240 cm ölçülerinde betonarme perde üretilmiştir. Referans numunesi P1-REF-C12 olarak isimlendirilmiştir. Bu numune üzerinde hiçbir güçlendirme uygulaması yapılmamıştır. Diğer numuneler ise 10 cm aralıklarla Carbon Fiber Reinforcement Rope (CFRP) demetler ile güçlendirmiş numuneyi temsilen P6-RET-R10-C12 olarak isimlendirilmiştir. 20 cm aralıklarla CFRP Rope kullanılarak güçlendirilmiş numune ise P2-RET-R20-C12 şeklinde isimlendirildi. Bu bölümde numunelerin hazırlanması ve CFRP demetlerinin epoksi reçine kullanılarak güçlendirilmesine değinilmiştir.

Referans P1-REF-C12 isimli numune üzerine oluşacak çatlakların daha net görünebilmesi için beyaz renk boya yapılmıştır. Boyanın kuruması beklendikten sonra, numune üzerine Şekil 39'de ki gibi $h=20$ cm olmak üzere; yatayda 0.5h-h-1.5h-2h-3h-4h ve 5h ile düşeyde ise 140 cm eşit 5 çizgi ile sektörler oluşturulmuştur.



Şekil 39. P1-REF-C12 Numune Görünümü

P6-RET-R10-C12 ve P2-RET-R20-C12 numunelerin hazırlanması aşamasında ilk önce mevcut perde duvar üzerinde donatı okuması yaptırılmış ve başlık oluşturulması delici matkap ile çalışma yaparken donatılara zarar verilmesinin önüne geçilmiştir.

Akabinde numunelerin temel üst kotundan itibaren 10 cm ve 20 cm yüksekliklere denk gelecek şekilde ve 50 cm (TBDY 2018 7.6.5.2 uyarınca kritik perde yüksekliğine uygun) genişliğinde çizimler yapılmıştır. Bu çizimlere göre perdelerimizin kısa kenarından delici matkap yardımı ile karşılıklı delikler açılmıştır. Açılan deliklere ve çizimlere uygun olarak, betonarme perdemiz üzerinde CFRP demetlerin montajını sağlamak için 15 mm derinlik ve kalınlıkta kanal açılmıştır. Kanal açımı sırasında boyuna donatıların pas payları alınmamış olup, hava ve iklim şartlarına teması engellenecek kadar beton payı bırakılmıştır arada. Açılan kanallarda oluşan toz kompresör yardımı ile temizlenmiş ve daha sonra su ile yıkanarak numune CFRP demetlerin montajına hazır hale getirilmiştir. CFRP demet montajı öncesi yapılan uygulamalar aşağıdaki fotoğraflarla gösterilmiştir. Şekil 40.



Şekil 40. CFRP Demet Uygulama Hazırlığı Görünümü

P6-RET-R10-C12 ve P2-RET-R20-C12 isimli numuneleri CFRP demetler 160 cm uzunluğunda kesilerek hazırlanmıştır. Montaj için tedarik edilmiş A baz epoksi ve B baz sertleştirici kimyasal olan çift komponentli epoksi karışımımız, A bazdan 1 birim ve B bazdan 0.5 birim oranına göre homojen karıştırılıp hazırlanmıştır. Hazırlanan epoksi karışımı kanallara fırça yardımı ile sürüldükten sonra Şekil 41’te görüneceği üzere, perde duvarımızda başlık oluşturması açısından tam sarılımı sağlayarak yapıştırılmıştır. 10 cm ve 20 cm aralıklı iki ayrı numune için işlemler aynı titizlikle sürdürülüp numuneler epoksi karışımının ve CFRP demetlerinin, betonarme perdesi üzerindeki kanallara tam olarak aderans sağlaması açısından, priz alması sağlanmıştır.



Şekil 41. CFRP Rope Uygulama Görünümü

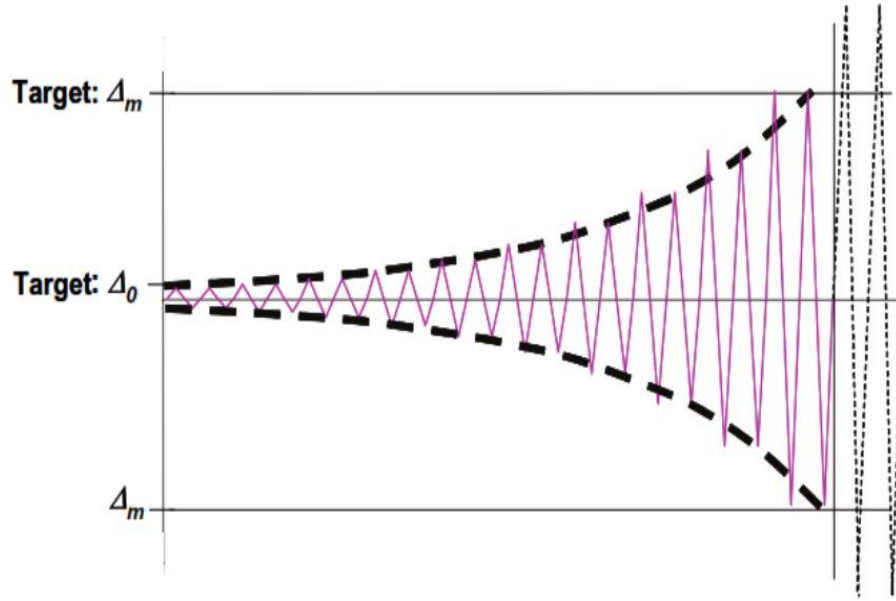
2.8. FEMA Yükleme Protokolü Tanımlama Aşaması

FEMA 461 (FEMA 2007) protokolü [61], genel olarak yapısal elemanların test edilmesinde kullanılan bir protokoldür. FEMA 461 kapsamında iki farklı yükleme protokolü bulunmaktadır: Protokol I ve Protokol II. Bunlardan Protokol I, yarı-durağan yükleme testini (quasi-static loading test), Protokol II ise sarsma tablası testini (shake table test) kapsar.

Bu çalışma kapsamında yükleme quasi-static loading niteliğinde olduğu için Protokol I adımları tercih edilmiştir. Protokol I altında üç farklı yükleme yöntemi tanımlanmıştır: tek yönlü (unidirectional) test, iki yönlü (bidirectional) test ve kuvvet kontrollü (force-controlled) test. Tek yönlü test, yalnızca bir numune ile deney yapılacaksa, uygun bir döngüsel yükleme sürecinin nasıl uygulanması gerektiğini tarif eder. Bu yüklemede referans alınması gereken iki değer Δ_0 ve Δ_m 'dir. [61, 62].

Δ_0 , yükleme geçmişinin hedeflenen en küçük deformasyon genliğidir. Bu değer, gözlenen en düşük hasar seviyesinin güvenli bir şekilde altında olmalıdır. Deneyde, en düşük hasar oluşana kadar en az 6 döngü gerçekleştirilmelidir. Eğer bu ilk hasar seviyesi için veri mevcut değilse, önerilen Δ_0 değeri yaklaşık 0,0015'tir. (Δ_0 , kat ötelenme oranı cinsinden δ/h olarak ifade edilir.)

Δ_m , yükleme geçmişinin hedeflenen en büyük deformasyon genliğidir. Bu değer, deney öncesinde yapılacak monotonik deneyler yardımıyla belirlenmelidir. Eğer en büyük hasar, hedeflenen Δ_m 'den daha düşük bir deformasyonda oluşuyorsa, bu durumda numunenin tüm yükleme geçmişi boyunca gerçek hasarın başlangıcıyla kıyaslanabilir olup olmadığına karar verilmelidir. Eğer en şiddetli hasar Δ_m seviyesinde henüz ortaya çıkmamışsa, yükleme, genlikte %30 ($0,3\Delta$) artışlarla sürdürülmelidir. Bu durumda, deney verisi yetersizse önerilen artış değeri 0,03'tür (yine δ/h olarak). Yükleme geçmişi, Şekil 40'da gösterildiği gibi, aşamalı olarak artan deformasyon genliklerinde tekrarlanan döngülerden oluşur. Her bir genlik düzeyinde iki döngü uygulanmalıdır.



Şekil 42. Kullanılan Yükleme Geçmişinin Kavramsal Diyagramı [61-62]

Yükleme, $a_1 = 0,0048\Delta_m$ değeri ile başlamalıdır. Diğer bir ifadeyle, a_i döngü genliğini ifade eder; ilk genlik a_1 , hedef genlik Δ 'ye eşit ya da çok yakın, son genlik an ise Δ_m 'ye eşit ya da ona çok yakın olmalıdır. FEMA 461 kapsamında yer alan bağıl yükleme geçmişine ait yer değiştirme genlikleri Tablo 10'de verilmiştir. $a_1 = 0,0048\Delta_m$ için yükleme geçmişine ilişkin grafik ise Şekil 42'de sunulmaktadır.

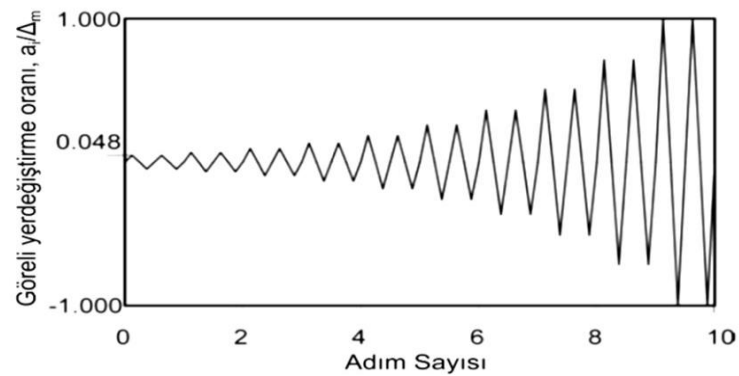
Tablo 10. Bağıl Yükleme Geçmişi Yer Değiştirme Genlikleri [61-62]

n	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
a_k/a_n	0.018	0.025	0.035	0.048	0.068	0.095	0.133	0.186	0.260	0.364	0.510	0.714	1.000

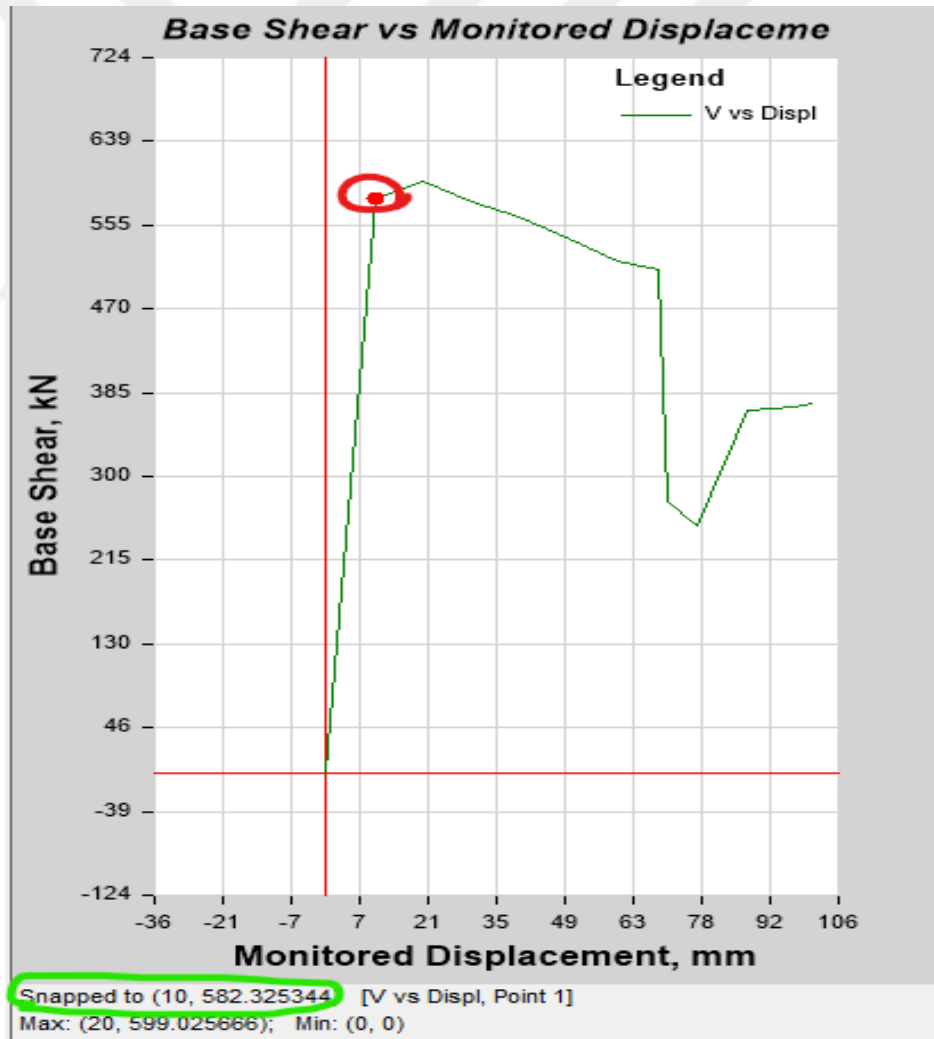
Genlik artışları, bir önceki genliğin 1,4 katı olacak şekilde yapılmalıdır. Bu yöntemle yükleme gerçekleştirildiğinde, artış sayısını temsil eden n değeri 10'dan büyük olmalıdır. Her genlik seviyesinde iki döngü yapılacağı için toplam döngü sayısı en az 20 olmalıdır. Deney, mümkün olduğunca en şiddetli hasar durumuna ulaşana kadar sürdürülmelidir. Ancak, deney düzeneğindeki cihazların kapasitesi aşılmaya başladığında ya da numune, performansına dair bilgi elde edilemeyecek düzeyde bozulduğunda deney sonlandırılmalıdır.

FEMA 461 kapsamında açıklandığı şekilde başlangıç için bir protokolün belirlenmesi adına test numunesi üretilmemiş, bunun yerine numerik analiz modeli oluşturulmuştur. ETABS programında perde elemanın modellenmesi sonucunda model üzerinde artımsal itme analizi yapılarak perdenin akma yer değiştirmesi tespit edilmiştir.

Şekil 44’de verilen grafikte perde elemanın olası ilk çatlak oluşması beklenen yer değiştirme değeri 10.58 mm olarak belirlenmiştir.

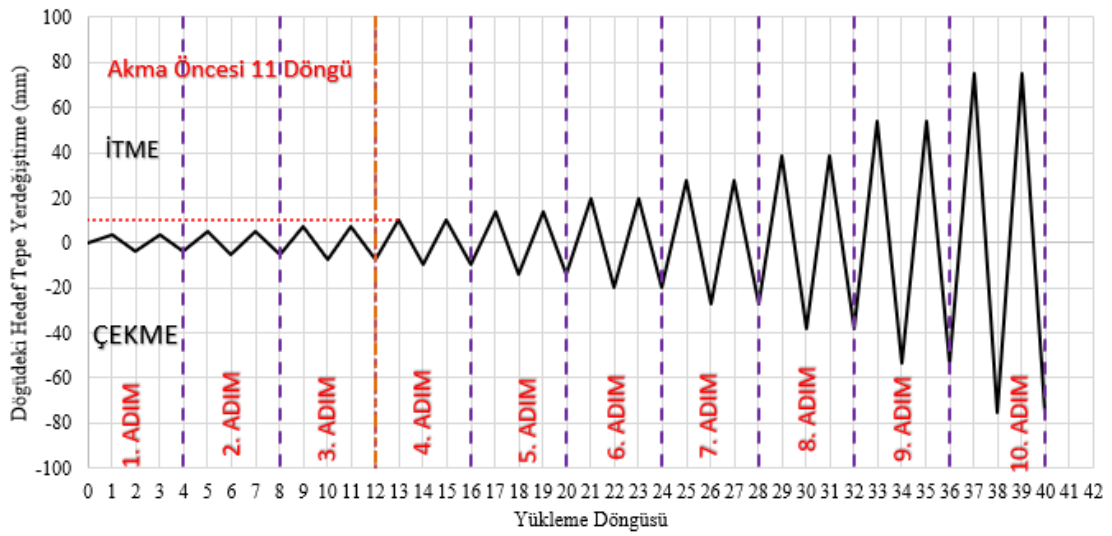


Şekil 43. Yükleme Protokolü [11]



Şekil 44. ETABS Programında Oluşturulan Perdenin Pushover Eğrisi ve Akma Yer Değiştirme Değeri

Bu değer perde üst noktasının yer değiştirme değeridir. Deney düzeneğinde ölçüm noktasının en üst noktadan 15 cm altında olduğu düşünülerek ölçüm noktasındaki yer değiştirme yaklaşık bir oranda ve Δ_0 değeri 0,00152 alınarak akma tepe yer değiştirmesi değeri 10.01 mm belirlenmiştir. Protokol gereği bu değer öncesinde 6 döngü yapılması sağlanmıştır ve yükleme protokolüne ait her bir adımdaki hedef deplasman değerleri belirlenmiştir. Deneyde kullanılan yükleme protokolü değerleri Şekil 45’de verilmiştir. Çalışma kapsamında nihai yük-deplasman kapasitelerini 2. döngülerde elde edilen değerler kabulü yapılarak sürdürülmüştür.



Şekil 45. Deneyde Kullanılan Yükleme Protokolü

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA AŞAMASI VE ANALİZİ

3.1. Deney Prosedürü Uygulama Bilgileri

Deney öncesinde ETABS sonlu elemanlar programı ile yapılan Pushover analizinden elde edilen verilere dayanılarak, deneyde kullanılacak örneklerin mekanik ve fiziksel özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu bölümde ise, deney sırasında elde edilen veriler kullanılarak, örneklerin tekrarlayan yatay ve düşey kuvvetler altındaki davranışları incelenmiştir. Biri referans numunesi 10 cm aralıklarla perde başlık bölgesi oluşturulmuş ikinci numune ve 20 cm aralıklarla perde başlığı oluşturulmuş toplam üç numunenin de yapısal özellikleri birebir aynıdır. Sadece belirtildiği üzere perde başlığı güçlendirme aralıkları farklılık göstermektedir.

Deneylerde, numunelere döngü boyunca önceden belirlenen yatay yer değiştirme hedefine ulaşmaya kadar yatay yük uygulanmıştır. Yatay yükleme işlemi, her bir yer değiştirme hedefi için tek bir piston aracılığıyla itme ve çekme kuvvetleri uygulayarak gerçekleştirilmiştir. İtme ve çekme kuvvetlerinin ardışık uygulanmasının ardından, numuneden yatay yükün kaldırıldığı an tam bir döngü olarak tanımlanmaktadır. Her döngü için bir adım tanımı yapılmıştır. Her bir adım için ardışık sayı verilmiştir. Deneyler, başlangıç aşamasında yük kontrolü altında başlatılmış ve hedeflenen yer değiştirme değerine ulaşana kadar kesintisiz devam ettirilmiştir. Ulaşılması gereken hedef yatay yer değiştirme değerine ulaşılmasına müteakip, numunenin yüklenmesi durdurulmuş ve oluşan hasar ile davranış özellikleri sürekli bir şekilde gözlemlenerek kayıt altına alınmıştır.

Deney sırasında kaydedilen veriler, yatay ve düşey yüklemeler için “kN” ve yer değiştirmeler için “mm” birimleri cinsinden kayıt altına alınmıştır. Numunelere ait yatay yük – yer değiştirme eğrileri, elde edilen orijinal veriler SI birim sistemine uygun olarak değerlendirilmiş ve tüm test elemanları için histerezis eğrileri oluşturulmuştur.

3.2. Deney Prosedürü Açıklaması

Numunelerin deney sırasında yatay yüklemeye bağlı yer değiştirmesinin gösterimi olan histerezis eğrisi, 125 ms (1/8) aralıklarla alınan veriler yardımı ile tam zamanlı olarak elde edilmiştir. Histerezis eğrisi, deneyin başladığı andan bittiği zamana

kadar kesintisiz kayıt almıştır. Deney bitişinde oluşturulmuş olan histerezis eğrisi numunelerin davranışına ve kıyaslanmasına imkan sağlamaktadır. Daha önce numunelerin dört farklı yüzeyi için verilmiş olan isimlendirmeden bahsedilmiştir. Deney numunelerinin deney anında çekim yapan kameramıza yakın uzun kenarı için “B”, simetrik uzun kenarı için “A”, yükleme duvarına sabitlenmiş hidrolik ile yatay yük uyguladığımız kısa kenar için “C”; LVDT saatlerini sabitlediğimiz kısa kenar için ise “D” harfi ile kodlama yapılmıştır. D isimli kenarda temel üzerinden 60 cm, 120 cm, 180 cm ve 240 cm yüksekliklerinde LVDT saatler yerleştirilerek hedeflenen deplasmanlara ulaşınca kadar veri alınması sağlanmıştır. 240 cm yüksekliğine sabitlenen LVDT deplasman okuma saati histerezis eğrimizin çizimine referans olan saatimizdir. Temelde oluşması muhtemel yer değiştirmeleri ölçümlemek adına da bir adet LVDT saat temel betonu dik olmak üzerine bağlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen veriler; hasar oluşması durumu ve bölgeleri, deney sonucu çizilmiş olan histerezis eğrisi her numune için ayrıca ve adım adım olmak üzere tablo halinde aşağıda sunulacaktır. Bu tablolar ışığında numunelerin; enerji yutma kapasiteleri, süneklik, rijitlik ve zarf eğrileri gibi yapısal davranışları hakkında mukayeseli olarak yorum yapmaya yardımcı olacaktır.

Deney adımları sırasında perde yüzeylerinde oluşan hasarlar her adım bitiminde detaylı olarak incelenmiştir. Adım numarasına göre itme sırasında oluşan çatlaklar “MAVİ” renkli kalem, çekme sırasında oluşan çatlaklar ise “KIRMIZI” renkli kalem ile perde yüzeylerine çatlak boyunca çizilmiştir. Çatlağın bittim noktasında çatlağa dik küçük bir çizgi çekilip üzerine adım numarası yine aynı renk kodlu kalemler ile işaretlenmiştir.

3.3. Deney Numuneleri Sonuçları

3.3.1. P1-REF-C12 Numunesi Deney Sonuçları

Deney başlangıcı olan ilk numunemiz, güçlendirilme yapılmamış C12/14 beton ve başlık bölgesi oluşturulmadan imal edilmiş referans numunesidir. Numunenin, planda üst görünüşü olan alanına sabitlenmiş piston ile sabit eksenel yük yükleme yapılmış ve düşeyde kısa kenarı olan “C” yüzeyinin 200 cm – 240 cm aralıklarına sabitlenmiş piston ile çevrimsel artan ve/veya azalan yatay yükleme yapılmaya başlanmıştır. Numune FEMA yükleme protokolüne göre istenilen itme ve çekme deplasmanlarına giderken, kısa ve uzun kenarlarda çatlaklar gözlemlenmeye başlamıştır. Bu çatlaklar genelde itme ve çekme kuvvetlerinden kaynaklanan kesme çatlağı türüdür. Ayrıca kısa kenarlarda da

perdeye etkileyen yüklerden dolayı yatay ve düşey donatıların perde içerisindeki çekme ve basınç hareketinden kaynaklanan düşey çatlaklar gözlemlenmiştir. Donatıların perde içerisinde karşılaşmış olduğu kuvvetlerden dolayı paspaylarında dökülmeler, donatılarda burulmalar ve son olarak başlık bölgesinden başlayarak boyuna donatıların koptuğu izlenmektedir.

P1-Ref-C12 numunesi, deney başlangıcında 325 kN eksenel yüklenmiş halde iken yatay yüklemeler tersinir şekilde sırası ile itme ve çekme olarak istenilen hedef deplasmanlara gidilmiştir. Bu çevrimsel yüklemeler altında 3.65 mm, 5.11 mm ve 7.15 mm itme ve çekme döngüleri olmak üzere ilk 6 adım tamamlanmıştır. Bu adımların bitimi sonrası yapılan kontrollerde, yüzeylerin hiçbirinde çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk 6 adım içerisinde eksenel yük maksimum; çekmede (399kN), itmede (435kN) ve yatay yük maksimum; çekmede (-152 kN), itmede (157.5 kN) olarak kayıt altına alınmıştır.

7. adımda ilk çatlak izlenmiş ve bu adımdan sonra perde yüzeylerinde oluşan deformasyonlar aşağıda her adım ayrı ayrı olmak üzere tablo halinde açıklanmıştır.

Tablo 11. P1-Ref-C12 Deney Sonuçları Çatlak Gelişim Tablosu

7. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	10.01	
	Yatay Yük		kN	191.2	
	Eksenel Yük		kN	389	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut(cm)	Açıklama
	A	1.5h-3h	Kesme	50	İlk çatlak oluşumu
	B	1.5h-3h	Kesme	50	İlk çatlak oluşumu
	C	2h-3h	Kesme	25	İlk çatlak oluşumu
	D	-	-		
	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
7. DÖNGÜ ÇEKME	Hedef Deplasman		mm	-10.1	
	Yatay Yük		kN	-195.1	
	Eksenel Yük		kN	459	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	3h	Yatay	30	Yeni çatlak oluştu.
	B	1.5h	Yatay	10	Yeni çatlak oluştu.
	C				
	D	1.5h	Kesme	20	Yeni çatlak oluştu.

8. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	10.01	
	Yatay Yük		kN	178.5	
	Eksenel Yük		kN	391	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B	4h itme böl.	kesme	25	Yeni çatlak oluşumu
	C	4h itme böl.	yatay	20	Yeni çatlak oluşumu
	D				
8. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-10.01	
	Yatay Yük		kN	-181.2	
	Eksenel Yük		kN	454	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B	2h	Kesme	25	Yeni çatlak oluştu.
	C				
	D				

9. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	14.01	
	Yatay Yük		kN	222	
	Eksenel Yük		kN	413	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	4h tan 3h a	Yatay	60	İlerleyen çatlak
		1.h ten 0.5h a	Yatay	20	Yeni çatlak
		7. çatlak	kesme		İlerleyen çatlak
	B	4h tan 3h a	Kesme	30	Yeni çatlak
		3h tan 2h a	Yatay	30	Yeni çatlak
		1.5h -7. çatlak	kesme		İlerleyen çatlak
	C	5h -4h	Kesme	Kılcal	Kılcal kesme
	D				
9. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-14.01	
	Yatay Yük		kN	-245.5	
	Eksenel Yük		kN	481	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0.5h-3h	Kesme	30	Yeni çatlak oluştu.
	B	2h	Kesme	25	İlerleyen çatlak
	C				
	D	0.5h-3h	Kesme	60	Yatay çatlak oluştu.

10. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	14.01	
	Yatay Yük		kN	204.5	
	Eksenel Yük		kN	401	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h bölgesi	Kesme	20	Yeni çatlak
		9. çatlak	Kesme	15	9. çatlak ilerledi
	B				
	C				
	D				
10. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-14.01	
	Yatay Yük		kN	-234.4	
	Eksenel Yük		kN	476	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	3h-2h	Kesme	30	9. çatlak ilerledi.
	B	3h	Kesme	20	Yatay çatlak oluştu.
	C				
	D				

11. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	19.62	
	Yatay Yük		kN	241	
	Eksenel Yük		kN	395	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h	Kesme	35	10. çatlak ilerledi
		1.5h	kesme	15	10. çatlak ilerledi
	B	5h-4h	Kesme	35	9. çatlak ilerledi
		3h-2h	kesme	30	9. çatlak ilerledi
	C	5h	yatay	15	Yeni çatlak
	D				
11. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-19.62	
	Yatay Yük		kN	-275	
	Eksenel Yük		kN	464	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-4h	Kesme	90	5h'tan 3h'a yayılarak ilerleyen çatlak oluştu.
		4h-3h			
	B	5h-4h	Kesme	70	Çatlaklar ilerledi. Yeni dağılan çatlak oluştu.
		4h-3h	Kesme	90	
		1.5h-1h	Kesme	20	
	C				
	D	5h	Yatay	20	Yeni çatlak oluştu.

12. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	19.62	
	Yatay Yük		kN	222.4	
	Eksenel Yük		kN	373	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	4h	Kesme	15	Yeni çatlak
		0.5h-1h	Kesme	25	İlerleyen çatlak
	B	5h-4h	Kesme	10	İlerleyen çatlak
		11. no çatlak-4h	Kesme	30	Yatay çatlak
	C				Temelde ayrılma başladı
	D				
12. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-19.62	
	Yatay Yük		kN	-266	
	Eksenel Yük		kN	368	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-4h	Kesme	30	Yeni çatlak oluştu.
		4h	Kesme	20	11. çatlak genişledi.
		4h	Kesme	10	
	B	5h-4h	Kesme	30	Yeni çatlak oluşumu.
		4h	Kesme	30	11. çatlak ilerledi
		1h	Kesme	15	Düşey yeni çatlak.
	C				
	D	5h	Kesme	-	Düşey çatlak oluştu. Temel ile perde ayrılma başladı.

13. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	27.47	
	Yatay Yük		kN	230	
	Eksenel Yük		kN	275	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-4h	Kesme	80	İlerleyen çatlak
		5h	Yatay	10	İlerleyen çatlak
		3h-2h	Kesme	25	İlerleyen çatlak
		1h-0.5h	Kesme	15	İlerleyen çatlak
		4h	Yatay	5	İlerleyen çatlak
	B	5h-4h	Kesme	60	İlerleyen çatlak
		4h-3h	Kesme	30	İlerleyen çatlak
		2h-1.5h	Kesme	10	İlerleyen çatlak
					Temelde ayrılma belirgin
	C				
	D	1.5h	Yatay	20	Paspayı dökülmesi başladı. Düşey donatı burkulması başladı
13. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-27.47	
	Yatay Yük		kN	-276	
	Eksenel Yük		kN	355	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h	Kesme	30	Yeni çatlak oluştu
		4h-11. Çatlak	Kesme	20	11. ilerledi 12. Oldu
		4h	Kesme	10	Yeni çatlak oluştu.
	B	5h	Kesme	30	Yeni çatlak oluştu
		4h-11. çatlak	Kesme	30	11. ilerledi 12 oldu
		1h	Kesme	-	Düşey çatlak oluştu
	C	0.5h	Ezilme	-	Ezilme başladı
	D	5h	Kesme		Yeni çatlak oluştu

14. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	27.4	
	Yatay Yük		kN	181.7	
	Eksenel Yük		kN	173	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B				
	C	0.5h	Dökülme	-	Paspayı dökülmesi başladı. Perde ile temel ayrılması arttı.
	D	2h	Dökülme	-	Paspayı dökülmesi 2h seviyesine ilerledi. Donatı burkulması belirginleşti.
		4h	Kesme	40	
14. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-27.4	
	Yatay Yük		kN	-227	
	Eksenel Yük		kN	267	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B	4h-3h	Kesme	30	İlerleyen çatlak
		4h	Kesme	10	Yeni çatlak oluştu
		2h-0h	Dökülme	-	Paspayı döküldü
	C	0.5h-1h	Dökülme	-	Paspayı döküldü
	D	0.5h-1h	Ayrılma	-	Temel ayrılma başladı.

15. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	38.45	
	Yatay Yük		kN	220.8	
	Eksenel Yük		kN	217	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0.5h-2h	Yatay	-	Köşe noktalardan paspayı döküldü.
	B	4h-3h-2h-1h	Kesme	15-15-35	İlerleyen ve büyüyen çatlaklar izlendi
	C	0.5h-1.5h	Dökülme	-	Paspayı tamamen döküldü.
	D	5h	Kesme	100	Düşey çatlak oluştu.
15. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-38.45	
	Yatay Yük		kN	-239.9	
	Eksenel Yük		kN	240	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0.5h	Dökülme	-	Paspayı dökülme
	B	4h-3h	Kesme	-	Düşey çatlak oluştu
		2h	Kesme	-	Paspayı döküldü.
	C	1h	Dökülme	-	Paspayı dökülme.
					Temelde ayrılma
	D	0h	-	-	Donatı burkulma
					Temelde ayrılma
					Genişlediği görüldü

16. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	38.45	
	Yatay Yük		kN	179.4	
	Eksenel Yük		kN	122	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-üzeri	Kesme	10	Düşey yeni çatlak
	B				
	C	0.5h-1h	Dökülme	-	Paspayı döküldü. Donatı görünüyor. Temel ve perde ayrılma mesafesi 2cm'yi geçti.
	D	5h-1h	Düşey	-	Dökülen paspayı 5h'a kadar çatlak geliştirdi. Çatlak genişledi.
	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
16. DÖNGÜ ÇEKME	Hedef Deplasman		mm	-38.45	
	Yatay Yük		kN	-227	
	Eksenel Yük		kN	225	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1h	Dökülme	-	Paspayı dökülme iler.
	B	4h-3h	Kesme	30	İlerleyen çatlak
		3h-Dköşesi	Kesme	-	Paspayı dökülme
	C	1h	Dökülme	-	Paspayı dökülme
	D	1h	-	-	Temel ayrıldı

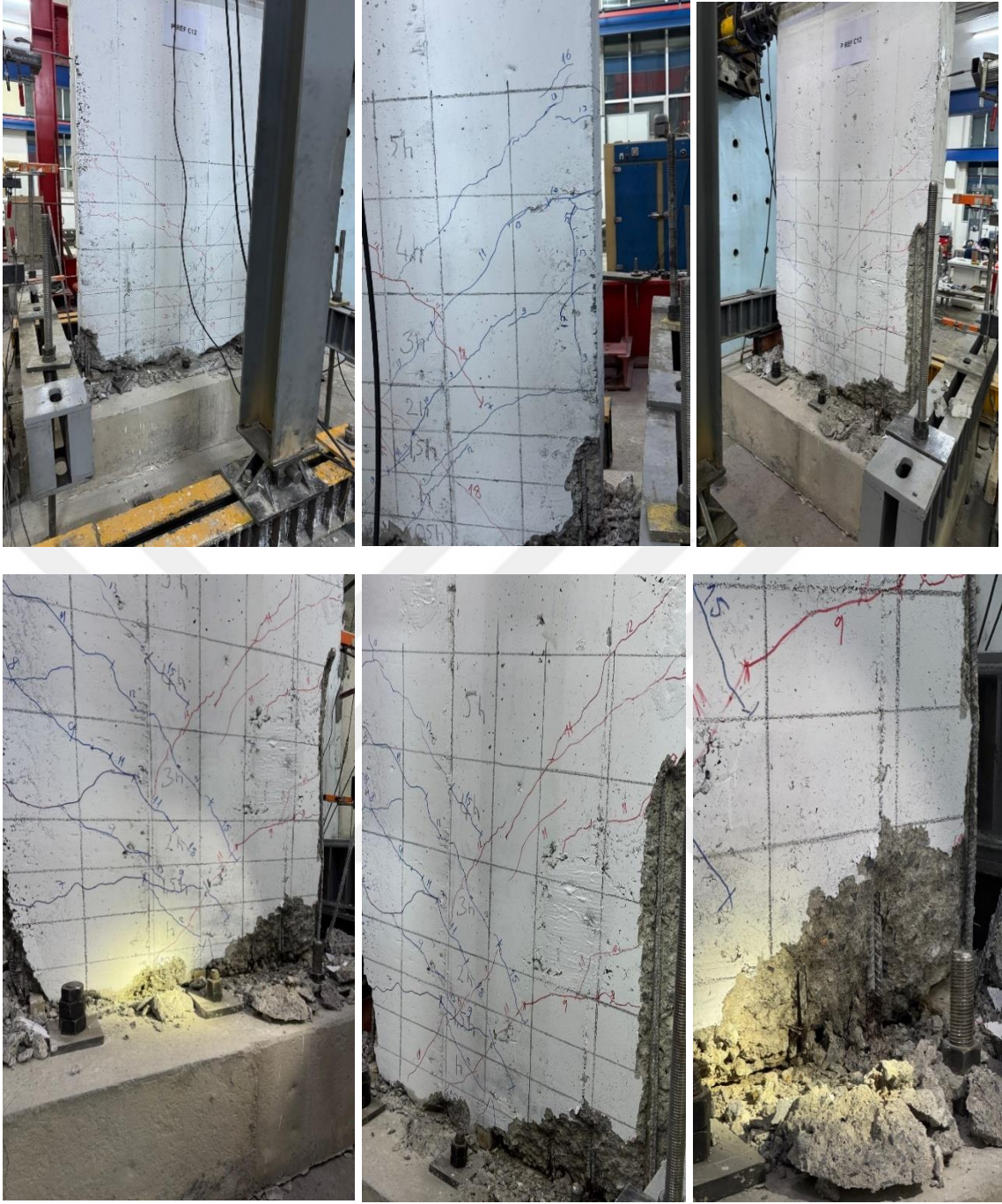
18. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	53.84	
	Yatay Yük		kN	171.5	
	Eksenel Yük		kN	95	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				Tüm yüzeylerde 0h-2h arası kabuk döküldü.
	B				Donatılar belirgin
	C	0-2h	Dökülme	-	görünüyor. C-D bölgesi
	D				donatılar burkulması
					ilerledi
18. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-53.84	
	Yatay Yük		kN	-201.8	
	Eksenel Yük		kN	95	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1.5h	Dökülme	-	Beton ayrıldı.
		3h-2h	Kesme	20	Yeni çatlak oluştu
		2h	Kesme	50	İlerleyen çatlak izlendi
	B	4h-Dköşesi	Dökülme	-	Hat boyunca paspayı döküldü.
	C	1.5h	Dökülme	-	Paspayı tamamen döküldü
		0.5h-2h	Burulma		Donatı burulması net
					görünüyor.
	D	2h	Ayrışma		Beton kabuk tamamen ayrıştığı izlendi. Donatılarda sünme oluştu

19. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	75.37	
	Yatay Yük		kN	170	
	Eksenel Yük		kN	85	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B				
	C	0h-3h	Dökülme	-	Temel ayrılması 3 cm'yi geçti. Donatılar burkuldu. Belirgin.
	D				

P1-Ref-C12 numunesi deney sonuçları itme ve çekme durumuna göre her adım için detayları ile açıklanmıştır. C ve D yüzeylerinde 0.5h ile 3h arasında tüm paspayları dökülmüştür. Başlık bölgesi donatıları tamamen burkulmuş ve donatıda boyuna akma-sünme gerçekleşmiştir. Temel ile perde ile tamamen ayrılmış, itme halinde C yüzeyi yaklaşık 4 cm mertebesinde açılmıştır.

Çekme halinde ise D yüzeyi yaklaşık 4 cm mertebesinde açıldığı gözlenmiştir. A ve B yüzeyleri, 7. Adımda ilk çatlak oluşumundan sonra her adımda hem yeni çatlaklar oluşmuş hem de daha önce oluşan çatlaklar genişleyerek devam etmiştir. Yüzeylerin köşe noktaları özelinde ve genelde tüm temel birleşim noktalarında paspayı dökülmüştür.

Tevzi donatıları da belirgin şekilde burkulmuştur. Başlık donatılarının temelden gelen filizler ile ayrılmış ve üzerindeki betondan ayrılarak kopmuştur. Şekil 45'te numunenin deney sonrası durumu görünmektedir.



Şekil 46. P1-Ref-C12 Numunesi Deney Sonrası Deformasyon Görüntüleri

3.3.2. P6-RET-R10-C12 Numunesi Deney Sonuçları

P6-RET-R10-C12 numunesi, deney başlangıcında 310 kN eksenel yüklenmiş halde iken yatay yüklemeler tersinir şekilde sırası ile itme ve çekme olarak istenilen deplasmanlara gidilmiştir. Bu çevrimsel yüklemeler altında 3.65 mm, 5.11 mm ve 7.15 mm itme ve çekme döngüleri olmak üzere ilk 6 döngü tamamlanmıştır. Bu döngülerin bitimi sonrası yapılan kontrollerde, yüzeylerin hiçbirinde çatlak oluşumu gözlenmemiştir.

İlk 6 döngü içerisinde eksenel yük maksimum; çekmede (335.3kN), itmede (309kN) ve yatay yük maksimum; çekmede (-117.8 kN), itmede (135.1 kN) olarak kayıt altına alınmıştır.

6. adımın çekme adımında ilk çatlak izlenmiş ve bu adımdan sonra perde yüzeylerinde oluşan deformasyonlar aşağıda her adım ayrı ayrı olmak üzere tablo halinde açıklanmıştır.

Tablo 12. P6-RET-R10-C12 Deney Sonuçları Çatlak Gelişim Tablosu

6. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-7.15	
	Yatay Yük		kN	-113.4	
	Eksenel Yük		kN	380.9	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B				
	C	0.5h-h	Kesme	20	Yatay çatlak oluştu.
	D	0-0.5h arası	Kesme	15	Yatay çatlak oluştu.
7. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	10.01	
	Yatay Yük		kN	164.7	
	Eksenel Yük		kN	312.8	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut(cm)	Açıklama
	A	1.5h-3h	Kesme	30	İlk çatlak oluşumu
		0-0.5h	Kesme	20	CFRP üzeri çatlak oluşumu
	B	1.5h-3h	Kesme	30	İlk çatlak oluşumu
		0-0.5h	Kesme	20	CFRP üzeri çatlak oluşumu
	C	2h-3h	Kesme	20	İlk çatlak oluşumu
	D	-	-		

7. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-10.1	
	Yatay Yük		kN	-158	
	Eksenel Yük		kN	354.86	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B	0-0.5h	Kesme	25	CFRP üzeri çatlak oluştu
	C				
8. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	10.01	
	Yatay Yük		kN	178.5	
	Eksenel Yük		kN	309.3	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B				
	C				
	D				
8. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-10.01	
	Yatay Yük		kN	-150.4	
	Eksenel Yük		kN	349	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1h	Dökülme	-	Dökülme ilerledi.
	B	4h-Dköşesi	Dökülme	-	Paspayı döküldü
	C	2h	Burulma	-	Donatı burulması arttı
	D	2h	Ayrılma	-	Temel ayrılma 3 cm

9. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	14.01	
	Yatay Yük		kN	208.8	
	Eksenel Yük		kN	334.8	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0-0.5h arası	Kesme	15	Diyagonal çatlak gelişimleri izlendi.
		2h-h arası	Kesme	20	
	B	1.5h-2h	Kesme	45	7. çatlak ilerledi
	C	0.5h-h	Kesme	10	Düşey çatlak oluştu.
	D				
9. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-14.01	
	Yatay Yük		kN	-208.04	
	Eksenel Yük		kN	380.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0-0.5h	Kesme	30	CFRP üzeri çatlak oluştu.
	B				
	C				
	D				

10. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	14.01	
	Yatay Yük		kN	195.36	
	Eksenel Yük		kN	330.38	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B	0.5h	Kesme	10	Kısa küçük çatlaklar oluştu.
		1.5h-2h arası	Kesme	20	
	C	h-1.5h arası	Kesme	15	Düşey çatlaklar oluştu.
		1.5h-2h arası	Kesme	20	CFRP üzeri çatlak oluştu.
	D				
10. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-14.01	
	Yatay Yük		kN	-196.89	
	Eksenel Yük		kN	374.36	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B				
	C				
	D				

11. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	19.62	
	Yatay Yük		kN	242.1	
	Eksenel Yük		kN	365.9	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h arası	Kesme	75	Diyagonal çatlak gelişimleri izlendi.
		3h-h arası	Kesme	80	
	B	5h-3h arası	Kesme	90	C yüzeyi istikametinden perde orta bölgesine kadar diyagonal uzun dallanmış çatlaklar
		3h-h arası	Kesme	80	
		2h	Kesme	50	
	C	2h-4h arası	Kesme	20-Oct	Yatay düşey kısa çatlaklar oluştu.
	D				
11. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-19.62	
	Yatay Yük		kN	-271.6	
	Eksenel Yük		kN	424	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h arası	Kesme	60	Diyagonal geniş uzun çatlaklar oluştu. İtme bölgesine ilerledi.
		3h-h arası	Kesme	80	
	B	4h-2h arası	Kesme	40	Diyagonal geniş uzun çatlaklar oluştu. İtme bölgesine ilerledi.
		2h-0.5h arası	Kesme	60	
	C				
	D	2h-4h arası	Kesme	25-Oct	Yatay çatlaklar oluştu.

12. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	19.62	
	Yatay Yük		kN	227.7	
	Eksenel Yük		kN	358.7	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h arası	Kesme	75	11. çatlak dallanıp uzadı. 12. Çaltak oldu.
		3h-h arası	Kesme	80	
	B				
	C	2h-4h arası	Kesme	20-Oct	Yatay düşey kısa çatlaklar genişledi.
	D				
12. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-19.62	
	Yatay Yük		kN	-239.4	
	Eksenel Yük		kN	411.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	4h-2h arası	Kesme	75-85	Diyagonal çatlak ilerledi.
		3h-h arası	Kesme	20-30	
	B				
	C				
	D				

13. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	27.47	
	Yatay Yük		kN	260.7	
	Eksenel Yük		kN	355.7	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A				
	B				
	C				
	D				
13. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-27.47	
	Yatay Yük		kN	-296	
	Eksenel Yük		kN	428.6	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h arası	Kesme	45	Diyagonal çatlak genişledi. Yeni çatlak oluştu. İtme bölgesine kadar ilerleyen çatlaklar.
		2h-h arası	Kesme	50	
	B				
	C				
	D				

14. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	27.4	
	Yatay Yük		kN	204.8	
	Eksenel Yük		kN	345.3	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-h arası	Kesme	40	13. çatlak ilerledi. Çekme bölgesine kadar uzadı.
	B				
	C				
	D				
	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
14. DÖNGÜ ÇEKME	Hedef Deplasman		mm	-27.4	
	Yatay Yük		kN	-279	
	Eksenel Yük		kN	420.3	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h	Yatay	25	Yeni çatlak oluştu. Parçalı olarak ilerledi
	B	5h-3h arası	Kesme	45	Diyagonal çatlak genişledi. Yeni çatlak oluştu. İtme bölgesine kadar ilerleyen çatlaklar.
		2h-h arası	Kesme	50	
	C				
	D				

15. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	38.45	
	Yatay Yük		kN	256.6	
	Eksenel Yük		kN	411.5	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-h arası	Kesme	40	CFRP kenarlarında kısa çatlak izlendi.
		1.5h	Kesme	20	Kısa çatlak oluştu.
		4h	Kesme	10	
	B				
	C	0.5h	Ayrılma	-	Temel ayrılma arttı.
	D				
15. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-38.45	
	Yatay Yük		kN	-313.2	
	Eksenel Yük		kN	449.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1h	Dökülme	-	Dökülme ilerledi.
	B	4h-Dköşesi	Dökülme	-	Paspayı döküldü
	C	2h	Burulma	-	Donatı burulması arttı
	D	2h	Ayrılma	-	Temel ayrılma 3 cm

16. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	38.45	
	Yatay Yük		kN	204.5	
	Eksenel Yük		kN	345.3	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	h-0,5h	Ezilme	-	Çekme bölgesi paspayı ezilmesi oluştu. Kısa çatlak oluştu.
		0.5h	Kesme	10	
	B	h-0,5h	Ezilme	40	Çekme bölgesine kadar diyagonal çatlaklar oluştu.
		1.5h	Kesme	30	
	C	4h-1.5h arası	Kesme	20-10	Muhtelif yüksekliklerde kılcal çatlaklar ilerledi.
	D	4h-1.5h arası	Kesme	20-10	Muhtelif yüksekliklerde kılcal çatlaklar ilerledi. Temelden ayrılma arttı.
16. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-38.45	
	Yatay Yük		kN	-302.9	
	Eksenel Yük		kN	452.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-3h arası	Kesme	30	Kısa kenarda ezilmeye başladı. Çatlaklar ilerledi.
		4h-5h arası	Ezilme	-	
	B				
	C				
	D	0.5h-1.5h	Ezilme	-	Paspayı dökülmesi. Donatı burulması

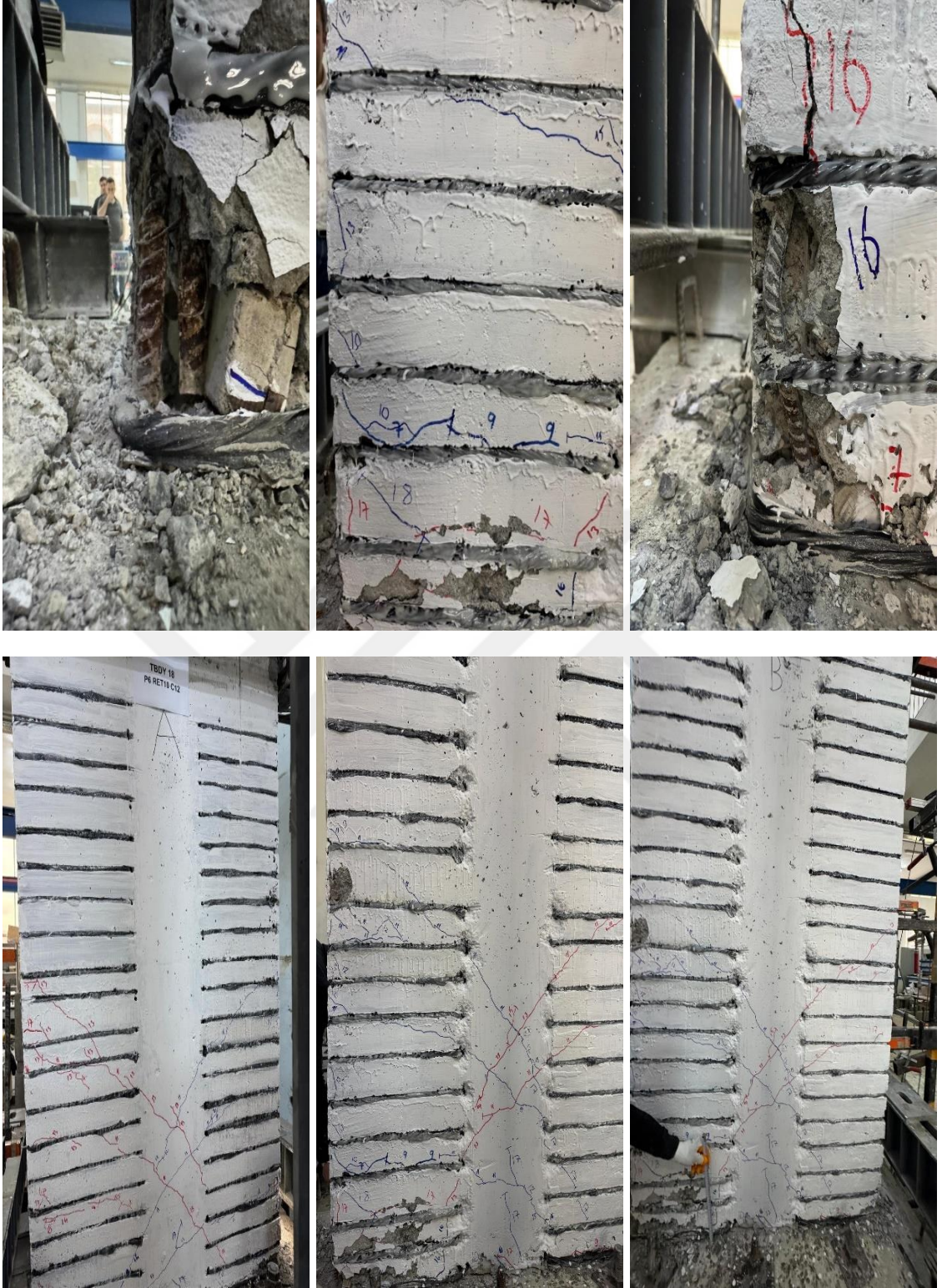
17. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	53.84	
	Yatay Yük		kN	221.9	
	Eksenel Yük		kN	440.8	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-4h arası	Kesme	-	Muhtelif ölçülerde dallanmış çatlaklar oluştu. Ezilmeye bağlı dökülme izlendi.
	B	0.5-2h arası	Kesme	-	Temel ayrılması belirgin
	C	0-0.5h	Burulma	-	1. donatı kopması görüldü
	D	0-0.5h	Burulma	-	Donatı burulması belirgin
17. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-53.84	
	Yatay Yük		kN	311.3	
	Eksenel Yük		kN	391.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-h arası	Kesme	-	Kısa çatlaklar oluştu.
		3h-1.5h arası		15	Diagonal çatlaklar genişledi.
		4h			
	B				
	C	2h-4h arası	Kesme	15-25	Kısa kenarda yatay çatlaklar izlendi.
	D	0.5h	Açılma	-	Temel ile perde açıklığı seviyesi 4 cm

18. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	53.84	
	Yatay Yük		kN	143.1	
	Eksenel Yük		kN	213	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0.5 -3h	Kopma	-	Düşey donatı koptu.
	B			-	
	C	-	Kopma	-	2. donatı koptu.
	D				
18. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-53.84	
	Yatay Yük		kN	-271.4	
	Eksenel Yük		kN	450.2	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1h	Dökülme	-	Dökülme ilerledi.
	B	1.5h	Kopma	-	CFRP sünme oluştu.
	C	0-h	Kopma	-	3. Donatı koptu.
	D	0-2h	Ayrılma	-	Temel ayrılma 5 cm
19. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	75.37	
	Yatay Yük		kN	187.5	
	Eksenel Yük		kN	342.9	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0.5 -3h	Kopma	-	Düşey donatı koptu.
	B			-	
	C	-	Kopma	-	2. donatı koptu.
	D				

P6-RET-R10-C12 numunesi deney sonuçları itme ve çekme durumuna göre her adım için detayları ile açıklanmıştır. C ve D yüzeylerinde 0.5h ile 3h arasında tüm paspayları dökülmüştür. Başlık bölgesi donatıları tamamen burulmuş ve donatılarda kopma gerçekleşmiştir. Başlık bölgesinde bulunan düşey donatılar hem C bölgesinde hem de D bölgesinden 2. Sıradaki donatı dahil kopmuştur. Temel ile perde ile tamamen ayrılmış, itme halinde C yüzeyi yaklaşık 5 cm mertebesinde açılmıştır.

Çekme halinde ise D yüzeyi yaklaşık 4.5 cm mertebesinde açıldığı gözlenmiştir. A ve B yüzeyleri, 6. Adımda ilk çatlak oluşumundan sonra her adımda hem yeni çatlaklar oluşmuş hem de daha önce oluşan çatlaklar genişleyerek devam etmiştir. Bu numunede, referans numunesine nazaran perde başlangıcından diyagonal şekilde tüm kenar boyunca çatlaklar gözlemlenmiştir. Yüzeylerin köşe noktaları özelinde ve genelde tüm temel birleşim noktalarında paspayı dökülmüştür. Tevzi donatıları da belirgin şekilde burulmuştur. Başlık donatılarının temelden gelen filizler ile ayrılmış ve üzerindeki betondan ayrılarak kopmuştur.

Başlık bölgelerinde olan donatılar ilk olarak 17. Adımda kopmuş ve sonraki 2 adımda da kopan donatılarla birlikte toplam 8 adet düşey taşıyıcı donatının koptuğu kayıt edilmiştir. Şekil 46'de bu numunenin deney sonrası durumu görünmektedir.



Şekil 47. P6-RET-R10-C12 Numunesi Deney Sonrası Deformasyon Görüntüleri

3.3.3. P2-RET-R20-C12 Numunesi Deney Sonuçları

P2-RET-R20-C12 numunesi, deney başlangıcında 300 kN eksenel yüklenmiş halde iken yatay yüklemeler tersinir şekilde sırası ile itme ve çekme olarak istenilen deplasmanlara gidilmiştir. Bu çevrimsel yüklemeler altında 3.65 mm, 5.11 mm, 7.15 mm ve 10.01 mm deplasmanlarına kadar itme ve çekme döngüleri olmak üzere ilk 8 döngü tamamlanmıştır. Bu döngülerin bitimi sonrası yapılan kontrollerde, yüzeylerin hiçbirinde çatlak oluşumu gözlenmemiştir. İlk 8 döngü içerisinde eksenel yük maksimum; çekmede (431.9kN), itmede (440.5kN) ve yatay yük maksimum; çekmede (-145.67 kN), itmede (176.9 kN) olarak kayıt altına alınmıştır.

9. adımda ilk çatlak izlenmiş ve bu adımdan sonra perde yüzeylerinde oluşan deformasyonlar aşağıda her adım ayrı ayrı olmak üzere tablo halinde açıklanmıştır.

Tablo 13. P2-RET-R20-C12 Deney Sonuçları Çatlak Gelişim Tablosu

9. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	14.01	
	Yatay Yük		kN	212.2	
	Eksenel Yük		kN	461.7	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0-0.5h arası	Kesme	15	Diyagonal çatlak gelişimleri izlendi.
		2h-h arası	Kesme	20	
	B	1.5h-2h	Kesme	45	7. çatlak ilerledi
	C	0.5h-h	Kesme	10	Düşey çatlak oluştu.
	D				
9. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-14.01	
	Yatay Yük		kN	-193.96	
	Eksenel Yük		kN	447.9	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1.5-0.5h	Kesme	45	Çatlak oluşumu yatay
	B	h-1.5h arası	Kesme	25	Çatlak oluşumu yatay
	C				
	D				

10. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	14.01	
	Yatay Yük		kN	217.14	
	Eksenel Yük		kN	438.41	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1.5h-2h arası	Kesme	60	Kılcal çatlak oluşumu
	B	0.5h	Kesme	20	Kısa küçük çatlaklar oluştu.
		1.5h-2h arası	Kesme	30	
	C	1.5h-2h arası	Kesme	20	Düşey çatlaklar oluştu. CFRP üzeri çatlak oluştu.
	D				
10. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-14.01	
	Yatay Yük		kN	-231.5	
	Eksenel Yük		kN	434.2	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	4h-2h arası	Kesme	60	Çatlak diyagonal olarak perde orta bölgesine yürüdü.
		2h-h arası	Kesme	70	
	B	4h-2h arası	Kesme	60	Çatlak diyagonal olarak perde orta bölgesine yürüdü.
		2h-h arası	Kesme	70	
	C				
	D	2h-3h arası	Kesme	25	Yatay çatlak oluşumu

11. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	19.62	
	Yatay Yük		kN	239.81	
	Eksenel Yük		kN	480.35	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h arası	Kesme	75	Diyagonal çatlak gelişimleri izlendi.
		3h-h arası	Kesme	80	
	B	5h-3h arası	Kesme	90	C yüzeyi istikametinden perde orta bölgesine kadar diyagonal uzun
		3h-h arası	Kesme	80	
		2h	Kesme	50	
	C	2h-4h arası	Kesme	20-Oct	Yatay düşey kısa çatlaklar oluştu.
	D				10. çatlak ilerledi
11. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-19.62	
	Yatay Yük		kN	-255.51	
	Eksenel Yük		kN	480.35	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	4h-2h arası	Kesme	60	Diyagonal geniş uzun çatlaklar oluştu. İtme
		2h-h arası	Kesme	80	
	B	3h-1.5h arası	Kesme	40	Diyagonal geniş uzun çatlaklar oluştu. İtme bölgesine ilerledi.
		2h-0.5h arası	Kesme	60	
	C				
	D	2h-4h arası	Kesme	25-Oct	Yatay çatlaklar oluştu

12. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	19.62	
	Yatay Yük		kN	216.9	
	Eksenel Yük		kN	408.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h arası	Kesme	40	11. çatlak dallanıp uzadı. 12. çatlak oldu.
		3h-h arası	Kesme	65	
	B	3h-0.5h arası	Kesme	45-60	Diyagonal çatlaklar oluştu.
	C	2h-4h arası	Kesme	20-Oct	Yatay düşey kısa çatlaklar genişledi.
	D				
12. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-19.62	
	Yatay Yük		kN	-250	
	Eksenel Yük		kN	403	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	4h-2h arası	Kesme	75-85	Diyagonal çatlak ilerledi.
		3h-h arası	Kesme	20-30	
	B				
	C				
	D				

13. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	27.47	
	Yatay Yük		kN	235.8	
	Eksenel Yük		kN	393	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	5h-3h arası	Kesme	20	Çatlak dallanıp uzadı
		3h-h arası	Kesme	25	
	B	2h-0.5h arası	Kesme	45-60	Diyagonal çatlaklar oluştu.
	C	2h-3h arası	Kesme	20-Oct	Yatay düşey kısa çatlaklar genişledi.
	D				
13. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-27.47	
	Yatay Yük		kN	-276.8	
	Eksenel Yük		kN	392	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-3h arası	Kesme	45	Diyagonal çatlak genişledi. Yeni çatlak oluştu. İtme bölgesine kadar ilerleyen çatlaklar
		0.5h-h arası	Kesme	50	
	B	0.5h	Ayrılma	-	İlk halat betondan ayrılmaya başladı
	C	0h	Ayrılma	-	İlk halat betondan ayrılmaya başladı
	D	0h	Ayrılma	-	İlk halat betondan ayrılmaya başladı

14. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	27.4	
	Yatay Yük		kN	211.3	
	Eksenel Yük		kN	378.3	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	3h-2h arası	Kesme	40	11. çatlak ilerledi. Çekme bölgesine kadar uzadı.
	B	3h-2h arası	Kesme	20	Perde orta bölgesinde 11. Çatlak uzadı
	C	0.5h	Kesme	10	Temel birleşimde düşey çatlak
	D	0h	Ayrılma	-	Temel ayrılma başladı
14. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-27.4	
	Yatay Yük		kN	-252.7	
	Eksenel Yük		kN	389.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	h	Yatay	15	Yeni çatlak oluştu. 11. Parçalı olarak ilerledi
	B	5h-3h arası	Kesme	45	Diyagonal çatlak genişledi. Yeni çatlak oluştu. İtme bölgesine kadar ilerleyen çatlaklar.
		2h-h arası	Kesme	50	
	C				
	D	0.5h	Dökülme	-	Paspayı ayrılmaya başladı.

15. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	38.45	
	Yatay Yük		kN	246.65	
	Eksenel Yük		kN	425	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-h arası	Kesme	40	CFRP kenarlarında kısa çatlak izlendi.
		1.5h	Kesme	20	Kısa çatlak oluştu.
		4h	Kesme	10	
	B	3h-4h arası	Kesme	15-Oct	CFRP üzeri ve kenarında çatlak
	C	0.5h	Burulma	-	Paspayı attı. Donatı burulma gözlemlendi.
	D	0h	Ayrılma	-	Temel ayrılma 1cm
15. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-38.45	
	Yatay Yük		kN	-279.8	
	Eksenel Yük		kN	386.4	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1h	Dökülme	-	Dökülme ilerledi.
	B	4h-2h	Dökülme	-	11. çatlak 14.ve 15. Olarak diyagonal uzadı
		3h-0.5h			
	C	2h	Burulma	-	Donatı burulması arttı
	D	2h	Dökülme	-	Paspayı koptu. Donatı burulma izlendi

16. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	38.45	
	Yatay Yük		kN	201.44	
	Eksenel Yük		kN	312.5	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	h-0,5h	Ezilme	-	Çekme bölgesi paspayı ezilmesi oluştu. Kısa çatlak oluştu.
		0.5h	Kesme	10	
	B	h-0,5h	Ezilme	40	Çekme bölgesine kadar diyagonal çatlaklar oluştu.
		1.5h	Kesme	30	
	C	4h-1.5h arası	Kesme	20-10	Muhtelif yüksekliklerde kılcal çatlaklar ilerledi.
	D	4h-1.5h arası	Kesme	20-10	Muhtelif yüksekliklerde kılcal çatlaklar ilerledi. Temelden ayrılma arttı.
16. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-38.45	
	Yatay Yük		kN	-244	
	Eksenel Yük		kN	351	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-3h arası	Kesme	30	Kısa kenarda ezilmeye başladı. Çatlaklar ilerledi.
		4h-5h arası	Ezilme	-	
	B				
	C				
	D	0.5h-1.5h	Ezilme	-	Paspayı dökülmesi. Donatı burulması

17. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	53.84	
	Yatay Yük		kN	255	
	Eksenel Yük		kN	442	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-4h arası	Kesme	-	Muhtelif ölçülerde dallanmış çatlaklar oluştu. Ezilmeye bağlı dökülme izlendi.
	B	0.5-2h arası	Kesme	-	Temel ayrılması belirgin
	C	0-0.5h	Burulma	-	donatı koptu
	D	0-0.5h	Burulma	-	Donatı burulması belirgin
17. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-53.84	
	Yatay Yük		kN	-211.4	
	Eksenel Yük		kN	261	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	2h-h arası	Kesme	-	Kısa çatlaklar oluştu.
		3h-1.5h arası		15	Diagonal çatlaklar genişledi.
		4h			
	B				
	C	2h-4h arası	Kesme	15-25	Kısa kenarda yatay çatlaklar izlendi.
	D	0.5h	Açılma	-	Temel ile perde açıklığı seviyesi 4 cm

18. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	53.84	
	Yatay Yük		kN	164.5	
	Eksenel Yük		kN	183	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0.5 -3h	Kopma	-	Düşey donatı koptu.
	B			-	
	C	-	Kopma	-	2. donatı koptu.
	D				
18. DÖNGÜ ÇEKME	Çekme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	-53.84	
	Yatay Yük		kN	-190	
	Eksenel Yük		kN	396.5	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	1h	Dökülme	-	Dökülme ilerledi.
	B	1.5h	Kopma	-	CFRP sünme oluştu.
	C	0-h	Kopma	-	3. Donatı koptu.
	D	0-2h	Ayrılma	-	Temel ayrılma 5 cm
19. DÖNGÜ İTME	İtme halinde hasar durum özeti tablosu				
	Hedef Deplasman		mm	75.37	
	Yatay Yük		kN	165.22	
	Eksenel Yük		kN	369.97	
	Yüzeyi	Bölge	Çatlak Tipi	Boyut	Açıklama
	A	0.5 -3h	Kopma	-	Düşey donatı koptu.
	B			-	
	C	-	Kopma	-	2. donatı koptu.
	D				

P2-RET-R20-C12 numunesi deney sonuçları itme ve çekme durumuna göre her adım için detayları ile açıklanmıştır. C ve D yüzeylerinde 0.5h ile 3h arasında tüm paspayları dökülmüştür. Başlık bölgesi donatıları tamamen burulmuş ve donatılarda kopma gerçekleşmiştir. Başlık bölgesinde bulunan düşey donatılar hem C bölgesinde hem de D bölgesinden 2. Sıradaki donatı dahil kopmuştur.

Temel ile perde ile tamamen ayrılmış, itme halinde C yüzeyi yaklaşık 5 cm mertebesinde açılmıştır. Çekme halinde ise D yüzeyi yaklaşık 4.5 cm mertebesinde açıldığı gözlenmiştir. A ve B yüzeyleri, 9. Adımda ilk çatlak oluşumundan sonra her adımda hem yeni çatlaklar oluşmuş hem de daha önce oluşan çatlaklar genişleyerek devam etmiştir. Bu numunede, referans numunesine nazaran perde başlangıcından diyagonal şekilde tüm kenar boyunca çatlaklar gözlemlenmiştir.

Yüzeylerin köşe noktaları özelinde ve genelde tüm temel birleşim noktalarında paspayı dökülmüştür. Tevzi donatıları da belirgin şekilde burulmuştur. Başlık donatılarının temelden gelen filizler ile ayrılmış ve üzerindeki betondan ayrılarak kopmuştur. Şekil 47’de bu numunemizin deney sonrası durumu görünmektedir.

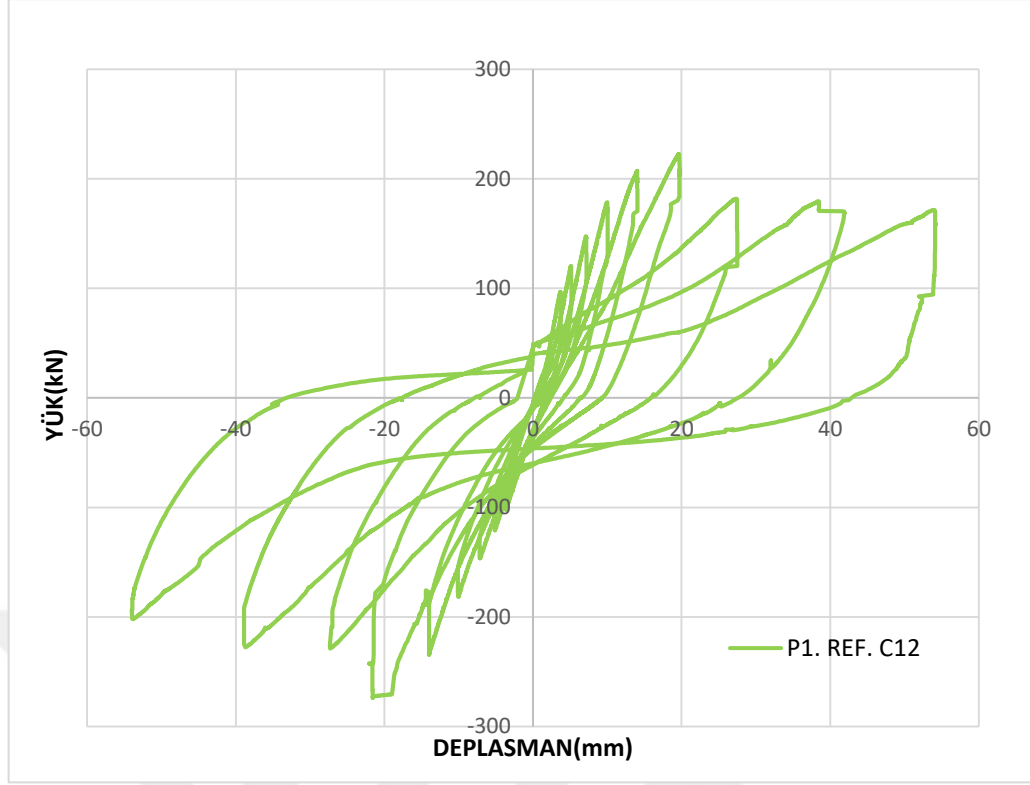


Şekil 48. P2-RET-R20-C12 Numunesi Deney Sonrası Deformasyon Görüntüleri

3.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

3.4.1. Histerezis Eğrisi, Enerji Tüketim, Zarf Eğrileri ve Tokluk Kapasiteleri

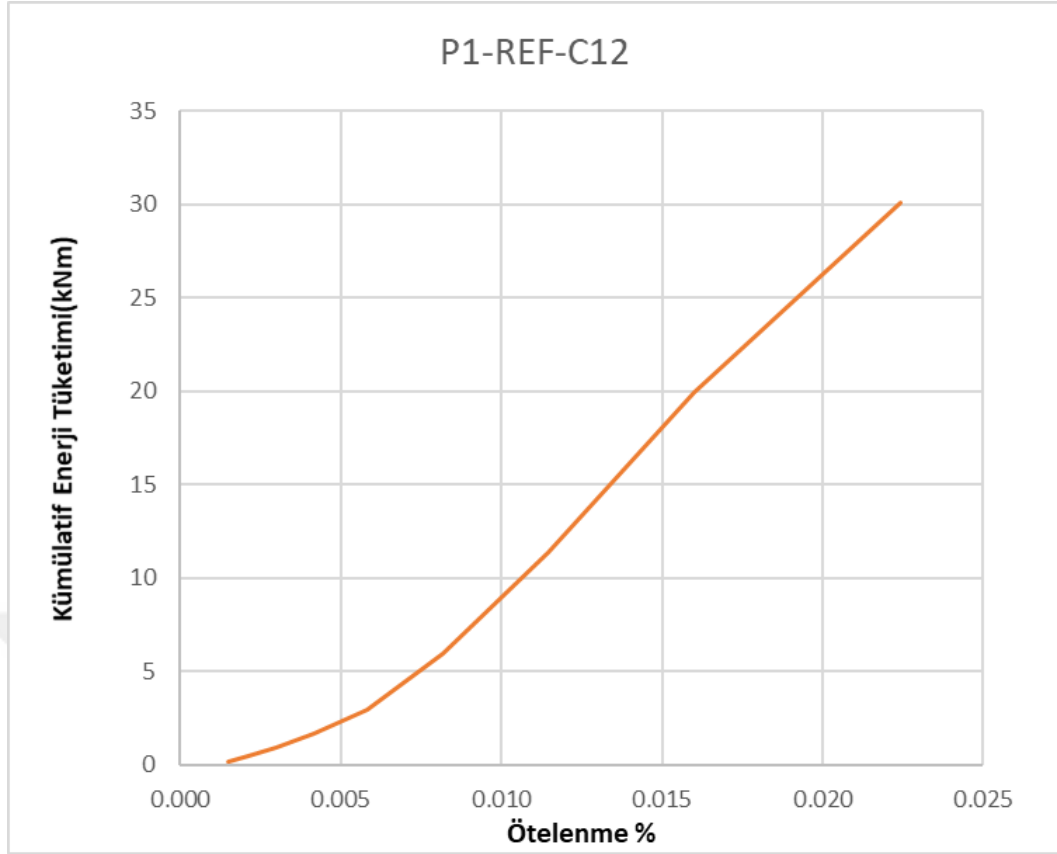
Deprem kuvvetlerinin yatay etkileri altında yapısal elemanların davranışı incelenirken histeretik davranış en belirleyici faktördür. Elemanlarının yapısal ve yanal yükler altında dayanımdaki azalma oranı, tepe yükü ve tepe yüküne karşılık gelen yatay yer değiştirme histeretik davranışla analiz edilebilir. Histeretik davranışı üç aşamada tanımlanacak olunursa; davranışın ilk bölgesini elemanın doğrusal davranış gösterdiği ve başlangıç eğiminin karakteristik davranışını belirleyici olduğu kısımdır. Doğrusal davranış gösteren çıkış eğiminde yapısal elemanda kılcal boyut seviyesinde çatlaklar oluştuğu, bu oluşan kılcal çatlakların eleman üzerinde ve içinde ilerlemediği oluşumlardır. Ancak döngülerin sürekliliği ile elemanın gösterdiği sünek veya gevrek davranışa göre yeni çatlak oluşumları meydana gelir. Bu çatlak oluşumları ile yapı elemanı içerisindeki donatılarda gerilme artarak başlangıçtaki kılcal çatlaklarda genişlemeler başlar. Çatlaklardaki açılmanın artması ile sistem lineer davranıştan çıkarak lineer olmayan davranış bölgesine geçmeye başlar. Bu tezin bir parçası olan deneysel çalışmalarda histeretik davranışın incelenmesi ve yorumlanması bakımından yapılan kabullere sırası ile bahsetmek faydalı olacaktır. Bilineceği üzere deneysel çalışmalarda tersinir artımsal itme-çekme hareketi ile histeretik davranış ile yapısal elemanın akma seviyesine kadar doğrusal davranış sergiler. Bu kısma doğrusal (lineer) bölge olarak adlandırılır. Söz konusu bölgede yapı elemanlarında kılcal çatlaklar görülebilmektedir. Bununla birlikte söz konusu kılcal çatlaklar yükleme biçimine göre çatlağın yanal oranına göre değerlendirilebilir. Lakin oluşacak bu çatlaklar sistemin taşıma kapasitesinde ciddi bir azalmaya neden olmamaktadır. Çevrimsel yükleme devam ettikçe bu çatlaklarda belirginleşme artmakta ve daha sonra çatlakların genişlikleri açılarak kalıcı hale gelmektedir. Çevrimsel yükleme histerezis davranışı ortaya koymak adına malzemeye ve/veya yapı elemanına tersinir yönlü olarak uygulanan bir kuvvet çiftidir. Bir yönde uygulanan kuvvet pozitif yükleme olarak değerlendirilirken, bu kuvvetin zıt yönünde uygulanan kuvvette de negatif yükleme olarak tanımlanabilir. Aslında bu bir çeşit sismik hareket neticesinde yapı üzerine gelen yüklerin yatay yönde yapıya uyguladıkları kuvvetlere dönüştürülmüş halidir. Uygulanan çevrimsel yükleme neticesinde oluşan bir pozitif bir de negatif yüklemenin birleştirilmesi ile “Döngü” meydana gelmektedir. Doğrusal davranışta eleman veya sistem elastik bölgede kaldığı sürece kuvvet etkidikten sonra oluşan yer değiştirme, kuvvetin boşaltılması ile tekrar eski haline dönebilmektedir.



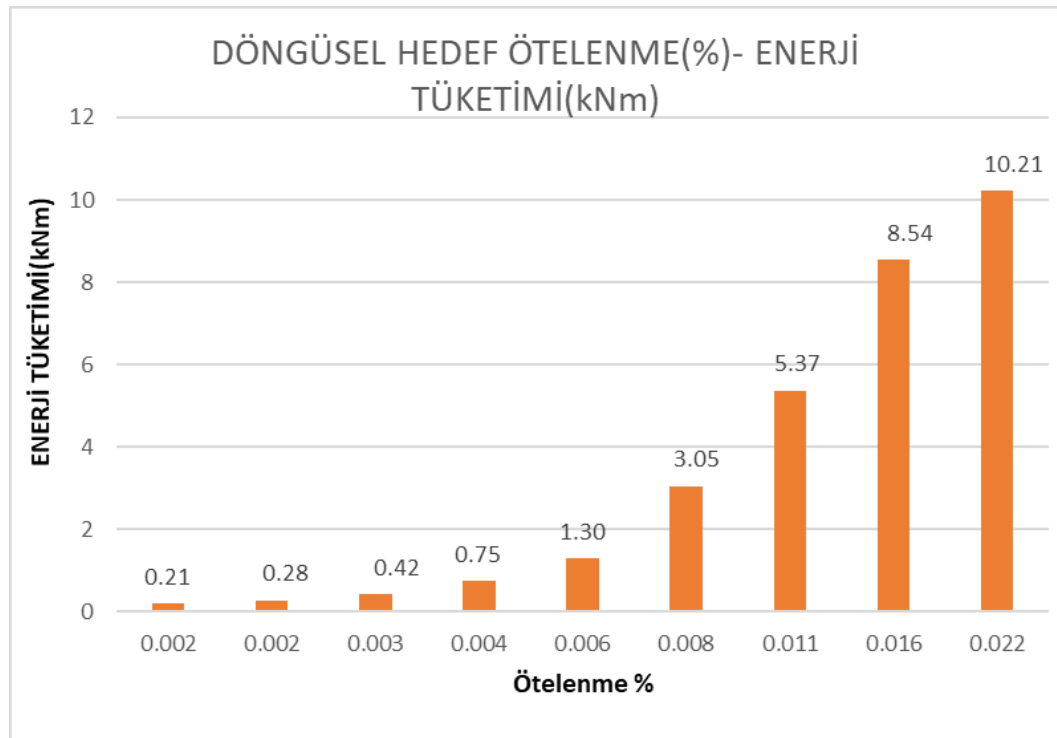
Şekil 49. P1-REF-C12 Numunesi Kuvvet- Yer değiştirme Eğrisi

Doğrusal olmayan davranışa geçilince artık deformasyonu kalıcı yer değiştirmeler görülmeye başlanmaktadır. Yapısal eleman önce elasto-plastik bölgeye ve daha sonra ki tersinir kuvvetlerden oluşan döngülerde plastik bölgeye geçiş yapmış olacaktır. Elemanın taşıma kapasitesinin maksimum seviyeye çıktığı anda histerezis eğrisini oluşturan kuvvetin de tepe noktasına ulaştığı görülecektir. Yükleme protokolünün deplasman kontrollü olmasından dolayı hedef deplasman karşılığında oluşan maksimum yatay kuvvetler tepe noktaları olacaktır. Malzemenin veya elemanın sünekliğine göre yapılacak yeni döngülerde her histerezis eğrisinin ulaştığı tepe yükü azalarak devam edecektir. Bununla birlikte yer değiştirme artmaya devam edecek ve böylece yapısal elemanın histeretik davranışı hakkında fikir sahibi olunacaktır.

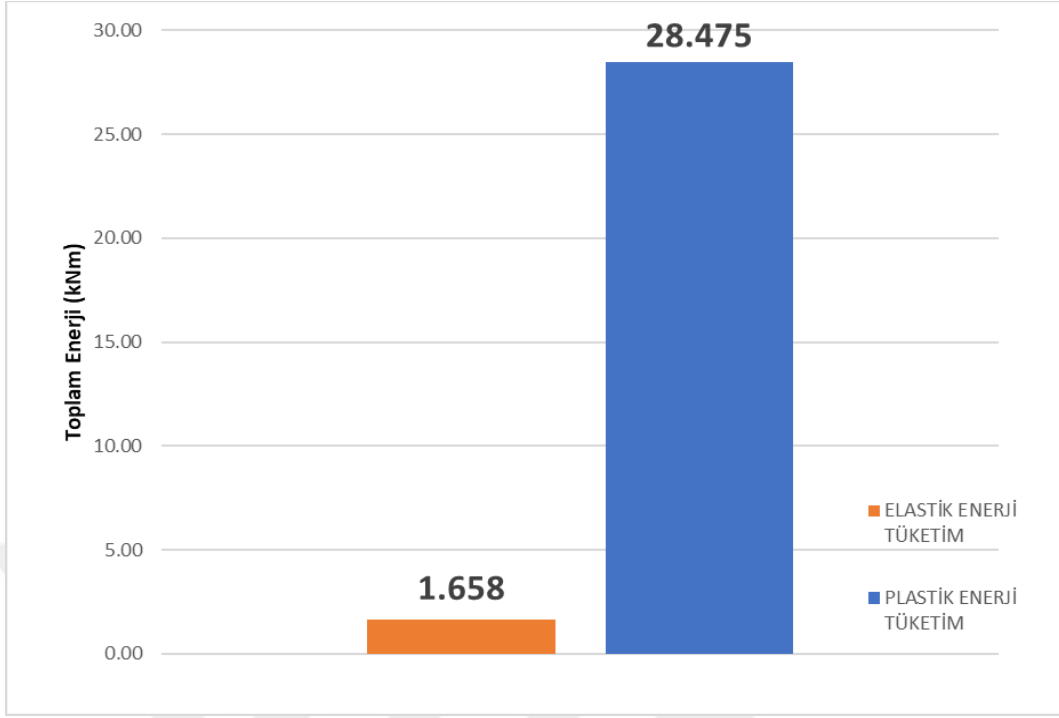
Histerezis eğrilerinin yukarıda tanımlanan elastik bölgedeki çıkış eğimi ile plastik bölgedeki geri dönüş eğimleri yapısal elemanın enerji tüketimini, dayanım kapasitesini ve sünekliğini ortaya koyduğu bilinmektedir.



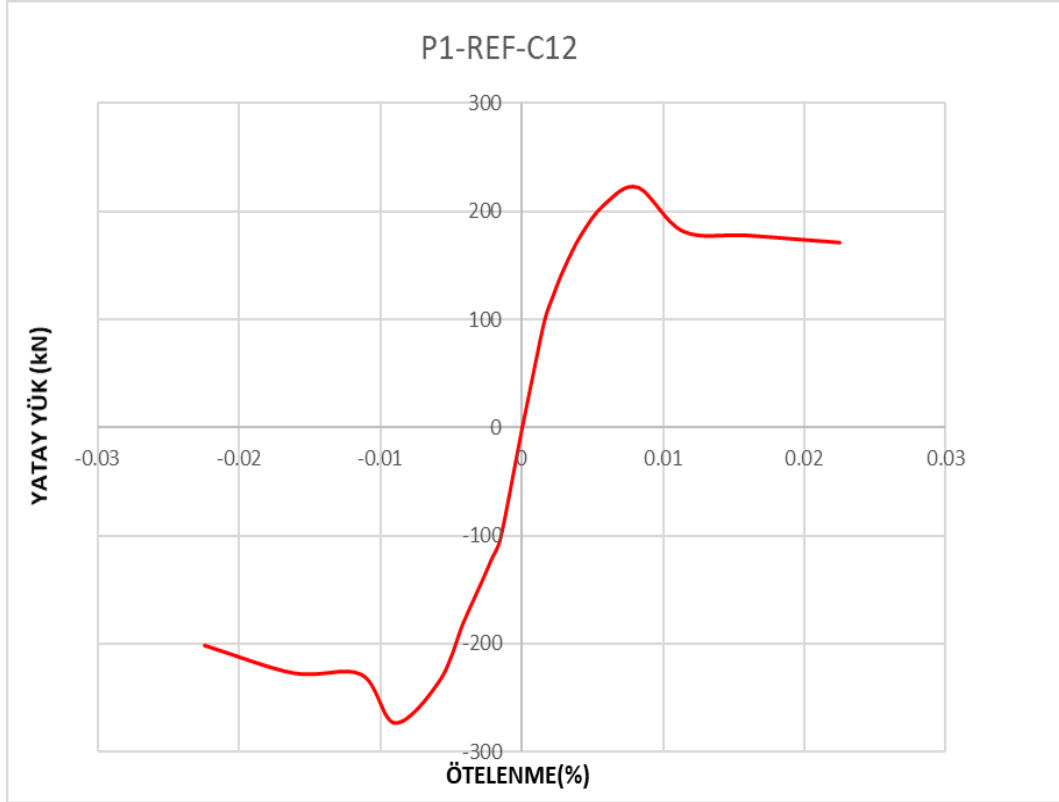
Şekil 50. P1-REF-C12 Numunesinin Kümülatif Enerji Tüketim Grafiği



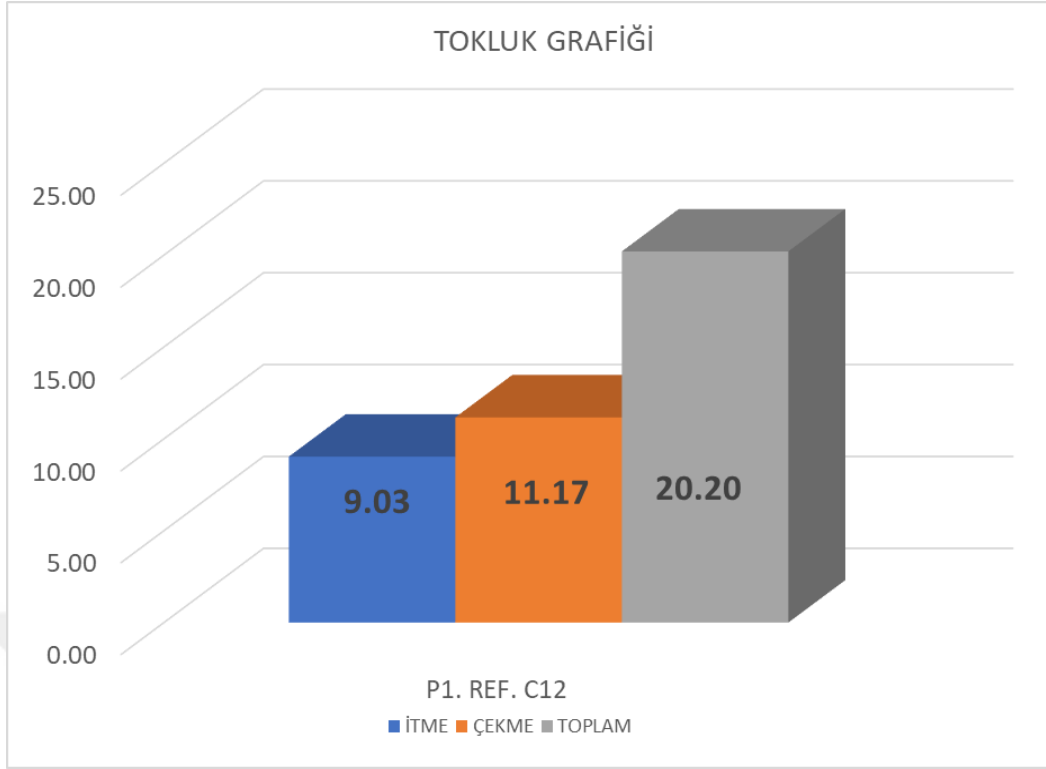
Şekil 51. P1-REF-C12 Numunesinin Döngüsel Hedef Ötelenme Enerji Tüketimi Grafiği



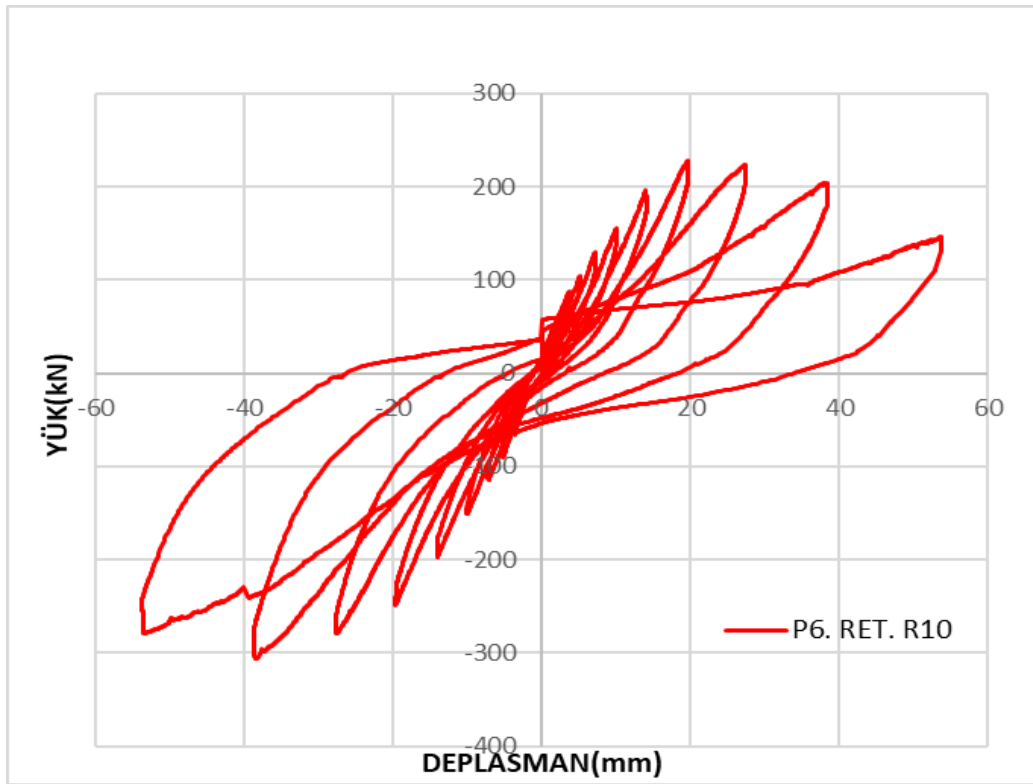
Şekil 52. P1-REF-C12 Numunesinin Elastik ve Plastik Bölgede Enerji Tüketim Grafiği



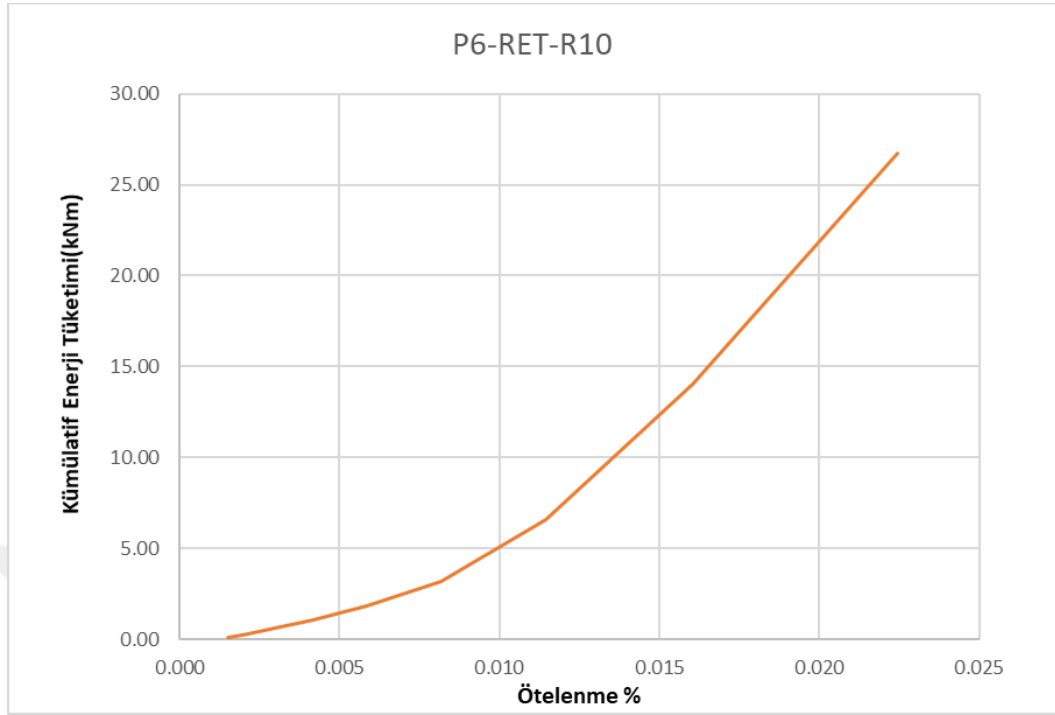
Şekil 53. P1-REF-C12 Numunesinin Zarf Eğrisi Grafiği



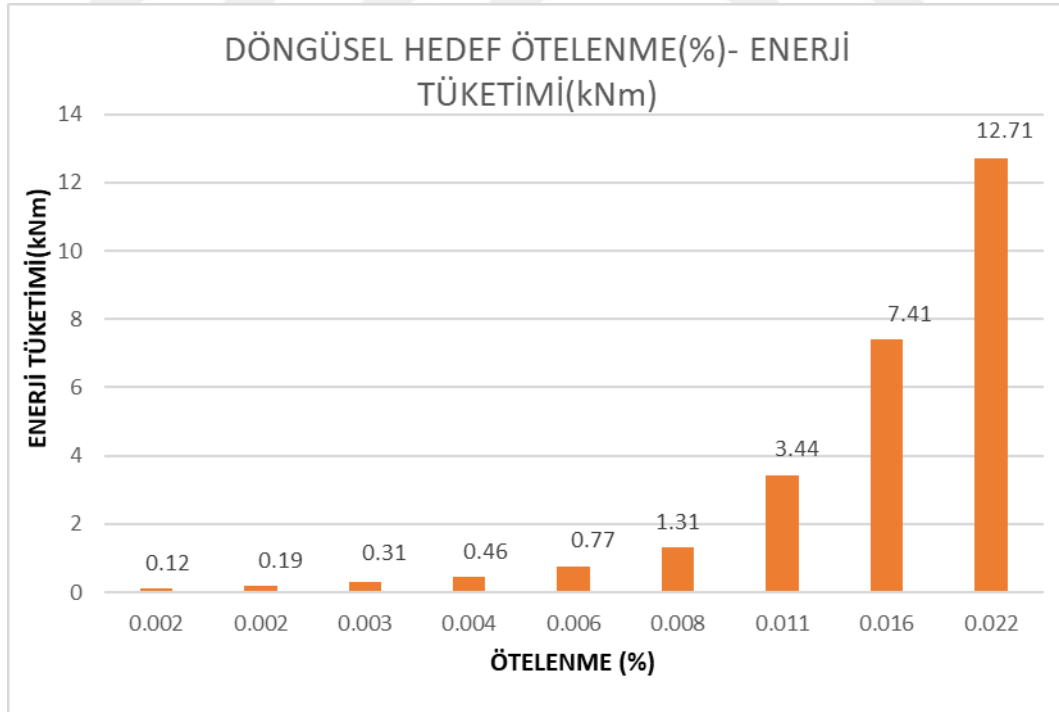
Şekil 54. P1-REF-C12 Numunesinin Tokluk Grafiği



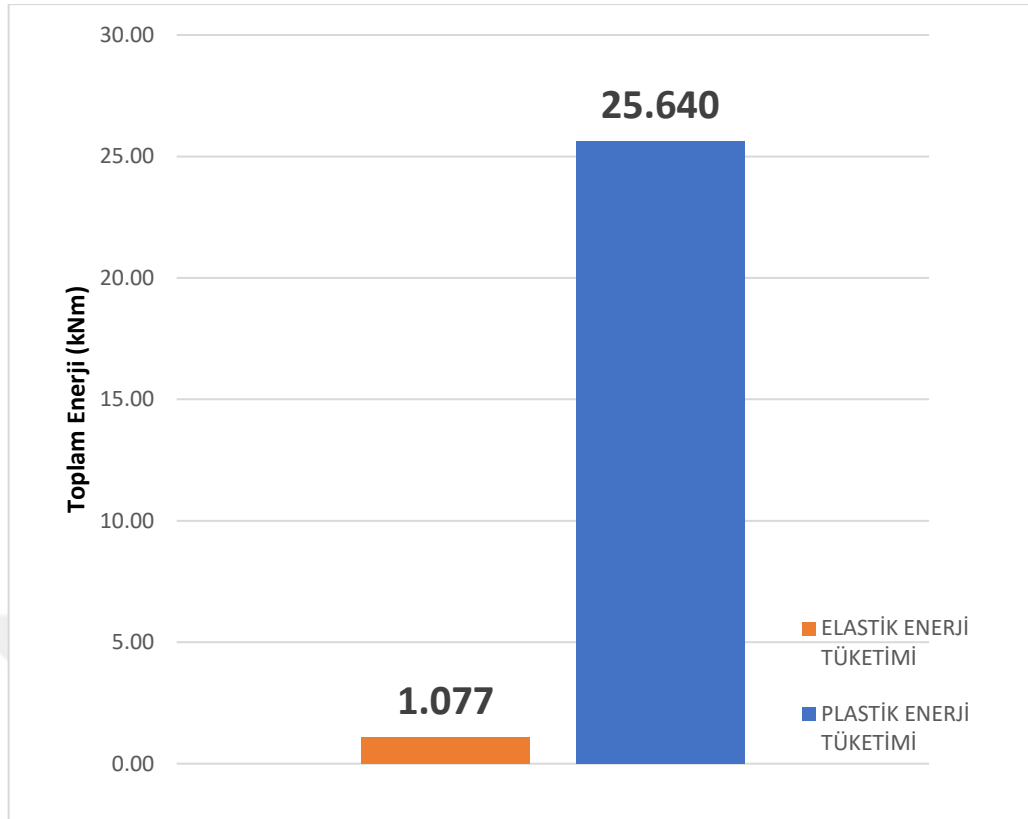
Şekil 55. P6-RET- R10- C12 Numunesi Kuvvet- Yer değiştirme Eğrisi



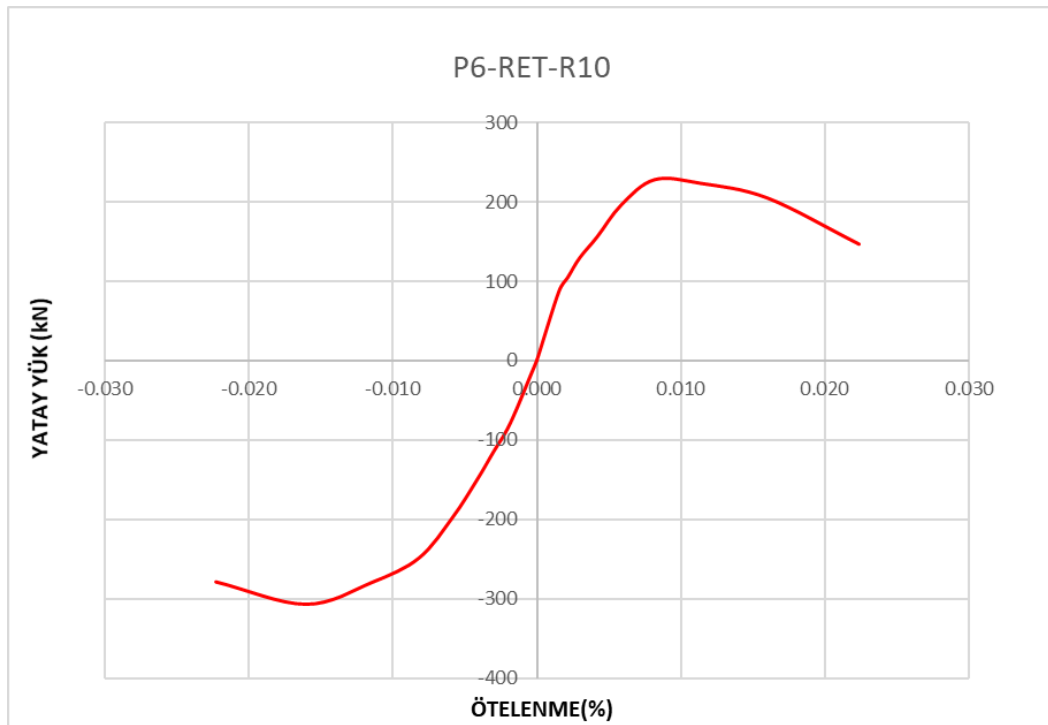
Şekil 56. P6- RET- R10- C12 Numunesinin Kümülatif Enerji Tüketim Grafiği



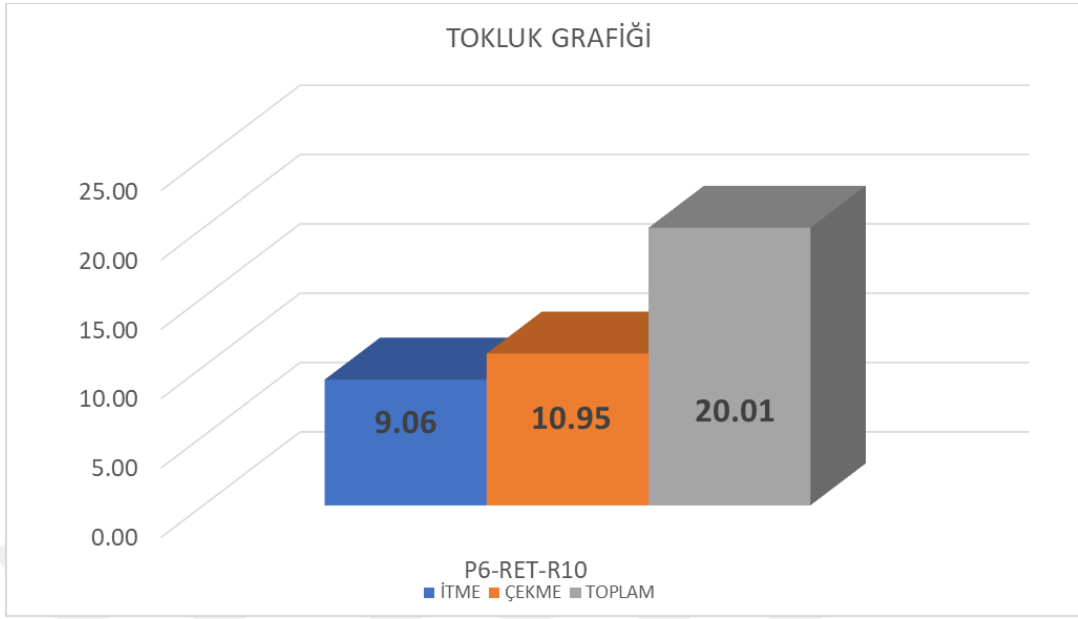
Şekil 57. P6-RET-R10-C12 Numunesinin Döngüsel Hedef Ötelenme Enerji Tüketimi Grafiği



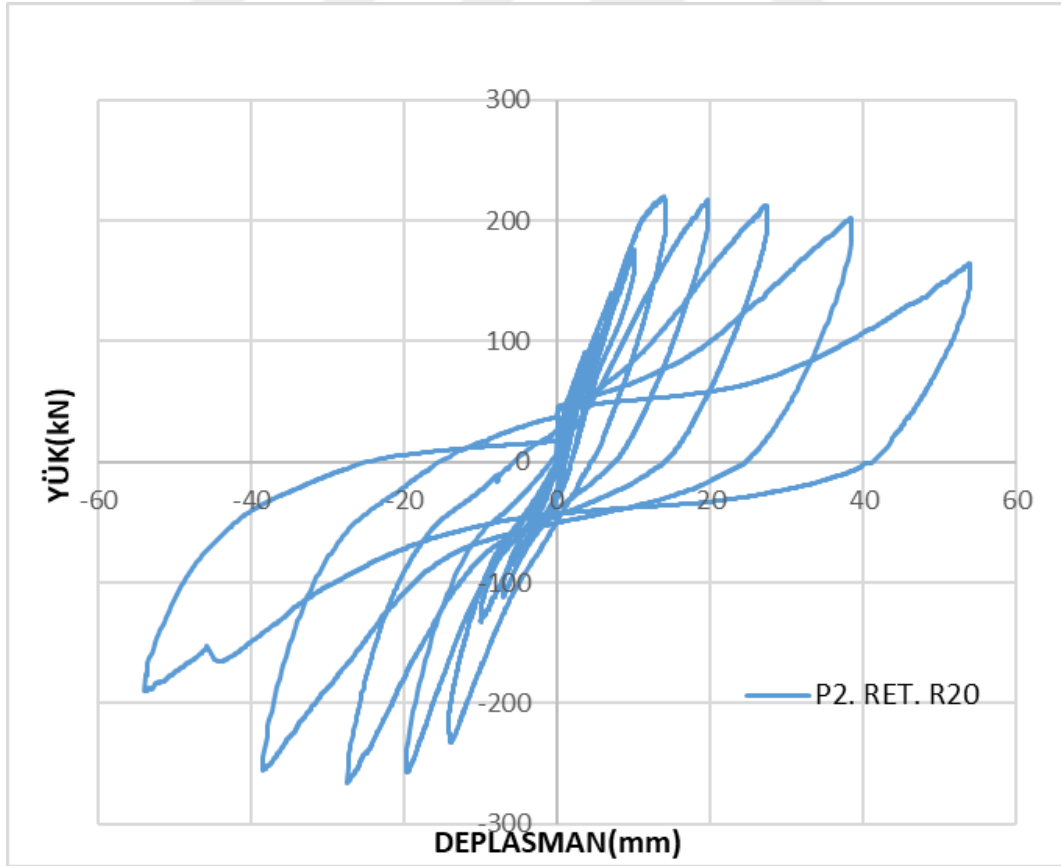
Şekil 58. P6-RET-R10-C12 Numunesinin Elastik ve Plastik Bölgede Enerji Tüketim Grafiği



Şekil 59. P6-RET-R10-C12 Numunesinin Zarf Eğrisi Grafiği



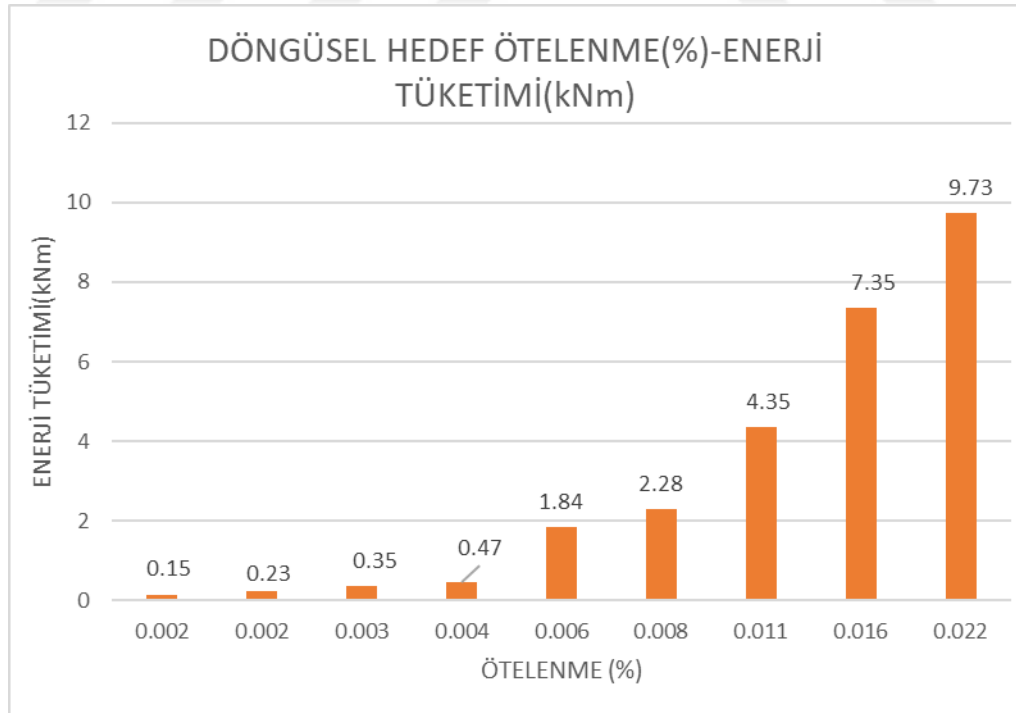
Şekil 60. P6-RET-R10-C12 Numunesinin Tokluk Grafiği



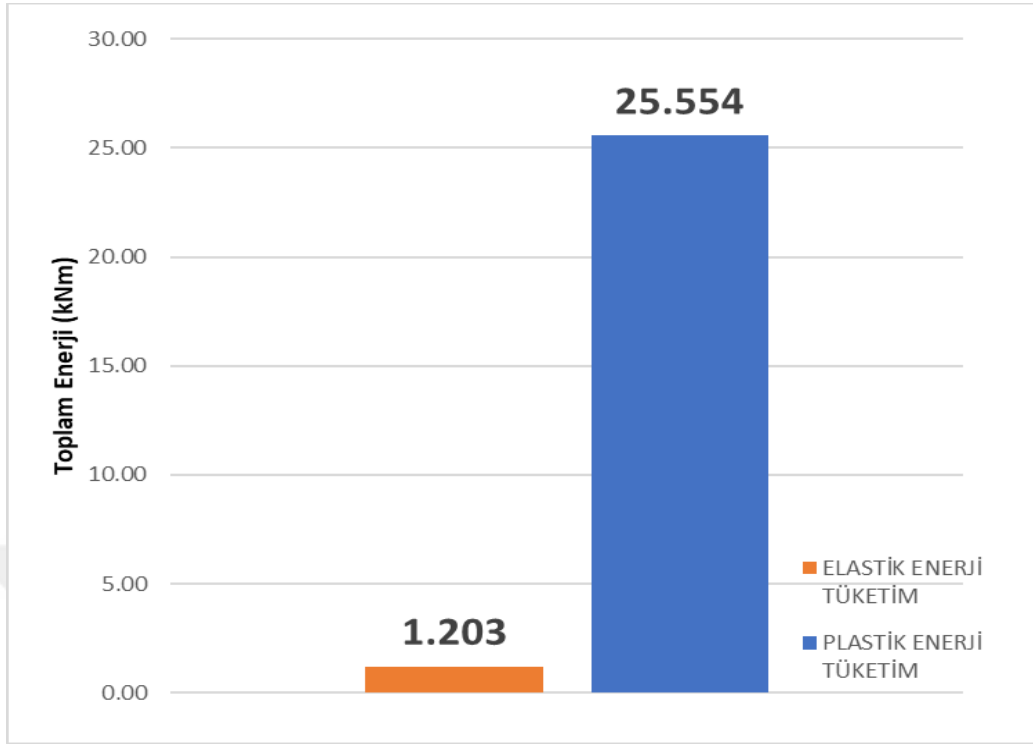
Şekil 61. P2-RET-R20-C12 Numunesi Kuvvet- Yer Değiştirme Eğrisi



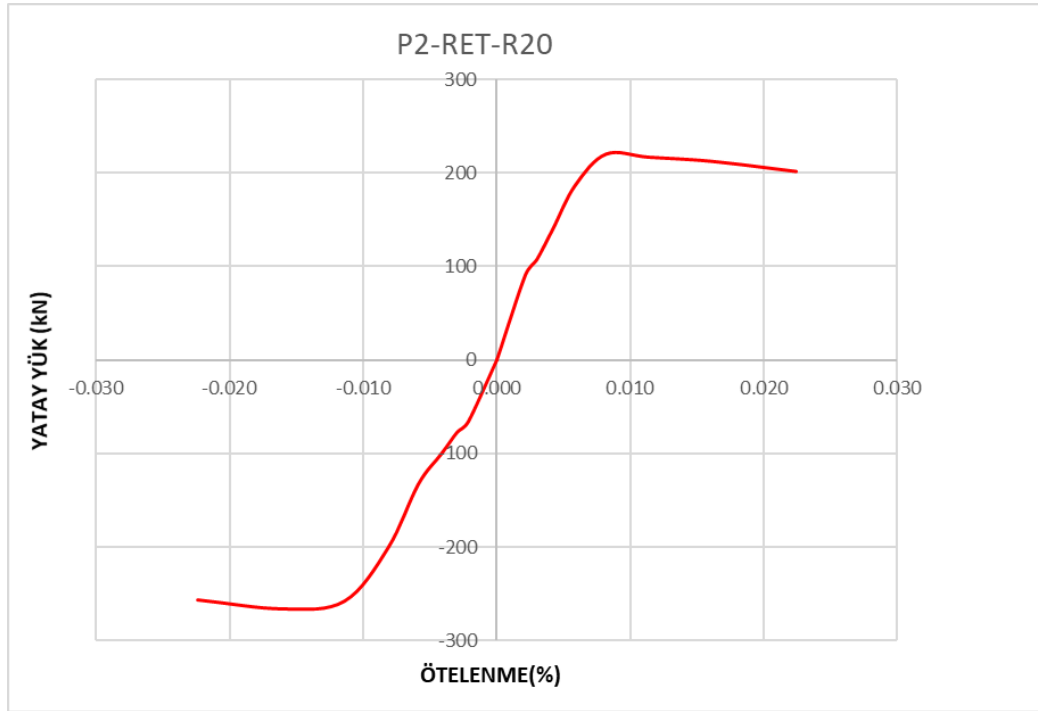
Şekil 62. P2-RET-R20-C12 Numunesinin Kümülatif Enerji Tüketim Grafiği



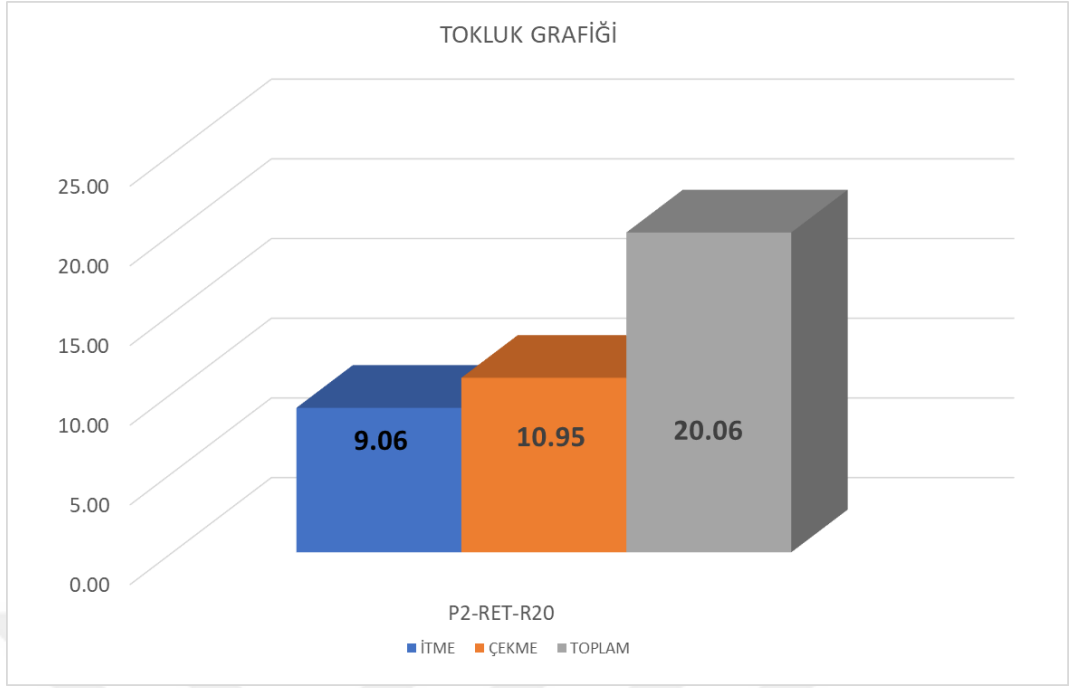
Şekil 63. P2-RET-R20-C12 Numunesinin Döngüsel Hedef Ötelenme Enerji Tüketimi Grafiği



Şekil 64. P2-RET-R20-C12 Numunesinin Elastik ve Plastik Bölgede Enerji Tüketim Grafiği

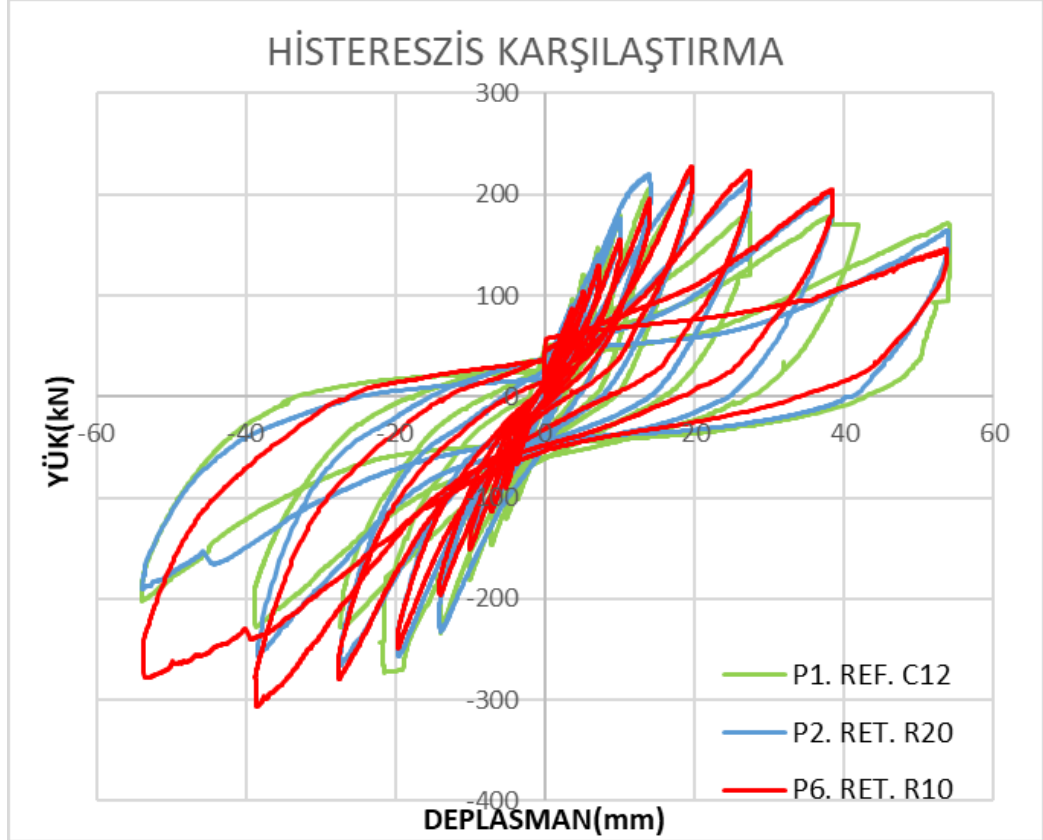


Şekil 65. P2-RET-R20 -C12 Numunesinin Zarf Eğrisi Grafiği

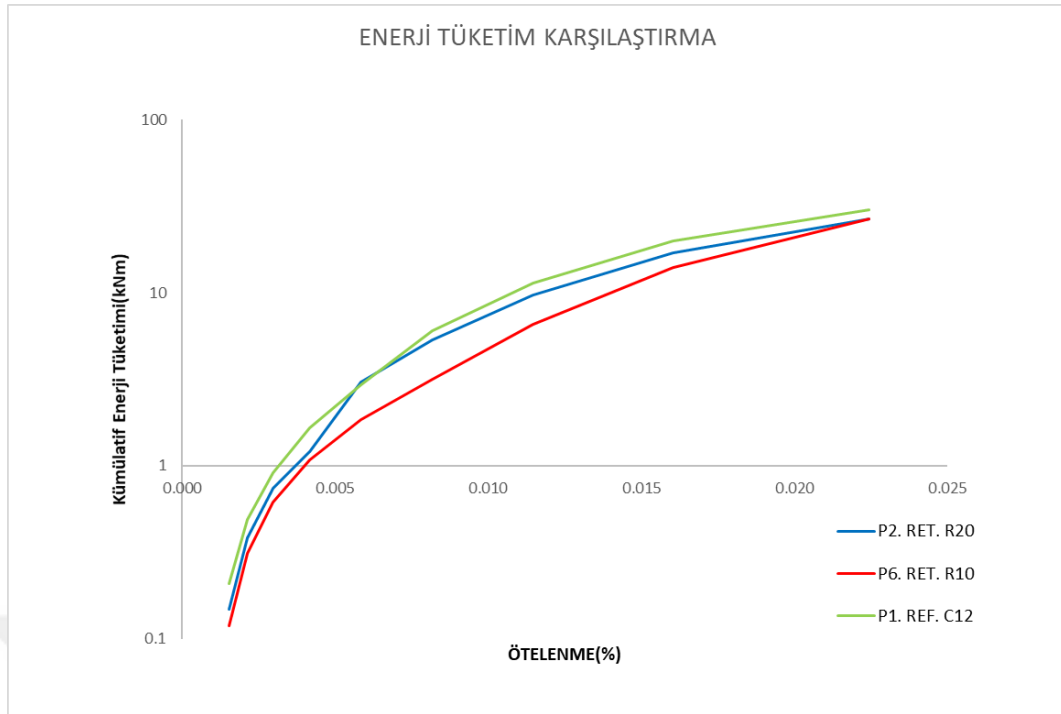


Şekil 66. P2-RET-R20-C12 Numunesinin Tokluk Grafiği

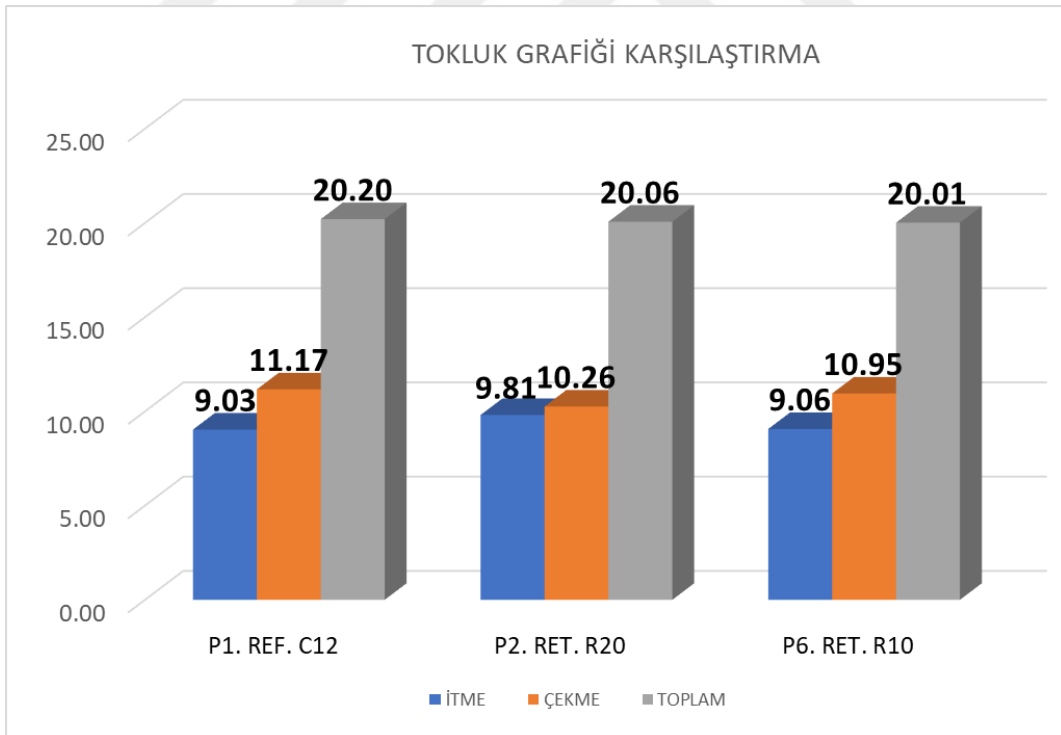
3.4.2. Numunelerin Karşılaştırılması



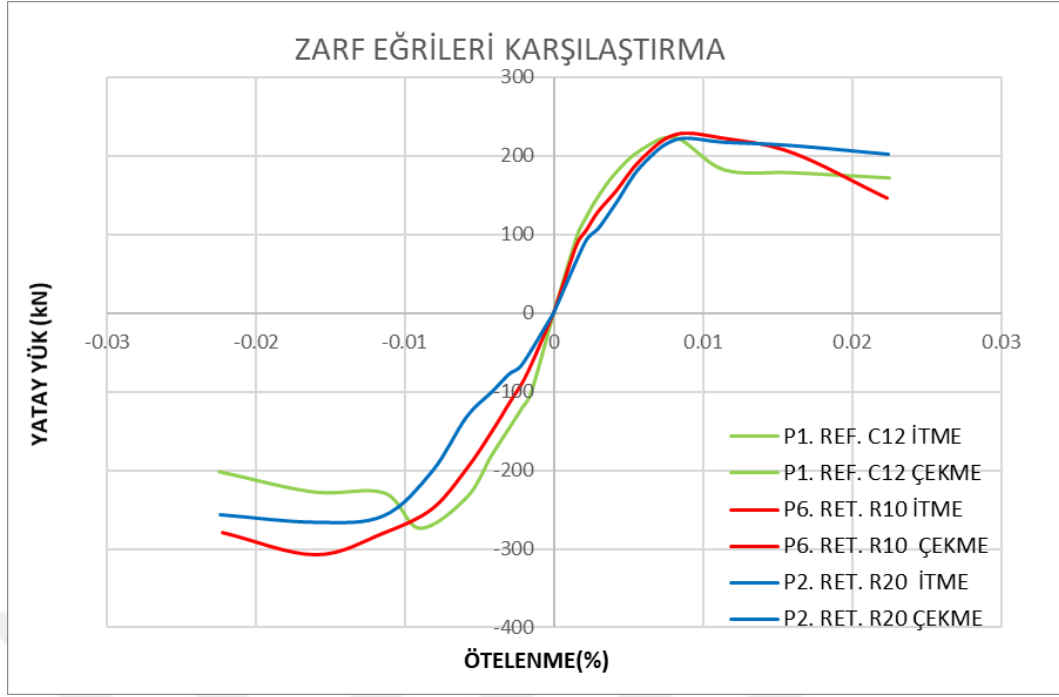
Şekil 67. Tüm Numunelerin Birlikte Histerezis Karşılaştırması



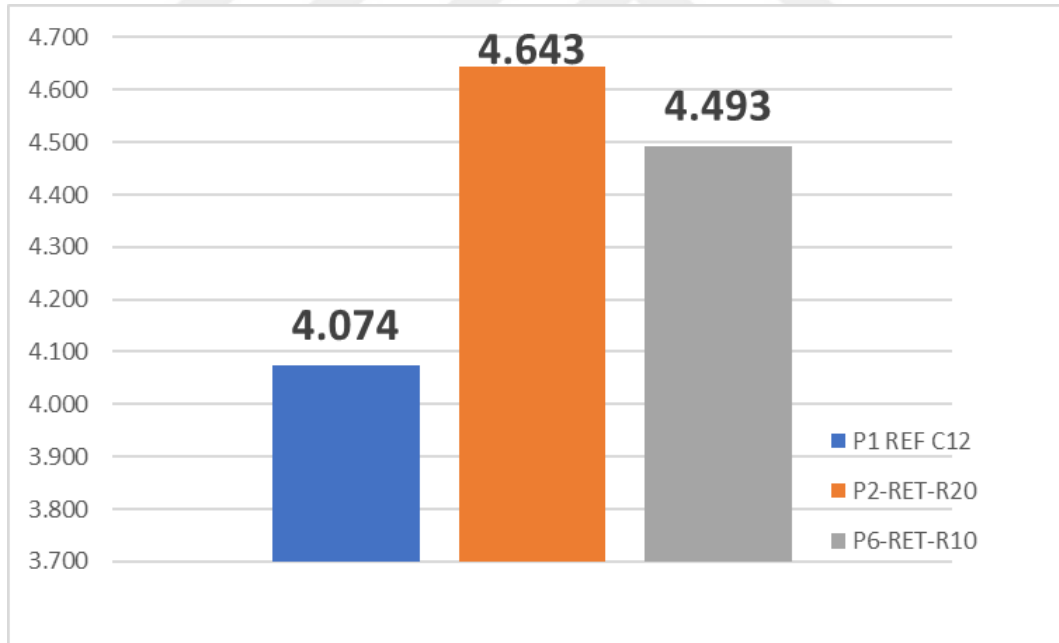
Şekil 68. Tüm Numunelerin Birlikte Enerji Tüketim Karşılaştırması



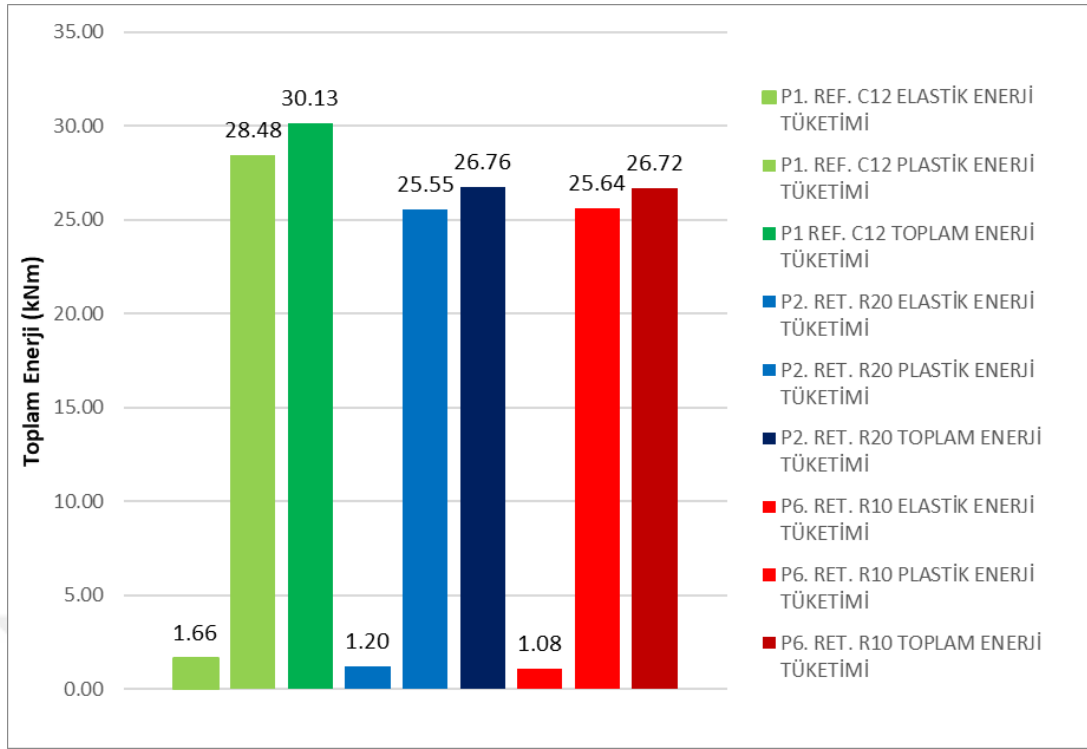
Şekil 69. Tüm Numunelerin Birlikte Tokluk Kapasitesi Karşılaştırması



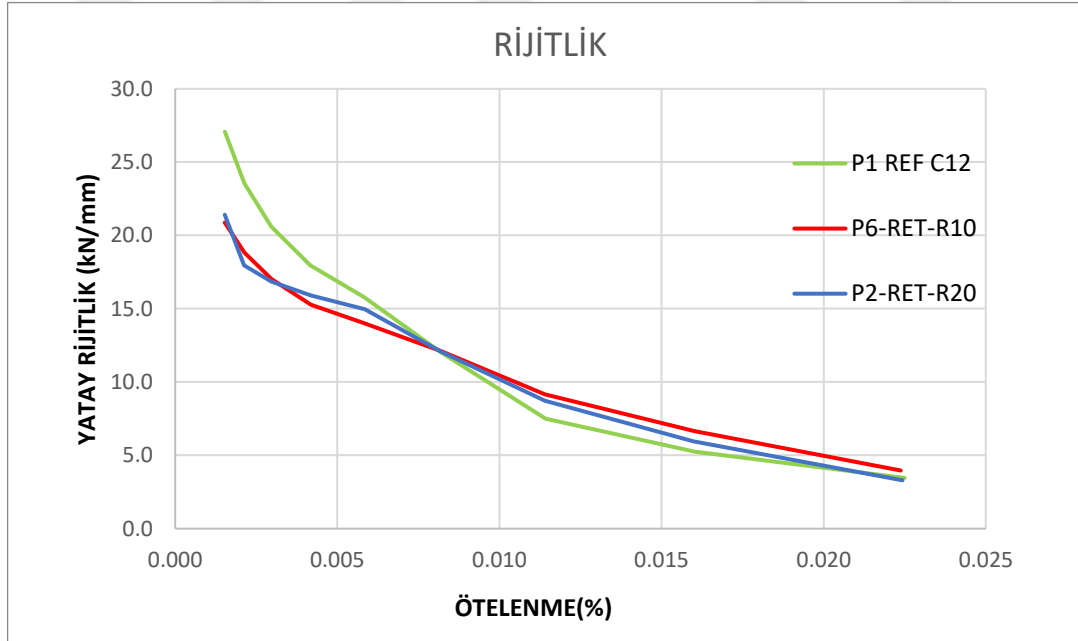
Şekil 70. Tüm Numunelerin Birlikte Zarf Eğrileri Karşılaştırması



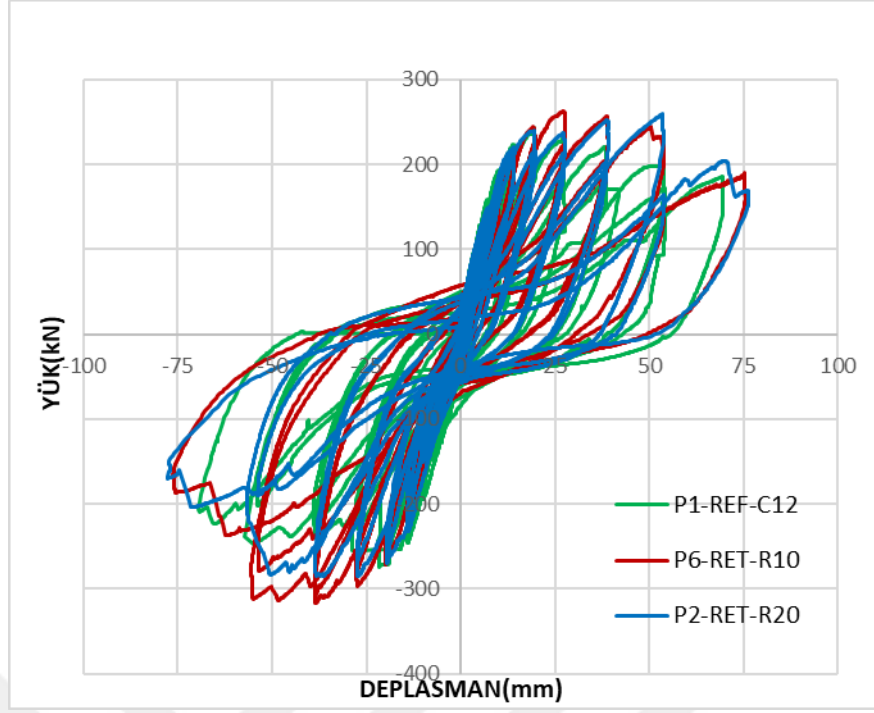
Şekil 71. Tüm Numunelerin Birlikte Süneklik Oranları Karşılaştırması(ATC-40 [66])



Şekil 72. Tüm Numunelerin Birlikte Elastik ve Plastik Enerji Tüketimlerinin Karşılaştırması



Şekil 73. Tüm Numunelerin Birlikte Rijitlik-Ötelenme Karşılaştırması



Şekil 74. Tüm numunelerin birlikte (Mak.:75mm) deplasman seviyesinde histerezis karşılaştırması

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuçlar

Bu tez kapsamında güncel yönetmelik şartlarını sağlamayan, beton sınıfı düşük ve başlık bölgesinde enine donatı şartını sağlamayan betonarme perde elemanların karbon lifli polimer demetler ile perdeye sonradan yapılan yeni bir güçlendirme yöntemiyle iyileştirilme çalışmasının araştırılmasını konu edinmiştir.

Yapılarda betonarme perde duvarlar ülkemizde yayımlanan yönetmeliklerden ilk kez 1968 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY)'inde, taşıyıcı eleman olarak bahsetmiş olsa da yatay yüklere karşı davranışı ve donatı teşkili ile ilgili bilgi verilmemiştir. Perdelerin donatı şeması ve kısmi olarak minimum koşulları ilk kez 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğinde (ABYYHY) belirtilmiştir. Ancak ABYYHY-1975'te ise betonarme perdelerin başlık bölgelerine, başlık bölgesinde kesme kuvvetini karşılayacak ve boyuna donatıları sargılayacak enine sargı donatısı teşkil edilmemiştir.

Literatür taramaları sonucu birçok araştırmacı, başlık bölgesi oluşturulmadan imal edilmiş betonarme perdeli yapıların depreme dayanıklılığı araştırmış ve bu durumun güncel yönetmelikleri sağlamadığı birçok defa kanıtlanmıştır. Araştırmacılar bu yapıların güçlendirilmesi için farklı yöntemler önermişlerdir. Önerilen yöntemlerin uygulanmasında karşılaşılabilecek problemler sıralandığında; yapıların konveksiyonel yöntemlerle güçlendirilmesinin çoğunda yüksek maliyetli olması, mevcutta deprem dayanımı düşük olan yapıya fazladan mantolama gibi yapıyı daha da ağırlaştıran yüklemelere sebep olması, mantolama gibi ağır güçlendirme uygulamaları sırasında yapının kullanıma kapatılmasının doğurduğu ikincil problemler ve yapıların kullanım alanının daralması gibi sorunlardan bahsedilmiştir. Bu sorunlar araştırmacıları yapıların güçlendirilmesi hususunda farklı metotlar ve materyaller araya sevk etmiştir.

Bu çalışmada güncel yönetmeliği sağlamayan, 1:1 boyutlarında 3 adet betonarme perde imal edilmiştir. Bu numunelerden biri çalışma kapsamında referans olarak kullanılmıştır. Diğer numunelerden 2.'si son yıllarda gelişen teknoloji ile üretilmiş ürünlerden Karbon Lifli Polimer Demetler (CFRP) kullanılarak 10 cm aralıklarla olmak üzere, 3. numunede ise 20 cm aralıklar seçilerek perde elemanda güçlendirme uygulaması yapılarak iyileştirme yapılmıştır. Söz konusu yeni güçlendirme uygulamasında perde

elemanın dışarıdan başlık bölgesi oluşturmak üzere dış yüzlerinde dış kalınlığı 1.5cm olacak şekilde kanalların açıldığı ve bununla birlikte plandaki uzun doğrultusuna da dik olacak şekilde perde içine delik açılarak oluşturulmuş aynı kotta kanallar açılmıştır. Bu kanalların içerisine dışarıda epoksi ile emprenye (reçinenin halatlara emdirilmesi işlemi) edilmiş lifli polimer demetleri burularak oluşturulmuş CFRP Rope isimli halatları kanalların içerisine epoksi yardımıyla yerleştirilerek yeni güçlendirme metodu ile dışarıdan dikdörtgen formda ve perdenin uzun kenarından başlayıp başlık bölgesinden 50 cm uzaklıkta delinerek CFRP demetlerinin başlık bölgesini kesintisiz sarması sağlanmıştır. Böylece sürekliliği birbirinin üzerine yatay düzlemde de bindirilerek imal edilmiş perde başlık bölgesi oluşturulmuştur.

ETABS sonlu elemanlar yöntemi programı kullanılarak Pushover (İtme) analizi yapılmış akma noktası analitik olarak hesaplanarak öngörülmüş ve FEMA 491 yapısal elemanların yükleme protokolüne göre 20 adımdan oluşan deney yükleme protokolü oluşturulmuştur.

Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarı imkanları ile deney düzeneği hazırlanmış ve numuneler teste tabii tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla bu tezin kapsamında sunulmuştur.

Deneysel çalışmaların sonucunda;

- P1-Ref-C12 numunenin tersinir kuvvetler altında başlık bölgesinde itme ve çekme adımlarında pas paylarının dökülmesi ile boyuna donatılarda burkulmaların diğer numunelere göre erken geliştiği görülmüştür.
- P1-Ref-C12 numunesinde temelden gelen boyuna filiz donatılarının başlık bölgesinde enine sargı donatısı bulunmamasından dolayı dökülen pas payı ile birlikte perdeden ayrılarak, perde yüksekliğinin yarısında boşa çıktığı görülmüştür.
- P1-Ref-C12 numunesinde çatlak gelişimleri ilk olarak 7. döngüde olduğu ve perdenin uzun yöndeki her iki yüzü ve kısa yüzünde de görülmüş olması diğer güçlendirilmiş numunelere kıyasla daha erken eğilme çatlaklarının olduğu anlaşılmaktadır.
- Numunelerin histerezis eğrileri mukayese edildiğinde güçlendirilen perdelerin referans perdesine oranla daha büyük yatay kuvvet kapasitesine ulaştığı görülmektedir.
- Güçlendirilen perdelerin referans perdeye göre elastik bölgede rijitliği daha

düşük olduğu bunun nedeni ise güçlendirmeden kaynaklı perdelerin başlık bölgesinde kesitte açılan 15mm kanalların perdenin başlık bölgesinin kesit alanını %14 kadar düşürmesinden dolayı histerezis eğrilerinin itmelerde ve çekmelerde ilk çıkış eğimlerinde azalmaya neden olduğu düşünülmektedir.

- P2-RET-R20 numunesinde CFRP halatların 20 cm ara ile düşeyde uygulanmasına bağlı olarak P6-RET-R10 numunesine göre ilk çatlak oluşumuna kadar daha rijit davranış göstermesi yukarıda belirtilen savı doğrular niteliktedir.
- P1-REF-C12 numunesinin güçlendirilenlere göre daha fazla enerji tüketmesi referans numunesinin kesit alanının güçlendirilen numunelerin kesit alanlarından %14 fazla olmasından dolayı meydana geldiği düşünülmektedir.
- Numunelerin zarf eğrileri değerlendirildiğinde itme ve çekmede 20mm seviyesine kadar yatay yük -deplasman eğrileri benzer hareketi gösterir iken, 20mm seviyesinden sonra herhangi bir güçlendirme görmeyen P1-REF-C12 numunesi yatay yük kapasitesinde ani azalışlar göstermektedir. Güçlendirilen numunelerde ise ani yük düşüşleri olmadığı, onun yerine yatay yük-deplasman eğrileri sünek eleman davranışına benzer şekilde deplasman artarken yükte belirgin düşme yapmadan devam etmektedir.
- CFRP halatlarla güçlendirme yapılması durumunda perde elemanda yapılmamış referans numuneye göre süneklik kapasitesinde artış gözlenmiştir. Bununla beraber numunelerin zarf eğrileri karşılaştırıldığında güçlendirme görmemiş referans numunenin maksimum yatay yük değerine ulaştıktan sonra eğrinin eğiminin aşağı yönde ilerlediği ayrıca maksimum ulaştığı deplasmanının diğer güçlendirme numunelerine oranla geride kaldığı görülecektir. Referans numunenin boyuna donatıları P2-RET-R20 numunesine göre yaklaşık 5mm, P6-RET-R10 numunesine göre de yaklaşık 7mm daha geri deplasmanda koptuğu görülmektedir. Ayrıca güçlendirilmiş numunelerin son çekme döngülerinde maksimum kuvvete erişmesiyle donatılar kopmuş olup, donatıların kopmaması durumunda daha büyük enerji tüketimi olacağı histerezis grafiklerinden çıkarılabilir.
- P6-RET-R10 numunesinin P2-RET-R20 numunesine göre CFRP halatların düşeydeki aralıklarının yarı yarıya az olması, donatıların özellikle temel-perde düğüm noktası (0.5h-1h) seviyesindeki boyuna donatıların burkulmasını

engellediği, bundan kaynaklıda perde elemanın yatayda daha ileri bir deplasmana kadar gittiği görülecektir.

- Deney öncesi beklenen güçlendirme ile süneklik kapasite artışı hakkında güçlendirilmiş numunelerin yatayda deplasmanları itmede 70-75mm seviyelerine ulaştığında numunelerin başlık bölgesi ve hatta gövde bölgesindeki donatıların ani olarak kopması ile ileri deplasman seviyelerine ulaşamamıştır. Bu çalışmadan beklenen ilk hedefin görelî kat öteleme seviyesi FEMA 356[67]'da yer verilen “0.02” (%2) “Göçme Öncesi” seviyesinde kapasiteleri görmek olsa da yatay yük uygulayan pistonların en yüksek çıkış kapasiteleri ile sınırlanan FEMA[61] yükleme protokolünde belirtilen 75.37 mm hedef deplasmanda sadece 1. döngüler yapılmış 2. döngüler donatıların kopmasından dolayı yapılamamıştır. Donatı kopmasına bağlı deplasmanların ileri seviyeye gidememesinin nedeninin perde elemanlardaki “Sürtünme Kesmesi” olduğu düşünülmektedir. Perde elemanların temel ile perde elemanının aynı anda monolog döküm olmaması ve donatıların 2007 öncesi yönetmeliklerde verildiği gibi pursantajının az olması sürtünme kesmesi problemine neden olduğu tahmin edilmektedir.
- Sürtünme kesmesine bağlı olarak perde elemanlar maksimum deplasman kapasitelerine ulaşamadıklarından dolayı özellikle 1999 öncesi deprem yönetmeliklerine tabi olarak yapılmış yapıların depreme karşı güçlendirme projelerinin yapımında sürtünme kesmesi faktörünü dikkate alınacak majör maddeler arasında görülmesi gerektiği düşünülmektedir. Aksi durumda perde elemanların sadece sargı elemanları (lifli polimer-çelik lama vs) ile güçlendirilmesi durumunda perde elemanlardan beklenen sünek davranış kapasitelerine ulaşamadan sürtünme kesmesinden perdeler rijit olmayan duruma geçeceği anlaşılmaktadır.

4.2. Öneriler

Gerçek boyutlarda ve genel olarak yapıldığı dönemlerin inşaat malzemeleri kullanılarak üretilmiş gerçek boyutlarda başlık bölgesi oluşturulmamış betonarme perdelerin karbon lifli polimer demetleri ile başlık bölgesi oluşturularak

güçlendirilmesinin deneysel araştırılması incelenmiştir. Araştırmalar çerçevesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanan programların gerçek test sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Güncel yönetmelik standartlarını sağlamayan yapıların güçlendirilmesi konusunu çalışmak isteyen araştırmacılar için;

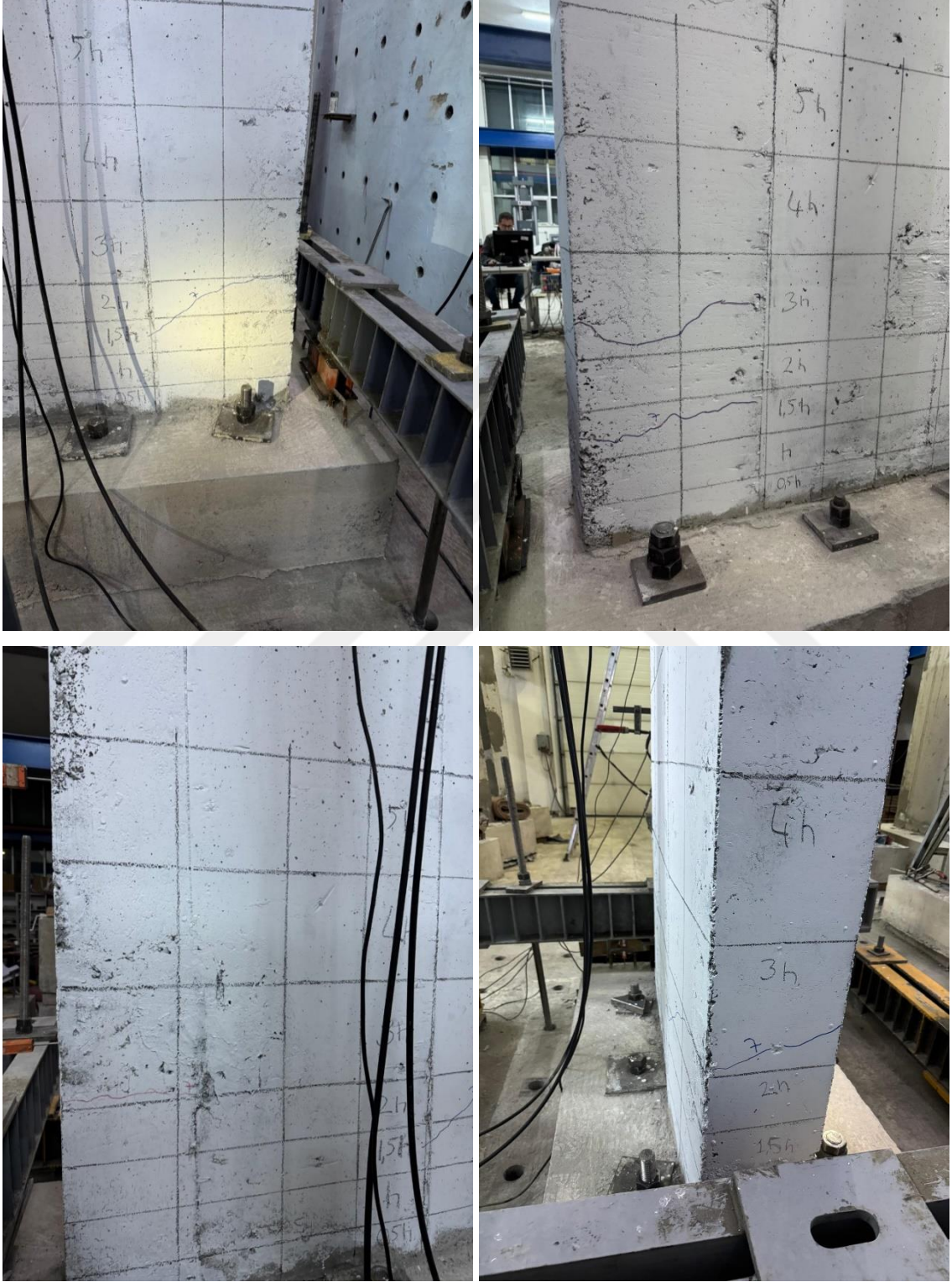
- Farklı geometrik ölçülerdeki taşıyıcı elemanların CFRP demetleri kullanılarak güçlendirilmesinin araştırılması,
- Mevcut yapıların güçlendirilmesinde, yapıya fazladan kalıcı yük yapılmayacak farklı teknolojik ürünler kullanılarak araştırılması,
- Her geçen gün gelişen ve yeni çıkan teknolojik ürünlerin, yapılarda kullanımının teorik olarak araştırılması,
- Güçlendirme yöntemleri hakkında yapılmış deneysel ve teorik araştırmaların birbirleri ile mukayeseli olarak kıyaslanmasının araştırılması,
- Deney sonuçları görülen “kesme sürtünmesi” problemine karşı perde elemanların güçlendirilmesi durumunda perde elemanların sadece başlık ve gövde bölgesinde kesme kuvvetlerine göre kontrolünün sağlanması değil, aynı zamanda kesme sürtünmesi açısından da değerlendirmelerin yapılması gerekliliği,
- TBDY 2007 ve TBDY 18 yönetmeliklerinin betonarme elemanlarının güçlendirme hesapları kısmında özellikle “lifli polimer ile güçlendirme” bölümünde sürtünme kesmesine karşı da hesap ve kontrol adımlarının oluşturulması gerektiği,

Yukarıda önerilen araştırma alanları ile ilgili yapılabilecek çalışmalar deprem gibi yatay kuvvetlerin oluşturduğu kesme kuvvetlerini üzerine en çok alan perde elemanların dayanımını ve stabilitesini güvenli tarafta tutmak adına yenilikçi yaklaşımlara ve pratik çözümler geliştirilmesine olanak sağlayabileceği düşünülmektedir.

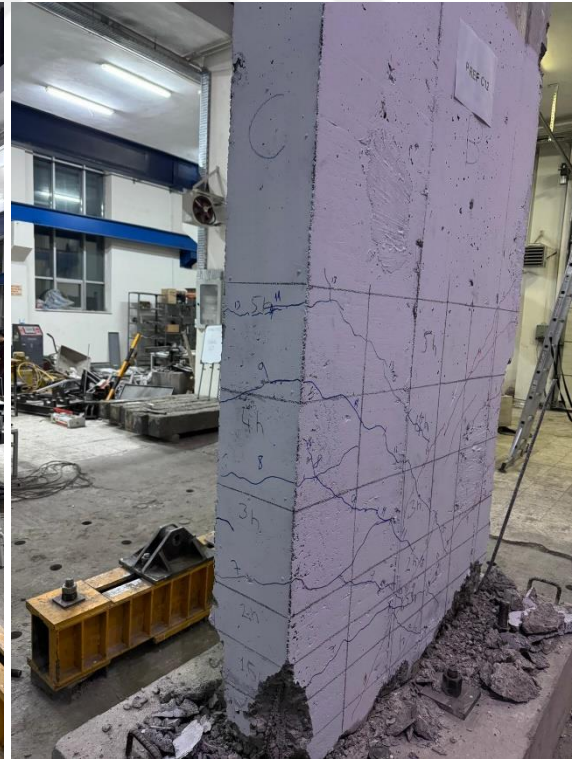
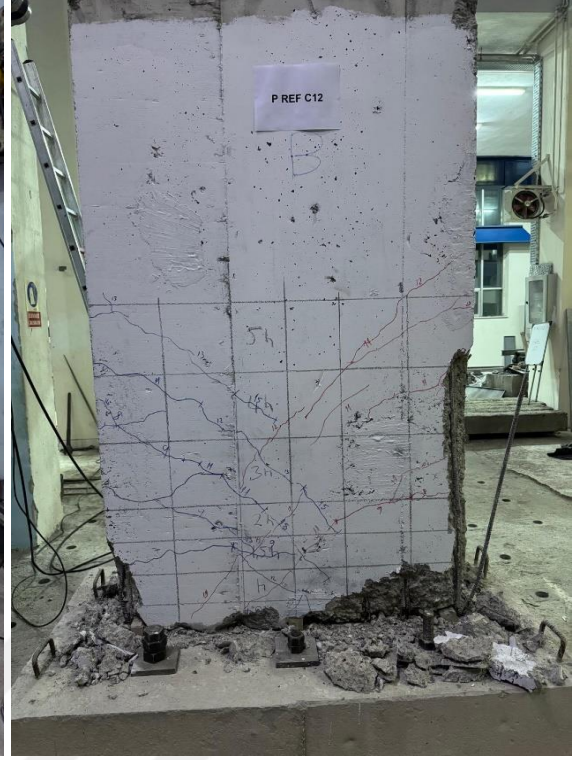
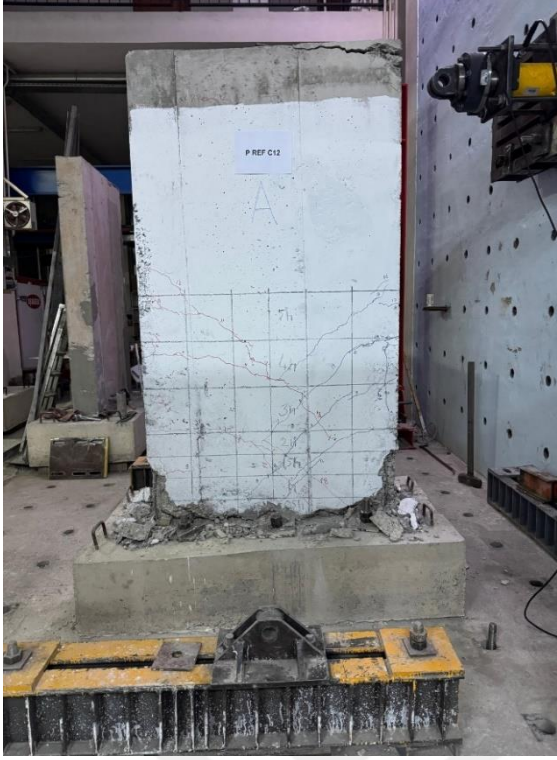


EKLER

EK 1. P1-REF-C12 Numunesi Deney Fotoğrafları



Şekil Ek 1-1. 7. Adımda İlk Oluşan Çatlaklar



Şekil Ek 1-2. P1-REF-C12 Numune Deney Sonrası Durum

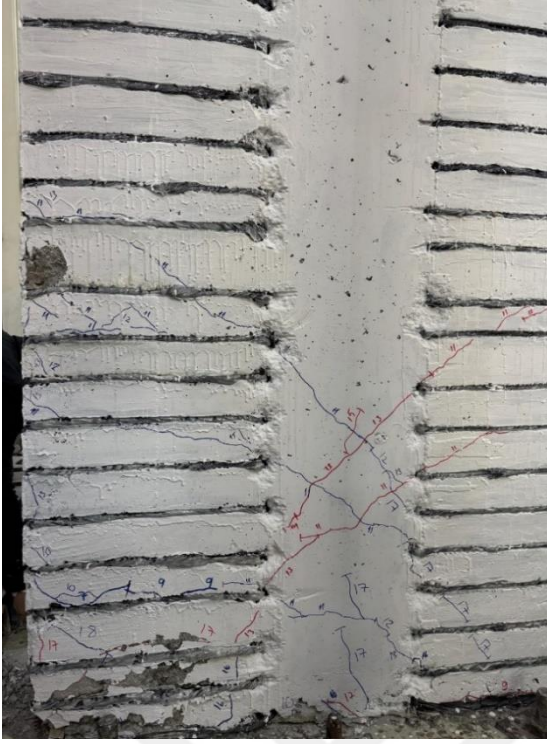
EK 2. P6-RET-R10-C12 Numunesi Deney Fotoğrafları



Şekil Ek2-1. 6. Adımda İlk Oluşan Çatlaklar



Şekil Ek2-2. Donatı Burkulmaları



Şekil Ek2-3. P6-RET-R10-C12 Numune Deney Sonrası Durum

EK 3. P2-RET-R20-C12 Numunesi Deney Fotoğrafları



Şekil Ek3-1. 9. ve 10. Adım İlk Oluşan Çatlaklar



Şekil Ek3-2. Donatı Burkulmaları ve Kopan Donatı Görselleri



Şekil Ek3-3. P6-RET-R20-C12 Numune Deney Sonrası Durum

KAYNAKÇA

- [1] Zirve Beton, t.y., Hazır Betonun Tarihçesi. (Web Sayfası: <https://www.zirvebeton.com.tr/beton-tarihcesi>), (Erişim Tarihi: Aralık 2024).
- [2] Türkiye Hazır Beton Birliği, t.y., Teknik bilgiler-Beton nedir?. (Web Sayfası: <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-nedir/>), (Erişim Tarihi: Ekim 2024).
- [3] Wikipedia, t.y., Betonarme. (Web sayfası: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Betonarme>) (Erişim Tarihi: Ekim 2024).
- [4] Tunç, G., 2022. Deprem yönetmeliklerinin tarihçesi ve mevcut durumu. **Yapı Dergisi**, 472. (Web Sayfası: <https://yapidergisi.com/deprem-yonetmeliklerinin-tarihcesi-ve-mevcut-durum/>) (Erişim Tarihi: Ocak 2025).
- [5] TBDY, 2018. Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar. 416 s. (Web sayfası: https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/2309/files/TBDY_2018.pdf) (Erişim Tarihi: Ocak 2025).
- [6] Yaltır, Ş., 2019. Betonarme perdelerin kesme davranışının analitik ve deneysel olarak incelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 212 s.
- [7] Karaca, N., 2022. Mevcut betonarme bir okul binasının deprem güvenliğinin incelenmesi ve TBDY-2018'e göre alternatif güçlendirme yöntemlerinin araştırılması ve çözüm önerileri. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 152 s.
- [8] Bayükle, N., 2006. Betonarme yapılarda güçlendirme sorunları. **TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri**, 444-445: 4-5.
- [9] Keskin, E., 2005. Betonarme Yapıların Onarımı, Güçlendirilmesi ve Lifle Güçlendirilmiş Polimerler İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 138 s.
- [10] Şahinkaya, Y., 2015. Mevcut betonarme binalardaki perde donatı ayrıntıları ve bir ayrıntı için sonlu eleman analizi, ss. 893-899. *XIX. Ulusal Mekanik Kongresi*, 24-28 Ağustos 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- [11] Olabi, M. N., 2019. Güncel deprem yönetmelikleri gereksinimlerini sağlamayan betonarme perdelerin davranışının incelenmesi, s. 97. *7. Yapı Mekaniği Laboratuvarları Çalıştayı*, 4-5 Ekim 2019, KTO Karatay Üniversitesi, Konya

- [12] Zolmaz, Y., 2019. Mevcut betonarme bir binanın perdelerle güçlendirilmesi ve yapısal performansının TBDY-2018'a göre değerlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 149 s.
- [13] Zhao, J., Shen, F., Si, C., Sun, Y., Yin, L. 2020. Experimental investigation on seismic resistance of RC shear walls with CFRP bars in boundary elements. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, **14**: 1-20.
- [14] Corley, W. G., 1976. Improved Seismic Design, Influence of Current Structural Concrete Research. Structural Engineers Association of California, Proceedings, Yosemite.
- [15] Bertero, V. V., 1957. The Response of Shear Walls Subjected to Dynamic Loads. Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Ph. D. Thesis, USA, 157 s.
- [16] Doostdar, H., 1994. Behavior and Design of Earthquake Resistant Low-Rise Shear Walls. Department of Civil Engineering, University of Ottawa, PhD thesis, Ottawa, Canada, 94 s.
- [17] Efe, Y., 2024. Betonarme Elemanların Basınç Bölgelerinin Lifli Polimerler ile Güçlendirilmesinin Araştırılması. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Diyarbakır, 226 s.
- [18] Polat, K., 2014. Lifli Polimerle Güçlendirilen Betonarme Yapı Elemanlarının Kapasite Hesabı İçin Analitik Yöntemler. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekanik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa, 104 s.
- [19] Karamuk, E., 2005. Karbon Lif Takviyeli Polimer Malzeme ile Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Eksenel Yükler Altında Davranışı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 160 s.
- [20] Gündoğan, S., 2014. 1975 Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Projelendirilen Mevcut Betonarme Binaların Deprem Performanslarının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 129 s.
- [21] Şahin, Ö., 2009. 1975 Yönetmeliğine Göre Yapılmış Yapıların Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Performans Değerlendirmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 181 s.
- [22] Çoban, M., 2009. Yeni Deprem Yönetmeliğinin (2007) 1975 Yönetmeliğine Göre Getirdiği Güvenlik Artışının Araştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 108 s.

- [23] Türkay, A., 2019. Betonarme Perdelerde Burulma Davranışının Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 303 s.
- [24] İnceoğlu, Ç., 2016. Betonarme Perdelerin Kesme Dayanımının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 161 s.
- [25] Kalyoncuoğlu, A., 2013. Standartlara Uymayan Korozyon Hasarlı Betonarme Kolonların Karbon Lifli Polimer Kullanılarak Güçlendirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 155 s.
- [26] Vlach, T., Řepka, J., Hájek, J., Pošta, J., Fürst, R., Hájek, P. 2024. Shear Capacity of Hollow High-Performance Concrete Beams with Cross-Wound Carbon Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. **Polymers**, 17(1): 75-86.
- [27] Beyli, E., 2002. Betonarme Binalarda Uygulanan Güçlendirme Yöntemleri ve Perde Yüksekliğinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 78 s.
- [28] Delta Yapı, t.y. Karbon Lifleriyle Güçlendirme Sistemi. UK Constructions Technologies.
- [29] Sivri, M., Kuyucular, A., Çelik, İ. 2013. Perde duvar ile güçlendirilen betonarme çerçevenin ansys ve sta4-cad analiz sonuçlarının karşılaştırılması. **Teknik Bilimler Dergisi**, 3(2): 26-34.
- [30] Al-Shalif, S. A. H., 2022. Cam Fiber Takviyeli Polimer Kompozit Levhalar Kullanılarak Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerde Kesme Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 116 s.
- [31] Balık, F. S., Bahadır, F., Kamanlı, M., Korkmaz, H. H., Ünal, A., Kaltakçı, M. Y. 2018. Pencere boşluklu perde duvarla güçlendirilmiş 1/3 ölçekli betonarme çerçevelerin davranışı. **Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi**, 6(2), 279-295. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2018.133>
- [32] Efe, Y., Bedirhanoglu, İ. 2024. Betonarme perde duvarların eğilme ve kesme etkilerine karşı güçlendirilmesi üzerine literatür değerlendirmesi. **Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi**, 15(3): 663-675.
- [33] Kamal Ali Ali, M., 2021. Betonarme Perde Konumunun Yapı Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkilerinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 326 s.

- [34] Akyıldız, H., 2007. Betonarme Bir Yapının Güçlendirme Öncesi Ve Sonrası Yapı Performansının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 109 s.
- [35] Mamdouh, H., Zenhom, N., Hasabo, M., Deifalla, A. F., Salman, A. 2022. Performance of strengthened, reinforced concrete shear walls with opening. **Sustainability**, **14**(21): 14366.
- [36] Rivera, J., Luna, B.N., Whittaker, A., 2018. Seismic Damage Assessment of Low Aspect Ratio Reinforced Concrete Shear Walls. New York University at Buffalo, The State University of New York, Technical Report, United States, 306 s.
- [37] Matsui, T., Saito, T., Reyna, R., 2017. Structural performance of rectangular reinforced concrete shear walls retrofitted by carbon fiber sheets. *Conference: 16th World Conference on Earthquake Engineering*, Santiago, Chile
- [38] Paterson, J., 2001. Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Shearwalls. McGill University, A Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies, Master's Thesis, Montreal, Canada, 136 s.
- [39] Segura Jr, C. L., Wallace, J. W. 2018. Seismic performance limitations and detailing of slender reinforced concrete walls. **ACI Structural Journal**, **115**(3): 849-859.
- [40] Ghaseminia, S. M., Zahra, T., Thambiratnam, D. P., Thamboo, J. 2023. Response of RC shear walls with single and double layers of reinforcements subjected to in-plane cyclic loading. In *Structures* (Vol. 56, p. 105005). Elsevier.
- [41] Xie, X., Guo, Z., Basha, S.H., Huang, Q., 2022. A novel shear strengthening of existing rc shear walls using steel wire mesh and polymer mortar. **Buildings**, **12** (2): 219-233.
- [42] Woods, J. E., Lau, D. T., Cruz-Noguez, C. A. 2016. In-plane seismic strengthening of nonductile reinforced concrete shear walls using externally bonded CFRP sheets. **Journal of Composites for Construction**, **20**(6): 04016052.
- [43] Habibi, O., Khaloo, A., Abdoos, H. 2021. Seismic behavior comparison of RC shear walls strengthened using FRP composites and steel elements. **Scientia Iranica**, **28**(3): 1167-1181.
- [44] Belay, A., Wondimu, T. 2023. Seismic performance evaluation of steel and GFRP reinforced concrete shear walls at high temperature. **Journal of Engineering and Applied Science**, **70**(1): 4-17.

- [45] El-Sokkary, H., 2012. Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Shear Walls Using Fibre Reinforced Polymer Composites, Concordia University. The Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Doctoral Thesis, Montréal, Québec, Canada, 208 s.
- [46] Eman, A., 2023. Fiber Reinforced Polymer Strengthening of Reinforced Concrete Wall-Foundation Connections Under Reverse Cyclic Loading. Graduate Faculty of North Carolina State University, Master's Thesis, Raleigh, North Carolina, 136 s.
- [47] Woods, J.E., 2014. Seismic Retrofit of Deficient Reinforced Concrete Shear Walls using Fibre-reinforced Polymer Sheets: Experimental Study and Anchor Design. Carleton University, Ottawa-Carleton Institute of Civil and Environmental Engineering, Master's Thesis, Ottawa, Canada, 134 s.
- [48] Hamoda, A., Bahrami, A., Abadel, A.A., Ahmed, M., Ghalla, M., 2025. Strengthening reinforced concrete walls with externally bonded galvanized steel sheets and near-surface mounted steel bars. **Buildings**, **15** (4): 636-648.
- [49] Dukes, J., Sattar, S., 2005. Retrofit of reinforced concrete shear walls with CFRP composites. *Conference: fib Symposium- Keep Concrete Attractive*, Budapest, Hungary.
- [50] Hassanein, A., Mohamed, N., Farghaly, A.S., Benmokrane, B., 2016. Enhancing the deformation capacity of concrete shear walls reinforced with gfrp bars. *Conference: Canadian Society for Civil Engineering Annual Conference (CSCE 2016)*, London, Ontario, Canada,
- [51] Lombard, J.C., 1997. Seismic Strengthening And Repair Of Reinforced Concrete Shear Walls Using Externally Bonded Carbon Fibre Tow Sheets. Carleton University, Department of Civil and Environmental Engineering, Master's Thesis, Ottawa, Ontario, Canada, 355 s.
- [52] Almassri, B., 2024. Experimental and fe numerical analysis of rc shear walls retrofitted using cfrp and steel plates. **The Open Civil Engineering Journal**, **18**: 1-14.
- [53] Elnady, M.M.E., 2008. Seismic Rehabilitation of RC Structural Walls. McMaster University, School of Graduate Studies, Master's Thesis, Hamilton, Canada, 329 s.
- [54] Zavala, C., Gibu, P., Lavado, L., Taira, J., Cardenas, L., Ceferino, L., 2012. Cyclic behavior of low ductility walls considering perpendicular action. **Journal of Disaster Research**, **8**(2): 312-319.

- [55] Layssi, H., Cook, W.D., Mitchell, D., 2012, Seismic response and CFRP retrofit of poorly detailed shear walls. **Journal of Composites For Construction**, **16**(3): 332-339.
- [56] Antoniadou, K.K., Salonikios, T.T., Kappos, A.J., 2003. Cyclic tests on seismically damaged R/C walls strengthened using FRP reinforcement. **ACI Structural Journal**, **25**: 510-518.
- [57] Beyer, K., Dazio, A., Priestley, M.J.N., 2011. Shear deformations of slender reinforced concrete walls under seismic loading. **ACI Structural Journal**, **108**(2): 167-177.
- [58] Paterson, J., 2001. Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Shearwalls. McGill University, A Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies, Master's Thesis, Montreal, Canada, 136 s.
- [59] Khalil, A., Ghobarah, A., 2005. Behaviour of rehabilitated structural walls. **Journal of Earthquake Engineering**, **9**(3): 371-391.
- [60] Carrillo, J., Alcocer, S.M., 2013. Shear Strength of Reinforced Concrete Walls for Seismic Design of Low-Rise Housing. **ACI Structural Journal**, **110**(3): 415-426.
- [61] FEMA 461 Draft document, Federal Emergency Management Agency, 2007. Interim Protocols for Determining Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components Through Laboratory Testing.
- [62] Düğenci, O. 2015. Artı kesitli çekirdeğe sahip burkulması önlenmiş basınç çubuklarının eksenel yük altında deneysel ve numerik araştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 299 s.
- [63] Etabs 19, 2019. Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems. Computers and Structures Inc., Berkeley, United States.
- [64] Pujol, S., Bedirhanoglu, I., Donmez, C., Dowgala, J. D., Eryilmaz-Yildirim, M., Klaboe, K., Sonmez, E. 2024. Quantitative evaluation of the damage to RC buildings caused by the 2023 southeast Turkey earthquake sequence. **Earthquake Spectra**, **40**(1): 505-530. <https://doi.org/10.1177/8755293023>.
- [65] TS500-2000. 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü Yayınları, Ankara, 79s.
- [66] ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
- [67] FEMA 356 Draft document, Federal Emergency Management Agency, 2000. Interim Protocols for Determining Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components Through Laboratory Testing.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Hakan YILMAZ

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durumu:

GSM:

E-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	NİĞDE ÜNİVERSİTESİ	30/09/2014
Lise	KOCASİNAN LİSESİ	30/06/2006

YABANCI DİL

İngilizce

Hakan Yılmaz "BAŞLIKSIZ BETONARME PERDELERİN KARBON LİFLİ POLİMER DEMETLERİ İLE BAŞLIK BÖLGESİ OLUŞTURULARAK GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI"

ORJİNALLİK RAPORU

% 14	% 14	% 7	% 5
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 5
2	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	% 1
3	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	% 1
4	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	% 1
5	www.scribd.com İnternet Kaynağı	% 1
6	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	gcris.ktun.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
8	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
9	escholarship.org İnternet Kaynağı	<% 1
10	acikerisim.sakarya.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
11	w.ymlt.org İnternet Kaynağı	<% 1

12	assets.researchsquare.com İnternet Kaynağı	<% 1
13	link.springer.com İnternet Kaynağı	<% 1
14	Feng Li, Baocheng Zhao, Yingmin Li, Tao Lü, Guojue Wang. "Experimental and numerical studies on the hysteretic behavior of linked column frame with uplifted column feet", Journal of Constructional Steel Research, 2022 Yayın	<% 1
15	Sanci, Emrah. "Yuksek yapı Sistemlerinin performanslarında P-Delta Etkisinin değerlendirilmesi", Bursa Uludag University, 2021 Yayın	<% 1
16	www.acarindex.com İnternet Kaynağı	<% 1
17	Özgür Yıldız, Ali Fırat Çabalar. "Analyzing seismic impact across regions: A comprehensive study of the Pazarcık and Elbistan earthquakes in Türkiye (February 6, 2023)", Journal of African Earth Sciences, 2025 Yayın	<% 1
18	aees.org.au İnternet Kaynağı	<% 1
19	Mohamed F.M. Fahmy. "Advanced fiber-reinforced polymer composites to enhance seismic response of existing structures", Elsevier BV, 2023 Yayın	<% 1
20	Ghida Edlebi, Adnan Masri, Oussama Baalbaki, Nour Wehbi. "Experimental and numerical investigation on the behavior of	<% 1

21

Tomáš Vlach, Jakub Řepka, Jakub Hájek, Jan
Pošta, Richard Fürst, Petr Hájek. "Shear
Capacity of Hollow High-Performance
Concrete Beams with Cross-Wound Carbon
Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement",
Polymers, 2024

Yayın

<% 1

22

www.hig.se

İnternet Kaynağı

<% 1

23

acikerisim.karatay.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

<% 1

24

celikkollu.medeniyetmuhendisleri.com

İnternet Kaynağı

<% 1

25

Submitted to EPOKA University

Öğrenci Ödevi

<% 1

26

Submitted to University of Wollongong

Öğrenci Ödevi

<% 1

27

curve.carleton.ca

İnternet Kaynağı

<% 1

28

sara.openquake.org

İnternet Kaynağı

<% 1

29

www.eaee.org

İnternet Kaynağı

<% 1

30

polen.itu.edu.tr:8443

İnternet Kaynağı

<% 1

31

www.scielo.cl

İnternet Kaynağı

<% 1

32	İnternet Kaynağı	<%1
33	acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
34	pt.scribd.com İnternet Kaynağı	<%1
35	tez.sdu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
36	www.diva-portal.org İnternet Kaynağı	<%1
37	www.wikidata.it-it.nina.az İnternet Kaynağı	<%1
38	structurae.net İnternet Kaynağı	<%1
39	www.eng.buffalo.edu İnternet Kaynağı	<%1
40	O.S. AlAjarmeh, A.C. Manalo, B. Benmokrane, K. Karunasena, W. Ferdous, P. Mendis. "Hollow concrete columns: Review of structural behavior and new designs using GFRP reinforcement", Engineering Structures, 2020 Yayın	<%1
41	fbe.nny.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
42	www.akademikbilgisistemi.com İnternet Kaynağı	<%1
43	www.okangungor.com.tr İnternet Kaynağı	<%1
44	9lib.net İnternet Kaynağı	<%1

45	Submitted to Nevşehir Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
46	nehrpsearch.nist.gov İnternet Kaynağı	<% 1
47	spectrum.library.concordia.ca İnternet Kaynağı	<% 1
48	web.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
49	Submitted to Bartın University Öğrenci Ödevi	<% 1
50	acikerisim.antalya.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
51	Abdullah, Eman. "Fiber Reinforced Polymer Strengthening of Reinforced Concrete Wall-Foundation Connections Under Reverse Cyclic Loading", North Carolina State University, 2023 Yayın	<% 1
52	acikerisim.dicle.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
53	Submitted to Istanbul Medeniyet Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
54	acikerisim.akdeniz.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
55	bayanbox.ir İnternet Kaynağı	<% 1
56	Submitted to Erciyes Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
57	dspace.balikesir.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1

58

İnternet Kaynağı

<% 1

59

www.proteccioncivil.gob.mx

İnternet Kaynağı

<% 1

60

Akturan, Selcuk. "Birinci Basamakta BATHE Terapotik Gorusme Teknigi Kullaniminin Diyabet Hastalarinin Guclendirilmesi uzerine Etkisi", Marmara Universitesi (Turkey), 2021

Yayın

<% 1

61

Dedeoğlu, Reşit Şamil. "Akışkanlaştırıcı Katki Maddelerinin Beton Üzerine Etkilerinin İncelenmesi", Sakarya Universitesi (Turkey), 2022

Yayın

<% 1

62

Farhidzadeh, Alireza. "Application of Pattern Recognition Algorithms and Nondestructive Evaluation Techniques for the Structural Health Monitoring of Civil Structures.", Proquest, 2014.

Yayın

<% 1

63

Uz, Alican. "Tarihi yapıların koruma-onarımı için malzeme karakterizasyon yöntemlerinin değerlendirilmesi", Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

64

acikerisim.pau.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

<% 1

65

theses.hal.science

İnternet Kaynağı

<% 1

66

www.turkarchotolaryngol.net

İnternet Kaynağı

<% 1

67

Erkan Töre. "Lifli Polimer Kompozitler Ile Güçlendirilmiş (Sargılanmış) Betonarme

<% 1

Kolonların Deprem Davranışı Ve Performansa
Dayalı Deformasyon Limitleri", Balıkesir
University (Turkey), 2024

Yayın

68

Geotechnical Geological and Earthquake
Engineering, 2014.

Yayın

<% 1

69

Nassouhi, Danial. "Kadmiyum kurşun ve
kadmiyum-kurşun karışımına maruz bırakılan
Pistia stratiotes L. sucul bitkisinin
Fitoremediasyon potansiyelinin araştırılması",
Ankara Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

70

Yılmaz, Sibel. "Biyo-Esaslı Polikarboksilat
Süperplastikleştiricilerin Sentezi ve Çimento
Katkısı Olarak Etkilerinin İncelenmesi",
Marmara Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

71

cds.ismrm.org
İnternet Kaynağı

<% 1

72

fizikolog.net
İnternet Kaynağı

<% 1

73

ijmcl.aydin.edu.tr
İnternet Kaynağı

<% 1

74

www.alpinsport-basis.de
İnternet Kaynağı

<% 1

75

www.isarder.org
İnternet Kaynağı

<% 1

76

www.statikproje.gen.tr
İnternet Kaynağı

<% 1

77

DİNÇER, Rıza and ÇAĞATAY, İsmail H.. "Pomza
ile yapılan hafif betonların mekanik
özellikleri", TUBİTAK, 2004.

<% 1

78

Yiğiter, Hüseyin. "Betonarme Donatısında Klorid Korozyonu Gelişiminin Elektrokimyasal Yöntemlerle Belirlenmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

79

ACI, ACI, CSA, Dassault Systemes, Ehsani M, Hassan A, Hiotakis S, Jacques E, Kanakubo T, Khalifa A, Lombard J, Teng JG. "A concentric tube anchor system for fiber-reinforced polymer retrofit of reinforced concrete structural walls under extreme loads", 'SAGE Publications'

İnternet Kaynağı

<% 1

80

Ahmed, Musfir. "Kirişe oturan kolonlara sahip betonarme binanın davranışının yapım aşamalarını dikkate alan analizle irdelenmesi", Bursa Uludag University (Turkey), 2023

Yayın

<% 1

81

Dilek, Eyüp Bora. "Korozyon etkisi altındaki betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan davranışının sabit tek modlu itme yöntemi ile incelenmesi", İzmir Katip Celebi University (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

82

Köse, Mehmet Bülent. "Bir yolcu iskelesinin performans değerlendirmesi: Bodrum Iskelesi örneği", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

83

Mohammad Javad Moradi, Mohammad Amin Hariri-Ardebili. "Developing a Library of Shear Walls Database and the Neural Network Based Predictive Meta-Model", Applied Sciences, 2019

<% 1

84

Polat, Kasim. "Lifli Polimerle Guclendirilen Betonarme Yapi Elemanlarinin Kapasite Hesabi Icin Analitik Yontemler", Bursa Uludag University (Turkey), 2022

Yayın

<%1

85

doi.org
İnternet Kaynağı

<%1

Alıntıları çıkart

Kapat

Eşleşmeleri çıkar

Kapat

Bibliyografyayı Çıkart

Kapat