

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

**MEVCUT YAPILARDAKİ BAŞLIKSIZ BETONARME
PERDELERİN KARBON LİFLİ KUMAŞ VE
PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Ersin YİĞİT**

**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**

**MEVCUT YAPILARDAKİ BAŞLIKSIZ BETONARME
PERDELERİN KARBON LİFLİ KUMAŞ VE
PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL
ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Ersin YİĞİT**

**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.

Ersin YİĞİT



YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI

“Mevcut Yapılardaki Başlıksız Betonarme Perdelerin Karbon Lifli Kumaş ve Plakalarla Güçlendirilmesinin Deneysel Araştırılması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi Lisansüstü Tez Yazım Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Ersin YİĞİT

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV

KABUL VE ONAY SAYFASI

Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV danışmanlığında **Ersin YİĞİT** tarafından hazırlanan “**Mevcut Yapılardaki Başlıksız Betonarme Perdelerin Karbon Lifli Kumaş ve Plakalarla 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

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen çalışmalarım sırasında en büyük katkı sahibi sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı başta Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarından Doç. Dr. Oğuz DÜĞENCİ'ye, Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarından Doç. Dr. Tamer DİRİKGİL'e, Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarından Arş. Gör. Hüseyin Hilmi ASLANBAY'a, İnş. Müh. Hakan YILMAZ'a, İnş. Müh. Mustafa BÜYÜKBAŞ'a, İnş. Müh. Mustafa ÖZDEMİR'e, Ahmet ERDEN'e, Tolga YILMAZ'a ve Cemal ÖZBEK'e ve malzeme desteği sağlayan Tetraglobe Yapı Malzemeleri Pazarlama A.Ş. teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince büyük bir sabır ve özveri göstererek beni daima destekleyen anneme, babama ve değerli aileme en içten şükranlarımı sunarım (Kayseri, Nisan 2025).

Ersin YİĞİT

MEVCUT YAPILARDAKİ BAŞLIKSIZ BETONARME PERDELERİN KARBON LİFLİ KUMAŞ VE PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Ersin YİĞİT

Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Nisan 2025

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ertan SÜLEV

ÖZET

Ülkemizde meydana gelen depremler, binaların yıkılmasına, zarar görmesine ve can kayıplarına yol açmıştır. İnsanların ve yapıların güvenliğin sağlanabilmesi için, zarar görme ve yıkılma riski taşıyan binaların tespit edilmesi, çözümü zor ve önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Riskli yapıların yıkılıp yeniden inşa edilmesi dışında, güçlendirme çalışmalarıyla sağlanabilecek iyileştirmeler de bir alternatif sunmaktadır. Riskli yapıların güçlendirilmesi amacıyla birçok teknik geliştirilmiş olup, bunların bazıları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde yer almakta ve uygulamada kullanılmaktadır.

Lif takviyeli polimerler, yüksek dayanım/ağırlık oranı, yapının işlevselliğini etkilememesi, kolay uygulanabilir olması ve şekil değişikliğine yol açmaması gibi avantajlarıyla yetersiz ve kusurlu yapıların güçlendirilmesinde alternatif bir materyal haline gelmiştir. Ülkemizde, ilk kez 1998 Deprem Yönetmeliği 7.6.5.2'de Betonarme Perdelerde başlık bölgesi oluşturulması zorunlu kılınmıştır. Bu yönetmelik öncesinde yapılmış olan binalardaki taşıyıcı perde elemanların, karbon lifli kumaş ve plakalarla güçlendirilmesiyle başlıksız betonarme perdelerdeki etkilerin deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu karbon elyaf ile perdelerin başlık bölgesine yapılan güçlendirmelerin süneklik kapasitesinde kayda değer artış sağladığı; “L” karbon elyaf plakalar ile karbon kumaş sargı arasında mukayese yapıldığında ise süneklik kapasitelerinin yakın değerler verdiği görülmüştür. Böylece yeni bir güçlendirme şekli olabilecek “L” plaklar ile perde başlıkları sonradan dışardan oluşturulma imkanı sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karbon Lifli Kumaş, Karbon Lifli Plakalar, Başlıksız Perdeler

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF REINFORCEMENT OF BOUNDARY ELEMENTS REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS IN EXISTING BUILDINGS WITH CARBON FIBRE FABRIC AND PLATES

Ersin YİĞİT

Nuh Naci Yazgan University, Institute of Graduate Studies

Master of Science (M. Sc.) Thesis, April 2025

Supervisor: Asst. Prof. Ertan SÜLEV

ABSTRACT

The earthquakes that occurred in our country have led to the collapse of buildings, damage and loss of life. In order to ensure the safety of people and buildings, the identification of buildings at risk of damage and collapse is a difficult and important problem to solve. In addition to the demolition and reconstruction of risky buildings, improvements that can be achieved through retrofitting works also offer an alternative. Many techniques have been developed for the retrofitting of risky structures, some of which are included in the Turkish Building Earthquake Code and used in practice.

In recent years, composite materials have been widely used in civil engineering. Fiber reinforced polymers have become an alternative material for strengthening inadequate and defective structures with their advantages such as high strength/weight ratio, not affecting the functionality of the structure, being easily applicable and not causing shape change. In our country, for the first time in 1998 Earthquake Regulation 7.6.5.2, it was made compulsory to create a boundary elements in reinforced concrete walls. However, there is a building stock in our country built before the 1998 regulation. The studies conducted revealed that reinforcements made with carbon fiber in boundary elements of the curtains resulted in a significant increase in ductility capacity. When comparing “L” carbon fiber plates with carbon fabric wraps, it was observed that their ductility capacities were close to each other. Thus, “L” plates, which could serve as a new reinforcement method, enable the curtain boundary elements to be formed externally afterward.

Keywords: Carbon Fiber Fabric(CFRP), Carbon Fiber Plates, Boundary Elements Shear Wall



İÇİNDEKİLER

MEVCUT YAPILARDAKİ BAŞLIKSIZ BETONARME PERDELERİN KARBON LİFLİ KUMAŞ VE PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ONAYI	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xiv

1. BÖLÜM: GENEL BİLGİLER VE KAPSAM

1.1. Giriş	1
1.2. Betonarme Perdeler.....	1
1.3. Ülkemizde Yayımlanan Deprem Yönetmelikleri	2
1.4. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı.....	3

2. BÖLÜM: LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. Literatüre Giriş.....	6
2.2. Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	6

3. BÖLÜM: GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Nümerik Çalışma Programı	59
3.1.1. Analizlerde Kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemine Genel Bakış	59
3.1.2. Etabs.....	61
3.1.3. Deney Öncesi Çalışmalar	63
3.2. Deneysel Çalışma Programı.....	69

3.2.1. Deney Numunelerinin İsimlendirilmesi	70
3.2.1.1. P1-Ref-C12 Numunesi	70
3.2.1.2. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi	70
3.2.1.3. P5-Ret-CF-Cov-C12 Numunesi	70
3.3. Deney Numunelerinin Mekanik Özellikleri	71
3.3.1. Agrega	71
3.3.2. Donatı Çeliği	71
3.3.3. Beton	73
3.4. Numunelerin Hazırlanması	74
3.5. Deney Düzeneği	80
3.6. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar	82
3.7. Yükleme Prosedürlerinin Tanımlanması	85

4. BÖLÜM: DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI VE ANALİZİ

4.1. Genel Bilgiler	89
4.2. Açıklamalar	89
4.3. Yükleme Sonucu Oluşan Hasar ve Çatlak Gelişimleri	90
4.3.1. P1-Ref-C12 Numunesi Hasar Durumu	91
4.3.2. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Hasar Durumu	98
4.3.3. P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Hasar Durumu	108
4.4. Histeresis Eğrileri ve Davranışı (Yatay Yük-Yer değiştirme Tepkileri)	115
4.5. Numunelerin Karşılaştırılmaları	125

5. BÖLÜM: SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar	130
5.2. Öneriler	134
EKLER	136
EK-1: P1-Ref-C12 Numunesi Hasar Resimleri	136
EK-2: P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Hasar Resimleri	139
EK-3 P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Hasar Resimleri	143
KAYNAKLAR	145
ÖZGEÇMİŞ	154

KISALTMALAR VE SİMGELER

<u>Sembol /Kısaltma</u>	<u>Anlamı / Açılımı</u>
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
ASCE	American Society of Civil Engineers (Amerikan İnşaat Mühendisleri Odası)
BÖBÇ	Burkulması Önlenmiş Basınç Çubuğu
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer (Karbon Fiber Takviyeli Polimer)
CSA-A23.3-04	A23.3-04 Design of concrete structures (A23.3-04 Beton yapıların tasarımı)
d	Çap
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
Ecj	“j” günlük betonun elastisite modülü
fck	Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
fct	Betonun çekme dayanımı
f_{ct}	Yarmada çekme dayanımı
FEMA	Ulusal Acil Durumlar Yönetim Ajansı (Federal Emergency Management Agency)
FRP	Fiber Reinforced Polymer (Elyaf Takviyeli Polimer)
fy	Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
GFRP	Glass Fiber Reinforced Polymer (Cam Fiber Takviyeli Polimer)
h	Yükseklik
Hcr	Perde kritik yüksekliği
Hw	Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
L	Numunenin yükleme levhasına temas çizgisi uzunluğu
lw	Perdenin veya bağ kirişli perde parçasının plandaki uzunluğu
NBCC 2005	National Building Code of Canada 2005 (Kanada Ulusal Bina Yönetmeliği 2005)
Ø	Donatı Çapı
SEM	Sonlu elemanlar yöntemi

TBDY

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

TS

Türk Standartları

TÜİK

Türkiye İstatistik Kurumu



ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. Modelin malzeme dayanımları	64
Şekil 2. Modelin geometrisi	64
Şekil 3. Modelin düşey yükler ve yatay birim yük altındaki görüntüsü	65
Şekil 4. Perde elemanın Fiber-P-M3 mafsalları	66
Şekil 5. Perde elemandaki fiberlerin üzerindeki birim şekil değiştirme- gerilim grafikleri (donatı akma seviyesi)	67
Şekil 6. Perde elemandaki fiberlerin üzerindeki birim şekil değiştirme- gerilim grafikleri (donatı kopma seviyesi)	68
Şekil 7. Perde elemanın pushover analizi ile kuvvet-deplasman grafiği	69
Şekil 8. Donatı çeliği grafiği	72
Şekil 9. Taze beton deneyi	74
Şekil 10. Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırmaları Laboratuvarı	75
Şekil 11. Temel ve perde kalıp ve demir detayı.....	76
Şekil 12. Temel kalıp ve demir imalatı	76
Şekil 13. Temel betonu dökülmesi ve numune alınması	77
Şekil 14. Perde kalıp ve demir imalatı	77
Şekil 15. Perde beton dökülmesi ve kalıp söküldükten sonraki görüntüsü.....	78
Şekil 16. Deney numunelerinin laboratuvara alınması	79
Şekil 17. Deney numunelerinin güçlendirilmesi.....	79
Şekil 18. Deney düzeneği 3D görünüşü.....	81
Şekil 19. Deney düzeneği görünüşü.....	81
Şekil 20. Yatay ve düşey yük uygulayan pistonlar	83
Şekil 21. Deney ekipmanları (hidrolik pompa, datalogger, LVDT, bilgisayar)	84
Şekil 22. Kullanılan yükleme geçmişinin kavramsal diyagramı.....	86
Şekil 23. Etabs programında oluşturulan perdenin Pushover Eğrisi ve Akma Yer değiştirme Değeri.....	87
Şekil 24. Deneyde kullanılan yükleme protokolü	87
Şekil 25. P1-Ref-C12 Numunesi deney başlangıcı	91
Şekil 26. P1-Ref-C12 Numunesi deney sonu görüntüleri	98
Şekil 27. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi deney başlangıcı görüntüsü	99
Şekil 28. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi deney sonu görüntüleri	107

Şekil 29. P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi deney başlangıcı görüntüsü.....	108
Şekil 30. P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi deney sonu görüntüleri.....	114
Şekil 31. P1-REF-C12 numunesi kuvvet- yerdeğiştirme eğrisi.....	116
Şekil 32. P1-REF-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği	117
Şekil 33. P1-REF-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği.....	117
Şekil 34. P1-REF-C12 numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği.....	118
Şekil 35. P1-REF-C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği	118
Şekil 36. P1-REF-C12 numunesinin tokluk grafiği	119
Şekil 37. P4-RET-PL20-C12 numunesi kuvvet- yerdeğiştirme eğrisi.....	119
Şekil 38. P4-RET-PL20-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği	120
Şekil 39. P4-RET-PL20-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği	120
Şekil 40. P4-RET-PL20-C12 numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği.....	121
Şekil 41. P4-RET-PL20-C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği.....	121
Şekil 42. P4-RET-PL20-C12 numunesinin tokluk grafiği.....	122
Şekil 43. P5-RET-CF-COV-C12 numunesi kuvvet- yerdeğiştirme eğrisi.....	122
Şekil 44. P5-RET-CF-COV-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği	123
Şekil 45. P5-RET-CF-COV-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği	123
Şekil 46. P5-RET-CF-COV-C12 numunesinin tokluk grafiği.....	125
Şekil 47. Tüm numunelerin birlikte histeresis karşılaştırması.....	125
Şekil 48. Tüm numunelerin birlikte enerji tüketim karşılaştırması	126
Şekil 49. Tüm numunelerin birlikte tokluk kapasitesi karşılaştırması.....	126
Şekil 50. Tüm numunelerin birlikte zarf eğrileri karşılaştırması	127
Şekil 51. Tüm Numunelerin birlikte süneklik oranları karşılaştırması.....	127
Şekil 52. Tüm numunelerin birlikte elastik ve plastik enerji tüketimlerinin karşılaştırması	128
Şekil 53. Tüm numunelerin birlikte rijitlik-ötelenme karşılaştırması.....	1277
Şekil 54. Tüm numunelerin birlikte (Mak.:75mm) deplasman seviyesinde histerezis karşılaştırması	1288

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1. Nervürlü betonarme çeliklerine ait mekanik özellikleri	72
Tablo 2. Taze beton deney sonuçları.....	73
Tablo 3. Karot basınç deney sonuçları	74
Tablo 4. Bağlı yükleme geçmişi yer değiştirme genlikleri [32]- [8].....	86



1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE KAPSAM

1.1. Giriş

İnşaat sektöründe dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de yapıların taşıyıcı sistemlerinde en sık tercih edilen malzemeler beton ve çeliktir. Bu iki malzemenin popülerliğinin arkasında yatan ana sebeplerden biri, üretimlerinin yeterince yaygın ve ekonomik olmasıdır. Beton ve çelik arasında seçim yapılırken, her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları dikkat çekerken, hangi malzemenin tercih edileceği genellikle yapılacak işin türüne ve fayda/maliyet analizleri sonuçlarına bağlıdır. Çelik ile kombine edildiğinde beton, betonarme olarak adlandırılan bir yapı malzemesi haline gelir. Bu birleşim, belirli bir sebep-sonuç ilişkisine dayanır: Sertleşmiş beton yüksek basınca karşı dayanıklı olmasına karşın, çekme dayanımı düşüktür. Çelikte birlikte kullanıldığında ise, beton daha sünek bir yapı elemanı haline gelir. Betonarme, inşaat sektöründe barajlardan havaalanlarına, altyapı projelerinden enerji santrallerine ve ulaşım yapılarından çeşitli yapı türlerine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Betonarme, temel elemanlardan kolonlara, kirişlere, döşemelere ve perde duvar elemanlarına kadar çeşitli formlarda uygulanabilir.

1.2. Betonarme Perdeler

Betonarme yapı elemanlarından olan perdeler; betonarme bir yapıda, döşeme ve kirişler aracılığıyla üzerine gelen statik ve dinamik yükleri güvenli bir şekilde yapının temeline ileten düşey yapı unsuruna denir. Perdelerin diğer düşey taşıyıcı elemanlardan ayıran en temel şekil özelliği belirli bir en boy oranına sahip olması zorunluluğudur. Kolonlar kirişler ve perdeler için geometrik özellikleri açısından şekil özellikleri ilk olarak 1968 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkında Yönetmelik’ belirtilmiş ve yönetmeliğin 6. Bölümünde;

Perdeler:

a) Betonarme perde duvarlarının kalınlığı en az 20 cm. ve kat yüksekliğinin 1/25’ inden az olamaz. Bu perde duvarlarında kullanılacak teçhizat, yatay ve düşey yönde ve ayrı ayrı her iki yüzde beton kesitinin binde ikibuçüğünden az olamaz. Demir aralıkları perde kalınlığından daha az olamaz.

b) Her kattaki düşey perde alanının %15 ini geçmiyen boşlukların iç ve dış kenarlarına en az ikişer adet Ø16'lık çubuk demir konulacaktır. Daha büyük boşluklar için boşluk gözönüne alınarak hesap yapılacaktır. Her iki kenardaki demirlerin toplam boşluk sebebiyle kesilen demirlerin alanından az olmayacaktır. Ayrıca her, köşeye de yatay düzlemle 45° lik açı meydana getiren en az ikişer adet Ø16'lık demir çubuk konacaktır. Bu demir çubuklar, perde boşluğu kenarından aderans boyu kadar uzatılacaktır.

c) Perdeler bodrum katından itibaren çatıya kadar üst üste gelecektir.

şeklinde ifade edilmiştir [6]. En ve boy oranı ile ilgili ilk kıstas ise 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkında Yönetmelik'de belirtilmiş ve yönetmeliğin 6.7.2 Bölümünde; “Perdeler, planda uzun kenarının kalınlığa oranı en az beş katı olan düşey taşıyıcı elemanlardır. Betonarme taşıyıcı perde duvar kalınlığı kat yüksekliğinin ve perde genişliğinin 1/20 sinden ya da 15 cm'den az olamaz” şeklinde ifade edilmiştir [7]. Bu en boy oranı daha sonra hazırlanan yönetmeliklerde değişiklikler göstermiştir. Gününüzde perdelerde bulunan başlık bölgeleri ise ilk olarak 1998 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde 7.6.2. Perde Uç Bölgeleri ve Kritik Perde Yüksekliği bölümünde; “7.6.2.1- $H_w / l_w > 2.0$ olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulacaktır. Perde uç bölgeleri, perdenin kendi kalınlığı içinde oluşturulabileceği gibi, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde de düzenlenebilir” şeklinde ifade edilmiştir [10].

1.3. Ülkemizde Yayınlanan Deprem Yönetmelikleri

Ülkemizde depremler, tarih boyunca yıkıcı etkileriyle hafızalardan silinmemiş, pek çok can ve mal kaybına yol açmıştır. Bu sebeple, afet denildiğinde akla ilk olarak deprem gelmektedir. Depremlerin kısa sürelerde büyük zararlar vermesi, yönetimin bu konuyla sürekli ilgilenmesini zorunlu kılmıştır. Bugüne kadar, ülkemizde on farklı deprem yönetmeliği yürürlüğe girmiştir;

- 1940 Zelzele Mıntıklarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi [1].
- 1944 Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi [2].
- 1949 Türkiye Yersarsıntısı Bölgeleri Yapı Yönetmeliği [3].
- 1953 Yersarsıntısı Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik [4].
- 1962 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) [5].

- 1968 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) [6].
- 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) [7].
- 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) [8].
- 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) [9].
- 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [10].

Deprem konuları, Afet Yönetmeliği adı altında çıkarılan belgelerde her zaman ön planda olmuşlardır. 1949 öncesi yönetmeliklerde betonarme binalar henüz kapsamlı bir şekilde ele alınmamış, dolayısıyla deprem hesaplarına dair detaylar bulunmamaktadır. İlk basit deprem hesapları, 1949 yönetmeliğinde yer almıştır ve sonraki yönetmeliklerle daha ayrıntılı hale gelmiştir. 1975 ve 1997 arasında büyük depremler yaşanmasına rağmen, 1975 yönetmeliği uzun süre yürürlükte kalmıştır. Bu 22 yıllık dönemde, Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi ve Bayındırlık-İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, çeşitli taslak yönetmelikler hazırlayarak mühendislerin çalışmalarına rehberlik etmiştir. Depremler sonrasında genellikle malzeme kalitesizliği, yapım hataları ve yönetmelik yetersizlikleri gündeme gelse de asıl önemli olan, tasarımların yönetmelik ve standartlara ne derece uygun yapıldığıdır. Bugün pek çok binanın, inşa edildikleri dönemde geçerli olan yönetmeliklere uygun olmadığı veya ciddi tasarım eksiklikleri taşıdığı bilinen bir gerçektir. Bu durum, binaların deprem performansını değerlendirme sürecinde büyük zorluklar doğurmaktadır [11].

1.4. Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Ülkemizin, bilindiği gibi, Alp-Himalaya Deprem Kuşağı üzerinde bulunması nedeniyle önemli bir deprem bölgesinde yer aldığı söylenebilir. Bu kuşak, dünya genelindeki büyük depremlerin %17'sinin meydana geldiği ve Pasifik Deprem Kuşağı'ndan sonra en aktif ikinci sismik alan olarak kabul edilmektedir.

Nüfusumuzun yaklaşık %70'inin yüksek sismik aktiviteye sahip bölgelerde ikamet ettiği bilinmektedir. Ülkemizin sismik karakteri dikkate alındığında, geçmişte yaşanan ve gelecekte yaşanması olası depremlerin ciddi yapı hasarlarına yol açacağı tahmin edilmektedir. Bu tür depremlerin can ve mal kaybına neden olması kaçınılmazdır.

Bu nedenle, inşa edilecek binalarda kullanılan malzemelerin yanı sıra, taşıyıcı sistemlerin doğru ve etkili bir şekilde seçilmesi büyük önem taşımaktadır.

Ülkemizde deprem yönetmeliklerinin tarihsel kronolojisine bakıldığında, depreme dayanaklı yapı üretilmesi yapıların statik tasarımlarında dikkat edilmesi gereken hususların ve eleman bazında ciddi anlamda detaylandırmaların ilk olarak 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) de ele alındığı görülmektedir. Daha önce hazırlanan yönetmeliklerde yapıların depreme karşı dayanımları genel ifadelerle ele alınmıştır.

Bir yapının projelendirilme aşamasında yapının taşıyıcı sistemin ve elemanlarının belirlenmesinde yapının zemin özelliklerinin, mimarisin, kullanım amacının, yapı sahibinin yapıdan beklentilerin, yapıldığında çevreye olan etkilerinin, imalat aşamasındaki koşullarının, projenin yapıldığı yılda yürürlükte olan yönetmelik, standartlar ve mühendislik esaslarına göre proje müellifi tarafından hazırlanmasında önemli olan başlıca etkenlerdir.

Günümüzde taşıyıcı sistem eleman seçinde betonarme perdeler yüksek rijitlikleri ve ötelenmelerinin çok kısıtlı olması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bu durum yapının taşıyıcı sisteminde deprem kuvvetlerinin karşılanmasında önemli yer almaktadır. Mevcut deprem yönetmeliğinde plandaki en boy oranı 1/6 olarak belirlenen betonarme perdeler başlık (uç) bölgesi oluşturulmalı ve bu kritik perde yüksekliği boyunca planda perde genişliğinin 2 katından ve perdenin plandaki uzunluğunun 0.2 katından büyük, kritik perde yüksekliğinden sonra ise perde genişliğinden ve perdenin plandaki uzunluğunun 0.1 katından büyük büyük olmak zorundadır. Betonarme perde beton için en kesit koşulları ilk olarak 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) de belirtilmiş ve plandaki en boy oranı 1/7 olarak belirlenen betonarme perdeler başlık (uç) bölgesi oluşturulmalı ve bu kritik perde yüksekliği boyunca planda perde genişliğinin 2 katından ve perdenin plandaki uzunluğunun 0.2 katından büyük, kritik perde yüksekliğinden sonra ise perde genişliğinden ve perdenin plandaki uzunluğunun 0.1 katından büyük büyük olmalı şekilde tanımlanmıştır. Daha önceki deprem yönetmeliklerinde başlık (uç) bölgesi oluşturulması buna göre donatı yerleşimi yapılması konusunda bir şart getirilmemiştir.

Ülkemizde mevcut konut stokunun istatistiğiyle ilgili olarak TÜİK verilerine baktığımızda “İllere ve ikamet edilen binanın inşa yılına göre hanehalkı sayısı ve oranı, 2021” çalışmasında Türkiye’de Konutta ikamet eden hanehalkı sayısı 25.329.833 olarak belirtilmiştir. Aynı çalışma 2001 ve sonrası yapılan konutta yaşan hane halkı sayını da

12.007.355 belirtilmiş [12]. Bu çalışmada yaptığımız incelemede, çalışmada bilgilerine ulaşılan nüfusun %47,40'nın 2001 yılı ve sonrası yapılan binalarda yaşadığı tespit edilmiştir. Burdan anlaşılacağı üzere ülkemizin nüfusun yaklaşık olarak %50'si 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) şartlarına uymayan yapılarda barınma ihtiyacını karşılanmakta. Yakın geçmişte yaşadığımız 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinde Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji Ve Bütçe Başkanlığının 2023 Kahramanmaraş Ve Hatay Depremleri Raporunda belirtilen depremden etkilenen illerde toplam bina sayısı 2.618.697 ve bu binaların 518.009 adedi ağır hasarlı, acil yıkılacak veya yıkık durumdaki bina sayısıdır. Ağır hasarlı, acil yıkılacak veya yıkık olarak belirlenen 518.009 yapının imalat yılı 1999 yılı öncesi yapıma oranında %98 olarak açıklanmıştır [13]. Yapılan çalışmalar ve incelemeler sonucunda 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) öncesi yapılan binaların ne kadar ciddi boyutlarda olduğu çok açık bir şekilde ortadadır. Bu yapıların hızlı bir kentsel dönüşüm marifetiyle dönüşmesi veya güçlendirme yöntemleriyle ivedi bir şekilde barınma ihtiyacını sağlayan vatandaşların can güvenliği ve yapının güvenliği sağlanmalıdır. Başlıksız perdeler olan binalar, vatandaşlarımızın öncelikli can güvenliğinin sağlanması konusunun yanı sıra ülkemiz ekonomisi için de çok önemli bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır. Mevcut durumda kentsel dönüşüm projeleriyle ve bu konuda sağlanan ciddi desteklere rağmen bazı binaların maliklerin anlayamaması veya süreçlerde yaşanan olumsuzluklar bir yana bazı binalarında basit, hızlı ve ekonomik olarak insanları sıkıntıya sokmadan mevcut yapılarında bir fonksiyon değişikliğine gitmeden güçlendirmeler yapılarak, can güvenliği sağlanarak yapının kullanıma devam edilebileceği durumlar da söz konusudur.

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde mevcut yapı stokunun büyük bölümünün 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) şartlarını sağlamayan konut türü yapıların farklı bir bakış açısıyla, imalatı kolay ve daha ekonomik bir güçlendirme yapılarak ve bu güçlendirme sonra yapının fonksiyonelliğin, kullanım amacıyla herhangi bir değişikliğe sebep olmadan yapının kullanımını devam etmesini sağlamaktır. Bu çalışma ülke nüfusun yaklaşık olarak %50'sinin yaşadığı binaların taşıyıcı sisteminde betonarme perde kullanılan binaları kapsamaktadır.

Bu tezde başlıksız betonarme perdelerin karbon lifli kumaş ve plakalar kullanarak güçlendirilmesi hedeflenmiş ve deneysel araştırılması yapılarak sonuçların değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

2. BÖLÜM

LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. Literatüre Giriş

Bir yapının inşasında, betonarme perdeler, kolonlar, kirişler ve temeller gibi dikey ve yatay taşıyıcı elemanların boyutlandırılması sürecinde seçilecek taşıyıcı sistemler büyük önem taşır. Yapının statik taşıyıcı sistem ve yapı elemanı seçiminde pek çok etken rol oynar. Bunlara hızlıca örnek vermek gerekirse; yapının kullanım amacı, mimari tasarım tercihleri, ekonomik faktörler, kullanılabilirlik, hızlı imalat gibi birçok neden sayılabilir. Ancak, yukarıda da vurgulandığı gibi, deprem ve depremin yapılar üzerindeki etkisi taşıyıcı sistem ve yapı elemanı seçiminde en kritik faktörlerden biridir. Ülkemiz, önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya Deprem Kuşağı üzerinde yer almakta olup, bu kuşak Pasifik Deprem Kuşağı'ndan sonra dünyada gerçekleşen büyük depremlerin %17'sinin meydana geldiği en sismik ikinci bölgedir. Yaklaşık nüfusumuzun %70'i yüksek sismik tehlike arz eden bölgelerde yaşamaktadır. Ülkemizin bulunduğu coğrafyanın depremselliği göz önüne alındığında, geçmişte gerçekleşmiş ve gelecekte gerçekleşmesi muhtemel depremlerin yıkıcı yapı hasarlarına neden olacağı öngörülmektedir. Olası depremlerin can ve mal kayıplarına yol açması kaçınılmaz bir gerçektir. Bu nedenle, inşa edilecek yapıların malzeme seçiminin yanı sıra taşıyıcı sistemlerinin doğru ve etkili bir şekilde belirlenmesi son derece önemlidir. Bu araştırmada ele alınacak olan betonarme perdeli taşıyıcı sistemlerin yaklaşık 55 yıldır kullanımda olduğu bilinse de bu sistemlerin yaygınlaşmasının ardında yatan sebep, beton teknolojisindeki ve betonarme yapı sistemlerindeki gelişmelerin son 100 yılda hız kazanmasıdır.

2.2. Literatürde Yapılan Çalışmalar

Betonarme binaların onarımı ve dayanıklılığının artırılması konusunda pek çok araştırma gerçekleştirilmiştir. Güçlendirme işlemleri, yapının bütünü için planlanabileceği gibi, yalnızca belirli betonarme elemanlar üzerinde de uygulanabilir. İncelemeler de bu alanları kapsamaktadır. Bu çalışmalar şu şekildedir:

Düğenci [14], Yapısal elemanların aksenal basınç altında karşılaştıkları en büyük sorunlardan biri burkulmadır. Burkulma, uygulanan yükten bağımsız olarak meydana

gelen kararsız bir denge durumudur. Çelik yapılarda, burkulma tehlikesine en çok maruz kalan elemanlar, deprem perdesi işlevi gören çapraz elemanlardır. Bu elemanlar, ani burkulma durumunda enerji sönümleme kapasitelerini kaybederek yapının genel deprem performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, eksenel yük altında çalışan basınç elemanları için burkulma dayanımına sahip uygun kesit seçimi kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, geleneksel çelik basınç çubuklarının (çelik çaprazlar) eksenel basınç altında zayıf kalma sorununu aşmak için "burkulması önlenmiş basınç çubuğu (BÖBÇ)" konsepti geliştirilmiştir. Bu tasarımda, basit geometriye artı kesitli çekirdek, iki farklı sargı tipi (zarf eleman) ile detaylandırılarak yeni bir yaklaşım sunulmaktadır. Araştırmadaki burkulması önlenmiş basınç çubukları, kullanılan zarf elemanına göre boru kesitli (CHS serisi) ve kutu kesitli (SHS serisi) olmak üzere iki farklı seride incelenmiştir. Her seride üç farklı kesit tasarlanmıştır. Bu kesitler; çekirdek ile sargı arasında doğal sürtünmeli yüzey bulunan boşluklu, sürtünmesi azaltılmış yüzey bulunan boşluklu ve sürtünmesi azaltılmış yüzey bulunan boşluksuz beton dolgulu olarak tanımlanmıştır. Referans çubuğuyla birlikte toplam yedi farklı kesitin yapısal performansı, yer değiştirme kontrollü yükleme ile hem deneysel hem de sayısal olarak değerlendirilmiştir. Beton dolgulu kesitlerin, diğer kesitlere kıyasla daha üstün yapısal performans sergilediği tespit edilmiştir.

Karaca [15], yüksek deprem tehlikesi bulunan bölgelerde, binaların güçlendirilmesi ihtiyacı sürekli bir gereklilik haline gelmiştir. Depremlerden sonra, yapı elemanları çeşitli derecelerde zarar görebilir ve bu elemanların yeniden güvenli kullanımını sağlamak zorunludur. Hasar oluşumunun nedenleri arasında kalitesiz malzeme kullanımı, işçilik hataları, montaj yanlışları ve projenin kendisinden kaynaklanan faktörler sayılabilir. Eğer yapılan incelemeler sonucunda, güçlendirme müdahaleleri ile yapının dayanıklılığı artırılabilirse ve bu müdahaleler, binanın yeniden inşasının maliyetine göre ekonomik olarak avantajlıysa, güçlendirme tercih edilir. Ancak bu müdahaleler ekonomik olarak uygun değilse, binanın yıkılması ve yeniden yapılması daha mantıklı bir seçenek olabilir.

Bu çalışmanın hedefi, betonarme karkas bir okul binasının performansını inceleyerek deprem dayanıklılığını ölçmek ve gerekli güçlendirmelerle binanın hedeflenen performans seviyesine ulaşmasını sağlamaktır. Mevcut binanın betonarme ve statik projelerindeki verilere dayanarak, STA4CAD programı kullanılarak üç boyutlu bir statik model oluşturulacak ve yapı, mevcut deprem dayanıklılığı açısından değerlendirilecektir. Mevcut durumda, ileri hasar (İH) ve göçme bölgesinde (GB)

bulunan kirişlerin çoğunluğu, belirgin hasar (BH) veya sınırlı hasar (SH) bölgesine taşınmıştır. İleri hasar bölgesinde kalan tek kiriş, 4. normal katta bulunan K6006 kirişidir. Bu durum, TBDY-2018 15.8.4. a) maddesine uygun olduğundan, yapının kontrollü hasar performans seviyesini sağladığı kabul edilmiştir.

Şahinkaya [16], deprem tehlikesi olan bölgelerde, yatay yükleri karşılamak ve yanal hareketleri kontrol altında tutmak amacıyla, orta ve yüksek katlı betonarme yapılarda genellikle perde duvarlar, çerçeveler ve bağ kirişleri gibi yapısal elemanlar tercih edilmektedir. Betonarme perdeler, sadece taşıyıcı sistemin bütünsel çöküşünü önlemekte değil, aynı zamanda yapısal olmayan parçaların zarar görmesini de sınırlandırmaktadır. Bu nedenle, bu elemanların tasarımında, dayanıklılık, sertlik ve süneklik açısından gerekli özellikleri sergileyebilmeleri için donatı detaylarının dikkatle planlanması ve doğru uygulanması kritik öneme sahiptir.

Bu çalışmada, 1998 yılı öncesinde inşa edilmiş betonarme binalarda kullanılan yatay yük taşıyan perde elemanlarının donatı detayları incelenmiştir. Betonarme elemanlara yönelik sonlu eleman analiz metotları ile yapılar özetlenmiş ve belirlenen donatı detayları için narinlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede, 1998 yılı ve öncesinde yapılmış 16 adet orta katlı betonarme bina projesi değerlendirilmiş ve bu projelerdeki betonarme perdelerin donatı detayları toplanmıştır. İncelemeler sonucunda, bu dönemde sıkça kullanılan iki farklı perde donatı detayı tespit edilmiştir.

Her bir donatının eğilme dayanımı XTRACT kesit analiz yazılımı yardımıyla hesaplanırken, kesme dayanımları ilgili standartlara uygun olarak değerlendirilmiştir. Her donatı detayına yönelik olarak iki farklı eğilme ve kesme durumu analiz edilmiş ve XTRACT yazılımı ile yapılan hesaplamalar neticesinde, her bir donatı detayı ve göçme moduna uygun donatı miktarları belirlenmiştir. 1998 yılı ve öncesine ait betonarme projelerden elde edilen donatı detayları için, eğilme ve kesme dayanıklılığının tükenmesi durumlarına uygun donatı düzenlemeleri belirlenmiştir.

Demirkıran [17], yapılar, üzerlerine etki eden yükler nedeniyle şekil değiştirirler. Bu değişimler, yüklerin belli bir seviyenin altında olduğu durumlarda elastik kalır. Ancak özellikle deprem gibi büyük yük durumlarında, yapılar rijitliklerini ve dayanımlarını kaybedebilir ve hasar oluşabilir. Bu tez çalışmasında, öncelikle depremlerin yapı üzerindeki etkileri, hasar derecelerinin tespiti ve güçlendirme yöntemlerine dair genel bilgiler sunulmuştur. Ardından, betonarme yapıların nasıl güçlendirilebileceğine yönelik çözümler ele alınmıştır. Uygulama çalışması kapsamında incelenen binanın mevcut durumu ve üç farklı güçlendirme yöntemi değerlendirilmiştir: perde eklenmesi, yalnızca

kolonların güçlendirilmesi ve her iki yöntemin birlikte uygulanması. Modeller Sta4Cad analiz programı kullanılarak çözümlenmiş ve elde edilen sonuçlar tablolarla gösterilmiştir. Tezin sonuç bölümünde, incelenen yapı için en uygun güçlendirme yönteminin önerisi yapılmıştır.

Bu çalışmada, mevcut bir binanın deprem dayanıklılığı DBYBHY 2007 standartlarına göre değerlendirilmiş ve farklı güçlendirme senaryoları analiz edilmiştir. Yapı, kolon ve kirişlerden oluşan mevcut durum modeli, perde eklenmesi, kolonların güçlendirilmesi ve her iki yöntemin bir arada uygulanması şeklinde dört farklı model üzerinden incelenmiştir. Her bir model Sta4Cad programı ile modellenmiş, veriler sabit tutularak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut durumun deprem yüklerini karşılayamayacak olması nedeniyle güçlendirme ihtiyacını ortaya koymuştur. İlk güçlendirme yöntemi olarak perde eklenmesi tercih edilmiş ve bu yöntemle binanın dayanımının arttığı, can güvenliği sınırını karşıladığı gözlemlenmiştir. İkinci güçlendirme yöntemi olan kolonların güçlendirilmesi ise binanın yeterli performansı sağlayamamasına neden olmuş ve yetersiz kalmıştır. Son olarak, perde ve kolon güçlendirme kombinasyonu ile yapı dayanımı artırılmış ve istenilen can güvenliği seviyesi sağlanmıştır. Sonuç olarak, mevcut yapı ve kolon güçlendirmesi dışındaki yöntemler binanın istenilen seviyede dayanımını sağlamıştır.

Güçlendirme çalışmaları sırasında can güvenliğini sağlayamayan yöntem olan tüm kolonların güçlendirilmesi, maliyet açısından en yüksek tutara ulaşmıştır. Bu yöntemde yüksek miktarda kalıp, beton ve donatı kullanılmıştır. Maliyet ve güvenlik açısından önerilmemektedir. Diğer yöntemler ise daha uygun maliyetlere sahiptir. Perde eklenmesi, maliyet açısından en ekonomik yöntem olarak belirlenmiştir. Bu yöntemle DBYBHY 2007 şartları da sağlanmaktadır. Güçlendirme çalışmalarında, yapıların tekrar depreme maruz kalacağı düşüncesiyle burulma oluşturulmamaya dikkat edilmeli ve bina kullanımını olumsuz etkileyecek uygulamalardan kaçınılmalıdır.

Yaltır [18], perde duvarlar, binaların yanal stabilitesini sağlamak için kritik öneme sahip taşıyıcı elemanlardır. Bu yapı elemanlarının davranışları, yükseklik/boy (H_w/ℓ_w) oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışmanın odak noktası, H_w/ℓ_w oranı 2.0'den küçük olan ve kesme davranışı sergileyen perde duvarlardır. Bu tez, kısa perdelerin tasarım ve performanslarını incelemek amacıyla analitik ve deneysel çalışmaları birleştirmiştir. Çalışmanın amacı, kısa perdelerle ilgili olası yönetmelik değişikliklerini değerlendirmek ve perde boyutlarının yapısal davranış üzerindeki etkisini incelemektir. Bu kapsamda, H_w/ℓ_w oranı 1.0 olan ve en kesit oranları 7, 6 ve 5 olan dokuz

adet $\frac{1}{2}$ ölçekli kısa perde duvar örneği üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler, perde boyutu değişiminin kesme davranışına olan etkisini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Deneyler sonucunda, tasarım aşamasında belirlenen donatı düzenlemeleriyle asal çekme kırılmalarının önlendiği, ancak perde tabanında sürtünme kesme kırılmalarının olduğu belirlenmiştir. Analitik aşamada sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizler, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Önemli bir bulgu, perde yüksekliğinin genişliğine oranının 6'nın altında kalması durumunda, sürtünme kesme kırılmasının diğer gerilme türlerinden önce ortaya çıkabileceği ve kısa perdelerin taşıma kapasitesini etkileyebileceğidir. Bu, tasarımda dikkate alınması gereken önemli bir husustur.

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yürütülen bu çalışma, kısa betonarme yapısal duvarların yanal yük davranışlarını, kapasitelerini ve süneklik özelliklerini l_w/b_w oranı doğrultusunda incelemiştir. Sabit eksenel yüke ve ters çevrimli yanal yüklemeye tabi tutulan dokuz kısa betonarme duvar, 2007 ve 2018 Türk Deprem Yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmış ve test edilmiştir. Deneysel numunelerin tümü, sabit eksenel yük altında yatay yük uygulanarak test edilmiştir. Yapılan deneyler, sürtünme kesmesi kırılma modunun kısa perdelerin taşıma gücünü etkileyen bir davranış olduğunu göstermiştir.

Serilerin dayanım zarfı eğrileri incelendiğinde, Seri III'ün tepe yükünden sonraki azalma eğiminin daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu, Seri III'in diğer serilere kıyasla daha hızlı yük kaybı yaşadığını ve daha sert bir kesme davranışına sahip olduğunu göstermektedir. Enerji tüketimi açısından, Seri I elemanları en yüksek kapasiteye sahip olarak belirlenmiştir.

Kısacası, bu çalışma, kısa perdelerin tasarımında dikkate alınması gereken kritik faktörleri ve bu elemanların yapısal performans üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur.

İnceoğlu [19], deprem riski yüksek alanlarda, betonarme perde duvarlar binalara yatay rijitlik ve dayanıklılık sağlayarak deprem ve rüzgâr yüklerine karşı tasarımda sıkça tercih edilir. Modern deprem yönetmeliklerinden önce inşa edilen bu tür binalarda, genellikle donatı ve detaylandırmada eksiklikler tespit edilmiştir. Geçmiş depremler sonrasında yapılan incelemeler, bu yapıların ağır hasar görme veya çökme eğiliminde olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle, mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi ve perde duvarlarının iyileştirilmesi, gelecekteki depremlerde hasar riskini azaltmak açısından önem kazanmıştır. Rehabilitasyonun etkili ve ekonomik

olabilmesi için, betonarme perde duvarların deprem yükleri altındaki davranışlarının doğru bir şekilde analiz edilmesi ve sistemlerin analitik modellerinin bina davranışını en iyi yansıtan şekilde oluşturulması gereklidir.

Bu çalışmanın bir parçası olarak, dünya genelinde betonarme perde duvar deneylerini içeren geniş bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı, duvarların kesme dayanımı üzerinde geometrik özellikler, eksenel yük, yanal donatı miktarı gibi farklı parametrelerin etkilerini incelemek için kullanılmıştır. Ayrıca, EuroCode 8, ASCE 7, ACI 318-14 gibi yönetmeliklerdeki kesme dayanımı formüllerinin incelenmesi ve bu formüllerin perde duvar davranışlarını daha iyi yansıtacak şekilde güncellenmesi hedeflenmiştir. Kesme dayanımı, betonarme perde duvarların davranışlarını anlamak için kritik bir özelliktir ve doğru hesaplanması, mevcut perdeli binaların değerlendirilmesinde kilit rol oynar.

Bu amaçla, daha önceki deneylerin sonuçlarından yararlanılarak kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmuş ve istatistiksel analizler yapılmıştır. DBYBHY (2007) ve ACI 318-14 yönetmeliklerine göre hesaplanan teorik kesme dayanımları, deneysel değerlerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, farklı yönetmeliklerin kesme dayanımı formüllerinin, kesme kontrolü altındaki duvarlar için genellikle deneysel dayanımdan daha düşük, karma ve eğilme kontrolü duvarlar içinse daha yüksek değerler sunduğunu göstermiştir. JSC (2001) yönetmeliği ise daha fazla parametre içerdiği için gerçek dayanımla daha uyumlu sonuçlar vermektedir.

Analizler, farklı göçme tipleri için duvarların yatay yük kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan regresyon formülleri geliştirilmiştir. Bu formüller, yüksek korelasyon ve fiziksel anlamlarını göz önünde bulundurarak alternatif seçenekler sunmuş ve bunlar arasından en uygunları seçilmiştir.

Kamal Alı Alı [20], 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.

Sarıbıyık [21], son yıllarda yaşanan depremler, mevcut yapıların deprem güvenliğini sorgulatmış ve pek çok yapının güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu ihtiyacın sebepleri arasında yapıların kullanım amaçlarının değişmesi, projelendirme ve uygulama hataları, zayıf donatı ve düşük kaliteli beton kullanımı, depremlerin yarattığı hasarlar, yapıların zamanla dayanıklılığını yitirmesi ve güncellenen standart ve yönetmelikler yer almaktadır. Türkiye’de mevcut yapı stokunda sıkça karşılaşılan düşük dayanımlı betonarme elemanların güçlendirilmesi konusunda yapılan bu çalışmada, CFRP yerine GFRP kompozitlerin etkinliği incelenmiştir. Çalışma kapsamında üç farklı deney modeli oluşturulmuştur. İlk modelde, farklı basınç dayanımlarına sahip numuneler hazırlanmış, ikinci modelde C16/20 sınıfında betonarme kirişler ve üçüncü modelde ise laboratuvar ortamında eğilme ve kesme hasarına uğratılmış kirişler CFRP ve GFRP ile güçlendirilerek test edilmiştir. Deney elemanlarının yük taşıma kapasiteleri, süneklikleri, deformasyon yetenekleri ve enerji yutma kapasiteleri analiz edilmiştir. FRP ile güçlendirilen numunelerin sonuçları karşılaştırıldığında, ekonomik açıdan daha uygun olan GFRP kompozitlerin CFRP yerine kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Düşük dayanımlı beton numunelerin FRP ile güçlendirilmesiyle yük taşıma ve şekil değiştirme kapasitelerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. GFRP ile güçlendirilen betonarme kirişler, CFRP ile güçlendirilenlere kıyasla eğilme ve kesme dayanımları biraz daha düşük olsa da süneklik ve enerji yutma kapasiteleri oldukça yüksektir. Ayrıca, epoksi enjeksiyonu ile onarılan hasarlı betonarme kirişlerin de GFRP ile etkili bir şekilde güçlendirilebileceği görülmüştür. Cam elyafın maliyet avantajı, yerli üretim imkanı ve

yüksek şekil değiştirme kapasitesi göz önünde bulundurulduğunda, düşük dayanımlı betondan üretilmiş betonarme elemanların güçlendirilmesinde GFRP kompozitlerin daha etkin bir seçenek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Akın [22], Depremler, tarih boyunca insan yaşamını en fazla tehdit eden doğal afetlerden biri olmuş ve önlem alınması gereken en önemli konulardan biri olarak kabul edilmiştir. Ne yazık ki, ülkemizde bu konu, özellikle 1999 Marmara Depremi'nde yaşanan büyük kayıpların ardından daha fazla önem kazanmıştır. Türkiye'nin büyük bir kısmının fay hatlarının üzerinde yer alması, depreme karşı alınan önlemleri günümüzün en acil meselelerinden biri haline getirmiştir.

Bu çalışmada, artık yürürlükte olmayan 2007 Deprem Yönetmeliği (TDY2007) ile 2018 yılında yenilenen ve yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinin güçlendirme bölümleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yönetmeliklerdeki değişiklikler, yeni eklenen tanımlar ve artık kullanılmayan parametreler üzerinde durulmuştur. Ayrıca, hesaplama yöntemlerindeki farklılıklar, değişen deprem haritası, yeniden tanımlanan bina yükseklik sınıfları ve güçlendirme hesaplarında gerekli zemin parametrelerindeki değişiklikler analiz edilmiştir. Çalışmanın odak noktası, yapı güvenliğini en üst düzeyde sağlamayı hedefleyen güçlendirme konusundaki olumlu ve olumsuz yönlerin karşılaştırılması olmuştur.

Güçlendirme stratejileri belirlenirken, binada, bölgede veya şehirde ortak olarak karşılaşılan sorunların ele alınması gerekmektedir. Arzu edilen güvenlik seviyesi, mevcut güçlendirme teknolojilerinin değerlendirilmesiyle birlikte en etkili güçlendirme tekniğinin belirlenmesiyle sağlanabilir. Türkiye'deki betonarme binaların çoğunluğu, boşluklu tuğla duvar ve betonarme çerçeve türünde olduğundan, geliştirilecek güçlendirme türlerinin bu bilgi ışığında hazırlanması hem etkinliği artıracak hem de izlenecek yolda daha sağlam adımlar atılmasına yardımcı olacaktır.

Güçlendirme ihtiyacı, binalardaki kötü donatı yerleşimi, yanal rijitlik düzensizliği, beton kalitesindeki sorunlar ve tasarım hataları gibi nedenlerle ortaya çıkmaktadır. Çalışmanın bulguları, TBDY 2018 yönetmeliğinde yer alan yeni parametrelerin deprem konusuna verilen önemi artırdığını göstermektedir. Hem deprem hesapları hem de güçlendirme teknikleri açısından değişkenlerin artması, yeni betonarme yapıların deprem açısından daha güvenli bir zeminde yer almasını sağlayacaktır.

Bu araştırmada, DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 yönetmeliklerinin güçlendirme bölümleri karşılaştırılmıştır. Ek olarak, binaların deprem davranışları her iki yönetmelik açısından değerlendirilmiştir. Yeni deprem haritaları sayesinde, deprem bölgelerine inşa

edilecek binaların parametreleri, koordinat sistemiyle daha güvenilir bir şekilde belirlenebilecektir. DBYBHY 2007'ye göre Türkiye Tehlike Deprem Haritası dört deprem bölgesine ayrılmışken, TBDY 2018 ile bu kavram kaldırılmış ve yeni binaların konumu fay hatlarına olan uzaklıklarına göre harita spektral ivmeleri üzerinden değerlendirilecektir. Ayrıca, zemin hakim periyotlarının değişkenliği de yeni yönetmelikte bölgenin spektral ivme değerlerine göre belirlenmektedir.

Akyıldız [23], çalışmasında, 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 yükseltılarak 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.

Açikel Altunkara [24], betonarme, bir asırdır beton ve donatının birlikte kullanılmasıyla oluşturulan kompozit bir malzeme olarak, çağdaş inşaat mühendisliğinde vazgeçilmez bir yapı malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarının iç ve dış yüklerle zamanla karşılaştığı tüm kesit zorları ve deformasyon taleplerine karşı betonarmenin yeterli dayanım, süneklik ve rijitlik sergilemesi, yapı tasarımının temel gereksinimlerinden biridir. Türkiye gibi aktif deprem bölgelerinde bu gereklilik, yapı mühendisleri için daha da kritik hale gelmektedir.

Günümüzde üretilen betonarme yapılar, mimari kaygılar, hesaplama hataları, uygulama sırasında yapılan hatalar, standart dışı malzeme kullanımı, kullanıcı hataları ve zamanla oluşan deformasyonlar nedeniyle, yük altında ve deprem anında ortaya çıkan kesit etkileri (kesme, eğilme, burulma ve bunların kombinasyonları) sebebiyle hasar görmekte veya tamamen çökmektedir. Bu tür yapılar incelendiğinde, genellikle kolon-kiriş bağlantı bölgelerinde kapasite sorunları bulunduğu görülmektedir. Bu bölgelerde yetersiz mühendislik hizmetleri nedeniyle eksik kalan kesitler, deprem ve benzeri yükler altında yapının genel sağlığını olumsuz etkilemekte ve bu tür yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Son dönemde betonarme yapıların yetersiz kapasiteleri için yaygın olarak tercih edilen güçlendirme yöntemlerinden biri "Lifli Polimerlerle Güçlendirme"dir. Betonarme üzerine epoksi ile yapıştırılan veya mekanik ankrajlarla sabitlenen lifli polimerlerin kesit kapasitesine katkısı hâlâ net olarak belirlenememiştir. Bu çalışmada, lifli polimerlerle güçlendirilmiş betonarme elemanların kapasitesini tahmin edebilecek akıllı sistem tabanlı bir yazılım geliştirmek amacıyla son yirmi yılda yapılan araştırmalar taranarak kapsamlı bir veri tabanı oluşturulmuştur.

Farklı deney ve analitik çalışmalardan elde edilen veriler gruplandırılmış ve çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak eleman kapasitelerinin tahmini yapılarak, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Kiriş kesme, döşeme eğilme ve zımbalama mukavemeti için XG-Boost algoritması en iyi tahmin sonuçlarını verirken, kiriş burulma mukavemeti ve kolon yük taşıma gücü için Bagging-DT algoritması en iyi sonuçları sağlamıştır.

Bu sonuçlar, algoritmaların başarılarının eleman tipine ve dayanım özelliklerine göre değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışma, kusurlu veya hasarlı betonarme elemanların lifli polimerlerle güçlendirilmesinin kapasite artışını nasıl sağladığını anlamak ve bu süreçte kullanılacak akıllı sistemlerin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Yüzbaşı [25], Amerika’da FEMA tarafından belirlenen kriterler doğrultusunda, dinamik etkiler altında yapıların performansı değerlendirilmekte ve Türk deprem yönetmeliği de bu kurallara paralel olarak revize edilmiştir. Yönetmelik, yeni binaların depreme karşı dayanıklılığını ön planda tutan bir tasarım anlayışını benimsemektedir. Bu tasarımın temel ilkesi, hafif şiddetteki depremlerde yapı elemanlarının zarar görmemesi, orta şiddetli depremlerde ise oluşabilecek hasarın tamir edilebilir düzeyde kalmasıdır. Şiddetli depremlerde ise, can güvenliğini sağlamak amacıyla kalıcı hasarların sınırlandırılması hedeflenir. Güçlendirme uygulamaları, binaların deprem güvenliğini artırmak için gerçekleştirilen işlemleri kapsar ve bu müdahaleler bazen tüm binaya, bazen de belirli taşıyıcı elemanlara yapılır. Güçlendirme ihtiyacı genellikle iki ana nedene dayanır: İlki, deprem sonucu meydana gelen hasarların güvenlik seviyesini artırmasını gerektirmesidir; ikincisi ise, herhangi bir hasar olmamasına rağmen, binanın depreme karşı yeterince güvenli olmadığı belirlenmesidir. Her iki durumda da hedeflenen deprem güvenliğine ulaşmak için güçlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Özellikle deprem sonrası kritik öneme sahip yapıların (hastaneler, okullar gibi) güvenlik durumlarının ve deprem sırasındaki performanslarının net bir şekilde bilinmesi gerekir. Bu çalışmanın amacı, mevcut yapıların depreme karşı güvenliğinin kontrol edilmesi ve gerektiği durumlarda güçlendirme projelerinin hazırlanarak gelecekteki olası can ve mal kayıplarının önüne geçilmesidir.

Tan [26], lifli karbon polimerleri (LP) kullanılarak yapılan güçlendirme, tuğla dolgu duvarların yapı içinde yanal yük taşıyıcı elemanlar olarak işlev görmesini sağlamaktadır. Bu pratik yöntem, az ve orta katlı yetersiz betonarme binaların depreme karşı güçlendirilmesinde göz ardı edilmemesi gereken önemli bir alternatiftir. LP ile

yapılan güçlendirmelerin başlıca avantajları arasında hızlı uygulama süreci ve binanın boşaltılmasına gerek kalmaması yer almaktadır. Güçlendirme sürecinde, LP ile güçlendirilen dolgu duvarlar, çekme ve basınç çubukları şeklinde sisteme entegre edilir ve LP ankrajlar aracılığıyla mevcut çerçeve sistemine sağlam bir şekilde bağlanır. Daha önce yapılan deneyler, LP ile güçlendirilen tuğla dolgu duvarların sistemin genel yanal yük kapasitesini artırdığını ve göreceli ötelenmeyi azaltarak hasarı önlediğini göstermiştir. Önceki analitik çalışmalar, çekme ve basınç çubukları için detaylı matematiksel ve basitleştirilmiş tasarım modelleri geliştirmiş ve bu modeller deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, Antakya'da bulunan dokuz katlı mevcut bir betonarme bina seçilmiştir. LP ile güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlar ve sayısı azaltılmış dış merkezli betonarme perdeler kullanılarak karma bir güçlendirme uygulaması gerçekleştirilmiştir. LP ile güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlar, basitleştirilmiş tasarım formülleri kullanılarak modellenmiştir. Mod birleştirme analizi, 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip elastik spektrum kullanılarak yapılmıştır. Can güvenliği performans kriterleri doğrultusunda, kuvvet tabanlı doğrusal elastik bina değerlendirmesi yöntemi uygulanmıştır. Doğrusal olmayan analitik çalışmalar, çok modlu artımsal itme ve zaman tanım alanında hesaplamalar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Doğrusal olmayan analizlerin sonucunda, yine 2007 Türk Deprem Yönetmeliği can güvenliği performans kriterlerine göre, plastik ve akma dönmelerinin toplamı üzerinden kritik kesitlerdeki birim şekil değiştirmelere dayalı performans değerlendirmesi yapılmıştır.

Bu çalışmada özetlenen güçlendirme projesi, uygulama aşamasındadır. Ekim 2008'de başlayan güçlendirme çalışmaları kapsamında LP uygulaması Aralık 2008 itibarıyla tamamlanmış olup, dışardan perde duvar uygulama işlemleri devam etmektedir. Türkiye'de ilk defa gerçekleştirilen bu çalışma süresince, bina sakinlerinin binayı boşaltılmasına gerek kalmadan güçlendirme çalışmaları sürdürülmektedir.

Lüleci'ye [27] göre, Türkiye ve diğer gelişmekte olan ülkelerdeki betonarme yapı stoku, genellikle standartların altında kalmaktadır. Bu tür binalarda en sık karşılaşılan sorunlar düşük beton dayanımı, düz yüzeyli donatı kullanımı, yetersiz enine sargı donatısı ve yüksek eksenel yük oranıdır. Bu yapılar, deprem etkisi altında ciddi can ve mal kayıplarına yol açabilir. Türkiye'de mevcut betonarme yapıların yaklaşık %80'i 2000 öncesi inşa edilmiş olup, bu yapıların yıkılıp yeniden yapılması pek gerçekçi bir çözüm değildir. Bu eski yapıların ortalama beton dayanımı 9-10 MPa civarındadır. Ekonomik ve zaman açısından bu yapıların güçlendirilmesi daha uygun bir alternatif olarak öne

çıkılmaktadır. Çeşitli metotlar kullanılarak betonarme kolonların sargılanması, elemanın dayanım ve süneklik kapasitelerini artırmaktadır. Son yıllarda popüler olan lif takviyeli polimerlerle yapılan güçlendirme, uygulanmasının hızlı ve kolay olması, yapıya ek yük getirmemesi, yüksek çekme dayanımı ve rijitliği gibi avantajlar sunarken, yüksek sıcaklıkta polimer matrisin dayanımını kaybetmesi, uygulama sırasında zararlı gazlar çıkarması ve ıslak zeminlerde kullanılamaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlara alternatif olarak, yüksek en kesit en/boy oranına sahip betonarme kolonların deprem performanslarının, yenilikçi bir yöntem olan püskürtme cam lif takviyeli harçlarla güçlendirilmesi araştırılmıştır. Cam lif takviyeli harç, kırılmış cam liflerin çimento bazlı matris içine gömülmesiyle elde edilir ve kolon yüzeyine püskürtülerek hızla uygulanır. Çalışma kapsamında, farklı en kesit en/boy oranlarına sahip toplam 14 konsol kolon üretilmiş; bunların 7'si referans olarak kullanılırken, diğer 7'si sabit eksenel ve çevrimsel yatay yükler altında test edilmiştir. Güçlendirme yapılırken, en kesit en/boy oranı arttıkça azalan kesit etkinliğini dengelemek amacıyla, sargı basıncını artırmak için cam lif takviyeli harç kalınlığı kesit orta noktalarına doğru artırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, referans ve güçlendirilmiş numunelerin yatay yük ve süneklik kapasiteleri karşılaştırılmış, güçlendirme metodunun bu kapasiteleri önemli ölçüde artırdığı belirlenmiştir. Deneysel bulgular aynı zamanda sayısal analizlerle doğrulanmış ve tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Araştırma, püskürtme cam lif takviyeli harç ile yapılan güçlendirmenin, mevcut standart altı betonarme kolonların deprem performansını iyileştirmede etkili bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

Kalyoncuoğlu [28], 1960'lı yıllardan itibaren Türkiye'de başlayan ve günümüze kadar devam eden hızlı nüfus artışı, barınma ihtiyacını da beraberinde getirmiştir. Bu dönemde, hızla artan konut ihtiyacı genellikle mühendislik hizmeti almamış, düzensiz ve sorunlu betonarme yapılarla karşılanmıştır. Bu yapıların inşaat süreçlerinde deprem gibi dış etkilere karşı detaylı bir yönetmelik bulunmamakta ve kullanılan malzemeler herhangi bir standarda uygun üretilmemiştir. Zamanla bu yapı stoğu, çeşitli nedenlerle hasar görmüş ve potansiyel bir afette ciddi hasar alma ihtimali yüksek olan yapılar haline gelmiştir. Geçmiş depremler, bu yapıların neden olduğu önemli can ve mal kayıplarını ortaya koymuş, gelecekteki depremlerde de benzer kayıpların yaşanacağı anlaşılmıştır.

Bu eski yapıların pek çoğu, yapıldıkları dönemde teste tabi tutulmamış malzemelerle inşa edilmiş ve zamanla çeşitli nedenlerle belirgin hasarlara uğramıştır. Türkiye'nin %90'ının aktif fay hatları üzerinde yer aldığı göz önüne alındığında, bu yapıların olası bir sismik olayda büyük zararlar göreceği ve ciddi can kayıplarına neden

olacağı açıktır. Sorunlu yapı stoğunun en büyük problemlerinden biri, düşük beton kalitesi ve paspayı mesafesi bırakılmaması nedeniyle betonarme elemanlar içindeki çelik donatıların korozyona uğramasıdır. Korozyon, donatı kesit alanlarında kayıplara yol açarak, yapının taşıma kapasitesini düşürür ve yük aktarımını olumsuz etkiler.

Mevcut yapıların büyük bir kısmı önceki dönemlerde inşa edildiği için korozyona maruz kalmış olabilir. Bu yapıların yıkılıp yeniden yapılması ekonomik bir yük oluştururken, mevcut ekonomik durum ve halkın alım gücü göz önüne alındığında, ekonomik güçlendirme yöntemlerine acilen ihtiyaç vardır. Mevcut yöntemler genellikle masraflı olduğundan, deprem etkilerine karşı binalarını güçlendirmek isteyenler için maliyetli olmaktadır.

Bu tez çalışmasında, dikdörtgen kesitli kolonlar üzerinde deneysel bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Amaç, korozyona uğramış betonarme kolonların güçlendirilmesi için etkili ve ekonomik bir çözüm bulmaktır. Korozyonun global bir sorun olduğu düşünülürse, basit bir çözümün dünya çapında uygulanabilir sonuçlar sunacağı kesindir. Çalışmada, yönetmeliklere uygun olmayan (düşük beton dayanımı, düz donatılar, yetersiz sıkılaştırma bölgeleri) numuneler hazırlanmış ve hızlandırılmış korozyon yöntemleriyle korozyona maruz bırakılmıştır.

Numunelerde korozyon nedeniyle donatı hacimleri artmış, bu da betonda çatlaklara yol açmıştır. Güçlendirme işlemi öncesinde korozyonun oluşturduğu hasarların temizlenmesi gerekmiştir. Ardından, beton örtüsü kaldırılarak donatılar temizlenmiş ve yüksek dayanımlı tamir harcıyla onarılmıştır. Sonrasında, karbon katkılı lifli polimerlerle güçlendirme yapılmıştır. Karbon lifli polimerler, yapıların strüktürel fonksiyonlarını bozmadan uygulanabilecek en iyi güçlendirme araçlarından biridir.

Deneyler sonucunda, karbon lifli polimerlerle güçlendirmenin dayanım ve sünekliği belirli bir noktaya kadar artırdığı gözlemlenmiştir. Ancak, çok düşük beton dayanımına sahip kolonların lifli polimerlerle sarılması, bazı sınırlamalara yol açmıştır. Sonuçlar, güçlendirme yöntemlerinin yapıların dayanımına katkı sağladığını, ancak yeterli olmadığını göstermiştir. Gelecekte bu sorunların çözümüne yönelik çalışmaların, korozyon problemleriyle mücadelede önemli katkılar sağlayacağı açıktır.

Efe [29], Ülkemizin büyük bir bölümü, yüksek deprem riski taşıyan bölgeler arasında yer almakta ve sıklıkla yıkıcı depremlerle karşı karşıya kalmaktadır. Erzincan (1992), Dinar (1995), Adana-Ceyhan (1998), Kocaeli-İzmit (1999), Bolu-Düzce (Kasım 1999), Bingöl (2003), Elâzığ (2010), Van–Tabanlı (Ekim 2011), Van-Edremit (Kasım 2011) ve en son olarak Kahramanmaraş Pazarcık-Elbistan (Şubat 2023) depremleri,

ülkemizin deprem gerçeğini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Bu deprem, ciddi maddi ve manevi kayıplara neden olmuştur. Mevcut yapı stoğu göz önüne alındığında, sadece yeni binaların depreme dayanıklı olması değil, mevcut yapıların da güçlendirilmesi gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır. Betonarme yapıların güçlendirilmesi, yalnızca depremlerden kaynaklanan hasarlar için değil, aynı zamanda standartlara uygun olmayan malzeme kullanımı, yanlış tasarım, kötü işçilik, korozyon, yetersiz denetim ve kullanım amacının değişmesi gibi nedenlerden dolayı da gereklidir. Güçlendirme yöntemlerinin etkili olup olmadığını belirlemek için bu tekniklerin deneylerle test edilmesi gerekmektedir.

Son Kahramanmaraş Pazarcık-Elbistan deprem, Türkiye'de yapılan saha incelemeleri, betonarme perde duvarlara sahip yapıların ağır hasar görebileceğini, ancak bu duvarların diğer yapısal elemanlardaki hasarı azaltarak yapının tamamen yıkılmasını önlediğini göstermiştir. Perde duvarlar, depremlerin yarattığı kuvvetlerin çoğunu karşılamakta ve dolayısıyla can kaybını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, basınç etkisi altındaki kirişlerin merkez bölgelerini ve yüksek eksenel kuvvetlere maruz kalan narin perde uç bölgelerinin süneklik kaybını, dıştan lifli polimer (LP/FRP) sargılama ile yönetmeliklerin öngördüğü tasarım değerlerine geri kazandırmaktır. Yeni model perde numuneleri geliştirilmiş ve deneysel çalışmalar için önerilmiştir. Çeşitli güçlendirme yöntemleri, perde uç bölgelerinin güçlendirme öncesi ve sonrası davranışlarını incelemek için kullanılmıştır. Sünek elemanların yeterli sargılama gereksinimi dıştan LP ile sağlanabilmektedir. LP sargı ve ek LP ankrajlar kullanarak sargılama etkisinin artırılması, yapı elemanlarının süneklik seviyesini yükseltmeyi amaçlamaktadır.

Bu tez çalışmasında, yeni geliştirilen ince uçlu prefabrik kirişlerin güçlendirilmesi için LP sargılama ve ankrajlama tekniğinin etkinliği ve performansı incelenmiştir. İkinci bölümde, önerilen perde uç bölgesi modelinin güçlendirme öncesi ve sonrası davranışları deneysel olarak karşılaştırılmış ve farklı güçlendirme detaylarının etkinlikleri değerlendirilmiştir. Deneylerin sonunda, güçlendirme detayları ile perde numunesinin uç bölgeleri sargılanarak ve ankrajlanarak incelenmiş, deney sonuçları, LP ile dıştan yapılan sargılama ve ankrajlamanın numunelerin deformasyon kapasitesini artırmada etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca, elde edilen deneysel verilerin, güçlendirilmiş bölgelerin teorik hesaplamaları için model geliştirilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Yaman [30], Ülkemiz, depremlerin sıkça yaşandığı bir coğrafyada yer aldığından, yapıların sarsıntılara karşı sağlam olması büyük önem taşımaktadır. Özellikle 2000 yılı

öncesinde inşa edilen binalarda, dönemin Deprem Yönetmeliği standartlarına uymayan, düşük beton kalitesine sahip, etriye sıklaştırması yapılmayan ve 90° bükülmüş etriye kancaları ile yetersiz bindirme boyu bulunan taşıyıcı yapı elemanları sıkça görülmektedir. Bu tür yapısal zayıflıklar, depremlerin yıkıcı etkisini artırmaktadır.

Çoğunlukla çok katlı betonarme yapılardan oluşan yaşam alanlarımızda, binaların ana taşıyıcı elemanları kolonlardır. Dolayısıyla, kolonların tasarımının güvenli olması, tüm yapının güvenliğini sağlamaktadır. Betonarme kolonlar, genellikle her katta bir bindirme ekine sahiptir ve bu noktada yük aktarımının sağlanabilmesi için donatı bindirme boyunun yeterli uzunlukta olması şarttır. Bindirme boyunun yetersizliği, kolonlarda ciddi yapısal sorunlara yol açabilir ve yapı güvenliğini tehlikeye sokabilir. Bu nedenle, bindirme boyuna ilişkin tasarım ve uygulama süreçleri dikkatle ele alınmalı, mevcut kusurlar uygun önlemlerle giderilmelidir.

Bu tez çalışmasında, bindirme boyu yetersizliği olan betonarme kolonlarda oluşabilecek sıyrılma hasarlarının önlenmesi ve/veya eleman performansının iyileştirilmesi için dokuz adet betonarme konsol kolon üretilmiş ve güçlendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Numuneler, bindirme boyu yetersiz (15 db) ve etriyeleri 90° bükülmüş kanca ile üretilmiştir. Referans olarak bırakılan bir numune dışında, diğer sekiz numune farklı parametrelerle güçlendirilmiştir. Güçlendirme, kolon elemanlarının paspayı boyunca açılan kanallara yerleştirilen CFRP levhalar kullanılarak NSM (Yakın Yüzeye Monte) yöntemiyle yapılmıştır. Bazı numunelerde ayrıca EBR (Dıştan Yapıştırılmış Takviye) yöntemiyle dıştan yanal sargılama uygulanarak hibrit güçlendirme sağlanmıştır.

Güçlendirme parametreleri olarak levha yönü (paralel ve dik), levha sayısı (2 ve 3) ve sargılama malzemesi (karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ve tekstil takviyeli polimer (TRM)) belirlenmiştir. Numuneler sabit eksenel yük ve çevrimsel yatay yük altında test edilmiştir. Çalışmada, seçilen parametrelerin elemanın hasar mekanizması, yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi, başlangıç rijitliği ve sünekliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney numunelerinin eğilmeden kaynaklı yatay yük taşıma kapasiteleri teorik olarak hesaplanmış ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplamalarda, bindirmeli donatının maksimum dayanımı farklı yöntemlerle belirlenmiş ve bu yöntemlerin deneysel kapasite değerleri ile uyumu incelenmiştir.

Güçlendirilmiş numunelerde, CFRP levha sayısının artışı ve kesite sargılama eklenmesi, elemanın yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi, başlangıç rijitliği ve süneklik değerlerini referans numuneye göre artırmıştır. Ancak levha yönündeki

değişimin etkisi %10'un altında kalmıştır. En iyi performans, üç levha kullanılan ve CFRP kumaş ile sargılanan N7-D3-F numunesinde gözlemlenmiştir. Genel olarak, CFRP kumaş ile sargılanan numuneler TRM ile sargılananlara kıyasla daha yüksek artış oranları göstermiştir. Sonuç olarak, bindirme boyu yetersizliği bulunan betonarme kolonlara yeterli sayıda CFRP levha eklenip CFRP kumaş ile yanal olarak sargılama yapıldığında yapısal özelliklerde belirgin iyileşmeler sağlanabilmektedir. Bazı yönetmelikler, bindirme boyu yetersiz elemanların eğilme kapasitesi hesaplarında, boyuna donatının akma dayanımının azaltılmasını önerirken, bu çalışmada elde edilen kapasite değerleri ile bu tavsiyeler karşılaştırılmıştır.

Ateş [31], ülkemizde ve birçok gelişmekte olan ülkede mevcut binaların büyük bir kısmı, depremler sırasında beklenen sünek performansı göstermemekte ve modern yönetmeliklerdeki deprem dayanıklılığı şartlarını karşılamamaktadır. Genellikle inşa edildikleri dönemin yönetmeliklerine bile uygun olmayan bu yapılar, literatürde sıkça "standart altı" olarak nitelendirilmektedir. Kocaeli (1999), Pakistan Keşmir (2005), Elazığ (2010), Van (2011), Gorkha (2015) ve İzmir (2020) gibi depremlerde bu tür yapılar ciddi yapısal hasarlar ve can kayıplarına yol açmıştır.

Betonarme yapıların dayanımını ve deformasyon kapasitesini artırmak amacıyla kullanılan yaygın yöntemlerden biri, lifli polimer (LP) kompozitlerle dıştan sargılamadır. Ancak bu malzemelerin bazı dezavantajları bulunmaktadır; bunlar arasında toksik gaz salınımı, mekanik özelliklerin yüksek sıcaklıklarda bozulması, yüzey hazırlığı gereksinimi, uygulama zorlukları ve yüksek maliyet yer alır. Bu sorunları aşmak için karbon, bazalt ve cam gibi tekstil donatılar ile çimento esaslı matrisler birleştirilerek oluşturulan kompozit malzemeler, güçlendirme uygulamalarında kullanıma girmiştir.

Bu tez çalışmasında, düşük dayanımlı beton ve düz donatı kullanılarak üretilen tam ölçekli kolonların deprem davranışı incelenmiş ve çimento esaslı kompozitlerle potansiyel plastik mafsallık bölgelerinde dıştan sargılama ile güçlendirilmeleri araştırılmıştır. Matris malzemedeki, çekme davranışını artırmak amacıyla kırık cam lifler eklenmiş ve püskürtme yöntemiyle uygulama yapılmıştır. Bu yöntem, uygulama hızını artırarak işçilik maliyetlerini düşürmektedir.

Tez çalışmasının başında, kompozit sistemin çekme ve eğilme özelliklerini belirlemek için malzeme testleri yapılmıştır. Çeşitli oranlarda kırık cam lif ve bazalt tekstil donatı içeren konfigürasyonlar test edilmiştir. %3,5 kırık cam lif içeren kompozit, çekme ve eğilme performansında iyileşme gösterirken, %5 oranı sınırlı bir etki sağlamıştır. İki katmanlı bazalt donatı, özellikle çekme dayanımını artırmıştır.

Araştırmanın devamında, düşük dayanımlı beton numuneler bazalt tekstil donatılı/donatısız kırık cam lifli harç ile güçlendirilmiştir. Çeşitli kesitlerdeki numuneler basınç altında test edilmiştir. Güçlendirme, numunelerin basınç dayanımında ve deformasyon kapasitesinde artış sağlamıştır. Üç kat bazalt tekstil donatı en fazla iyileşmeyi sağlamış, dikdörtgen kesitlerde kenar oranı arttıkça bu etkiler azalmıştır.

Sonraki aşamada, standart altı referans ve güçlendirilmiş kolonlar düşey ve yatay yükleme altında test edilmiştir. Güçlendirme, kolonların deformasyon kapasitesini ve enerji tüketme yeteneğini önemli ölçüde artırmıştır. Güçlendirilmiş kolonların davranış modelleri oluşturulmuş ve çeşitli yönetmeliklerdeki hasar sınırları ile karşılaştırılmıştır. Özellikle, ASCE 41-17'deki yaklaşımın bazı durumlarda güvenli olmadığı, Eurocode 8 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin ise aşırı muhafazakâr olduğu belirlenmiştir. Yönetmeliklerin mevcut durumu daha gerçekçi değerlendirmelerle güncellenmesi önerilmiştir.

Aytaç [32], Ülkemizin deprem potansiyeli yüksek olduğundan, yapıların sarsıntılara dayanıklı bir şekilde inşa edilmesi büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin yaklaşık %42'si birinci derece deprem bölgesinde yer almakta ve bu durum, mevcut binaların depreme karşı dayanıklı olacak şekilde tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır. Amaç, olası bir depremin büyüklüğüne göre yapıların, sarsıntı sırasında ve sonrasında belirli performans kriterlerini karşılamasıdır. Ancak, betonarme yapı stoğunun incelenmesi sonucunda, bu yapıların beton basınç dayanımlarının projede öngörülenin altında kaldığı ve enine ile boyuna donatıların mevcut yönetmeliklere uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu tür yetersizlikler, taşıyıcı sistem elemanlarının yük taşıma kapasitelerini ve sünekliklerini olumsuz etkileyerek, yapının depreme karşı beklenen performansını ciddi şekilde düşürebilmektedir.

Bu bağlamda, hasar görmüş betonarme elemanları eski dayanımlarına kavuşturmak veya güçlendirmek için çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında, bu güçlendirme yöntemleri hakkında genel bir bakış sunulmuş ve özellikle CFRP (karbon fiber takviyeli polimer) ile güçlendirme tekniği detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu yöntemin etkinliğini göstermek amacıyla, mevcut bir yapının performans analizi gerçekleştirilmiş, güçlendirilmesi gereken elemanlar için CFRP uygulaması yapılarak analiz sonuçları raporlanmıştır.

Mercimek [33], Günümüzde, köprü, viyadük ve üst geçit gibi yapılar, kara ve deniz araçlarının çarpması, terör olayları, sanayi ve askeri bölgelerde meydana gelen patlamalar gibi ani dinamik yüklemelerle karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca, nehirlerin

sürüklediği cisimlerin köprü ayaklarına çarpması, depremler sonrası oluşan tsunami dalgalarının kıyı ve liman yapılarına çarpması gibi ani çarpışma yükleri de sıkça yaşanan olaylardır. Bu tür çarpışma yükleri genellikle kolonlar üzerinde yoğunlaşmaktadır. Literatürde, çarpışma yüklerinin çoğunlukla çelik kolonlar üzerinde incelendiği ve bolca çalışmanın bulunduğu görülmektedir. Ancak, betonarme kolonlar üzerinde yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Özellikle karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirilmiş betonarme kolonların çarpışma yükü altındaki davranışlarının deneysel olarak incelendiği çalışmalara rastlanmamaktadır.

Bu deneysel çalışmada, güçlendirme yaklaşımına uygun olarak düşük dayanımlı (10 MPa) altı deney numunesi hazırlanmıştır. Numuneler, 1/3 ölçekli ve kare kesitli olarak tasarlanmıştır. İki numune, 150 mm aralıklı CFRP şeritlerle, diğer iki numune ise 200 mm aralıklı CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Güçlendirme etkisini değerlendirmek amacıyla diğer iki numune referans olarak bırakılmıştır. Betonarme kolonlar, düşük hızda yatay çarpışma yüküne tabi tutulmuştur. Çarpışma yükleri, kolonun orta noktasına ve alt ucundan itibaren kolon boyunun üçte biri mesafeye uygulanmıştır. Çalışmada, çarpışma yükünün uygulandığı yer ve CFRP şerit aralığı temel değişkenler olarak ele alınmıştır. Çarpışma yükü uygulamak için 9 kg'lık bir kütle, serbest düşüş yöntemini kullanarak 1 metre yükseklikten bırakılmıştır. Her bir numune için art arda beş kez düşürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çarpışma boyunca ivme, çarpma yükü, kolonun orta noktasındaki deplasman ve CFRP şeritlerin birim uzaması ölçülmüştür. Deneysel sonuçlar, kolonların çarpışma yükleri altındaki performansını ve değişkenlerin etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmek için kullanılmıştır.

Mangır [34], Deprem riski taşıyan bölgelerdeki yapıların çoğu, yapısal eksiklikler nedeniyle olası bir depremde ciddi hasar veya yıkım riski taşımaktadır. Özellikle birleşim bölgeleri, deprem etkilerinden en fazla etkilenecek alanlar arasında yer alır. Kritik bölgeler olarak bilinen bu alanlar, yanal yüklerin etkisiyle tersinir yüklemelere maruz kalır. Yönetmelikler bu bölgelerin, gelen yükleri güvenli bir şekilde aktarabilecek yeterli yapısal güvenliğe sahip olmasını gerektirir. Bu güvenliğin sağlanması için, kiriş boyuna donatılarına birleşim bölgelerinde 135 derece kanca yapılması, yüksek dayanımlı beton kullanılması ve kolon etriye düzenlemesinin sıklaştırılması gibi önlemler alınmalıdır. Ancak, birçok yapıda bu kriterler sağlanmamaktadır; enine donatının yetersizliği veya yokluğu, düz yüzeyli donatılar ve düşük dayanımlı beton (C10 ve altında) kullanımı gibi faktörler, birleşim bölgelerinin dayanımını olumsuz etkileyerek yapısal elemanların eğilme kapasitelerine ulaşmadan göçmesine neden olabilir.

Gelişmiş ülkelerde, benzer dönemde yapılmış yapılar daha yüksek beton kalitesine ve nervürlü donatılara sahiptir. Türkiye'de düz yüzeyli donatının kullanımı yasaklanmış olsa da eski yapılarda bu tür zayıflıklar hala bulunmaktadır. Bu nedenle, mevcut yapıların deprem performansının daha gerçekçi tahmin edilmesi ve olası yıkımların önüne geçilmesi için yerel yapısal eksikliklerin dikkate alındığı yeni çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca, mevcut yapıların zayıf birleşim bölgelerinin uygun şekilde güçlendirilmesi için yeni malzeme ve yöntemlerin araştırılması gerekmektedir.

Bu doktora çalışması, düşük dayanımlı beton ve düz yüzeyli donatıya sahip kolon-kiriş birleşim bölgelerinin çeşitli donatı konfigürasyonlarında (örneğin, kiriş boyuna donatıların kanca durumu, enine donatı kullanımı) deprem etkilerini simüle eden çevrimsel yüklemeler altındaki davranışlarını incelemeyi ve bu bölgelerin FRP (fiber takviyeli polimer) malzemelerle güçlendirilerek deprem performanslarının iyileştirilmesini amaçlamaktadır. Daha ekonomik ve uygulanabilir bir güçlendirme tekniğinin denenmesi ve yapısal davranışa etkisinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Ayrıca, analitik bir çalışma ile deney sonuçlarının yapısal çerçeveler üzerinde uygulanarak, nümerik analizlerdeki zayıflıkların nasıl yansıtılabileceği araştırılmıştır. Son olarak, yönetmeliklerin birleşim bölgeleri ile ilgili kriterleri ele alınarak deney numunelerinin yönetmelik bazlı tahkikleri gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda, 10 adet numuneyi içeren bir deneysel çalışma planlanmıştır. İlk seride, 150 x 200 mm kiriş ve 150 x 150 mm kolon boyutlarında 5 numune üretilmiş, bunlar arasında bir tanesi referans numunesi olarak belirlenmiştir. İkinci seride, ilk serinin aynısı olan fakat FRP ile güçlendirilmiş 5 numune üretilmiştir.

Çalışma beş ana başlık altında sunulmuştur: giriş, genel kısımlar, malzeme ve yöntem, bulgular ve tartışma ve sonuç. Her bölüm, yapılan deneysel ve analitik çalışmaların yanı sıra yönetmeliklerin yaklaşımlarını ele almıştır. Son olarak, elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve gelecekte yapılması önerilen çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

1. Bölüm- Giriş: Bu kısımda tez konusunun önemi, hedefleri ve kapsamı ele alınmıştır. Deney numunelerinin genel özellikleri ve hangi güçlendirme malzemelerinin kullanılacağına dair bilgiler sunulmuştur.

2. Bölüm- Genel Kısımlar: Bu bölümde, ülkemizdeki mevcut yapıların kolon-kiriş birleşim noktalarındaki yetersizlikler detaylandırılmıştır. Deprem sonucunda ortaya çıkan hasarlar görsellerle desteklenmiştir. Literatürde yer alan, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin davranışını inceleyen çalışmalar özetlenmiştir. Yük aktarımı mekanizması,

güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş numuneler üzerinde yapılan deneyler ve analitik yöntemlerle ilgili literatür bilgileri paylaşılmıştır. Ayrıca, güçlendirilmiş numunelerde farklı ve yeni malzemelerle yapılan güncel çalışmalara da değinilmiştir.

3. Bölüm- Malzeme ve Yöntem: Bu kısım üç alt başlığa ayrılmıştır: deneysel çalışmalar, analitik çalışmalar ve yönetmeliklerin yaklaşımları. Deneysel çalışmalarda; numunelerin tasarım özellikleri, güçlendirme uygulamaları, malzeme testleri, deney düzeneği ve ölçüm sistemleri açıklanmıştır. Analitik çalışmalarda; nonlinear statik analiz modeli, kullanılan varsayımlar, beton ve donatı çeliği için malzeme modelleri ve kapasite hesaplamaları üzerinde durulmuştur. Yönetmeliklere ilişkin bölümde ise DBYBHY (2007), Eurocode-8 (2004), ACI-318 (2011), ACI-352R-02 (2002), ACI-369R-11 (2011) ve ASCE/SEI-41-13 (2013) yönetmeliklerinin birleşim bölgeleriyle ilgili hükümleri özetlenmiştir.

4. Bölüm- Bulgular: Bu bölümde, deneysel ve analitik çalışmalar ile yönetmeliklerin yaklaşımlarından elde edilen sonuçlar ve bulgular sunulmuştur. Deneysel çalışmaların sonuçları, numunelerin davranışlarının yük-yerdeğiştirme-öteleme oranı grafikleriyle gösterilmiştir. Her deney için farklı öteleme oranlarında hasar incelemeleri yapılmıştır. Birleşim bölgelerindeki kesme ve donatı deformasyonları değerlendirilmiştir. Numunelerin enerji tüketme kapasiteleri hesaplanmış, deney sırasında enerji tüketimi ve rijitlik değişimleri analiz edilmiştir. Analitik çalışmaların bulguları üç ana başlıkta toplanmıştır: kolon ve kirişlerin kesit kapasite hesapları, nonlinear statik analiz sonuçları ve bu eksikliklere sahip birleşim bölgelerinin nümerik analizleri için önerilen katsayılar. Deney numunelerinin yönetmeliklere göre kapasite hesaplamaları da sunulmuştur.

5. Bölüm- Tartışma ve Sonuç: Bu son bölüm, tez çalışmasından elde edilen bulgular ve öneriler başlıkları altında ikiye ayrılmaktadır. Sonuçlar kısmında, deneysel ve analitik çalışmalardan elde edilen bulgular özetlenmiştir. Öneriler kısmında ise, analitik çalışmalardan elde edilen katsayılar hakkında bilgi verilmiş, gelecekte yapılabilecek çalışmalar ve yönetmeliklere eklenmesi gereken unsurlar hakkında öneriler sunulmuştur.

Sanrı [35], Türk Deprem Yönetmeliği-1975 (TDY-1975) kriterlerine göre tasarlanmış, konut amaçlı kullanılan ve benzer mimariye sahip farklı yüksekliklerde üç bina incelenmiştir. Bu binaların performans analizleri, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) kapsamında yer alan doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda tespit edilen performans eksikliklerini gidermek amacıyla

mantolama ve deprem perdesi eklenmesi gibi çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmıştır. Güçlendirme çalışmalarının maliyet hesaplamaları ise Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2015 yılı birim fiyat analizleri ile yapılmıştır. Farklı güçlendirme tekniklerinin maliyetleri karşılaştırılmış ve binaların yeniden inşa maliyetleri de ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Sonuçlar gözden geçirildiğinde, betonarme çerçeve taşıyıcı sistemlerde deprem perdeleri eklenerek yapılan güçlendirmenin, mantolama yöntemine kıyasla rijitlik ve maliyet açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Ayrıca, doğrusal elastik hesap yönteminin, deprem güvenliği açısından doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre daha güvenilir bir yaklaşım sunduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, TDY 75 yönetmeliğine göre tasarlanmış bir betonarme çerçeveli binanın mimarisi referans alınarak 5, 10 ve 15 katlı binalar incelenmiştir. DBYBHY (2007) esasları doğrultusunda, bu binaların tasarım depremi (50 yılda %10 aşılma olasılığı) altında can güvenliği performans düzeyini sağlayamadıkları tespit edilmiştir. Betonarme mantolama ve betonarme deprem perdesi ekleme yöntemleriyle güçlendirme çalışmaları yapılmış ve maliyet karşılaştırmaları gerçekleştirilmiştir.

Analiz edilen mevcut projeler üzerindeki hesaplama ve değerlendirmeler sonucunda elde edilen bulgular şunlardır:

Binaların performans analiz sonuçları incelendiğinde, performans düzeylerinin kullanılan hesap yöntemine göre önemli ölçüde farklılık gösterdiği dikkat çekmektedir. Doğrusal elastik hesap yöntemi ile performansı yetersiz bulunan bir bina, doğrusal elastik olmayan hesap yöntemiyle yeterli bulunabilmektedir. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre betonarme mantolama ve deprem perdesi eklenen binaların tamamı gereken performans seviyesini sağlarken, doğrusal elastik hesap yöntemiyle bazı örneklerde bu seviyeye ulaşamadığı görülmüştür. Bu sonuçlar, doğrusal elastik analiz yöntemlerinin, doğrusal olmayan yöntemlere kıyasla daha güvenli sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır.

Üç binanın maliyet analizleri, binaların yeniden yapım maliyetleriyle karşılaştırıldığında, betonarme deprem perdesi eklenmesiyle yapılan güçlendirmenin, betonarme mantolamaya göre daha az maliyetli olduğu saptanmıştır. Tez çalışmasında ayrıca, güçlendirme amaçlı eklenen deprem perdelerinin ve betonarme mantolamanın binanın yapısal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Güçlendirme sonucunda yapıların periyot değerlerinin düştüğü belirlenmiştir.

Birim şekil değiştirmeler ve plastik dönmeler, kesit hasar oranıyla doğrudan bağlantılı olduğundan, yapısal elemanlarda meydana gelen deformasyonlar, elemanların

ve dolayısıyla tüm çerçeve sisteminin hasar durumunda önemli rol oynamaktadır. Analizler sonucunda, güçlendirilmiş binalarda plastikleşen kesitlerin dönme değerlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Mevcut sisteme deprem perdesi eklenmesinin, deplasmandaki düşüş nedeniyle diğer güçlendirme tekniklerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ortaya konmuştur.

Karahasan [36], çalışmasında lifli polimer kompozit malzemelerle güçlendirilmiş beton numunelerin basınç dayanımına lif türü ve sarım sayısının etkileri hem deneysel hem de analitik yöntemlerle incelenmiştir. Çalışma üç ana başlık altında sunulmuştur. İlk bölümde, beton ve betonarme yapıların sonlu eleman modeli üzerine yapılan araştırmalara, yapıların veya yapı elemanlarının onarımı ya da lifli polimer kompozit malzemelerle güçlendirilmesi üzerine çalışmalar, lifli polimer kompozit malzemelerin genel özellikleri ve geliştirilen malzeme modelleri ile bu kapsamda oluşturulan formüller üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde, tez kapsamında yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen bulgular detaylandırılmıştır. Bu bölüm üç kısma ayrılmıştır: İlk kısımda, laboratuvar deneylerinde kullanılacak beş adet numune üretilmiştir. İkinci kısımda, üretilen silindirik beton numunelere, laboratuvar ortamında farklı lif türleri ve sarım sayısı parametrelerine göre lifli polimer kompozit kumaşlarla güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Üçüncü kısımda ise, güçlendirilmiş numuneler üzerinde basınç testleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü bölüm, tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve önerilere odaklanmaktadır.

Akcaat [37], 24 Ocak 2020'de Elazığ ve 30 Ekim 2020'de İzmir depremlerinin ardından, orta derecede hasar gören ya da yangın gibi etkilere maruz kalan binaların güçlendirilmesinde genellikle CFRP (karbon fiber takviyeli kumaşlar) kullanılmaktadır. Ancak CFRP'nin petrol bazlı ve doğada çözünmeyen yapısı, yüksek teknoloji gereksinimi ve maliyetli olması nedeniyle çoğunlukla az sayıda ülkeden ithal edilmektedir. Bu sebeplerle, araştırmacılar cam elyafı, bazalt elyafı gibi inorganik malzemeler ile kenevir, jüt, keten gibi bitkilerden elde edilen organik doğal lifler üzerinde çalışmalar yaparak CFRP'ye alternatif ürünler geliştirmeye çalışmaktadır.

Dünya genelinde çevresel kirliliğin artması, geri dönüştürülebilir, çevre dostu ve antibakteriyel kaynaklara olan talebi artırmaktadır. Türkiye'deki inşaat sektörünün geniş etkisi düşünüldüğünde, sürdürülebilir yapıların inşası daha da önem kazanmaktadır. Doğal malzemeler, mevcut yapı tekniklerine ve uygulamalara alternatif olarak çeşitli alanlarda kullanılabilir, inşaat sektörü de bunlardan biridir. Çelik donatıların yerine doğal liflerden yapılmış donatılar kullanılabileceği gibi, betonarme yapıların

güçlendirilmesinde karbon fiber veya cam elyafı gibi malzemelerin yerine doğal lifler kullanılabilir.

Bu tez çalışmasının amacı, betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yapay malzemelere çevre dostu alternatifler sunmak ve daha az enerji tüketen, geri dönüştürülebilir kenevirin bu alanda kullanım potansiyelini araştırmaktır. Tez kapsamında, kenevir ve diğer doğal liflerin dayanımları deneysel ve sayısal modellemeler yoluyla doğal olmayan malzemelerle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, kenevir lifinin çekme dayanımını değerlendirmek amacıyla çekme testi yapılmış ve elde edilen bulgular, kenevir liflerinin gelecekteki deneylerde kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılmıştır. Kenevir liflerinin CFRP'ye yakın sonuçlar vermesi, farklı deney düzenekleri ve deneylerle daha fazla karşılaştırma yapma ihtiyacını doğurmuştur. Özellikle farklı ağırlıktaki kenevir liflerinin çekme performansını incelemek için 0,9 gram kenevir lifi ipleri üzerinde çekme testleri gerçekleştirilmiştir.

Tek eksenli basınç testinde ise, silindir numuneler çeşitli malzemelerle sarılarak eksenel yük altında dayanımları gözlemlenmiştir. Kenevir liflerinin, doğal yapıları nedeniyle homojen ve sıkı bir yapıştırma sağlanamadığından, kenevir ipinden daha düşük dayanım gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum, liflerin yapıştırma sürecinde dağınık kalmasından kaynaklanmaktadır.

Silindir numunelerde kullanılan malzemelerin yük artırma oranları incelendiğinde, kenevir ipinin potansiyel faydaları göz önünde bulundurularak, doğal ve yapay liflerin beton yapı elemanlarında güçlendirme katkısını araştırmaya devam edilmiştir. Suparp ve arkadaşları tarafından benzer bir deneyde, kenevir lifi ipleriyle yapılan güçlendirmenin, karbon ve cam elyaf takviyeli polimer kompozitlerin yerini alabilecek etkili bir çözüm sunduğu gösterilmiştir.

Dört noktalı eğilme testleri, betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan yapay liflerin ve alternatif doğal liflerin mekanik özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Deney sonuçları, geotekstil keçe dışındaki malzemelerle yapı elemanının göçme yükünde artış sağlandığını göstermiştir. Örneğin, CFRP ile güçlendirilmiş kiriş numunesi, göçme yükünü %48 oranında artırırken, üç kat CFRP sargılı kiriş %203,64 oranında artış göstermiştir.

Geotekstil keçe kullanımının amacı, aynı miktarda epoksi reçine emdirilmiş diğer malzemelerle yapılan deneylerde epoksinin mukavemete etkisini değerlendirmektir. Bu çalışmada kenevir liflerinin karbon fiber elyafa alternatif olarak kullanılabilirliği

incelenmiş ancak sonuçlar kenevir liflerinin, karbon fiberin sağladığı dayanımı tam olarak karşılamadığını göstermiştir.

Sonlu elemanlar analiziyle elde edilen sayısal sonuçlar, laboratuvar ortamında yapılan dört noktalı eğilme deneyleriyle benzerlik göstermektedir. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki bu uyum, deneysel verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Xie ve ark. [38], 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.

Ioannis ve ark. [39], On üç adet büyük ölçekli perde modeli, sabit bir eksenel yük ile birlikte, göçme anına kadar monotonik olarak artırılan yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Bu deneylerin amacı; perde davranışı üzerinde yükseklik/genişlik oranı, eksenel yük, beton dayanımı ve gövde yatay donatı miktarı gibi parametrelerin etkilerini araştırmaktır.

Elde edilen sonuçlar, perdelerin göçme nedenlerini ortaya koymada yardımcı olmuş ve mevcut ACI Yapı Yönetmeliği'nde perde tasarımına ilişkin kabul edilen kavramların, gözlemlenen yapısal davranışlarla çelişki içinde olduğunu göstermiştir.

Araştırmalar sonucunda, kesme dayanımının, perde taban kesitinin basınç bölgesinde gelişen üç eksenli basınç gerilme durumu ile ilişkili olduğu, bu dayanımın

ilgili kesitin çekme bölgesindeki dayanımıyla değil, basınç bölgesi davranışıyla ilgili olduğu tespit edilmiştir.

Komaravolu ve ark. [40], Yüksek katlı binalarda, betonarme perde duvarlar, küresel yatay dayanım, rijitlik ve süneklik katkıları sayesinde tercih edilen bir yapısal eleman olarak öne çıkmaktadır. Perde duvarların yapıya sağladığı yatay rijitlik, aşırı deformasyonları sınırlandırarak hem yapısal hem de yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarları etkili şekilde azaltmaktadır. Bu nedenle, tasarım depremi düzeyinde, yapısal bileşenlerin etkin rijitliğinin doğru bir şekilde tahmin edilmesi, yapısal elemanlar üzerindeki tasarım yüklerinin belirlenmesi ve yapı sisteminin toplam ötelenme kapasitesinin değerlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Tasarım depremi etkisi altında, betonarme perde duvarların önemli bir kısmında çatlaklar oluşur ve donatılar yerel bölgelerde akma yapar; bu da yapının başlangıçtaki çatlamamış rijitliğinde azalmaya neden olur. Uluslararası birçok yönetmelik ve tasarım standardı, perde duvarların etkin rijitliğini, kesitin brüt atalet momentinin sabit bir indirgeme katsayısı ile tanımlamaktadır. Ancak bu yaklaşımın iki temel kısıtlaması bulunmaktadır, etkin rijitliği etkileyen temel parametrelerin belirlenmemiş olması, perde duvarların geometrik şeklinin dikkate alınmaması.

Bu çalışma, söz konusu iki eksikliği ele almayı amaçlamaktadır. Çalışmada, daha önce gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışmadan alınan flanşlı bir perde duvar seçilmiş ve bu duvar için sonlu eleman modellemesi ile sayısal bir analiz yapılmıştır. Yer değiştirme kontrollü doğrusal olmayan statik analizler gerçekleştirilmiştir.

Daha önce yapılan çalışmalar ışığında, dikdörtgen ve dikdörtgen olmayan RC perde duvarların etkin rijitliğini etkileyen başlıca parametreler belirlenmiştir. Bu parametreler temel alınarak bir parametrik çalışma yürütülmüş ve L şeklindeki duvarlar için etkin rijitliği hesaplamaya yönelik ampirik bir denklem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu ampirik denklemin doğruluğu, öngörülen etkin rijitlik ile sonlu eleman modelinden elde edilen etkin rijitlik arasındaki değişim katsayısı üzerinden değerlendirilmiştir.

Hassanein ve ark. [41], yakın zamanda gerçekleştirilen deneysel bir çalışma, 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, çelik donatılı betonarme perdelerle karşılaştırılabilir düzeyde maksimum drift kapasitesine ulaşabilmiştir.

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.

Almassri [42], 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.

Eman [43], 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 ve ark. [44], tarafından yapılan 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.

Mamdouh [45], 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 modeller mükemmel 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 denklemine uygulanabilecek bir indirgeme

katsayısı (ϕ) önermiş ve açıklık çevresine FRP levha uygulanmasının, beklenmedik göçmeleri önlemek ve uygun performansı sağlamak açısından gerekli olduğunu vurgulamıştır.

Ghaseminia ve ark. [46], 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, eksenel 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.

Dukes & Sattar [47], Yapıların güçlendirilmesi ve onarımı, farklı koşullar altında gerçekleştirilse de mevcut bina stokunun iyileştirilmesi ve toplumların afetlere karşı dirençliliğinin 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 çalışma, 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.

Habibi ve ark. [48], 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.

Wang ve ark. [49], çelik plaka takviyeli betonarme kompozit perde duvarlar, sınır elemanlarına gömülü çelik kolonlar ve perde gövdesine gömülü çelik plakadan oluşur ve ultra yüksek katlı binalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür yapılarda, yüksek kat/eni oranı ihtiyacının artmasıyla birlikte, nadir deprem sırasında perde duvarlarda sıklıkla çekme-eğilme-kesme birleşik etkileri meydana gelmektedir.

Bu çalışmada, çekme-eğilme yükleri altında test edilen yedi adet perde duvar üzerinde yapılan yarı statik deneyler temel alınarak, farklı çelik içeriği oranlarına ve eksenel çekme oranlarına sahip perde duvarların sismik davranışı incelenmiştir. Her bir test numunesine ait;

- Göçme modu
- Dayanım ve yer değiştirme kapasitesi
- Rijitlik bozulması
- Kesme deformasyonu
- Sönüm katsayısı
- Gerinim dağılımı
- Çatlak oluşumu detaylı şekilde sunulmuştur.

Deney sonuçlarına göre göçme modları; çekme-eğilme göçmesi, ankraj göçmesi ve burkulma kaynaklı burulma göçmesi olmak üzere üç ana kategoriye ayrılmıştır. Eksenel çekme oranı arttıkça, perde duvarların dayanım, rijitlik ve süneklik kapasitelerinde belirgin düşüşler gözlenmiştir.

Ayrıca, fiber kiriş-kolon sonlu eleman modeli, MSC.MARC yazılımı kullanılarak simüle edilmiştir. Karşılaştırmalar, bu modelin yük-yer değiştirme ilişkisini, rijitlik bozulmasını ve nihai taşıma kapasitesini makul bir doğruluk düzeyinde öngördüğünü göstermiştir.

Deney sonuçlarına dayanarak, çekme-eğilme birleşik yükleme altında perde duvarların nihai dayanımını öngören bir tasarım yöntemi önerilmiş ve ankraj detaylarının iyileştirilmesine yönelik tavsiyeler sunulmuştur.

Rivera [50], 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) Gulec ve ark. tarafından geliştirilen kırılganlık fonksiyonlarının güncellenmesi,
- b) Bir mühendisin veya denetçinin, duvarın maksimum kesme kapasitesine ulaşp 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.

Belay [51], 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 çelik donatılara göre daha hassas olduğu da tespit edilmiştir.

Segura Jr [52], 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 sönümlleme 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.

Woods [53], 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

El-Sokkary [54], 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 mafsallık bölgesinde ya da yüksek mod titreşim etkilerinin görüldüğü üst 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, École Polytechnique de Montréal'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, üç 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.

Paterson [55], 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.

Lombard [56], 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.

Hamoda ve ark. [57], Betonarme perde duvarlar, yapıların düşey ve yatay yükleri karşılamaında 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 çelik levhalar ve çelik 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.

Matsui ve ark. [58], 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.

El-Sokkary ve Galal [59], 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.

Beyer ve ark. [60], 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 sünekliliklerinin 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 süneklilik talebiyle arttığı gözlemlenmiştir. Bu bulgulara ve diğer yarı-statik çevrimsel testlerin değerlendirilmesine dayanarak şu gözlemler yapılmıştır:

Eğilme mafsallı oluşturan ve kararlı bir kayma aktarım mekanizmasına sahip BA perdelerde, duvarlar nominal taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra kayma/eğilme yer değiştirme oranı tüm süneklilik 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.

Bakis ve ark. [61], İnşaat mühendisliğinde kullanılan lif takviyeli polimer (diğer adıyla lif takviyeli plastik) kompozitlerin yapı uygulamalarına yönelik kısa ve kapsamlı bir derlemesi sunulmaktadır. Makale, şu başlıklar altında ayrı bölümler hâlinde yapılandırılmıştır: yapısal profiller, köprü döşemeleri, iç donatılar, dıştan yapıştırılan donatılar ile standartlar ve yönetmelikler. Her bölümde tarihsel bir değerlendirme, güncel gelişmeler ve gelecekteki zorluklar ele alınmaktadır.

Antoniades ve ark. [62], 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 mafsal 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.

Woods, Cruz-Noguez & Lau [63], Pek çok çalışma, dıştan yapıştırılmış karbon lif takviyeli polimer (CFRP) levhaların, betonarme perde duvarların sismik güçlendirilmesinde kullanılması durumunda; erken kesme göçmelerinin önlenebileceğini, enerji tüketim kapasitesinin artırılabilceğini ve hem onarım hem de

güçlendirme uygulamalarında perdelerin eğilme dayanımı ile rijitliğinin geliştirilebileceğini göstermiştir. Ancak, çoğu FRP güçlendirme yönteminin etkinliğinin, FRP malzemesi ile beton yüzeyi arasındaki aderans kaybı/kayma davranışı nedeniyle sınırlı kaldığı da tespit edilmiştir. Son zamanlarda, Carleton Üniversitesi'nde mevcut ve eski tasarım yaklaşımlarını temsil eden BA perde duvarların dıştan yapıştırılmış CFRP lif demetleri ile sismik güçlendirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bu CFRP güçlendirme sisteminin temel bileşenlerinden biri, yenilikçi bir tüp ankraj sistemidir. Bu ankraj sisteminin performans hedefi, düşey CFRP levhaların taşıdığı yükün bitişik yapısal elemanlara etkin şekilde aktarılmasını sağlamak ve FRP-beton aderans kaybına bağlı erken FRP sistem göçmelerinin önüne geçmektir.

Bu çalışma, tüp ankraj sisteminin performans özelliklerini incelemek ve optimize bir tasarım yaklaşımı geliştirmek amacıyla yürütülen sonlu eleman analizlerini sunmaktadır. Ayrıca, FRP ile güçlendirilmiş perde duvarlarda tüp ankraj sisteminin tasarım ve uygulamasına ilişkin bir tasarım örneği, tasarım diyagramı ve ön yöntem önerisi de sunulmaktadır.

Carrillo & Alcocer [64], 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.

Shaheen [65], Sismik açıdan yetersiz betonarme yapılar, dünyanın birçok bölgesinde yaygın olarak bulunmaktadır. Bu tür yapıların özellikle eski yapılarda gözlemlenen başlıca yapısal zayıflıkları; yetersiz etriye sıklığı, yetersiz detaylandırma ve plastik mafsallık bölgelerinde kullanılan sünek olmayan detaylar olarak öne çıkmaktadır. Bu eksikliklerin olumsuz etkileri, genellikle zayıf enerji sönümleme kapasitesi, düşük süneklik davranışı ve kırılma göçme mekanizmaları ile ilişkilendirilerek zayıf sismik performansla sonuçlanmaktadır.

Bu çalışmada, 1960 ve 1970'li yıllarda inşa edilmiş yetersiz perde duvar yapılarının sismik davranışı incelenmiştir. İncelenen perde numunelerinde, yetersiz sargılama, yetersiz kesme donatısı ve plastik mafsallık bölgesine yerleştirilmiş boyuna donatıların bindirme ekleri gibi zayıflıklar bulunmaktadır. Bu yapısal eksiklikler nedeniyle, numuneler sünek olmayan bir davranış sergilemiş ve sismik performanslarının artırılması için güçlendirmeye ihtiyaç duyulmuştur.

Kapsamlı bir araştırma programı kapsamında, boy/en oranı 0.65 ile 1.20 arasında değişen dokuz adet betonarme perde numunesi, tersinir çevrimsel yükleme altında test edilmiştir. Sonlu eleman yöntemi kullanılarak yapılan sayısal analizler ile bu duvar numunelerinin davranışı öngörülme çalışılmıştır. Yetersizliklerin giderilmesi amacıyla, karbon lif takviyeli polimer (CFRP) lif demetlerinin hem enine hem de boyuna yönde uygulanmasının etkinliği değerlendirilmiştir.

Analitik sonuçlar, geliştirilen sayısal modellerin elastik ve elastik olmayan davranışı, maksimum yük kapasitesini, maksimum yer değiştirmeyi, enerji tüketimini ve göçme mekanizmalarını doğru şekilde öngörebildiğini göstermiştir. Lif takviyeli polimer malzemeler, yetersiz kesme donatısına sahip duvarlarda gözlenen kırılma kesme göçmesini ortadan kaldırmada etkili olmuştur.

Bindirme ekli donatılar, eski yapı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmış olup, betonarme yapı elemanlarının potansiyel plastik mafsallık bölgelerinde yer almaktadır. Bu sünek olmayan detayların davranışı karmaşık olup, zayıf sismik performansa yol açtığı bilinmektedir. Önceki çalışmalarda birçok deneysel test gerçekleştirilmiş olsa da bu davranışın analitik olarak modellenmesine yönelik çalışmalar sınırlı sayıdadır.

Bindirme ekli donatılarla ilgili mevcut araştırmaların büyük bölümü kiriş ve kolonlara odaklanmışken, betonarme perde duvar elemanları üzerine yapılan çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmada, sismik açıdan yetersiz betonarme perde duvarlarda, bindirme ekli donatıların davranışını yakalayabilen analitik bir sonlu eleman modeli

sunulmaktadır. Önerilen modelde, betonarme yapı elemanlarında beton ile donatı arasındaki aderans davranışı, gerilme-kayma ilişkileri ile tanımlanmıştır.

Model sonuçları, literatürdeki kiriş ve perde deney verileriyle karşılaştırılmış ve doğrulanmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar, yük-yer değiştirme tepkisi ve genel göçme davranışları açısından deneysel verilerle yüksek uyum göstermiştir.

Layssi ve ark. [66], 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 sönmeme kapasitesini artırmış ve bindirme eklerinde oluşabilecek erken göçmeleri önlemiştir. Bu CFRP ile güçlendirme sonucunda, 2.0 süneklik düzeyi hedefi başarıyla elde edilmiştir.

Svaguru [67], Betonarme perde duvarlar, yüksek katlı binalarda genellikle deprem ve rüzgar etkileri gibi yatay yükleri karşılayan taşıyıcı sistem elemanları olarak kullanılmaktadır. Perde duvarlar, yapıların performansını ve hasar seviyesini etkin şekilde kontrol etmektedir. Uygulama yönetmelikleri ve birçok araştırmacı, betonarme perdelerin kesme dayanımını tahmin etmek için ampirik ve yarı-ampirik denklemler önermiştir. Bu bağlamda, IS 456-2000, ACI 318-14, ACI 318-19, ASCE/SEI 43-05, MCBC-04, EC 08-04, AIJ-99, AS 3600-09, NZ 3101.1-06, Barda et al. (1977), Wood (1990), Hernandez et al. (1980), Sánchez et al. (2010), Gulec et al. (2009), Kaseem et al. (2010) ve Luna et al. (2019) gibi literatürde yer alan 16 kesme dayanımı tahmin denklemi derlenmiştir.

Bu tahminlerin doğruluğu tasarımcılar için büyük önem taşımakta olup, önemli ölçüde sapmalar göstermektedir. Bu sapmaların giderilmesi gereklidir. Söz konusu denklemler, istatistiksel olarak seçilmiş 333 deneysel veri noktası kullanılarak değerlendirilmiştir. Yapılan ayrıntılı istatistiksel analizde; ortalama, medyan, değişim katsayısı, determinasyon katsayısı, tahmin hatası, dağılım grafikleri, frekans dağılımı ve

ubuk (whisker) grafikleri gibi parametreler hesaplanmış ve en uygun denklemler belirlenmiştir. Mevcut denklemler ile tahmin edilen kesme dayanımlarının sapmaları analiz edilmiştir.

ACI 318-19 ve Sánchez et al. (2010) tarafından sunulan kesme dayanımı tahminleri, deneysel sonuçlarla en iyi uyumu göstermiştir. Her ne kadar betonarme perde duvarların kesme dayanımını etkileyen birçok faktör olsa da düşey ve yatay donatı, eksenel yük ve sınır elemanlarının rolü halen tartışmalıdır. Bu çalışmada kesme dayanımını etkileyen başlıca parametreler vurgulanmış ve en başarılı tahminlerin deneysel verilerle doğrulanması yapılmıştır.

Perde duvarların performansı, açıklıkların şekli, boyutu ve konumundan önemli ölçüde etkilenmektedir. Birçok ulusal yapı standardı, perde duvarlardaki açıklıkların donatı detaylandırmasına ilişkin hükümler içermese de bazıları açıklık köşelerine ek donatı önerisinde bulunmaktadır. Ayrıca, açıklığa sahip perde duvarların güçlendirilmesi de önem arz etmektedir.

Bu çalışma, tesisat açıklığı bulunan kısa betonarme perde duvarların davranışını deneysel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Deneysel program; malzeme seçimi ve hazırlanması, numune boyutları ve üretimi, donatı detaylandırması, test düzeneği, yükleme protokolü ve deneylerin yürütülmesini içermektedir. Beş adet 1/3 ölçekli kısa betonarme perde duvar numunesi test edilmiştir:

Açıklığı olmayan (SW-1.0),

Merkezi pencere açıklığı bulunan (SW-1.0-CW),

Merkezi pencere açıklıklı ve lif takviyeli beton (SW-1.0-CW-FRC),

Merkezi kapı açıklığı bulunan (SW-1.0-CD),

Merkezi kapı açıklıklı ve lif takviyeli beton (SW-1.0-CD-FRC).

Deney sonuçlarına göre; kesme dayanımı, dayanım azalışı, yatay rijitlik, süneklik katsayısı ve enerji tüketim kapasitesi gibi parametreler açıklıkların varlığından önemli ölçüde etkilenmiştir. Maksimum tepe yükünün meydana geldiği döngüden sonraki çevrimlerde, açıklıklı duvarlarda kesme dayanımı, rijitlik ve enerji sönümleme kapasitesi hızla azalmaktadır.

Beton içerisine rastgele dağıtılmış lifler ile açıklık köşelerine yerleştirilen ek donatılar, bütünlük, çatlak direnci, kesme dayanımı, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi açısından duvarların performansını belirgin biçimde artırmıştır. ACI 318 yönetmeliğindeki denklemlerle yapılan kesme dayanımı tahminleri açıklıklı duvarlarda deney sonuçlarıyla yakın uyum gösterse de bu denklemler açıklık şekli ile ilgili herhangi

bir hüküm içermemektedir. Ayrıca, ACI 318’de belirtildiği gibi zayıf düzlemin açıklıkta yatay düzlemle çakıştığı yönündeki varsayım, deneysel gözlemlerle doğrulanmamıştır.

Betonarme kısa perde duvarların açıklıklı durumdaki davranışı, eksenel ve yatay yükler altında doğrusal olmayan sonlu eleman analizi ile incelenmiştir. ANSYS 15.0 yazılımı kullanılarak perde duvarların modellenmesi yapılmıştır. Betonarme yapı, ayırık modelleme tekniği ile modellenmiş ve lifler yayılı olarak tanımlanmıştır.

Sonuçlar, açıklıkların perde duvarın kesme dayanımı ve davranışını belirgin şekilde etkilediğini göstermiştir. Betonda kullanılan lifler, çatlak oluşumunu sınırlandırarak açıklıklı betonarme perde duvarlar için alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

Khalil ve Ghobarah [68], Deprem yükleri altındaki yapısal duvarlarda meydana gelen göçmelerin nedenlerini belirlemek ve olası onarım/güçlendirme yöntemlerini incelemek amacıyla deneysel bir program yürütülmüştür. Bu kapsamda, duvarların plastik mafsallık bölgelerinin büyük ölçekli modelleri test edilmiştir. Kesme kuvveti ile eğilme momenti ve eksenel yük oranlarının kontrol edilebildiği yenilikçi bir test düzeneği geliştirilmiştir.

Saha gözlemlerinde karşılaşılan göçmeyi yeniden üretmek amacıyla bir referans perde test edilmiş ve erken kesme göçmesiyle sonuçlanmıştır. Bu kesme göçmesini önlemek amacıyla, duvar davranışını iyileştirmeye yönelik iki farklı onarım/güçlendirme yöntemi tasarlanmıştır. Bu yöntemlerde, çift yönlü lif takviyeli polimer (FRP) levhalar kullanılmıştır.

Süneklik düzeyini artırmak amacıyla, perde duvarın uç kolon elemanları ankrajlanmış FRP sarımı ile sarılarak sıkı bir şekilde sınırlandırılmıştır. Her iki yöntem de test edilmiş ve kesme dayanımı, süneklik ve enerji tüketim kapasitesinde önemli iyileşmeler sağladığı görülmüştür.

Hiotakis [69], 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 onarılabilirliğinin 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.

Zavala ve ark. [70], 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.

Luna ve ark. [71], Düşük en-boy oranına sahip betonarme perdeler, düşük ve orta katlı binalar ile güvenlik açısından kritik nükleer yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar, geleneksel düşük en-boy oranına sahip perde duvarların sismik performansının mevcut öngörü denklemleri veya histeretik modellerle doğru şekilde tahmin edilemediğini göstermektedir. Bu eksikliği gidermek ve düşük en-boy oranlı duvarların çevrimsel davranışına dair mesleki bilgi birikimini artırmak amacıyla, ABD Ulusal Bilim Vakfı tarafından “Deprem Mühendisliği Simülasyon Ağı” kapsamında, geleneksel ve kompozit perde duvarlara yönelik bir araştırma projesi desteklenmiştir.

Bu proje kapsamında, Buffalo Üniversitesi Deprem Mühendisliği Simülasyon Ağı tesislerinde 12 adet büyük boyutlu, dikdörtgen kesitli, düşük en-boy oranına sahip betonarme perde numunesi tasarlanmış, inşa edilmiş ve test edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, bu tür perde duvarların deprem etkisi altındaki davranışlarını daha doğru tanımlayabilmek için kapsamlı deneysel veri elde etmek ve bu verileri analiz etmektir.

Yapılan testlerde elde edilen global kuvvet-yer değiştirme ilişkileri analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Betonarme panellerin şekil değiştirme davranışı, yoğun yerleştirilmiş 3 boyutlu temassız ölçüm sensörlerinden elde edilen verilerle hesaplanmış ve bu veriler kullanılarak:

- a) toplam yer değiştirmenin eğilme, kesme ve kayma bileşenlerine katkısı,
- b) toplam yer değiştirme fonksiyonu olarak esas basınç ve çekme birim şekil değiştirmeleri ile kesme şekil değiştirmeleri, tahmin edilmiştir.

Deney numunelerinin ilk rijitliği, tasarım standartlarındaki denklemlerle hesaplanan değerlere kıyasla belirgin şekilde daha düşük çıkmıştır. Bu farklılığın başlıca nedeni olarak, temel-duvar birleşim bölgesinde meydana gelen kısıtlı rötre etkisi belirlenmiştir.

Ayrıca, beton çatlak desenleri ile donatı ve beton gerinim dağılımları sunulmuş; yükleme eksenini boyunca oluşan kuvvetlerin temele aktarım yolları bu veriler aracılığıyla analiz edilmiştir. Geleneksel olarak varsayılan diyagonal çekme (donatı akması) ve diyagonal basınç (beton ezilmesi) kaynaklı göçme mekanizmalarının birlikte etkileşimli şekilde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Çalışmada ayrıca, sınır elemanları içeren ya da içermeyen düşük en-boy oranına sahip perde duvarlar için, tepe kesme kapasitesini öngörmeye yönelik yeni denklemler önerilmiş ve bu denklemlerin ilgili tasarım yönetmeliklerine dâhil edilmesi önerilmiştir.

Fintel [72], Yazar, modern betonarme binaların şiddetli depremler sırasında gösterdiği performansa ilişkin gözlemlerini aktarmaktadır. Bu gözlemler, Mayıs 1960'taki Şili depreminden başlayarak, Aralık 1988'deki Ermenistan depremine kadar meydana gelen birçok büyük depreme dayanmaktadır. Betonarme perde duvarlı yapıların, betonarme çerçeve sistemli yapılara kıyasla oldukça başarılı bir davranış sergilemesine rağmen, yapı yönetmelikleri son on yıla kadar sünek betonarme çerçeve sistemleri tercih etmiş ve perde duvar kullanımına karşı önemli sınırlamalar getirmiştir.

Bu yönetmelik yaklaşımı, perde duvar davranışına ilişkin yeterli deneysel ve analitik bilgi altyapısının bulunmamasından kaynaklanmaktaydı. 1980'li yıllarda perde duvarlara ilişkin önemli miktarda bilgi birikmiş olsa da, rasyonel bir sismik tasarım yaklaşımının oluşturulabilmesi için hâlâ daha fazla deneysel ve analitik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu tür bilgilerin erişilebilir hâle gelmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımında perde duvarların daha yaygın şekilde kullanılmasını teşvik edecektir.

Elnady [73], 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.

Matsui, Saito & Reyna [74], Peru'daki betonarme binalarda, dikdörtgen kesitli, sınır bölgelerinde sadece çelik hasır ve düşey donatı bulunan, düşük sünekliğe sahip perde duvarlar yapısal eleman olarak kullanılmaktadır. Bu elemanlarda kolon bulunmamakta, donatı miktarı az olmakta ve gevrek göçme göstermeleri beklenmektedir.

Bu çalışmada, sınır kolonları bulunmayan perde duvarların güçlendirilmesinde karbon lifli levhaların kullanılmasına ilişkin bir performans doğrulama testi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın odak noktası, eğilme davranışıyla göçen duvarların güçlendirilmesidir. Başka bir deyişle, karbon lifli levhalarla güçlendirmesi ile dayanım artışı beklenmemekle birlikte, eğilme kaynaklı göçme sırasında perde duvar tabanında oluşan beton ezilmesinin geciktirilmesi hedeflenmiştir. Amaç, karbon lifli levhalar ile

yapılan güçlendirmenin şekil değiştirme performansını nasıl iyileştirdiğini doğrulamaktır.

Test sonuçlarına göre, sınır kolonları olmayan betonarme perde duvarın karbon lifli levhalar ile güçlendirilmesi sonrası, maksimum dayanım sonrasındaki kapasite kaybı daha yavaş gerçekleşmiş ve şekil değiştirme kapasitesi artmıştır. Ayrıca, duvarın sadece sınır uçları boyunca kısmen güçlendirilen numunesinin, tüm perde boyunca güçlendirilmiş numuneye göre daha yüksek nihai şekil değiştirme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.



3. BÖLÜM

GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Nümerik Çalışma Programı

Bu araştırma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama deneysel çalışmalardan, ikinci aşama ise sayısal çalışmalardan ibarettir. Numuneler laboratuvarında üretilmeden önce, modellerin tasarımına yönelik örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Tasarım sürecinde, gerçek hayatta birebir ölçeklendirilmiş numuneler kullanılmıştır. Sayısal çalışma programı iki bölümde gerçekleştirilmiştir. İlk bölümde, modeller üç boyutlu modelleme ve sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapabilen bir yazılım kullanılarak doğrusal olmayan analizi(pushover) ile kuvvet-deplasman kapasiteleri elde edilmiştir. Deney öncesi modellerin hazırlanmasında, ETABS programı kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapılmıştır. Bu yazılımda, deneylere tabi tutulacak numunelerin malzeme özellikleri, geometrik yapıları, destekleme koşulları ve yükleme durumları gibi unsurlar detaylı bir şekilde modellenmektedir. Ancak, deney öncesi analizler sırasında, deney aşamasında ortaya çıkabilecek çok sayıda değişken parametreyi hesaba katmak her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, deneylerden önce ve sonra gerçekleştirilen sayısal çözümlemelerde bazı varsayımlar yapılabilir. Yapılan bu varsayımlar sayesinde, analizlerde yakınsama sorunları başta olmak üzere çeşitli problemler çözülmektedir.

3.1.1. Analizlerde Kullanılan Sonlu Elemanlar Yöntemine Genel Bakış

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık problemleri daha basit alt sorunlara bölerek her birini ayrı ayrı çözerek tam bir sonuca ulaşmayı hedefleyen bir tekniktir. Bu yöntemin üç temel özelliği vardır: İlk olarak, karmaşık geometrilere sahip çözüm alanlarını sonlu elemanlar adı verilen basit alt bölümlere ayırır. İkinci olarak, her bir elemandaki sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonları olarak tanımlanabilir. Üçüncü özellik ise, aranan değerlerin, her elemandaki sürekli tanım denklemlerinin belirli noktalarındaki (düğüm noktaları) değerlerinin, problemi çözmek için yeterli olduğudur. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları, interpolasyon teorisinin genel kavramlarına dayanarak polinomlar arasından seçilir. Bu polinomların derecesi ise, çözülen problemin tanım denkleminin derecesine ve elemandaki düğüm noktalarının sayısına bağlıdır.

Bir sürekli ortamda, alan değişkenleri (örneğin, gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık) sonsuz sayıda farklı değerde olabilir. Eğer belirli bir bölgenin de sürekli bir

ortam özelliği taşıdığı biliniyorsa, bu alt bölgede alan değişkenlerinin değişimi, sonlu sayıda bilinmeyen olan bir fonksiyonla ifade edilebilir.

- a) Sonlu eleman yönteminde, elemanların farklı boyut ve şekilleri sayesinde bir nesnenin geometrisi ayrıntılı bir şekilde temsil edilebilir.
- b) Birden fazla delik veya keskin köşeler içeren bölgeler kolaylıkla analiz edilebilir.
- c) Farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip nesneler üzerinde çalışmak mümkündür.
- d) Sebep-sonuç ilişkisi içeren problemler, genel rijitlik matrisleri aracılığıyla genelleştirilmiş kuvvet ve yer değiştirmeler üzerinden formüle edilebilir. Bu özellik, sonlu elemanlar yönteminin problemleri anlamayı ve çözmeyi kolaylaştırmasının yanı sıra mümkün kılar.
- e) Sınır koşulları uygulamak da oldukça basittir.

Sonlu elemanlar yöntemi (SEM) kullanılarak bir sistemin incelenmesi, genellikle sonlu elemanlar analizi adıyla anılır. Bu yöntem ilk kez 1940'larda ortaya atılmış ve 1950'lerde uçak tasarımlarında uygulanmaya başlanmıştır. Yöntemin uygulama alanları çeşitlidir ve aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yapısal Analizler (Statik, Dinamik, Lineer/Non-lineer),
- Elektromanyetik Hesaplamalar,
- Termal ve Akış Analizleri,
- Makine, Uçak, İnşaat ve Otomotiv Mühendisliği Uygulamaları.

Yapısal bir elemanın kesit etkilerinin, gerilme dağılımlarının ya da davranışının gerçeğe en yakın şekilde modellenebilmesi için uygun sonlu elemanların seçilmesi gereklidir. Günümüzdeki yazılımlarda bu doğru modelleme süreci, iki boyutlu ya da üç boyutlu modellerin küçük parçalara ayrılması, yani "ağ (mesh)" oluşturulması olarak bilinir. Analizi yapılacak yapı elemanları, belirli bir geometriye sahip bir ağ ile kaplanarak sonlu elemanlar halinde bölünür. Bu elemanların birleşim noktaları, ağın düğüm (birleşim) noktaları olarak adlandırılır. Mesh yoğunluğu ve köşe sayısı arttıkça, düğüm noktalarının sayısı da artar ve bu durum analiz sürelerini uzatır. Ayrıca, bu durum yakınsama problemlerine neden olabilir. Öte yandan, eğer mesh yoğunluğu çok düşükse, sonuçlar istenen hassasiyette olmayabilir ve gerçek sonuçlardan uzaklaşılabilir.

3.1.2. Etabs

1975 yılında kurulan ve 2008 yılından itibaren CSI firması bünyesinde geliştirilen bir yazılım, özellikle yapıların üç boyutlu statik analizlerine odaklanmıştır. Bu program, betonarme yapı elemanlarının tasarımı ve boyutlandırılması için kullanılmaktadır. Programa ilişkin genel işleyiştten bahsetmek gerekirse; boyutlama süreci, çeşitli parametrelerin kontrolü eşliğinde 'Design' menüsü aracılığıyla başlatılır. Yapı modeli ve analizi tamamlandığında, kullanıcı tarafından seçilen yönetmeliklere göre eleman düzeyinde otomatik boyutlama yapılabilmektedir. Malzeme özellikleri ve elemanlara etki eden kuvvetler gibi veriler direkt olarak bilgi tabanından alınabilir veya kullanıcı tarafından manuel olarak girilebilir. Eğer programın sunduğu varsayımlar ve önceden tanımlanmış veriler kabul edilirse, ek veri girişi olmadan analize geçilebilir. Modelin boyutlandırılması sırasında kullanıcı tarafından tanımlanan yük kombinasyonları temel alınır. Ayrıca, gerekli yük kombinasyonları belirlenen tasarım yönetmeliklerine göre otomatik olarak oluşturulup kullanıcıya sunulabilir. Bu otomatik kombinasyonlar onaylanırsa, ek yük kombinasyonu tanımına gerek kalmaz [76].

Kolonların boyutlandırılması aşamasında, program gerekli boyuna donatıyı ve kesme kuvveti donatısını otomatik olarak hesaplar. Kullanıcı, dilerse kendi belirlediği boyuna donatıyı girebilir ve bu durumda kolonun taşıma kapasitesi oranı hesaplanarak kullanıcıya sunulur. Kolon kapasite oranı, kolonun kapasitesine göre gerilme durumu hakkında bilgi verir. İki eksenli kolon kapasitesi kontrolü, üç boyutlu etkileşim yüzeylerinin oluşturulmasına dayanır. Ancak, tek eksenli etkileşim yüzeylerinden ampirik formüllerle ekstrapolasyon yapılmaz, doğrudan iki eksenli hesaplama gerçekleştirilir. Sonlu elemanlar yönteminin temel prensiplerinden biri olan etkileşim yüzeyleri, kullanıcı tarafından tanımlanan betonarme donatılı kesite göre oluşturulur. Kolon kesiti, kullanıcı tercihlerine bağlı olarak dikdörtgen, kare veya daire şeklinde olabilir ve farklı donatı tipleriyle kullanılabilir.

Kiriş elemanlarında, kullanıcının belirlediği kesit sayısı boyunca eğilme, kesme ve burulma dayanımları için boyutlandırma hesapları yapılır. Tüm kolon-kiriş düğüm noktaları, analizden gelen kesme kuvvetlerine göre değerlendirilir. Özel moment taşıyıcı (yüksek süneklik seviyeli) çerçevelerde, kolon, kiriş ve düğüm noktalarının kesme kuvveti hesaplamaları, elemanların potansiyel moment kapasitelerine bağlıdır. Ayrıca program, zayıf kiriş/güçlü kolon durumunu değerlendirmek için kolon ve kiriş moment kapasitelerinin oranını hesaplar. Bu hesaplama sırasında kolondaki eksenel kuvvet de

dikkate alınır. Elde edilen sonuçlar, kullanıcıya açık ve net bir şekilde sunulur. Bu çıktılar, tasarımcıya elemanın gerilme sınırlarını aşması durumunda gerekli önlemleri alma imkanı tanıyan bir formatla sunulur. Analiz sonuçlarına göre değiştirilmesi gereken parametreler, programdan çıkmadan güncellenip boyutlandırılabilir.

Döşemeler, programda kabuk, plaka veya membran etkisiyle modellenenebilir ve en kesitler girilerek analiz edilir. Döşeme rijitlikleri, sonsuz rijit veya yarı rijit olarak kabul edilebilir. Bant genişlikleri tanımlanarak, bu genişliklere göre program veya kullanıcı tasarımı doğrultusunda donatı eklenip gerilmeler incelenebilir. Programın boyutlandırma algoritmaları, çözüm sonuçlarının P- Δ etkilerini içermesini gerektirir. P- Δ etkileri, yanal öteleme yapamayan veya çaprazlı çerçeveler ile yanal öteleme yapan veya çaprazsız çerçeveler için farklı yaklaşımlar gerektirir. Çaprazlı çerçevelerde, P- Δ etkisi "bireysel eleman stabilitesi" ile sınırlıyken, çaprazsız çerçevelerde "yanal ötelenme etkileri" de ek olarak değerlendirilmelidir. Programda, çaprazlı veya yanal öteleme yapamayan çerçevelerdeki momentlerin sabit veya hareketli yüklerden kaynaklandığı varsayılır.

Çaprazsız veya yanal yer değiştiren çerçevelerdeki momentlerin, tüm yük türlerinden meydana geldiği kabul edilir. Kullanıcı TS500-2000[77] betonarme tasarım standardını seçtiğinde, programın betonarme kesit analizi yönteminin farklı yönlerini detaylı bir şekilde açıklar. TS500-2000 seçimi, aynı zamanda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin VII. Bölümü olan TBDY 2018 [78] ile de uyumludur. Örneğin, betonun karakteristik basınç dayanımı olan f_{ck} , 25 N/mm²'nin altında olmamalıdır. Donatı akma gerilmesi için üst sınır ise f_y : 420 N/mm² olarak belirlenmiştir. Daha yüksek değerler tanımlandığında, program, malzemenin maksimum dayanım limitlerinin kullanılmasını şart koşar. Bu zorunluluk, kiriş, kolon ve döşemelerdeki eğilme, kesme ve burulma hesapları sırasında program tarafından uygulanır.

Malzeme dayanımlarının alt sınırlarının sağlanmasından kullanıcı sorumludur. Tasarlanan model için, farklı betonarme kesit türleri için eksenel yük ve iki eksenli eğilme etkileşim yüzeyleri oluşturulur. Tipik bir etkileşim yüzeyi, bu durumu gösterir. Eğer donatı tanımlanmamışsa, program, izin verilen donatı oranı sınırları arasında etkileşim yüzeylerini oluşturur. Kolonlar için bu oran, TBDY 2018'e göre %1 ile %4 arasında değişir. Perdelerde ise TBDY 2018'e göre perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır. Perde başlık (uç) bölgelerinde ise kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerinin herbirinde toplam düşey donatı alanının perde brüt enkesit alanına oranı en az 0.002 olacaktır. Büyükseklğin dışında bu oran 0.001'den daha az olmayacaktır. Perde uç bölgesinin

geometrisinde ve donatısındaki geçiş, üç kat boyunca kademeli olarak yapılacaktır. Ayrıca, perde uç bölgelerinin her birinde boyuna donatı miktarı 4Ø14 'ten az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinde boyuna donatı oranı 0.03'ü (bindirme bölgesinde 0.06) geçmeyecek şekilde belirtilmiştir. Araştırmada, Perdeler için mesnetlenme koşulları; alt uçları temel düzeyinde sabitlenmiş, üst ucu ise sadece yatay hareketine izin verilmiş modeli geliştirilmiştir. Kullanılan beton ve donatı sınıfları yazılımda tanımlanarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1.3. 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 düşünülerek bu deneysel çalışma takvimi planlanmıştır. Deneylerden önce başlıksız perdelerin doğrusal olmayan davranışını görmek adına modellerin oluşturulmasında sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapabilen ETABS 19 [76] programı kullanılmaktadır.

1/1 ölçekli modellerde betonarme perdeler modellenmiştir. Modellerin hepsi TS 500-2000 [77] de yer verilen konstrüktif esaslara göre modellenmiştir. Bu çalışmada 4

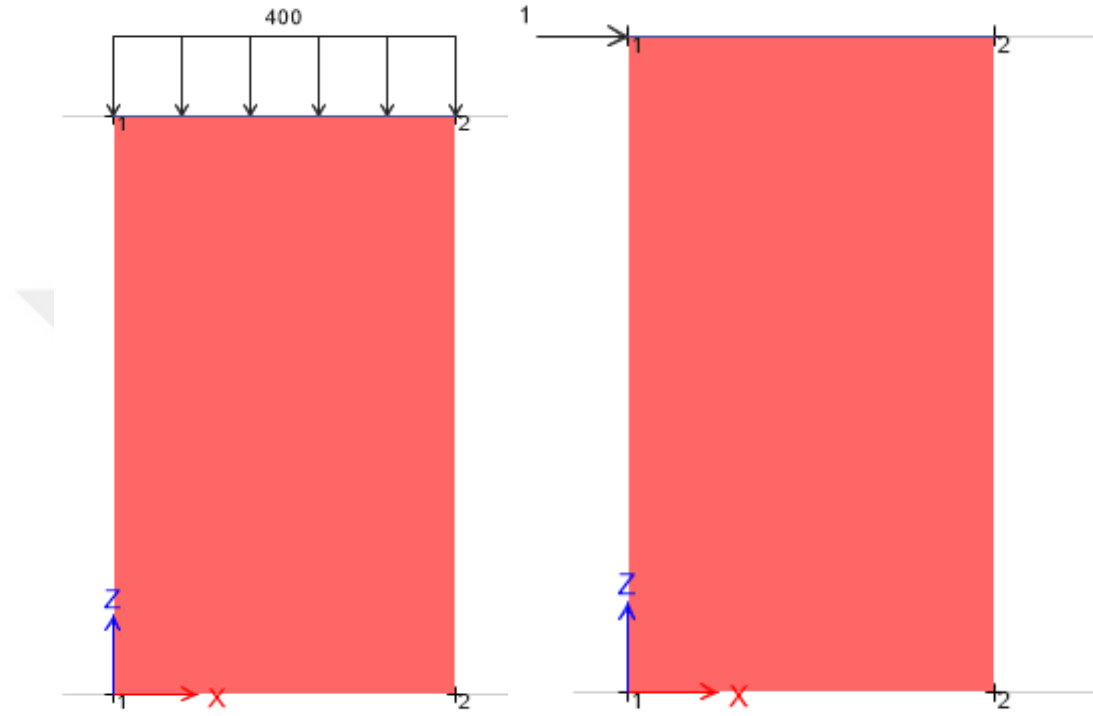
katlı bir yapının aks aralığı her iki doğrultuda 4'er metre olan bir döşemeye bağlanan perde elemanının taşıyacağı düşey yükler hesaplanmış ve perde modeline düşey çizgisel yük olarak modele aktarılmıştır. Düşey yük altında çözümlemesi yapılan perde elemanın temel ile bağlantı noktası ankastre varsayılabilir. Çalışmada TS500-2000 [77]'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 kriko ve loadcell (yük hücrelerinde)'in mevcut kapasitelerini aşabileceği düşünülmüştür.

Şekil 1. Modelin malzeme dayanımları

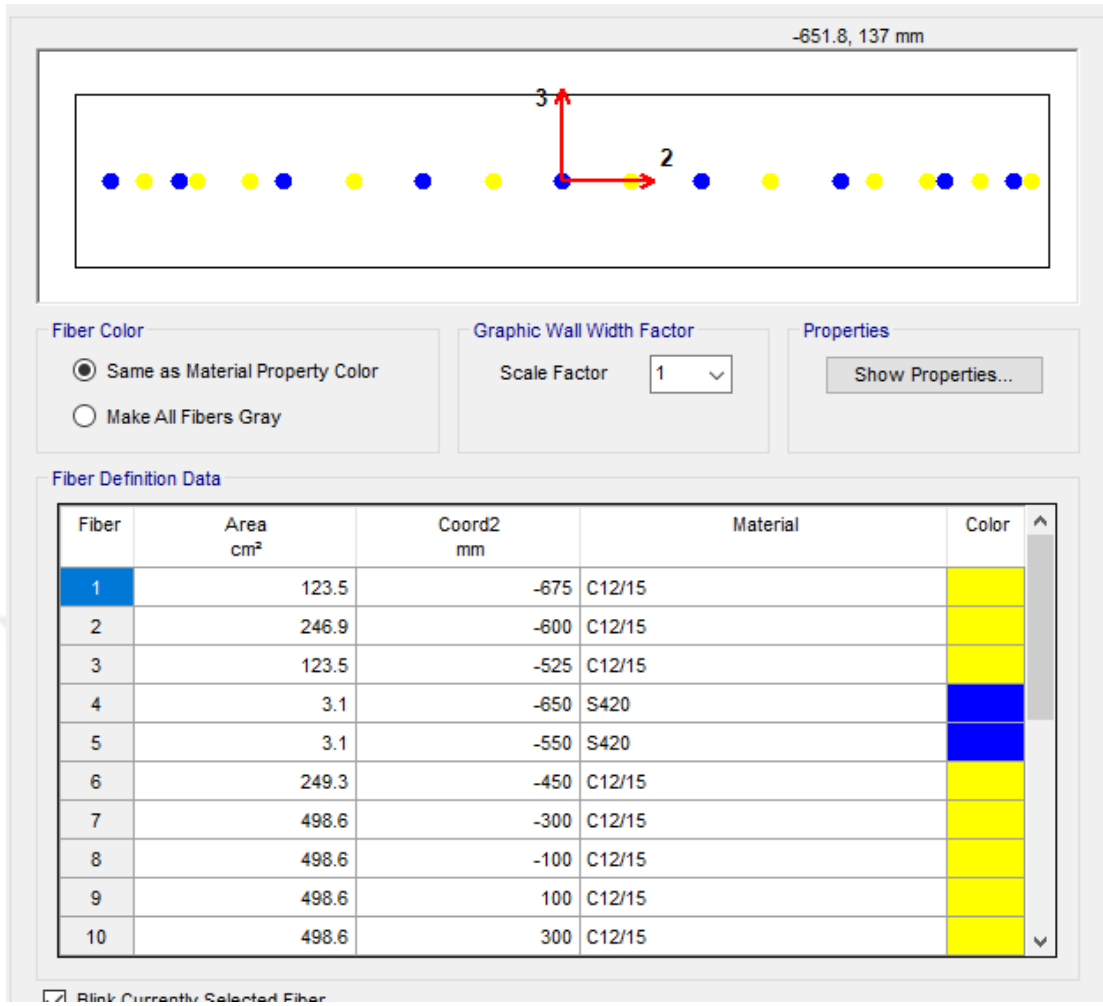
Şekil 2. Modelin geometrisi

Bu sebeple deney düzeneğinde aksenal 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 aksenli noktasal yükü perde elemanının tepesinde çelik profilden oluşturulmuş kılıf sayesinde perdenin plandaki düzlemi boyunca çizgisel yük olarak tanımlanmıştır.



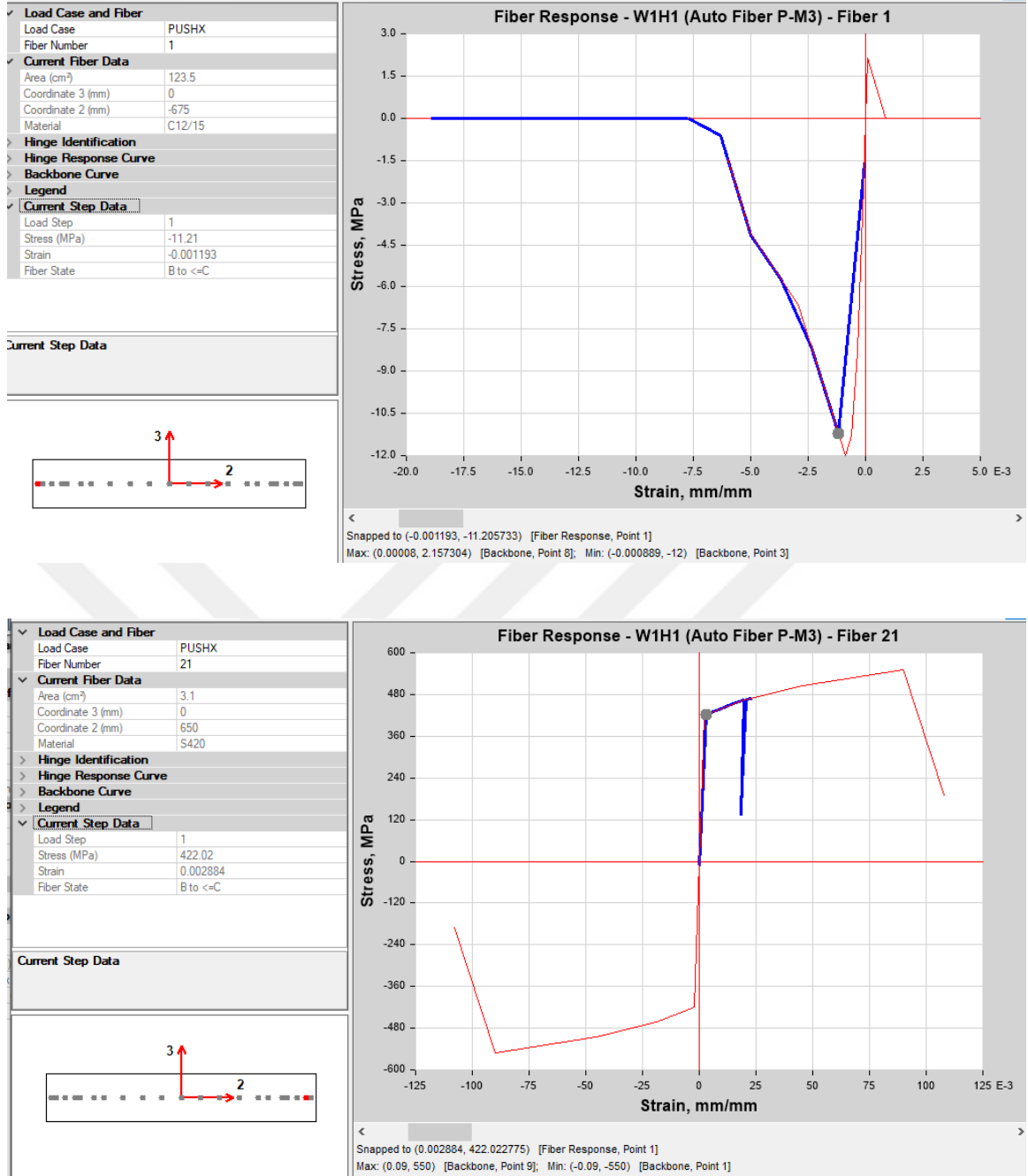
Şekil 3. Modelin düşey yükler ve yatay birim yük altındaki görüntüsü

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



Şekil 4. Perde Elemanın Fiber-P-M3 Mafsal Tanımı

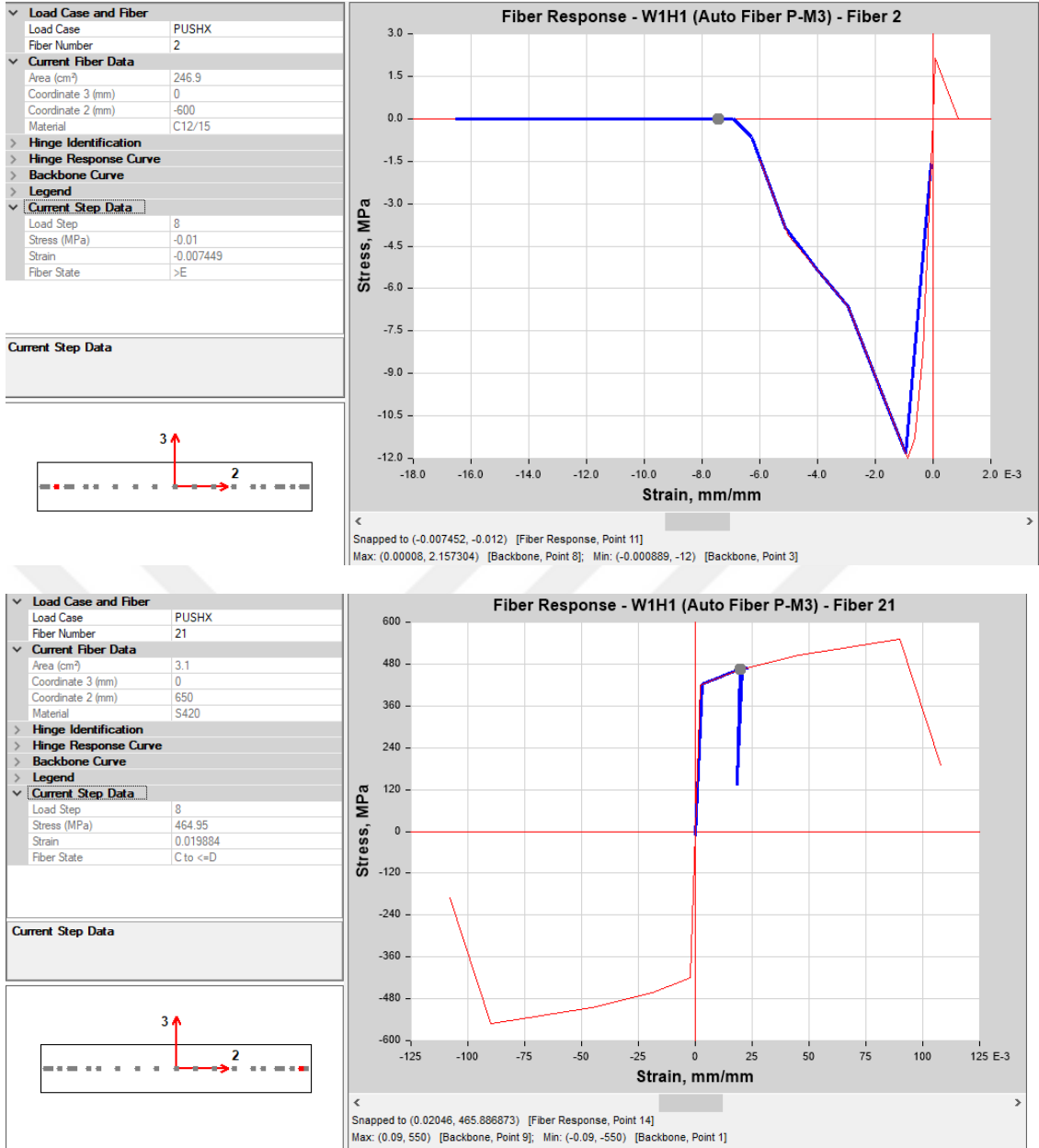
Perde elemanının içinde fiber olarak modellenen beton ve çeliğin birim şekil değiştirmeleri ve üzerlerindeki gerilme değerleri her yük basamağında ayrı ayrı görülmektedir program yardımıyla. Perde elemanının en dış lifindeki donatının aktığı anda donatı-beton birim şekil değiştirmeleri ayrı ayrı görülmektedir (Şekil 5).

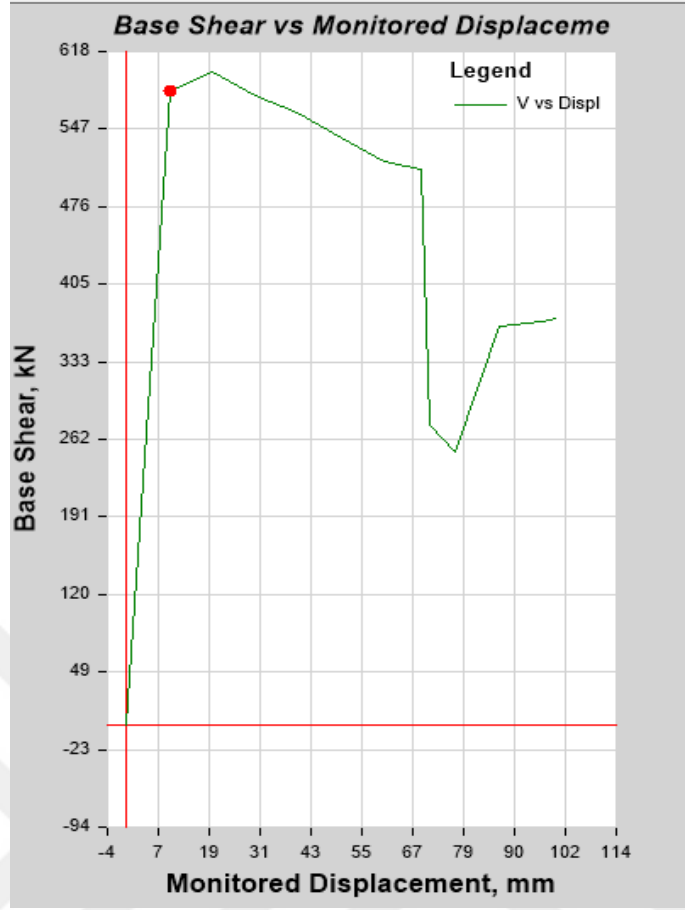


Şekil 5. Perde Elemandaki Fiberlerin Üzerindeki Birim Şekil Değiştirme- Gerilim Grafikleri (Donatı Akma Seviyesi)

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 6).





Şekil 7. Perde Elemanın Pushover Analizi ile Kuvvet-Deplasman Grafiği

3.2. Deneysel Çalışma Programı

Günümüzde perdelerde TBDY 2018 göre belirlenen en kesit dontai koşullarına göre boyutlandırılırken bu tez kapsamında perdeler 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) [7] göre boyutlandırılmış ve donatıları bu yönetmelik kapsamında şekillendirilmiştir. Perdelerin güçlendirilmesin, yapılan literatür çalışmalarında eleman sadece eleman bazlı çalışmalara az rastlandığı gibi perde elemanların başlık bölgesinde yapılacak bir güçlendirmeyede ratlanılmamıştır. Yapılan sınırlı sayıdaki çalışmalarda ise genellikle kolon ve kirişlerde yapılan güçlendirme yöntemleri incelendiği görülmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan temel amaçlar ise, perdelerdeki başlık bölgesinde yapılacak olan güçlendirmelerin davranışının görülmesidir. Bu bölümde test numunelerinin tüm parametrik detayları, malzeme özellikleri, deneyler esnasında kullanılacak araç ve teçhizatlar ile deney düzeneğinin detayları açıklanmaktadır. Bu teze konu deneylerin çalışmaları Erciyes Üniversitesi Melikgazi Belediyesi Deprem Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır.

3.2.1. Deney Numunelerinin İsimlendirilmesi

Bu bölümde, test edilecek numunelere ilişkin tasarım parametreleri ve bu numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri sunulmaktadır. Deneylere maruz kalacak 3 adet numune üretilmiştir. Üç numune sırası ile P1-REF-C12, P4-RET-PL20-C12 ve P5-RET-CF-COV-C12 şeklinde isimlendirilmiştir. Bütün numunelere, perdeler yatay düşey yükler uygulanmıştır. Bütün modellerde perde elemanlarımızın 4 katlı bir “Konut” yapısında betonarme perde olduğu varsayımı yapılmıştır. Deneyi çalışması yapılacak 3 numunede aynı geometrik boyutlara sahip olup, 0.25x1.4x2.4 m’dir. Plandaki uzunlu 1.4m plandaki kesit kalınlığı 0.25m, düşeydeki uzunluğu(yüksekliği) 2.40m’dir. Perde elemanlara düşey eksenel yük olarak 400kN çizgisel yük olarak modellere aktarılmıştır.

3.2.1.1. P1-Ref-C12 Numunesi

Bu numune P1-Ref-C12 olarak adlandırılmıştır. Bu isimlendirmede “P” ifadesi Türkçedeki “PERDE” ’yi temsilen betonarme perde numunesin ifade etmektedir. “Ref” İngilizcedeki “REFERENCE” kelimelerinin kısaltmasını temsilen referans numuneyi, “C12” ise perde numunenin beton sınıfını temsil etmektedir.

3.2.1.2. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi

Bu numune. P4-Ret-PL20-C12 olarak adlandırılmıştır. Bu isimlendirmede “P4” ifadesi Türkçedeki “PERDE” ’yi temsilen betonarme perde numunesin ifade etmektedir. “Ret” İngilizcedeki “RETROFIT” kelimelerinin kısaltmasını temsilen güçlendirilmiş perde numuneyi, “PL” perdenin başlık bölgesinde yaptığımız karbon lifli polimer plakaların İngilizcedeki “PLATE” kelimesinin kısaltılmasını; “20” diye verilen sayısal ifade plakaların düşeydeki aralarındaki mesafeyi; “C12” ise perde numunenin beton sınıfını temsil etmektedir.

3.2.1.3. P5-Ret-CF-Cov-C12 Numunesi

Bu numune P5-Ret-CF-Cov-C12 olarak adlandırılmıştır. Bu isimlendirmede “P5” ifadesi Türkçedeki “PERDE” ’yi temsilen betonarme perde numunesin ifade etmektedir. “Ret” İngilizcedeki “RETROFIT” kelimelerinin kısaltmasını temsilen güçlendirilmiş perde numuneyi, “CF” karbon fiberin İngilizcedeki karşılı “Carbon Fiber” ‘i “Cov” kısaltması ise karbon fiber kumaşın kabuk gibi başlık bölgesine sarılmasından dolayı kabuğun İngilizce karşılı “COVER” ın kısaltması olarak tercih edilmiştir. “C12” ise perde numunenin beton sınıfını temsil etmektedir.

3.3. Deney Numunelerinin Mekanik Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda kullanılan numunelerin malzeme özellikleri, modellerin gerçek davranışları üzerinde önemli bir rol oynar. Dolayısıyla, deneylerin güvenilir ve başarılı bir şekilde yürütülebilmesi için malzeme seçiminin dikkatli yapılması büyük önem taşır. Seçilen malzemelerin mekanik özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesi esastır. Aksi halde, deney sonuçları gerçek davranışı yansıtmaktan uzaklaşabilir ve sayısal analizler gerçeği tam olarak temsil etmez. Bu nedenlerle, perde elemanların üretiminde kullanılan malzemelerin mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerine dair ayrıntılı bilgiler aşağıda detaylandırılmıştır.

3.3.1. Agregası

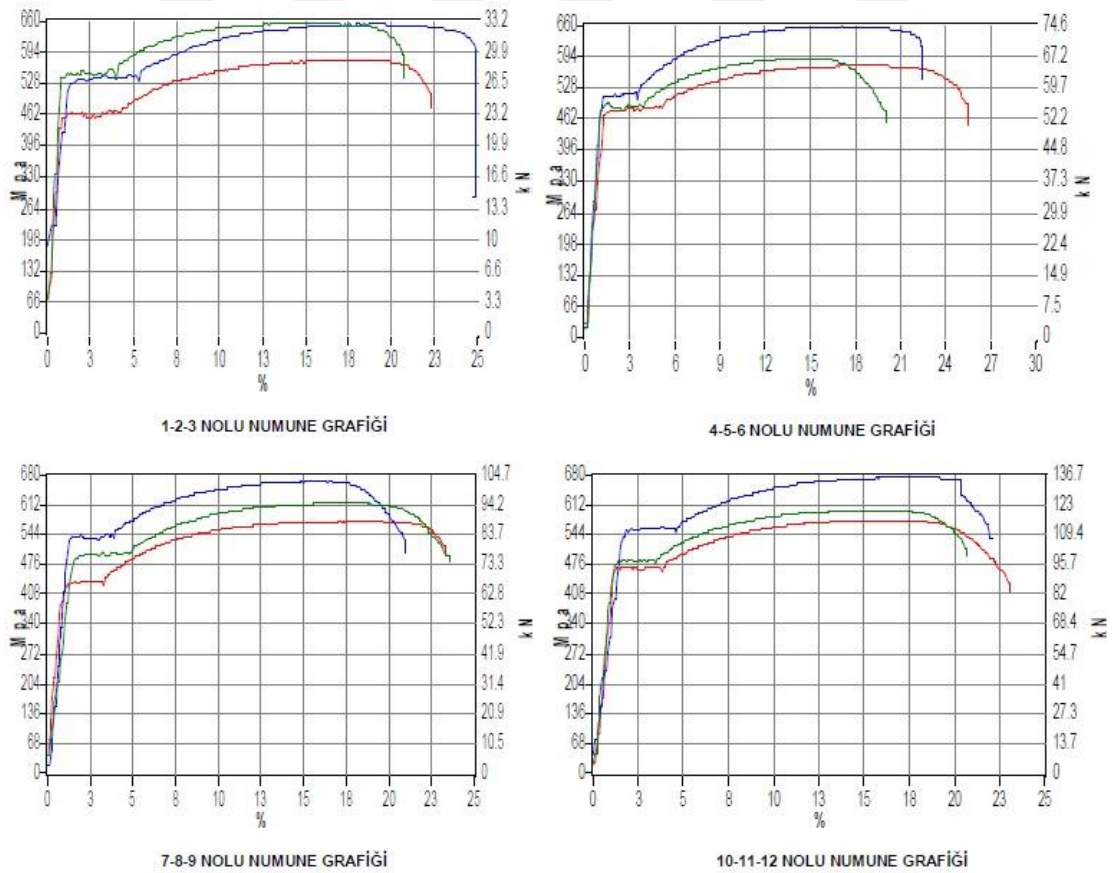
Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan beton karışımında ince agregası olarak 0-4 mm boyutlarında kırma taş kumu tercih edilmiştir. Kaba agregası olarak 5-12 mm ve 5-22 mm boyutlarında çakıl tercih edilmiştir.

3.3.2. Donatı Çeliğı

Deney amacıyla hazırlanan numunelerde, üç farklı çapta donatı çeliğı kullanılmıştır. Temel donatılar için, Ø16 çapında ve B 420C sınıfı tercih edilirken, perde donatılarında Ø14 ve Ø12 çapında aynı sınıf donatılar kullanılmıştır. Perde etriyeleri için ise 8 mm çapında, yine B 420C sınıfı donatılar seçilmiştir. Her bir çaptan, Ø16, Ø14, Ø12 ve Ø8 üçer adet numune alınarak laboratuvarında donatı çekme test cihazında test edilmiştir (Şekil 8). Bu testler, TS-708 [78] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Donatı çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar, parametrik olmayan istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek Tablo 1'de sunulmuştur. Donatı numunelerinin çekme testlerinden elde edilen verileri sayısal analizlerde kullanmak amacıyla ortalama alma yöntemi tercih edilmiştir. İlk olarak, her bir donatı grubunun akma ve kopma dayanımlarının standart sapmaları hesaplanmış, ardından her grubun altı adet numunesinin sonuçları ortalaması alınmıştır. Bu ortalama standart sapma değeri çıkarılarak, sayısal çalışmalarda kullanılacak olan donatıların ortalama mekanik değeri belirlenmiştir.

Tablo 1. Nervürlü betonarme çeliklerine ait mekanik özellikleri

TS 708 / Mart 2016 Standart Sınır Değerler												Anma Kütlesi Kg/m	
Deney Sonucu Bulunanlar												min	max
No	Anma Çapı (d) mm	Kütle Kg/m	Akma (Re) MPa	Çekme (Rm)MPa	Rm / Re	Re act / Re nom	Kopma Uz. % (A59)	Akma (Re) Mpa min	Rm / Re	Re act / Re nom max	Kopma Uz. % (A59) min		
1	8	0.400	465	579	1,24	1,11	22,3	420	>1,15	1,30	12	0,371	0,419
2		0.393	528	654	1,24	1,26	24,8	420	<1,35	1,30	12		
3		0.398	522	656	1,26	1,24	20,8	420		1,30	12		
1	12	0.907	483	576	1,19	1,15	25,5	420	>1,15	1,30	12	0,848	0,928
2		0.891	517	658	1,27	1,23	22,5	420	<1,35	1,30	12		
3		0.913	489	590	1,21	1,16	20,0	420		1,30	12		
1	14	1.213	446	575	1,29	1,06	23,3	420	>1,15	1,30	12	1.159	1,264
2		1.219	523	665	1,27	1,24	21,0	420	<1,35	1,30	12		
3		1.217	494	616	1,25	1,18	23,6	420		1,30	12		
1	16	1.613	460	578	1,26	1,10	23,1	420	>1,15	1,30	12	1,509	1,651
2		1.596	527	527	1,28	1,25	22,1	420	<1,35	1,30	12		
3		1.602	483	483	1,24	1,15	20,6	420		1,30	12		



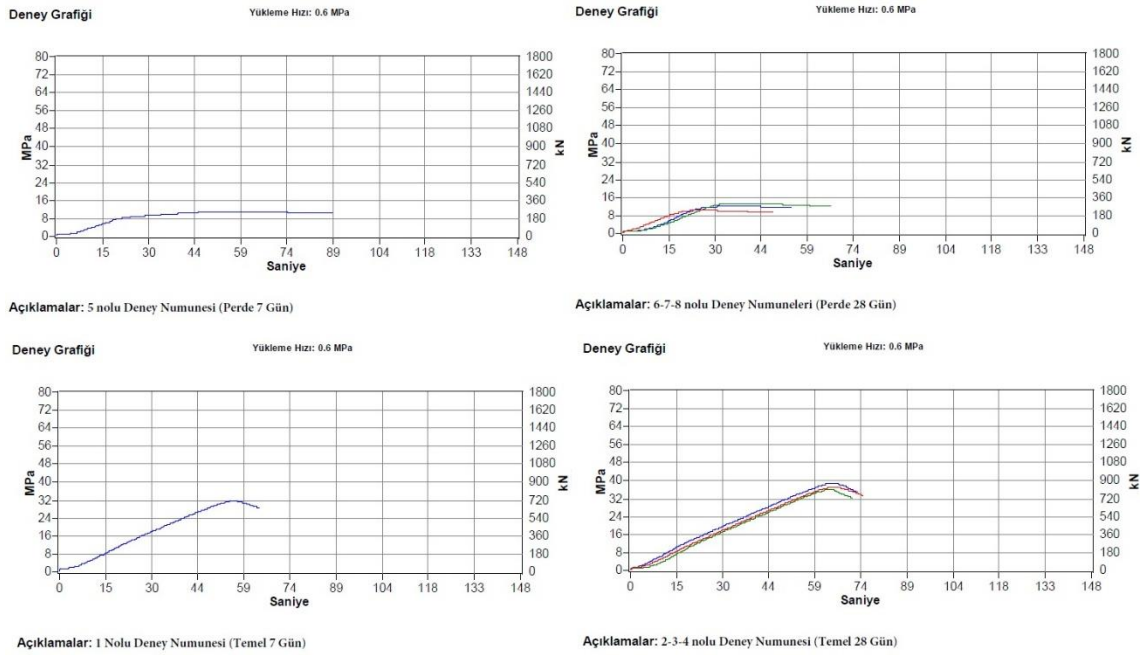
Şekil 8. Donatı çeliği grafiği

3.3.3. Beton

Deney kapsamında 1998 yılından önce yapılan yapılarda kullanılan betonarme perdelerde o dönemde kullanılan beton basınç dayanımı 12MPa seviyelerinde olmasından dolayı deneylerde numunelerin beton sınıfları olarak C12 beton sınıfı kullanılmıştır. Temel betonlarımız C25 beton sınıfı olarak imal edilmiştir. Deneyde kullanılacak numunelerin üretiminde taze beton örnekleri TS500-2000ve TS-EN 12350-1 [79]'de belirtilen kriterlere uygun olarak 28 sonra basınç deneyine tabi tutulmak üzere alınmıştır. Numune alma planımız iki gruba ayrılmıştır. İki gruba ayrılan numunelerden ilk ve ikinci gruptaki üç er adet taze beton numunesi, TS-EN 12350-2 [79]'deki koşullara göre laboratuvar ortamında kür havuzunda 28 gün bekletilmiştir. TS-12390-1 [80]'de tanımlanan küp beton numune kaplarının geometrik ölçüleri 150x150x150 mm'dir. Taze beton deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmaktadır. Deneyler tamamlandıktan sonra numunelerden alınan karot sonuçları da Tablo 3'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Taze beton deney sonuçları

Deney Numuneleri Taze Beton Deney Sonuçları									
No	Yapı Elemanı	Kesit Alanı (cm ²)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (g)	Birim Ağırlığı (g/cm ³)	Numune Yaşı (gün)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ortalama (Mpa)
1	Temel	225	3375	8054	2,386	7	715.5	31.8	31.8
2	Temel	225	3375	8053	2,386	28	875.9	38.9	
3	Temel	225	3375	8140	2,412	28	813.4	36.2	
4	Temel	225	3375	8052	2,386	28	838.5	37.3	
5	Perde	225	3375	8074	2,392	7	249.2	11.1	11.1
6	Perde	225	3375	7856	2,328	28	269.9	12.0	
7	Perde	225	3375	8041	2,383	28	303.1	13.5	
8	Perde	225	3375	8033	2,380	28	235.1	10.4	



Şekil 9. Taze beton deneyi

Tablo 3. Karot Basınç Deney Sonuçları

Karot Basınç Deney Sonuçları			
Numune Adı	P1-Ref-C12	P4-Ret-PL20	P5-Ret-CF-COV-C12
Karot Basınç Dayanımı	MPa	Mpa	Mpa
3 Bölge (Üst)	9.5	14.6	12.9
2 Bölge (Orta)	12.2	10.2	10.1
1 Bölge (Alt)	12.4	9.4	12.3

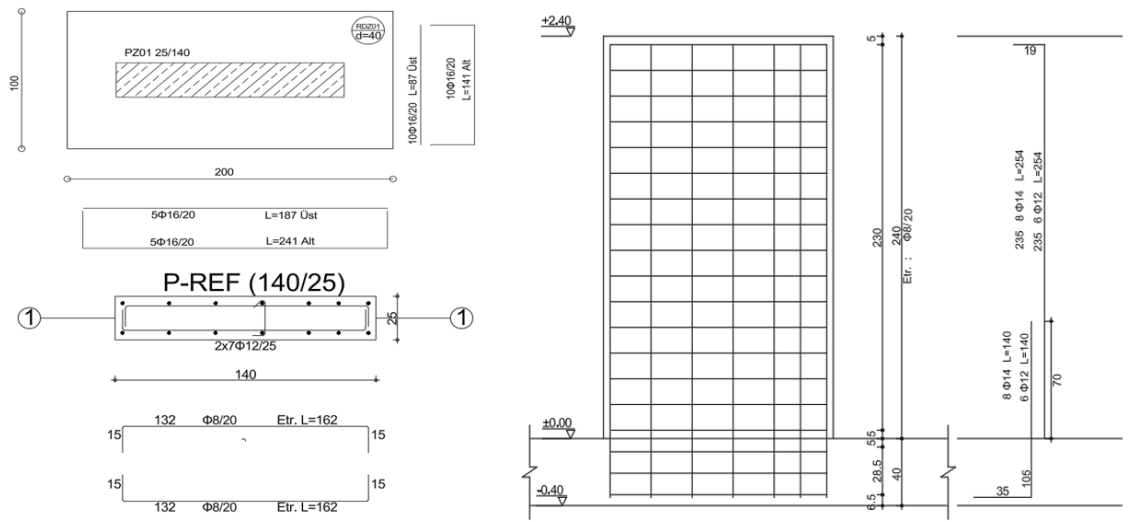
3.4. Numunelerin Hazırlanması

Deney numunelerinin hazırlanma süreci şu şekilde özetlenebilir: İlk olarak kalıplar hazırlanır, ardından donatılar yerleştirilir ve son olarak beton dökümü gerçekleştirilir. Tüm numuneler, Erciyes Üniversitesi Deprem Laboratuvarı'nın numune hazırlama bölümünde, açık hava koşullarında üretilmiştir. Çalışma kapsamında, tüm numunelerde öncelikle temel betonu dökülmüş ve bu işlemten bir hafta sonra betonarme perdelerin betonu dökülmüştür. Böylece monolog beton dökümü olmamış olup, perde eleman ile temel elemanı arasında soğuk derz etkileri olduğu kabul edilebilir.



Şekil 10. Erciyes Üniversitesi Deprem Araştırmaları Laboratuvarı

Deney numunelerimizin hazırlanmasında ilk olarak Erciyes Üniversitesi Deprem Laboratuvarı'nın numune hazırlama bölümünde zemine naylon branda serilerek numunelerin üretim aşamasında zeminle olan bağlantısı kesilmiştir. Daha sonra temel kalıplarımız 1.0x2.0x0,4 m ölçülerinde imal edilerek hazırlanmıştır. Daha sonra temel demirleri 16mm B 420C çeliğinden 20 cm aralık ile x ve y yönünde alt üst ızgara şekilde döşenmiştir. Betonarme perdelerin P1-Ref-C12 numunesi gövde bölgesi için 6 adet 12 mm çapında 19 cm aralık ile perde uç bölgeleri için 8 adet 14 mm çapında, P5-Ret-CF-Cov-C12 numunesi gövde bölgesi için 6 adet 12 mm çapında 19 cm aralık ile perde uç bölgeleri için 8 adet 14 mm çapında, P4-Ret-PL20-C12 numunesi gövde bölgesi için 6 adet Ø12 çapında 19 cm aralık ile perde uç bölgeleri için 8 adet Ø14 çapında filiz hazırlanmıştır. Demir imalatı bittikten sonra, deney numunesinin deney alanında temel zemin bağlantıları yapılması için temel içerisine 100 mm çapında 40 cm boyunda PVC borular 50 cm aralık ile yerleştirilmiş ve daha sonra temel betonu C25 olarak tek betonier araçla getirilmiş olup dökülmüştür. Betonun dökümü sırasında betonun sıkıştırılması için vibratör kullanmıştır.



Şekil 11. Temel ve Perde Kalıp ve Demir Detayı

Temel betonu döküldükten sonra betonarme perdelerin imalatı için öncelikle perdelerin kalıpları 0,25x1,4x2,4 m olacak olarak hazırlanmıştır. Betonarme perdelerin kalıp imalatı tamamlandıktan sonra 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) kapsamında donatı imalatı yapılmıştır. P1-Ref-C12, P5-Ret-CF-Cov-C12 ve P4-Ret-PL20-C12 numunesi için perde başlık bölgelerinde 4 adet Ø14 B 420C donatı çeliği perde 6 adet Ø12 B 420C donatı çeliği kullanılmıştır. Deney numuneleri için yatayda kullanılacak donatı olarak Ø8 çapında yataydaki mesafesi 20 cm olacak şekilde perdenin palandaki uzuluğunu tamamen saracak şekilde başlık bölgesi oluşturmadan yerleştirilmiştir. Boyuna donatılarda ikinci bir etriye, başlık veya çiroz konulmamıştır. Donatı imalatı tamamlandıktan sonra kalıp imalatının takviye ve destekler tamamlandıktan sonra beton dökümü için hazır hale gelmiştir.



Şekil 12. Temel kalıp ve Demir imalatı

Donatı imalatı tamamlanan deney numuneleri için C12 beton tek betonier ile Erciyes Üniversitesi Deprem Laboratuvarı'nın numune hazırlama alanında beton pompası aracılığıyla dökülmüştür. Beton dökümü sırasında sıkıştırılması için numunelerin temsil

ettiği yönetmelik dönemlerindeki imalat şartlarında olduğu gibi şişleme ve kalıp tokmaktama işlemi yapılmıştır. Beton dökünden sonraki gün kalıplar sökülüştür.



Şekil 13. Temel betonu dökülmesi ve numune alınması

Deney numuneleri Erciyes Üniversitesi Deprem Laboratuvarı'nın numune hazırlama alanında açık havada 28 gün bekledikten sonra laboratuvar içerisine alınarak debey düzeneğinin hazırlanması, P4-Ret-PL20-C12 ve P5-Ret-CF-Cov-C12 deney numunelerin bu araştırma kapsamında başlık bölgelerinin güçlendirme işlerine başlanmıştır.



Şekil 14. Perde kalıp ve demir imalatı

P4-Ret-PL20-C12 ve P5-Ret-CF-Cov-C12 numuneleri öncelikle yüzeyinde bulunan kalıptan kaynaklı olan pürüzler ve çıkıntılar çekiç, keski ve spatula yardımıyla düzeltilmiştir. Perdenin köşe noktaları güçlendirme elamlarının aderansını sağlama için 3-5 mm aralığında, beton yüzeyler için kullanılan beton silim ağzı kullanılarak taşlama makinası ile pah yapılmıştır. Daha sonra deney numunesi yüzeyi kompresör yardımıyla basınçlı hava tutlarak yüzeydeki tozlardan arındırılmıştır. Deney numunelerimin güçlendirme işlemi için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 15. Perde beton dökümülmesi ve kalıp söküldükten sonraki görüntüsü

P4-Ret-PL20-C12 deney numunesi için marka 50x12x5 cm ölçülerinde özel üretim olan Carbon Fiber Reinforcement Polymer (CFRP) güçlendirme plakaları yine bu plakalar için özel hazırlanan yapıştırma harcı ve epoksi, 2 birim yapıştırma harcı 1 birim sertleştirici epoksi oranı ile karışımı hazırlanarak 3-4 mm kalınlığında plaka yüzeyine sürülerek perdeye yapıştırılmıştır. Bu karışım oranları üretici firma tarafından belirlenmiştir. Plakaların perde yüzeyindeki yerleşimi için ilk olarak plakalar perde alt noktasından başlayarak aralarında 15 cm boşluk bırakılarak perde üst noktası 205 cm olacak şekilde uygulanmıştır. Burada perdelerin içerisinde başlık bölgesi olmadığı için, daha sonradan başlık bölgesi bu güçlendirme plakaları ile oluşturulması hedeflenmiştir. Deney numunelerinin temsil ettiği dönem için (1999 yılı öncesi) başlık bölgesi oluşturulması muhtemelen 20 cm aralık bırakılarak oluşturulacağı için aynı aralığı yakalamak adına plakaların merkezinden 20 cm aralık ile perde yüzeyine yapıştırılması uygulanarak başlık bölgesi oluşturmak hedeflenmiştir. Uygulamada mevcuttaki binalarda kolaylık sağlaması adına deney numunelerine uygulanan plakalar L köşebent şeklinde özel olarak üretilmiştir. 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY) kapsamında yapılan mevcuttaki binalarda kiritik perde yüksekliği hesabı yapılmadan imal edilmiştir. 2018 TBDY'ye göre yapılan günümüzdeki binalarda ise perdelerde uç bölgesi oluşturulması ve kiritik perde yükseliğinin hesaplanması zorunludur. Perdelerdeki uç bölgesi uzunluğu için, perdenin plandaki uzunluğunun %20 si ve perde kalınlığının 2 katından az olmama şartı göz önüne alındığında, deney numunesine güçlendirme yapılırken plakanın boyu olarak perde kalınlığının iki katı alınarak 50 cm olması belirlenmiştir. Yaşanacak bir depremde betonarme perdelerin hasar aldığı bölgeler genellikle kritik perde yüksekliği bölgesi olduğu için güçlendirme bölgesi olarak kritik perde yüksekliğince olan bölümü seçilmiştir. Yapılan güçlendir uygulaması

tamalandıktan sonra, üretici firmanın tavsiyesi ile en az 48 saat bekleme süresi sonrasında deney yapılması uygun olduğu belirtilmiştir. P4-Ret-PL20-C12 numunesi için güçlendirme işlemi tamamlandıktan 1 hafta sonra deneye tabi tutulmuştur.



Şekil 16. Deney numunelerinin laboratuvara alınması



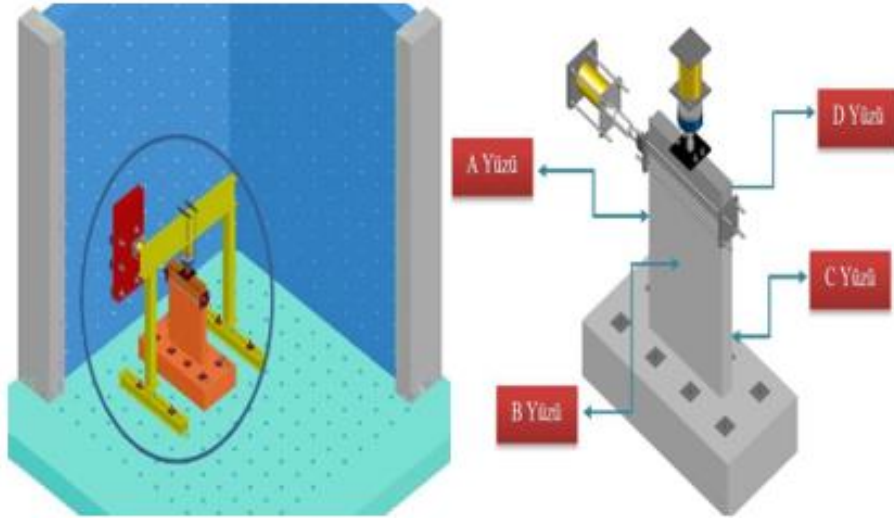
Şekil 17. Deney numunelerinin güçlendirilmesi

P5-Ret-CF-Cov-C12 deney numunesi için 50 cm yüksekliğinde ve 2 mm kalınlığında serbest zunlukta olan Carbon Fiber Reinforcement Cov (CFRC) güçlendirme kumaşları yine bu kumaş için özel hazırlanan yapıştırma harcı ve epoksi, 2 birim yapıştırma harcı 1 birim sertleştirici epoksi oranı ile karıkarışımı hazırlanarak 1-2 mm kalınlığında öncelikle deney numunesi yüzeyüne rulo yardımıyla sürülmüş, daha sonra aynı karışım güçlendirme için hazırladığımız kumaş yüzeyine sürülmüş ve perde yüzeyinde birbirlerine yatayda en az 10 cm bindirme yapılarak perde yüzeyine

yapıştırılmıştır. Bu karışım oranları üretici firma tarafından belirlenmiştir. Güçlendirme kumaşlarının perde yüzeyindeki yerleşimi için ilk olarak perde alt noktasından başlayarak perde üst noktasıda 220 cm olacak şekilde uygulanmıştır. P4-Ret-PL20-C12 numunesi için mevcut olan durum P5-Ret-CF-Cov-C12 içinde geçerli olacağı için başlık bölgesi olmadığında, daha sonradan başlık bölgesi bu güçlendirme kumaşları ile oluşturulması hedeflenmiştir. Perdelerdeki uç bölgesi uzunluğu için, perdenin plandaki uzunluğunun %20 si ve perde kalınlığının 2 katından az olmama şartı göz önüne alındığında, deney numunesine güçlendirme yapılırken güçlendirme kumaşının yatadaki uzunluğu olarak perde kalınlığının iki katı alınarak 50 cm olması belirlenmiştir. Yaşanacak bir depremde betonarme perdelerin hasar aldığı bölgeler genellikle kritik perde yüksekliği bölgesi olduğu için güçlendirme bölgesi olarak kritik perde yüksekliğince olan bölümü seçilmiştir. Yapılan güçlendir uygulaması tamamlandıktan sonra, üretici firmanın tavsiyesi ile en az 96 saat bekleme süresi sonrasında deney yapılması uygun olduğu belirtilmiştir. P5-Ret-CF-Cov-C12 numunesi için güçlendirme işlemi tamamlandıktan 1 hafta sonra deneye tabi tutulmuştur. Deney numuneleri güçlendirme işlemleri tamamlandıktan ve deney hazır hale geldikten sonra, deney numuneleri su bazlı beyaz boya ile tek kat boyanmıştır.

3.5. Deney Düzenegi

Deneyisel çalışmanın düzenekleri dört ana bölümde toplanabilir. İlk bölüm, beton numunelere uygulanan yatay ve düşey kuvvetler sırasında numunelerin sabit kalmasını sağlayan rijit bir zemin platformu ve bu platforma numuneleri bağlayan bağlantı millerini içerir. İkinci bölümde, yatay yüklerin taşınmasını sağlayan beton yükleme duvarı bulunmaktadır. Üçüncü bölüm, numunelere yatay kuvvet uygulayan hidrolik pistondan oluşur. Son bölüm ise, düşey kuvvetleri simüle eden hidrolik piston ve bu pistonun bağlı olduğu, numunenin yatay hareketi sırasında düşey yükü sabit bir noktada tutan mafsalı çelik çerçeveyi kapsar.



Şekil 18. Deney düzeneği 3D görünüşü [18]

Betonarme perde numunelerin deprem davranışının görülebilmesi için düşeyde ve yatayda hidrolik pistonlar yardımıyla yatay ve düşeyde yük uygulanmaktadır. Bu yükler bir piston ile itme ve çekmede kullanılmak için yatay kuvvetler uygulanırken diğer piston betonarme perde numuneye eksenel yük verebilmek için düşeyden numune eksenine uygulanmaktadır.



Şekil 19. Deney düzeneği görünüşü

Doğrusal olmayan itme analizinde numunenin belli bir noktasına kuvvet uygulanmaktadır. Söz konusu kuvvet itme ve çekme kuvveti olarak adlandırılmaktadır. Böylece belli bir noktada yatayda uygulanan itme ve çekme kuvveti karşında yapacağı yer değiştirme ölçülmektedir. Laboratuvardaki yükleme duvarına monte olan hidrolik

piston itme ve çekme yaparak numuneye döşeme seviyesinde yayılı yükü yatayda vermektedir. Rijit beton duvarın uygulanan kuvvetlerden dolayı herhangi bir deplasman yapabilme imkânı yoktur. Betonarmeden oluşan yükleme duvarı 500 mm kalınlığında 6 m genişliğindedir. Duvar bağlantılarını sağlamak için duvar üzerinde 500 mm aralıklı ve çapı 70 mm olan delikler bulunmaktadır. Bununla birlikte zemindeki rijit platform ise 500 mm kalınlığında, alt bölümü galeri olan betonarme döşeme mevcuttur. Platform üzerinde sabitlenecek elemanlar için yatayda ve düşeyde 500 mm aralıklı ve çapı 70 mm olan delikler bulunmaktadır. Bu platform rijit çelik destek kolonunu zemine sabitlemek için kullanılmıştır.

Deney numunesine verilen eksenel kuvvet yalnızca numuneye salt eksenel yük olarak aktarılabilmesi için çerçeve sistemde düzenek hazırlanmıştır. Söz konusu düzenek temelde rijit zemin betonuna 4 adet 100 mm çelik miller yardımıyla bağlanıp hareketsiz kılınmış 2 adet kaynakla birleştirilmiş NPU200'lere mafsallanmıştır. Söz konusu çerçeve sistemin kolonları HEA240 çelik profil olup üstten çerçeveyi bağlayan kiriş ise 2 adet HEA240 profilin üst üst birleştirilerek imal edilmiştir. Çerçeve sistemin hem kolon hem kiriş olarak tasarlanan elemanlarında 200 mm aralık ile 10 mm levhalar ile profilin her iki tarafına berkitmeler yapılmıştır. Aynı zamanda çerçeve sistemin kiriş bölüne konulan 2 adet HEA240 profiller alınları 10 mm levha ile çift tarafı güçlendirilmiştir. Çerçeve sistemin kolonlarının altında tek yönlü hareket edebilen mafsallar vardır. Bunlar sayesinde yatay yükleme sırasında beton numunenin ileri-geri hareketi esnasında numuneyle birlikte çerçevede aynı yer değiştirmeyi yapacaktır. Böylece betonarme perde numuneye uygulanan eksenel kuvvet, salt eksenel kuvvet olarak uygulanması devam etmiş olacaktır. Düşey yükü kuvvet halinde ileten hidrolik piston ile betonarme numune arasında kuvvet aktaran ara eleman vardır. Bu eleman betonarme perde numunenin üstüne tam oturarak yükü yayılı şekilde aktaracak olan U300 profildir.

3.6. Deneylerde Kullanılan Cihaz ve Ekipmanlar

Laboratuvar çalışmalarında kullanılacak alet ve cihazların tercihinde deneysel çalışmadan önce yapılmış olan nümerik çalışmaların etkisi büyük olmuştur. Deneyden önceki nümerik çalışmalarda numunelerin ne kadar yer değiştirme yapacağı, o yer değiştirme sırasında numunelere gelecek düşey ve yatay kuvvetlerin tahminleri gerçekleştirilmiştir. Bu tahminlere göre kuvvetleri uygulayacak hidrolik pistonların ebatları, kapasitesi gibi birçok verinin hesaba katılması gerekmektedir. Ayrıca deney sırasında

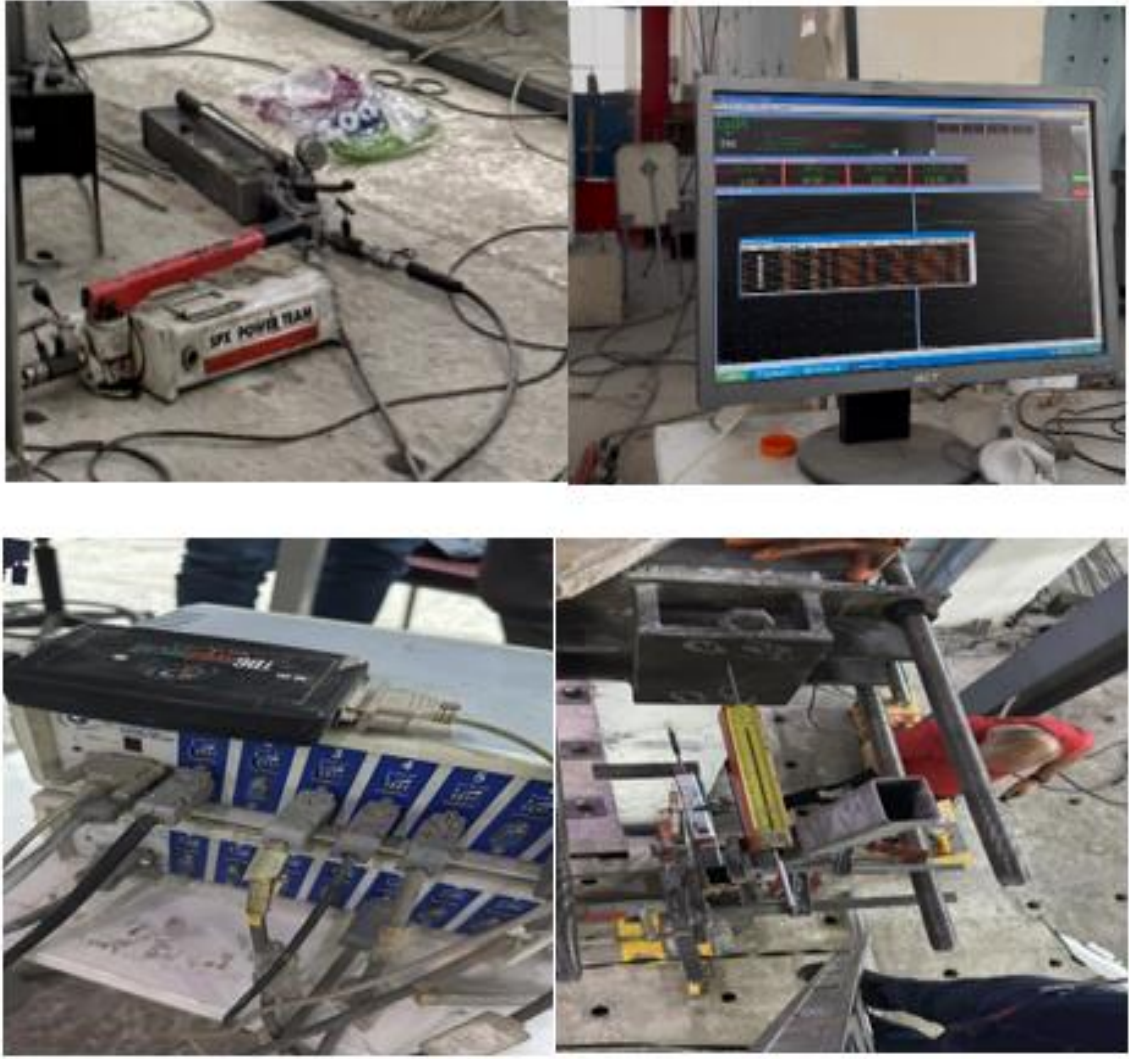
numunenin birçok yerinden ölçüm alabilecek ve bu alınan ölçümleri veri haline getirerek kıyaslama yapılabilecek duruma getiren ekipmanların kullanılması gerekmektedir.



Şekil 20. Yatay ve düşey yük uygulayan pistonlar

Yatay kuvvetleri oluşturan yatay yükleme düzeneği sırasıyla hidrolik yükleme kolu, hidrolik piston, bu pistonla rijit yükleme duvarı arasında bağlantı elemanı olan mafsal, yük hücresi(loadcell) ve yük hücresi ile perdeye kuvveti aktaracak olan NPU200 çelik profil arasındaki mafsaldan oluşmaktadır. Hidrolik krik o iki ana parçadan oluşmaktadır. Birinci parçası yük çıkış noktası olan hidrolik piston, ikinci parçası ise pistonu yağ basmayı sağlayan manuel yükleme koludur. Hidrolik pistonlar itme ve çekme yapabilen elemanlardır. Bu çalışmada rijit yükleme duvarı ile numune arasında kalan piston 1000kN kapasiteye sahiptir. Sisteme uygulanan yatay ve eksenel yük büyüklükleri ile yük değişimi, yük hücresi(loadcell) aracılığıyla ölçülmüştür. Bu çalışmada kullanılan yük hücresi +1000kN (basma)/-500kN (çekme) aralığında ölçüm yapabilme kapasitesine sahiptir. Pistonların tüm mafsal ve yük hücreleri ile olan bağlantı elemanları dişli parçalar yardımıyla sağlanmaktadır. Mafsal, yatay kuvvetlerin numuneye uygulanmasında ara bağlantı elemanı olarak kullanılan ve yatay yükleme doğrultusuna dik doğrultuda aşağı yukarı hareket edebilen elemanlardır. Bu elemanlar sayesinde yükleme düzeneği yatay doğrultuda kalabilmekte, üzerindeki kuvvetleri doğru aktarabilmektedir.

Numuneye uygulanan eksenel kuvveti oluşturan düşey yük düzeneği ise bir adet hidrolik piston, bir adet mafsal, bir adet yük hücresi ve bir adet hidrolik piston yükleme kolundan oluşmaktadır. Betonarme numunenin yatay hareketi sırasında eksenel kuvvetinde numune ile aynı yer değiştirme ile hareket edebilmesi için numunenin her iki yanında bulunan HEA240 çelikten imal edilmiş ve zemine mafsallı olan çerçeveye bağlanmıştır. Bu düşey yükleme için 1000kN'luk bir adet hidrolik piston kullanılmıştır.



Şekil 21. Deney ekipmanları (hidrolik pompa, datalogger, LVDT, bilgisayar)

Yatay ve düşey kuvvetleri uygulayan yükleme düzeneklerinde iki adet yük hücresi kullanılmaktadır. Bu yük hücreleri hidrolik pistonlara bağlı olup, hidrolik pistondan numuneye yük aktarılmasında yükün büyüklüğünü görebilmemizi sağlamaktadır. Lineer Variable Differential Transformers (LVDT)'ler yapı elemanın istenilen noktadaki lineer yer değiştirmeyi ölçmeye yarayan aletlerdir LVDT'lerin ölçüm hassasiyeti 1µm olup, ölçüm kapasitesi 300 mm ile 100 mm arasında farklı LVDT'ler dir. Bu çalışmada LVDT'ler betonarme modelin dört noktasından ölçüm almaktadırlar ayrıca betonare perdenin dışında bir adet de temel üst noktasına takılarak ölçümler alınmıştır. Ölçüm aletlerin deney düzeneğindeki yerleri de görülmektedir. Deney sırasında alınan tüm ölçümlerin sayısal değerlerini, elektrik akımı olarak ölçüp bilgisayara istenilen biçimde aktarabilen veri toplama kutuları (datalogger) kullanılmıştır.

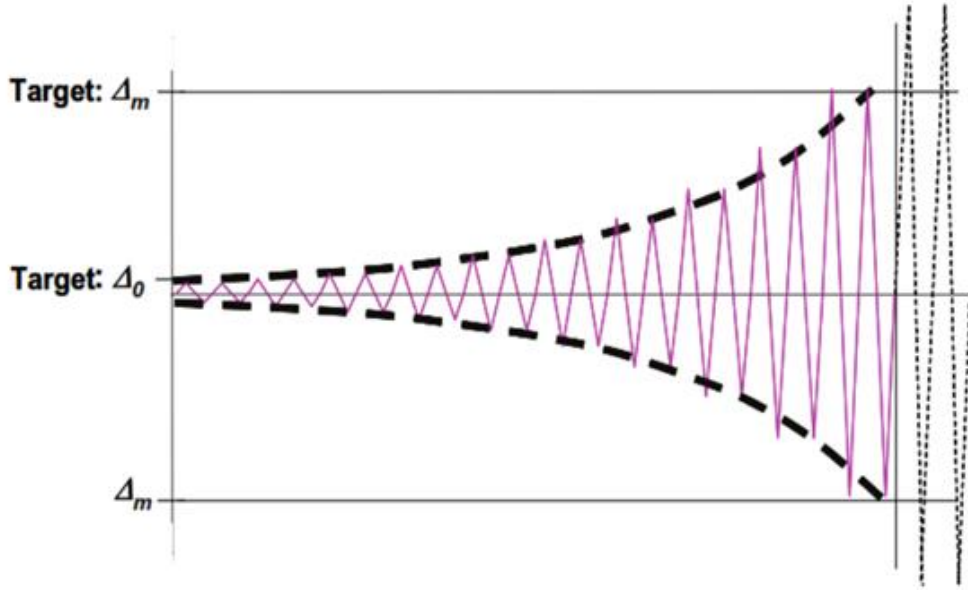
3.7. Yükleme Prosedürlerinin Tanımlanması

FEMA 461 (FEMA 2007) protokolü [75], 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).

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 [75], [14] test) kapsar.

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 Δ) artışlarla sürdürülmelidir. Bu durumda, deney verisi yetersizse önerilen artış değeri 0,03'tür (yine δ/h olarak). Yükleme geçmişi Şekil 22'de gösterildiği gibi, aşamalı olarak artan deformasyon genliklerinde tekrarlanan döngülerden oluşur. Her bir genlik düzeyinde iki döngü uygulanmalıdır.



Şekil 22. Kullanılan yükleme geçmişinin kavramsal diyagramı [75]-[14]

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 XX'de verilmiştir. $a_1 = 0,0048\Delta_m$ için yükleme geçmişine ilişkin grafik ise Şekil 14'de sunulmaktadır.

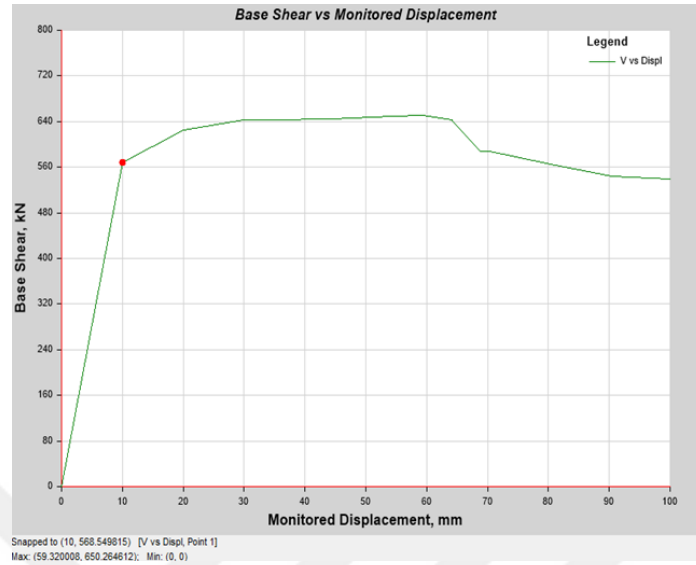
Tablo 4. Bağıl Yükleme Geçmişi Yer Değiştirme Genlikleri [75]- [14]

n	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
a_k/a	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.09	0.13	0.18	0.26	0.36	0.51	0.71	1.00
n	8	5	5	8	8	5	3	6	0	4	0	4	0

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.

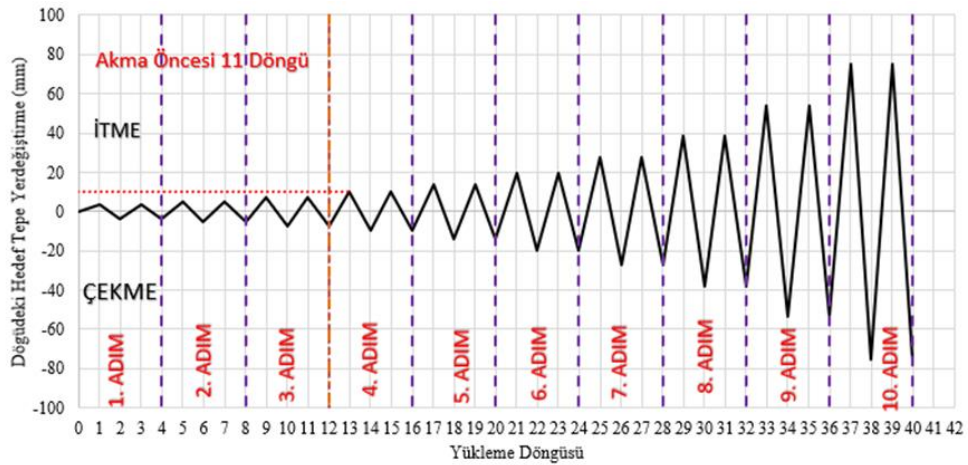
FEMA 461 kapsamında açıklandığı şekilde başlangıç için bir protokolün belirlenmesi adına test numunesi üretilmemiş, bunun yerine numerik analiz modeli oluşturulmuştur. ETAB programında perde elemanın modellenmesi sonucunda model üzerinde artımsal itme analizi yapılarak perdenin akma yer değiştirmesi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

Şekil 23’de verilen grafikte perde elemanın olası ilk çatlak oluşması beklenen yer değiştirme değeri 10.56 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 23. 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 24’da verilmiştir. Çalışma kapsamında nihai yük-deplasman kapasitelerini 2. döngülerde elde edilen değerler kabulü yapılarak sürdürülmüştür.



Şekil 24. Deneyde kullanılan yükleme protokolü



4. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA BULGULARI VE ANALİZİ

4.1. Genel Bilgiler

Önceki bölümlerde, deney öncesinde yapılan sayısal analizlerden elde edilen verilere dayanarak, deneylerde kullanılacak örneklerin mekanik ve fiziksel özellikleri tartışılmıştı. Bu bölümde ise, deneylerde kullanılan örneklerin testler sırasında elde edilen sayısal verileri ile yatay ve dikey kuvvetler altındaki davranışları ele alınmaktadır. Toplam üç adet olan bu numunelerde, temel ve betonarme perdeler hem geometrik boyutlar hem de kullanılan malzemeler açısından tamamen aynı olup, yalnızca güçlendirme yöntemlerinde farklılık göstermektedir. Deneylerde, numunelere döngü boyunca önceden belirlenen yatay deplasman hedefine ulaşılan kadar yatay yük uygulanacaktır. Bu yatay yük, her bir deplasman hedefi için tek bir piston ile itme ve çekme kuvvetleri kullanılarak sağlanacaktır. İtme ve çekmenin ardışık olarak uygulanması ardından, numuneden yatay yükün kaldırıldığı an, tam bir döngü olarak tanımlanmaktadır. Deneyler, başlangıçta yük kontrolü altında başlatılarak devam etmekte ve hedeflenen deplasmana ulaşılan kadar kesintisiz olarak yükleme sürdürülmektedir. Yatay yer değiştirme hedefine ulaşıldığında, numunelerin yükleme durdurulmakta ve oluşan hasar ile davranış özellikleri sürekli bir şekilde izlenmektedir.

Deney sırasında toplanan veri kayıtlarında, yatay yük "kN", yer değiştirmeler ise "milimetre" cinsindendir. Numunelere ait yatay yük-yer değiştirme eğrileri, veri kayıtlarından alınan orijinal yük-yer değiştirme değerleri SI birim sistemine uygun olarak "kN" ve "mm" cinsinden değerlendirilmiş ve tüm test elemanları için histerezis eğrileri çizilmiştir.

4.2. Açıklamalar

Deneysel çalışmalar esnasında test elemanına ait yatay yük-yer değiştirme ilişkisini gösteren histeresis eğrileri, 125 ms (1/8) aralık ile alınan veri kaydı yardımıyla gerçek zamanlı olarak elde edilmiştir. Söz konusu histeresis eğrileri başlangıçtan deplasman kontrollü olarak ancak deney sırasında ilerleyen safhalarda yapılan yüklemeler sonucuna bağlı deney davranışı elde edilmiştir. Betonarme perdelerimin isimlendirmeleri konusundan bahsetmiştik. Deney numunelerimizin deney anında çekim yapan kameramıza yakın geniş yüzey için "B" ve diğer geniş yüzeyi için "A", duvara

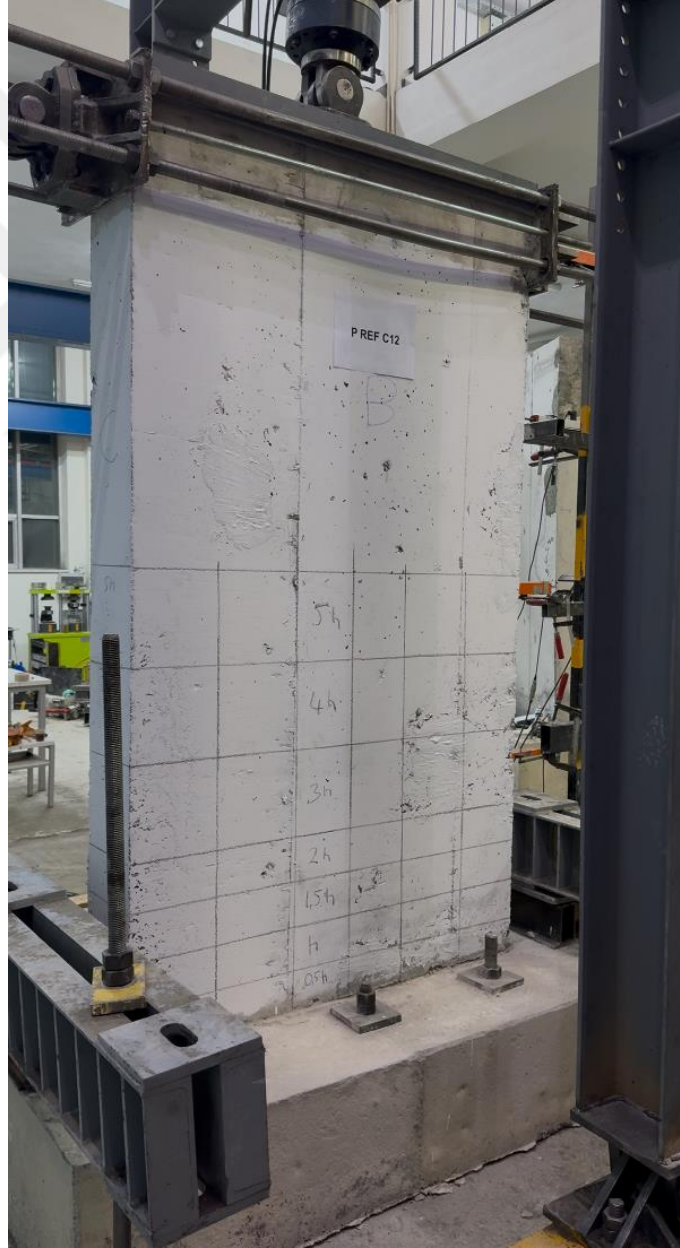
sabitlenmiş hidrolik ile yatay yük uyguladığımız dar yüzeyi için “C”; Diğer dar yüzeyi içinde “D” harfi ile gösterim yapılmıştır. Betonarme deney numunelerimizin “D” düzeylerine temel üzerinden 60 cm, 120 cm, 180 cm ve 240 cm yüksekliklerinde LVDT saatler yerleştirilerek hedeflenen deplasmanlara ulaşmaya kadar veri alınması sağlanmıştır. Temeldeki yer değiştirmeleri ölçümlemek adına da bir adet LVDT saat temel üzerine bağlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen veriler sırası ile hasar durumu ve bölgeleri, histeresis enerji eğrileri (yük-yer değiştirme), enerji yutma kapasiteleri, süneklik, rijitlik ve zarf eğrileri incelenerek numunelerin yapısal davranışları birbiriyle mukayeseli olarak ortaya konulacaktır.

4.3. Yükleme Sonucu Oluşan Hasar ve Çatlak Gelişimleri

Numunelere uygulanan sabit düşey yük ile çevrimsel ve artarak devam eden yatay yükler sonucu betonarme elemanlarda çatlaklar oluşmaktadır. Bu oluşan çatlakların her bir yük kademesindeki oluşumu ile takibinin yapılması betonarme yapı elemanlarının davranışı hakkında bize bilgi veren önemli göstergedir. Deneyler sırasında yapısal elemanlarda elastik ötesi bölgeye geçtikten sonraki çatlakların oluşumu, gelişimi, çatlak genişliklerinin takibi ile oluşan hasarların elemanın hangi bölgesinde oluştuğunun belirlenmesi son derece önemlidir. Bu değişkenler takip edilerek yapısal elemanlardaki hâkim davranışın ne olduğu analiz edilebilmektedir. Bu yüzden deneyler sırasında her yük-deplasman kademesinde çatlak gelişimi dikkatlice takip edilmiş olup, numuneler üzerinde çatlak gelişiminin belirgin olması için kırmızı ve mavi kalemle çatlaklar aşama aşama çizilerek izlenmiştir. Mavi çizgiler “İTME”; kırmızı çizgiler “ÇEKME” kuvveti uygulandığında oluşan veya gelişen çatlakları temsil etmektedir. İtme kuvvetini temsil eden yatay yük, “C” yüzeyinden numuneye uygulanmaktadır. Bu yüklemenin sonucunda numune “D” yüzüne doğru hareket etmektedir. Bunun sonucunda ise betonarme perdenin “A” ve “B” yüzlerinde başlayan ve daha ileriki döngülerde “C” ve “D” yüzlerinde gelişmeye devam eden çatlaklar oluşmaktadır. Aynı durum “C” yüzünden hidroliğin kendisine doğru yaptığı hareket sonucu oluşan çekme kuvveti içinde geçerlidir. Çalışmada söz konusu itme kuvvetinden kaynaklı oluşan çatlaklar deney fotoğraflarında “Mavi”, çekme kuvvetinden kaynaklı oluşan çatlaklar deney fotoğraflarında “Kırmızı” ile temsil edilmiştir.

4.3.1. P1-Ref-C12 Numunesi Hasar Durumu

P1-Ref-C12 Numunesi, deney başlangıcında 325 kN eksenel yükleme yapılarak belirlenen deplasman hedeflerine ulaşınca kadar yatay yükleme itme ve çekme şeklinde uygulanarak, her çevrimsel döngüde yük okumaları yapılmıştır. Her döngü itme ve çekme uygulandıktan sonra bitmiş kabul edilmektedir. İlk 6 döngüde 157,5 kN kadar numunede herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir. İlk çatlak oluşumu 191,2 kN denk gelen 7. döngünün itme yönündeyken gerçekleşmiştir. Numuneye uygulanan kuvvetlerin neticesinde oluşan çatlaklar ve hasar gelişimleri yük mertebelerine göre itme ve çekme adımlarında ayrı ayrı anlatılmaktadır.



Şekil 25. P1-Ref-C12 Numunesi deney başlangıcı

İtme bölgesindeki hasar durumları:

7. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde ilk çatlaklar A yüzeyinde 2h üst seviyesinden başlayıp 1.5h orta seviyesine kadar 50 cm uzunluğunda, B yüzeyinde 1.5h seviyesi ve 3h seviyesinde yatayda 50 cm uzunluğunda, C yüzeyinde 3h ile 2h arasında yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 191,2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 389 kN olarak ölçülmüştür.

8. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde, B yüzeyinde 4h seviyesi ve yatayda 25 cm uzunluğunda, C yüzeyinde 4h seviyesinde yatayda, kılcal boyutta çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 178,2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 391 kN olarak ölçülmüştür.

9. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, 14.00 mm deplasman seviyelerinde itme bölgesinde, A yüzeyinde 4h seviyesinden başlayan 3h seviyesi ortasına kadar ve yatayda 60 cm uzunluğunda ve 1.5h seviyesinden başlayan 0.5h seviyelerine kadar ve yatada 20 cm uzunluğunda ve 7 nolu çatlak genişleyerek 0.5h seviyelerine kadar ilerleyerek 9 nolu, B yüzeyinde 4h seviyesinden başlayan 3h seviyesi ortalarına kadar ve yatada 30 cm uzunluğunda ve 3h seviyesinden başlayan 2h seviyelerine kadar ve yatada 30 cm uzunluğunda, 1.5h seviyesindeki 7 nolu çatlak uzamış ve yatada 30 cm uzunluğunda, C yüzeyinde 5h seviyesinden başlayan 4h seviyelerine kadar kılcal boyutta çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 222,0 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 413 kN olarak ölçülmüştür.

10. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde 5h seviyesinde ve yatada 20 cm uzunluğunda ve 3h seviyesinde biten 9 nolu çatlak 15 cm uzayarak 2h seviyelerine inmiş kılcal boyutta çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 204,5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 401 kN olarak ölçülmüştür.

11. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde 5h seviyesindeki 10 nolu çatlak uzayarak 3h bölgesine kadar yatayda 35 cm uzunluğunda ve 1.5h seviyesindeki biten 10 nolu çatlak uzayarak 15 cm uzayarak 1h seviyelerine inmiş, B yüzeyinde 5h seviyesinden başlayan 4h seviyelerine kadar 35 cm yatayda, 3h seviyesinde biten 9 nolu çatlak uzayarak ve yatada 30 cm uzunluğunda 2h seviyesine kadar inmiş, C yüzünde 5h seviyesinde yatada 15 cm uzunluğunda kılcal boyutta çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 241,0 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 395 kN olarak ölçülmüştür.

12. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde 4h seviyesindeki 15 cm uzunluğunda yatay, 0.5h ile 1h seviyesindeki 9 nolu çatlak 25 cm uzayarak 1.5h seviyelerine çıkmış, B yüzeyinde 5h seviyesinden başlayan 4h seviyelerine kadar 11 nolu çatlak uzayarak ve yatada 10 cm uzunluğunda 4h seviyesine kadar inmiş ve 1.5h seviyelerinden 0.5h seviyesine kadar 30 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar oluşmuştur. Perde ile temelde ayrılmalar başlamıştır. Yatay yük 222,4 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 373 kN olarak ölçülmüştür.

13. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde 5h seviyesi üst noktasının üzerinden 4h seviyesi alt noktasına kadar 80 cm uzunluğunda yatay, 5h seviyesinde 10 cm uzunluğunda yatay, 3h seviyesindeki 11 nolu çatlak 25 cm uzayarak 2h seviyelerine inmiş, 1h seviyesindeki 11 nolu çatlak 15 cm uzayarak 0.5h seviyelerine inmiş, 4h seviyesinde perde kenar bölgesinde 5 cm düşey, B yüzeyinde 5h seviyesi üstünden başlayan 4h seviyelerine kadar yatayda 60 cm uzunluğunda, 4h seviyelerinde biten 11 nolu çatlak 3h alt noktalarına kadar 30 cm inmiş, 2h seviyelerinde biten 9 nolu çatlak 1.5h alt noktalarına kadar 10 cm inmiş, yatay çatlaklar oluşmuştur. Perde ile temelde ayrılmalar artmaya başlamıştır. D yüzünde 1.5h seviyesinde paspayı dökülmesi ve uç donatıda burkulma başlamıştır. Yatay yük 230,0 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 276 kN olarak ölçülmüştür

14. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, itme bölgesinde, C yüzeyinin A ve B yüzeyi köşelerinde paspayı dökülmeleri 0.5h seviyeleride başlamıştır. Perde ile temelde ayrılmalar artmaya başlamıştır. D yüzündeki paspayı dökülme 2h seviyelerine kadar ilerledi ve en uçtaki donatıda burkulma belirgin hale geldi. D yüzündeki pasyaında 4h seviyelerine kadar çatlak belirginleşti. Yatay yük 181,7 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 173 kN olarak ölçülmüştür.

15. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, itme bölgesinde, C yüzeyinin A ve B yüzeyi köşelerinde paspayı dökülmeleri 0.5h seviyeleriden 1h seviyelerine kadar çıkmış ve donatılar görülmeye başlamıştır. B yüzeyinde 4h seviyesinde biten 13 nolu çatlak 15 cm uzayarak 15 nolu çatlak olmuş, 3h seviyelerinde biten 13 nolu çatlak 15 cm uzayarak 15 nolu çatlak olmuş, 2h seviyelerinde biten 11 nolu çatlak 35 cm uzayarak 15 nolu çatlak olmuş ve 1h seviyelerine inmiş, temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. D yüzündeki paspayı dökülme 3h seviyelerine kadar ilerledi ve en uçtaki donatıda burkulma daha da arttı. D yüzündeki pasyaında 5h seviyelerine kadar çatlak belirginleşti. Yatay yük 220.8 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 217 kN olarak ölçülmüştür.

16. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzünde 5h seviyesinin üzerinde 10 cm boyunda düşey bir çatlak oluştu. C yüzeyinin A ve B yüzeyi köşelerinde paspayı dökülmeleri 0.5h seviyelerinden 1h seviyelerine kadar çıkmış ve donatılar görülmeye başlamıştır. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. D yüzündeki paspayı dökülme 4h seviyelerine kadar ilerledi ve en uçtaki donatıda burkulma daha da arttı. D yüzündeki pasyaında 5h seviyelerine kadar çatlak belirginleşti. Yatay yük 179.4 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 122 kN olarak ölçülmüştür.

17. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, itme bölgesinde, C yüzeyinin A ve B yüzeyi köşelerinde paspayı dökülmeleri 0.5h seviyelerinden 1.5h seviyelerine kadar çıkmış ve donatılar görülmeye başlamıştır. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Pemel perde birleşim noktalarında perde yüzeyinde dökülmeler başladı. Yatay yük 198 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 105 kN olarak ölçülmüştür.

18. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, itme bölgesinde, C yüzeyinin A ve B yüzeyi köşelerinde paspayı dökülmeleri 0.5h seviyelerinden 2h seviyelerine kadar çıkmış ve donatılar görülmeye başlamıştır. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Pemel perde birleşim noktalarında perde yüzeyinde dökülmeler arttı. Perdenin bütün yüzeylerinde 0.5h seviyelerinde kabuk atmaları olmuştur. Yatay yük 171.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 95 kN olarak ölçülmüştür.

19. döngüde hedeflenen 75.37 mm deplasmanında, itme bölgesinde, C yüzeyinin A ve B yüzeyi köşelerinde paspayı dökülmeleri 0.5h seviyelerinden 2h seviyelerine kadar çıkmış ve donatılar görülmeye başlamıştır. Temel ve perde ayrılmalar 3 cm mertebesine ulaştı. Yatay yük 170 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 95 kN olarak ölçülmüştür.

Çekme bölgesindeki hasar durumları:

7. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde ilk çatlaklar A yüzeyinde 3h seviyesinde 30 cm uzunluğunda yatay çatlak, B yüzeyinde 1.5h seviyesinde yatada 10 cm uzunluğunda yatay çatlak, D yüzeyinde 1.5h seviyesinde yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 195.1 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 459 kN olarak ölçülmüştür.

8. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde B yüzeyinde 2h seviyesi yatayda 25 cm uzunluğunda kılcal boyutta yatay çatlak oluşmuştur. Yatay

yük 181.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 454 kN olarak ölçülmüştür.

9. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 3h seviyesinde kadar 30 cm uzunluğunda yatay çatlak, B yüzeyinde 2h seviyesindeki 8 nolu çatlak uzayarak yatayda 25 cm uzunluğunda kılcal boyutta yatay çatlaklar oluşmuştur. D yüzünde 3h seviyesinde yatay çatlak olmuştur. Yatay yük 245.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 481 kN olarak ölçülmüştür.

10. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 3h seviyesinde biten 9 numaralı çatlak 30 cm uzayarak 10 numaralı çatlak olmuş ve 2h seviyelerine inmiştir, B yüzeyinde 3h seviyesindeki 20 cm uzunluğunda yatay kılcal boyutta çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 234.4 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 476 kN olarak ölçülmüştür.

11. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 5h seviyesinden 4h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda 70 cm çatlak olmuştur, A yüzeyinde 4h seviyesinden 3h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda 90 cm çatlak olmuştur, B yüzeyinde 5h seviyesinden 4h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda 70 cm çatlak olmuştur, B yüzeyinde 4h seviyesinden 3h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda 90 cm çatlak olmuştur, B yüzeyinde 1.5h seviyesinde 9 numaralı çatlak 20 cm uzayarak 1h seviyesine inmiştir. D yüzeyinde 5h seviyesinde yatay çatlak olmuştur. Yatay yük 275 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 464 kN olarak ölçülmüştür.

12. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 5h seviyesinden yukardan başlayarak 5h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda 30 cm çatlak olmuştur, A yüzeyinde 4h seviyesinde biten 11 numaralı çatlak 20 cm uzayarak 12 numaralı çatlak yatayda olmuştur, A yüzeyinde 4h seviyesinde 10 cm düşey çatlak oluşmuştur. B yüzeyinde 5h seviyesinden yukardan başlayarak 5h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda 30 cm çatlak olmuştur, B yüzeyinde 4h seviyesinde biten 11 numaralı çatlak 30 cm uzayarak 12 numaralı çatlak yatayda olmuştur, B yüzeyinde 1h seviyesinde düşey çatlak olmuştur. D yüzeyinde 5h seviyesinde yatay çatlak olmuştur. Temel ve perde ayrılımlar başlamıştır. Yatay yük 266 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 368 kN olarak ölçülmüştür.

13. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 5h seviyesinden yukardan başlayarak 5h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda

30 cm çatlak olmuştur, A yüzeyinde 4h seviyesinde biten 11 numaralı çatlak 20 cm uzayarak 12 numaralı yatayda çatlak olmuştur, A yüzeyinde 4h seviyesinde 10 cm düşey çatlak oluşmuştur. B yüzeyinde 5h seviyesinden yukardan başlayarak 5h seviyelerinin ortalarına kadar yatayda 30 cm çatlak olmuştur, B yüzeyinde 4h seviyesinde biten 11 numaralı çatlak 30 cm uzayarak 12 numaralı yatayda çatlak olmuştur, B yüzeyinde 1h seviyesinde düşey çatlak olmuştur. D yüzeyinde 5h seviyesinde yatay çatlak olmuştur. C yüzeyinde paspayı ezimleri başlamıştır. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Yatay yük 276 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 297.5kN olarak ölçülmüştür.

14. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, çekme bölgesinde C yüzeyinde 0.5h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. B yüzeyinde 4h seviyesinde den başlayan 3h seviyesine inen düşey çatlak genişlemiştir, B yüzeyinde 4h seviyesinde 10 cm düşey çatlak oluşmuştur. B yüzeyinde 2h seviyesinden başlayarak D köşesi temel seviyesine kadar paspayı dökülmüştür. C yüzeyinde 1h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Yatay yük 227 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 267 kN olarak ölçülmüştür.

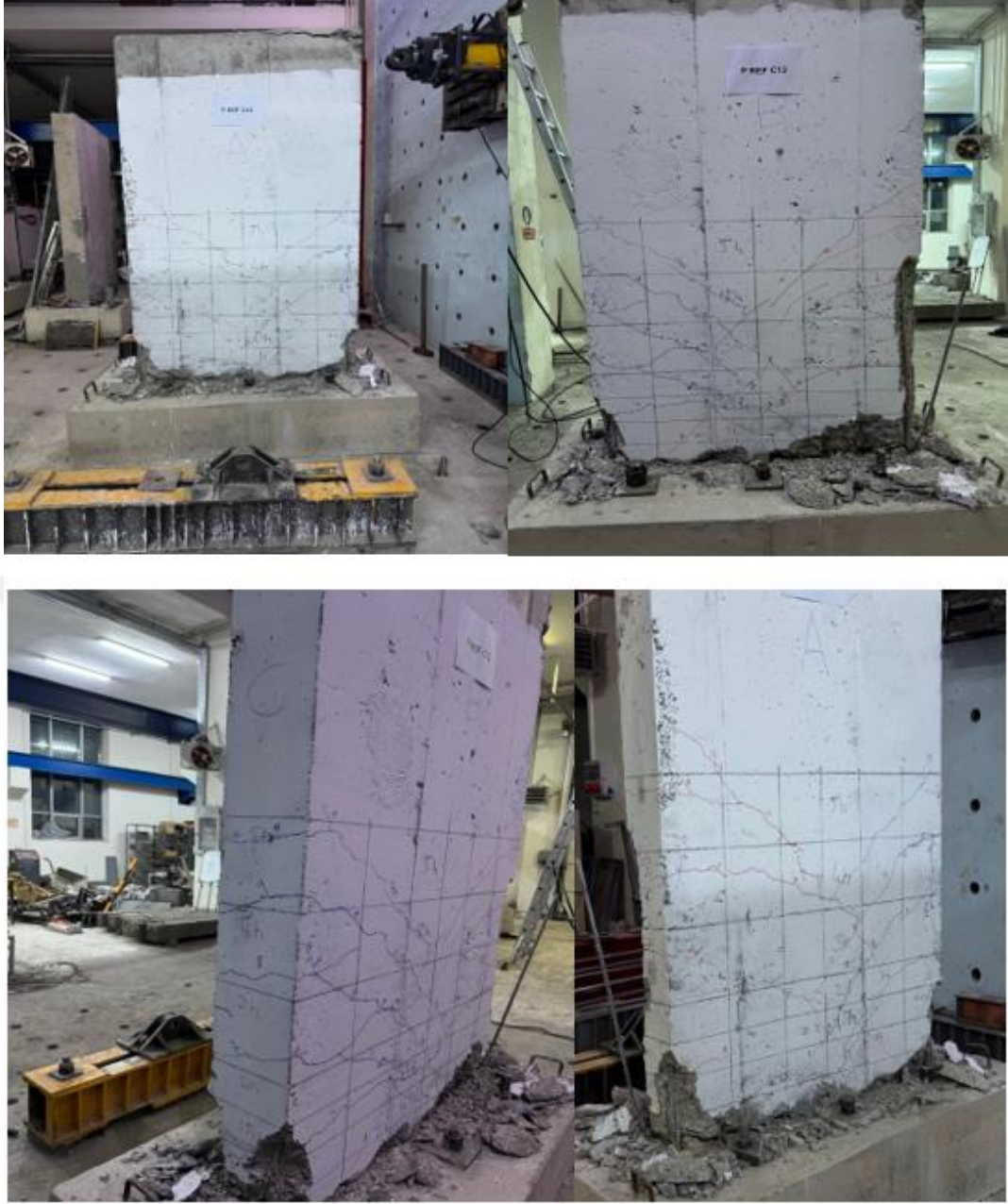
15. döngüde hedeflenen 28.45 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 0.5h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. B yüzeyinde 4h seviyesinde den başlayan 3h seviyesine inen düşey çatlak genişlemiştir. B yüzeyinde 2h seviyesinden başlayarak D köşesi temel seviyesine kadar paspayı dökülmüştür. C yüzeyinde 1h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. C yüzeyindeki uç donatı burkulmaya başlamıştır. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Yatay yük 239 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 245 kN olarak ölçülmüştür.

16. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 1h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. B yüzeyinde 4h seviyesinde den başlayan 3h seviyesine inen düşey çatlak genişlemiştir. B yüzeyinde 3h seviyesinden D köşesi başlayarak temel seviyesine kadar paspayı dökülmüştür. C yüzeyinde 1h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. C yüzeyindeki uç donatı burkulma iyice belirginleşmiştir. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Yatay yük 227 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 267 kN olarak ölçülmüştür.

17. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 1h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. B yüzeyinde D köşesi 4h seviyesinden başlayarak temel seviyesine kadar paspayı dökülmüştür. C yüzeyinde 1h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. C yüzeyindeki uç donatı burkulma daha da fazla olmuştur. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Yatay yük ?? kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz ?? kN olarak ölçülmüştür.

18. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, çekme bölgesinde A yüzeyinde 1.5h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. A yüzeyinde 3h seviyesinden 2h seviyesine 20 cm uzunluğunda, A yüzeyinde 2h seviyesinden temel seviyesine 50 cm uzunluğunda, A yüzeyinde 2h seviyesinden temel seviyesine 60 cm uzunluğunda yeni çatlaklar oluşmuştur. B yüzeyinde 4h seviyesinden başlayarak D köşesi temel seviyesine kadar paspayı dökülmüştür. C yüzeyinde 1.5h seviyesinde paspayı dökülmeleri olmuştur. C yüzeyindeki uç donatı burkulma daha da fazla olmuştur. Temel ve perde ayrılmalar uzamış ve yükselmiştir. Perdenin bütün yüzeylerinde 0.5h seviyelerinde kabuk atmaları olmuştur. Yatay yük 201 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 95 kN olarak ölçülmüştür.

19. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, çekme bölgesinde temel ile perde ayrılmaları 3 cm mertebesine ulaştı. Yatay yük 170 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 95 kN olarak ölçülmüştür.



Şekil 26. P1-Ref-C12 Numunesi deney sonu görüntüleri

4.3.2. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Hasar Durumu

P4-Ret-PL20-C12 Numunesi, deney başlangıcında 325 kN eksenel yükleme yapılarak belirlenen deplasman hedeflerine ulaşmaya kadar yatay yükleme itme ve çekme şeklinde uygulanarak, her çevrimsel döngüde yük okumaları yapılmıştır. Her döngü itme ve çekme uygulandıktan sonra bitmiş kabul edilmektedir. İlk 4 döngüde 138.4 kN kadar numunede herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir. İlk çatlak oluşumu 174.2 kN denk gelen 5. döngünün itme yönündeyken gerçekleşmiştir. Numuneye

uygulanan kuvvetlerin neticesinde oluşan çatlaklar ve hasar gelişimleri yk mertebelerine göre itme ve çekme adımlarında ayrı ayrı anlatılmaktadır.



şekil 27. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi deney başlangıcı görüntüsü

İtme bölgesindeki hasar durumları:

5. döngüde hedeflenen 7.15 mm deplasmanında, itme bölgesinde ilk çatlaklar, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda yatayda, C yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 172.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 330 kN olarak ölçülmüştür.

6. döngüde hedeflenen 7.15 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda, C yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 2 adet 10 cm uzunluğunda yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 169 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 326.8 kN olarak ölçülmüştür.

7. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 50 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 50 cm uzunluğunda yatayda ve 40-60 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda, C yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Temel ile Perde Arasında Kılcal çatlak oluşmuştur. Yatay yük 213.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 345.2 kN olarak ölçülmüştür.

8. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında bulunan 7 nolu çatlak uzayarak 40 cm yüksekliği seviyelerine kadar uzayarak 50 cm uzunluğunda yatayda 8 nolu çatlak olmuş, A yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında bulunan 5 nolu çatlak 0-20 seviyelerine uzayarak 40 cm uzunluğunda yatayda 8 nolu çatlak olmuş, B yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında bulunan 5 nolu çatlak 0-20 seviyelerine uzayarak 40 cm uzunluğunda yatayda 8 nolu çatlak olmuş, C yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda, C yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda, C yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 203.6 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 340.8 kN olarak ölçülmüştür.

9. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 140-80 cm yükseklik aralığında 120 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında bulunan 7 nolu çatlak uzayarak 10 cm uzayarak yatayda 8 nolu çatlak olmuş, A yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında bulunan 8 nolu çatlak 0-20

seviyelerinde uzayarak 10 cm uzunluğunda yatayda 9 nolu çatlak olmuş, B yüzeyinde 140-60 cm yükseklik aralığında 120 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında bulunan 7 nolu çatlak 40-60 seviyelerine uzayarak 30 cm uzunluğunda yatayda 9 nolu çatlak olmuş, C yüzeyinde 140-120 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 258.2kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 369.5 kN olarak ölçülmüştür.

10. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 100-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 40 cm uzunluğunda düşeyde, B yüzeyinde 120-100 cm yükseklik aralığında 30 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 100-80 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda yatayda, C yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 2 adet 10 cm uzunluğunda, C yüzeyinde 120-140 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 252.7 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 357 kN olarak ölçülmüştür.

11. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda düşeyde, A yüzeyinde 40-20 cm yükseklik aralığında 30 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 80-60 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda düşeyde, C yüzeyinde 120-100 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda düşeyde çatlaklar oluşmuştur. Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 297.4 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 403.7 kN olarak ölçülmüştür.

12. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 60-100 cm yükseklik aralığında bulunan 10 nolu çatlak uzayarak 20 cm uzayarak yatayda 12 nolu çatlak olmuş, A yüzeyinde 60-40 cm yükseklik aralığında bulunan 8 nolu çatlak 40-20 seviyelerinde uzayarak 20 cm uzunluğunda yatayda 12 nolu çatlak olmuş, B yüzeyinde 140-60 cm yükseklik aralığında bulunan 9 nolu çatlak uzayarak 60-40 aralığına inerek 30 uzunluğunda yatayda 12 nolu çatlak olmuştur, B yüzeyinde 80-60 cm yükseklik aralığında bulunan 9 nolu çatlak uzayarak 40-20 aralığına inerek 30 uzunluğunda yatayda 12 nolu çatlak olmuştur, C yüzeyinde 80-60 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda düşey, C yüzeyinde 100-120 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda düşey, C yüzeyinde 140-120 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda düşey çatlaklar oluşmuştur. C yüzeyinde en alt sıradaki plate de betona yüzey arasında çatlak oluşmuştur.

Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 273.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 392.1 kN olarak ölçülmüştür.

13. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 100-60 cm yükseklik aralığında 10 nolu çatlak 100-120 seviyelerine çıkarak 20 cm uzunluğunda düşeyde 13 nolu çatlak olmuştur, A yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda çatlak olmuş, B yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında 30 cm uzunluğunda yatayda çatlak, C yüzeyinde 80-60 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda düşey, C yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda düşey çatlaklar oluşmuştur. C yüzeyinde 4. sıradaki plate de betona yüzey arasında çatlak oluşmuştur. Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 219.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 376.4 kN olarak ölçülmüştür.

14. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, C yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda düşey çatlaklar oluşmuştur. C yüzeyinde 4. sıradaki plate de betona yüzey arasında çatlak oluşmuştur. D yüzeyinde 0-20 cm aralığına en alt plate betondan ayrılmaya başladı ve paspayı dökülmeye başladı. Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 205.3 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 302 kN olarak ölçülmüştür.

15. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde C ye döndüğü köşede 0-20 cm aralığında paspayı döküldü donatı açık bir şekilde görünmeye başladı. B yüzeyinde C ye döndüğü köşede 100-120 cm aralığında paspayı döküldü. C yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında betonda dökülmeler başladı. D yüzeyinde 0-20 cm aralığına en alt plate betondan ayrılmaya devam etti ve paspayı döküldü ve en uçtaki donatının burulduğu görüldü. Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 241.9 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 302.9 kN olarak ölçülmüştür.

16. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde C ye döndüğü köşede 0-20 cm aralığında paspayı döküldü donatı açık bir şekilde görülmekte ve en alttaki plate de ayrılma arttı. B yüzeyinde C ye döndüğü köşede 100-120 cm aralığında paspayı döküldü. C yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında betonda dökülmeler başladı. D yüzeyinde 0-20 cm aralığına en alt plate betondan ayrılmaya devam etti ve paspayı döküldü ve en uçtaki donatının burulduğu görüldü. Temel ile perde

arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 210.9 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 314.7 kN olarak ölçülmüştür.

17. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde C ye döndüğü köşede 0-20 cm aralığında paspayı döküldü donatı açık bir şekilde görülmekteve en alttaki plate de ayrılma arttı. B yüzeyinde C ye döndüğü köşede 0-20 cm aralığında paspayı döküldü ve en alttaki plate tamamen betondan ayrıldı. B yüzeyinde D ye döndüğü köşede 0-20 cm aralığında paspayı döküldü ve en alttaki plate tamamen betondan ayrıldı. C yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında betonda dökülmeler başladı. D yüzeyinde 0-20 cm aralığına en alt plate betondan ayrılmaya devam etti ve paspayı döküldü ve en uçtaki donatının burulma artmıştır. Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 254.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 447 kN olarak ölçülmüştür.

18. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, itme bölgesinde, A yüzeyinde en alt sıradaki plateler betondan tamamen ayrıldı. B yüzeyinde el alt sıradaki plateler ve D yüzeyine yakın ikinci sıradaki plate de betondan tamamen ayrıldı. C yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında betonda dökülmeler arttı. D yüzeyinde B yüzeyine döndüğü bölgede 0-20 cm seviyesinde paspayı döküldü ve birinci, ikinci ve üçüncü sıradaki donatının burulduğu görülmüştür. Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 209.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 353 kN olarak ölçülmüştür.

19. döngüde hedeflenen 75.37 mm deplasmanında, itme bölgesinde, bütün yüzeylerde paspayı dökülmeleri arttı. B yüzeyinde ikinci sıradaki donatı koptu. C yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında betonda dökülmeler arttı. D yüzeyinde B yüzeyine döndüğü bölgede 20-40 cm seviyesinde paspayı döküldü ve birinci ve ikinci sıradaki donatının burulmasının daha da arttığı görülmüştür. Temel ile perde arasındaki açıklık artmıştır. Yatay yük 211.9 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 513.8 kN olarak ölçülmüştür.

Çekme bölgesindeki hasar durumları:

5. döngüde hedeflenen 7.15 mm deplasmanında, çekme bölgesinde ilk çatlaklar, B yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda, C yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 174.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 334.9 kN olarak ölçülmüştür.

6. döngüde hedeflenen 7.15 mm deplasmanında, çekme bölgesinde, herhangi bir gelişme olmamıştır. Yatay yük 171.1 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksele yük seviyemiz 332.2 kN olarak ölçülmüştür.

7. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 20-40, 40-60 ve 60-80 cm yükseklik aralığında 50 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 40-60, 60-80 cm yükseklik aralığında 50 cm uzunluğunda yatayda ve 20-40 cm yükseklik aralığında olan 5 numaralı çatlak 25 cm yatayda uzayarak 7 nolu çatlak olmuştur, D yüzeyinde 20-40, 40-60 ve 60-80 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 223 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksele yük seviyemiz 355.6 kN olarak ölçülmüştür.

8. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde, herhangi bir gelişme olmamıştır. Yatay yük 206.6 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksele yük seviyemiz 351 kN olarak ölçülmüştür.

9. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 7 nolu çatlak yatayda 50 cm uzayarak 9 nolu çatlak olmuştur, A yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 7 nolu çatlak yatayda 50 cm uzayarak 9 nolu çatlak olmuştur, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 50 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 140-120 cm yükseklik aralığında 70 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 7 nolu çatlak yatayda 50 cm uzayarak 9 nolu çatlak olmuştur, B yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 7 nolu çatlak yatayda 50 cm uzayarak 9 nolu çatlak olmuştur, B yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 50 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 140-120 cm yükseklik aralığında 70 cm uzunluğunda yatayda, D yüzeyinde 80-100 cm seviyelerinde yatayda, D yüzeyinde 120-140 cm seviyelerinde yatayda çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 268 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksele yük seviyemiz 387.6 kN olarak ölçülmüştür.

10. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 120-140 cm yükseklik aralığında 9 nolu çatlak yatayda 15 cm uzayarak 10 nolu çatlak olmuştur, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda düşeyde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 269.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksele yük seviyemiz 375.7 kN olarak ölçülmüştür.

11. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 100-120 cm yükseklik aralığında 40 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 100-120 cm yükseklik aralığında 40 cm uzunluğunda yatayda, D yüzeyinde 100-120 cm yükseklik aralığında yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük ?? kN

seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz ?? kN olarak ölçülmüştür.

12. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 120-140 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 100-120 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 10 nolu çatlak yatayda 20 cm uzayarak 12 nolu çatlak olmuştur, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 9 nolu çatlak yatayda 10 cm uzayarak 12 nolu çatlak olmuştur, B yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 9 nolu çatlak yatayda 15 cm uzayarak 12 nolu çatlak olmuştur, B yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 9 nolu çatlak yatayda 15 cm uzayarak 12 nolu çatlak olmuştur, B yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 9 nolu çatlak yatayda 15 cm uzayarak 12 nolu çatlak olmuştur, B yüzeyinde 0-20 cm paspayı bölgesinde 20cm düşeyde kılcal çatlak oluşmuştur. Yatay yük 285.9 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 413.4 kN olarak ölçülmüştür.

13. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 10 nolu çatlak yatayda 15 cm uzayarak 13 nolu çatlak olmuştur, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda düşeyde, A yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 120-140 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda kılcal çatlaklar oluşmuştur. Temel ile Perde arasında ayrımlar başlamıştır. D yüzünde ilk plate de beton ile arasında çatlaklar oluşmuş ve paspayında dökülmeler başlamıştır. Yatay yük 292.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 342.3 kN olarak ölçülmüştür.

14. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda düşey çatlak olmuştur, B yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda ve düşeyde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Temel ile Perde arasında ayrımlar artmıştır. D yüzünde ilk plate de beton ile arasında çatlaklar ve paspayında dökülmeler artmıştır. Yatay yük 272.6 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 338.2 kN olarak ölçülmüştür.

15. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, yeni çatlak oluşmamıştır. Temel ile Perde arasında ayrımlar artmıştır. D yüzünde ilk plate de beton ile arasında çatlaklar ve paspayında dökülmeler artmıştır ve donatı

görünmüştür. Yatay yük ?? kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz ?? kN olarak ölçülmüştür.

16. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, yeni çatlak oluşmamıştır. Temel ile Perde arasında ayrımlar artmıştır. B yüzünde kabuk atmaları başlamıştır. D yüzünde ilk plate betondan ayrılmış ve paspayında dökülmeler artmıştır ve donatı görünmüştür. Yatay yük 284.9 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 364 kN olarak ölçülmüştür.

17. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, yeni çatlak oluşmamıştır. Temel ile Perde arasında ayrımlar artmıştır. A yüzünde ilk plate de betondan ayrılmalar olumuş ve paspayında dökülmeler başlayarak donatı görülmüştür. B yüzünde ilk plate betondan kopmuş ve kabuk atmaları devam etmiştir. C yüzünde paspayı dökülmüş ve donatılar görülmeye başlanmıştır. D yüzünde ilk plate betondan ayrılmış ve paspayında dökülmeler artmıştır ve donatı görünmüştür. Yatay yük 255.3 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 360 kN olarak ölçülmüştür.

18. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, yeni çatlak oluşmamıştır. Temel ile Perde arasında ayrımlar artmıştır. A yüzünde ilk plate de betondan kopma olumuş ve donatı burkulmaları görülmüştür. B yüzünde donatı burkulmaları görülmüştür. D yüzünde donatı burkulmaları görünmüştür. Yatay yük 268.4 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 395 kN olarak ölçülmüştür.

19. döngüde hedeflenen 75.37 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, yeni çatlak oluşmamıştır. Temel ile Perde arasında ayrımlar artmıştır. A yüzünde ilk plate de betondan kopma olumuş ve donatı burkulmaları görülmüştür. B yüzünde donatı burkulmaları görülmüştür. D yüzünde donatı burkulmaları görünmüştür. Yatay yük 228.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 463 kN olarak ölçülmüştür.



Şekil 28. P4-Ret-PL20-C12 Numunesi deney sonu görüntüleri

4.3.3. P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Hasar Durumu

P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi, deney başlangıcında 325 kN eksenel yükleme yapılarak belirlenen deplasman hedeflerine ulaşmaya kadar yatay yükleme itme ve çekme şeklinde uygulanarak, her çevrimsel döngüde yük okumaları yapılmıştır. Her döngü itme ve çekme uygulandıktan sonra bitmiş kabul edilmektedir. İlk 6 döngüde 196.2 kN kadar numunede herhangi bir çatlak gelişimi gözlenmemiştir. İlk çatlak oluşumu 243.5 kN denk gelen 7. döngünün çekme yönüyle gerçekleşmiştir. Numuneye uygulanan kuvvetlerin neticesinde oluşan çatlaklar ve hasar gelişimleri yük mertebelerine göre itme ve çekme adımlarında ayrı ayrı anlatılmaktadır.



Şekil 29. P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi deney başlangıcı görüntüsü

İtme bölgesindeki hasar durumları:

10. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 20 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 209.8 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 350.9 kN olarak ölçülmüştür.

11. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, itme bölgesinde herhangi bir çatlak gelişimi olmamıştır. C yüzünde perde ile temel arasında yaklaşık 2 mm ayrılma olmuştur. Yatay yük 254.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 399.3 kN olarak ölçülmüştür.

12. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, itme bölgesinde herhangi bir çatlak gelişimi olmamıştır. C yüzünde perde ile temel arasında yaklaşık 3 mm ayrılma olmuştur. Yatay yük 233.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 380.12 kN olarak ölçülmüştür.

13. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 10 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 10 numaralı çatlak uzayarak 30 cm uzunluğunda yatayda 13 numaralı çatlak oluşmuştur. B yüzünde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 20 cm uzunluğunda yatay çatlak olmuştur. C yüzünde perde ile temel arasında yaklaşık 7 mm ayrılma olmuştur. Yatay yük 272.9 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 371.8 kN olarak ölçülmüştür.

14. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 10 numaralı çatlak uzayarak 10 cm uzunluğunda yatayda 14 numaralı çatlak olmuştur. B yüzünde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 13 numaralı çatlak 10 cm uzayarak 14 numaralı yatay çatlak olmuştur. Yatay yük 242.1 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 359.8 kN olarak ölçülmüştür.

15. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 15 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar, A yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 20 cm uzunluğunda düşey çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 13 numaralı çatlak uzayarak 15 cm uzunluğunda yatayda 15 numaralı çatlak olmuştur. B yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 20 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar, B yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta

noktasında 25 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar, B yüzünde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 14 numaralı çatlak 20 cm uzayarak 15 numaralı yatay çatlak, B yüzeyinde 0-20cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 20 cm uzunluğunda düşey çatlaklar olmuştur. C yüzünde perde ile temel arasında yaklaşık 12 mm ayrılma olmuştur. D yüzünde kumaşta kabarmalar başlamıştır. Yatay yük 291.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 407.6 kN olarak ölçülmüştür.

16. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 15 numaralı çatlak uzayarak 15 cm uzunluğunda yatayda 16 numaralı çatlak olmuştur, A yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 14 numaralı çatlak uzayarak 10 cm uzunluğunda yatayda 16 numaralı çatlak olmuştur, B yüzünde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 15 numaralı çatlak 5 cm uzayarak 16 numaralı yatay çatlaklar olmuştur. Yatay yük 254.6 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 380.22 kN olarak ölçülmüştür.

17. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 15 cm uzunluğunda yatayda çatlaklar, A yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 15 numaralı çatlak uzayarak 10 cm uzunluğunda düşeyde 17 numaralı çatlak olmuştur, A yüzündeki kumaş betondan ayrılmıştır. Ayrılan kumaş altından bakıldığında C yüzündeki betonun ezildiği ve döküldüğü görülmüştür. C yüzünde perde ile temel arasında yaklaşık 18 mm ayrılma olmuştur. Yatay yük 284.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 411.1 kN olarak ölçülmüştür.

18. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 16 numaralı çatlak uzayarak 25 cm uzunluğunda yatayda 18 numaralı çatlak olmuştur. A yüzünde 3 ve 2. Sıradaki donatıların burulduğu görülmüştür. D yüzünde kumaşta kabarma belirgin seviyelere gelmiştir kumaşta 40 mm düşey yırtılma görülmüştür. Yatay yük 209.3 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 340 kN olarak ölçülmüştür.

19. döngüde hedeflenen 75.37 mm deplasmanında, itme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde donatıda kopma olmuştur. B yüzeyinde 0-20 cm yükseklik aralığında perde orta noktasında 15 numaralı çatlak uzayarak 20 cm uzunluğunda düşeyde 19 numaralı çatlak olmuştur. C yüzünde perde ile temel arasında yaklaşık 28 mm ayrılma olmuştur.

Yatay yük 181.7 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 412.3 kN olarak ölçülmüştür.

Çekme bölgesindeki hasar durumları;

7. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde ilk çatlaklar, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 35 cm uzunluğunda yatayda kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 243.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 331.5 kN olarak ölçülmüştür.

8. döngüde hedeflenen 10.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında oluşan 7 nolu çatlak 10 cm uzayarak 8 nolu yatayda, B yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda yatayda kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 225.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 327.9 kN olarak ölçülmüştür.

9. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-100 cm yükseklik aralığında 50 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında oluşan 8 nolu çatlak 15 cm uzayarak 9 nolu yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. Yatay yük 265.5 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 353.9 kN olarak ölçülmüştür.

10. döngüde hedeflenen 14.01 mm deplasmanında, çekme bölgesinde yeni çatlak gelişimi olmamıştır. Yatay yük 248.73 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 349 kN olarak ölçülmüştür.

11. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında oluşan 9 nolu çatlak 5 cm uzayarak 11 nolu yatayda, B yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında oluşan 9 nolu çatlak 15 cm uzayarak 11 nolu yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. D yüzünde perde ile temel arasında yırtılma olmuştur. Yatay yük 279.2 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 386.9 kN olarak ölçülmüştür.

12. döngüde hedeflenen 19.62 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında oluşan 9 nolu çatlak 10 cm uzayarak 12 nolu yatayda, B yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda yatayda, kılcal boyutta çatlak oluşmuştur. D yüzünde perde ile temel arasında ayrılma devam etmektedir. Yatay yük 263 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 379.4 kN olarak ölçülmüştür.

13. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, çekme bölgesinde yeni çatlak gelişimi olmamıştır. D yüzünde perde ile temel arasında ayrılma 7 mm olmuştur. Yatay yük 280.6 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 370.3 kN olarak ölçülmüştür.

14. döngüde hedeflenen 27.47 mm deplasmanında, çekme bölgesinde yeni çatlak gelişimi olmamıştır. Yatay yük 244.67 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 360.1 kN olarak ölçülmüştür.

15. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 25 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 40-60 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda yatayda kılcal çatlaklar oluşmuştur. C yüzeyinde temel seviyesinde kumaşa kabarma olmuştur. D yüzünde perde ile temel arasında ayrılma 13 mm olmuştur. Yatay yük 289.6 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 410.4 kN olarak ölçülmüştür.

16. döngüde hedeflenen 38.45 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-100 cm yükseklik aralığında oluşan 9 nolu çatlak 10 cm uzayarak 16 nolu yatayda, B yüzeyinde 40-80 cm yükseklik aralığında 30 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında oluşan 12 nolu çatlak 10 cm uzayarak 16 nolu yatayda kılcal çatlaklar oluşmuştur. Yatay yük 289.6 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 410.4 kN olarak ölçülmüştür.

17. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 80-100 cm yükseklik aralığında 15 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 20-40 cm yükseklik aralığında 10 cm uzunluğunda yatayda, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında oluşan 15 nolu çatlak 10 cm uzayarak 17 nolu yatayda, B yüzeyinde 40-80 cm yükseklik aralığında 30 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 60-120 cm yükseklik aralığında 60 cm uzunluğunda yatayda, B yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında oluşan 16 nolu çatlak 10 cm uzayarak 17 nolu yatayda kılcal çatlaklar oluşmuştur. D yüzünde perde ile temel arasında ayrılma 23 mm olmuştur. Yatay yük 240.4 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 421 kN olarak ölçülmüştür.

18. döngüde hedeflenen 53.84 mm deplasmanında, çekme bölgesinde yeni çatlak oluşmamıştır. A yüzünde D yüzeyi tarafındaki 2 ve 3 sıradaki donatılar koptu. D yüzünde kumaşa yırtılma olmuştur. Yatay yük 231.87 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 464.4 kN olarak ölçülmüştür.

19. döngüde hedeflenen 75.37 mm deplasmanında, çekme bölgesinde çatlaklar, A yüzeyinde 60-80 cm yükseklik aralığında 20 cm uzunluğunda yatayda. A yüzünde D yüzeyi tarafındaki uç donatı koptu. D yüzünde perde ile temel arasında ayrılma 48 mm olmuştur Yatay yük 117.9 kN seviyelerinde oluşmuştur. Bu döngünün sonunda eksel yük seviyemiz 393.6 kN olarak ölçülmüştür.





Şekil 30. P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi deney sonu görüntüleri

4.4. Histeresis Eğrileri ve Davranışı (Yatay Yük-Yer değiştirme Tepkileri)

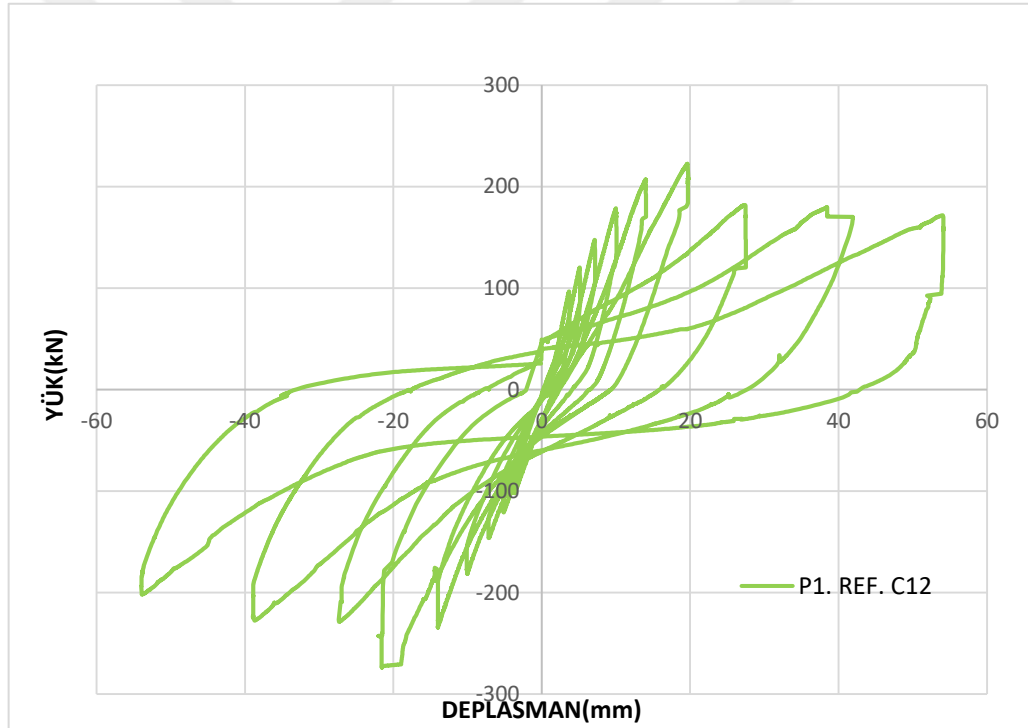
Yatay kuvvetler altında yapısal elemanların davranışı çıkartılırken histeretik davranış majör belirleyici faktördür. Elemanlarının düşey ve yanal yükler altında dayanımdaki azalma oranı, maksimum ulaşılan yükü (tepe yükü) ve bu kuvvete karşılık oluşan yatay deplasman histeretik davranışla sayısal olarak modellenenir.

Histeretik davranış birbiri ile ilişkili üç bölümden tanımlanırsa; birinci bölüm davranışın ilk bölgesini yani elemanın doğrusal davranış gösterdiği ve başlangıç eğiminin karakteristik belirgin olduğu kısımdır. Bu bölümde lineer davranış gösteren artış gösteren eğim; yapısal elemanda kılcal boyut seviyesinde çatlakların meydana geldiği durumdur. Bu meydana gelen kılcal seviyedeki çatlakların eleman yüzeyinde ve elemanın içinde derinleşerek devam etmediği oluşumlardır. Lakin tersinir çevrimli kuvvetler altında yapısal elemanın göstereceği sünek veya gevrek davranışa göre yeni çatlak oluşumları ortaya çıkabilir. Söz konusu çatlakların belirginleşmesi ile yapısal elemanın içindeki donatılarda gerilimin artışına bağlı olarak ilk seviyedeki kılcal çatlaklarda hem enine hem boyuna genişlemeler ve ilerlemeler oluşur. Çatlakların genişliğinin artması ile sistem doğrusal davranıştan çıkarak doğrusal olmayan davranışı göstermeye başlar. Deneysel çalışmalarda tersinir artımsal itme-çekme hareketi ile histeretik davranış ile yapısal elemanın akma seviyesine kadar yani elastik bölge içerisinde lineer davranış sergiler. Bu bölüme doğrusal (lineer) bölge olarak adlandırılır. Söz konusu bölgede yapı elemanlarında kılcal çatlaklar oluşabilir. Fakat meydana gelen bu çatlaklar elemanın taşıma kapasitesinde kayda değer bir azalışa neden olmadığı bilinmektedir. Çevrimsel yükleme devam ettikçe bu çatlaklarda yatayda ilerleme artmakta ve daha sonra çatlakların genişlikleri açılarak çatlak derinli kalıcı duruma erişmektedir.

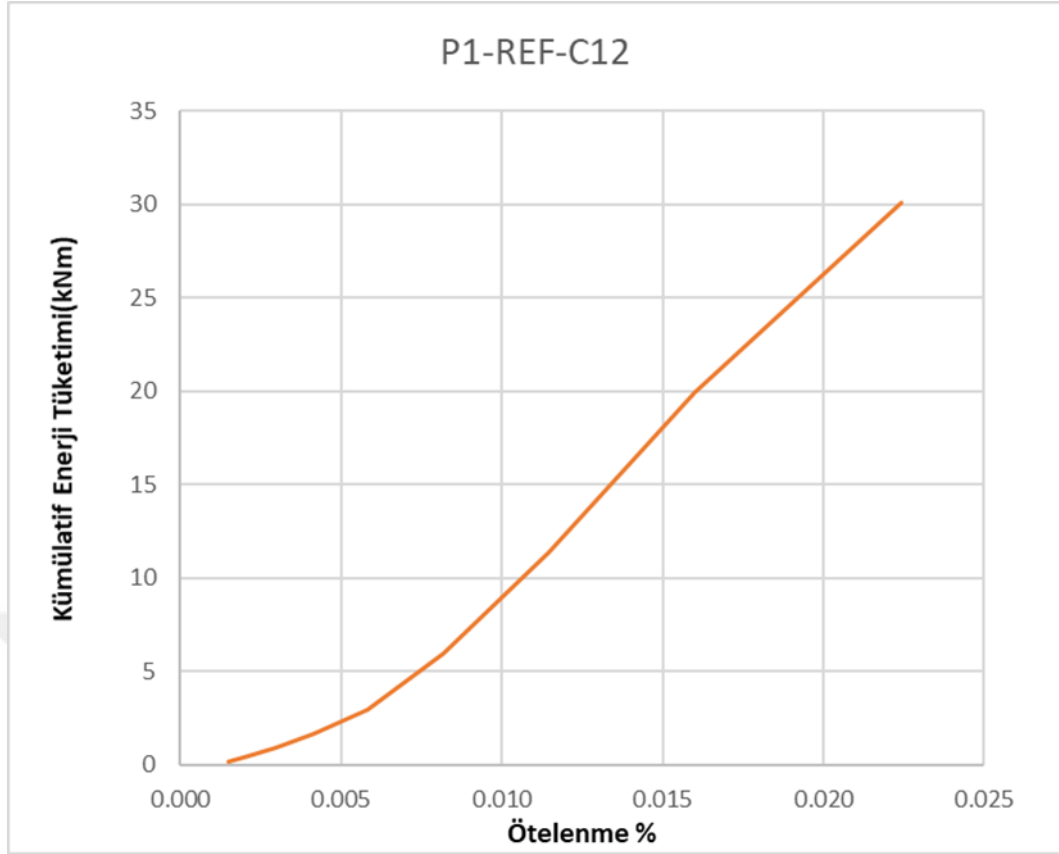
Çevrimsel yükleme ise histeresis davranışı ortaya koymak adına malzemeye ve/veya yapı elemanına tersinir yönlü olarak uygulanan bir kuvvet çiftidir. Tek yönde uygulanan kuvvet pozitif yükleme olarak değerlendirilirken, bu kuvvetin zıt yönünde uygulanan kuvvette de negatif yükleme olarak tanımlanabilir. Aslında bir nevi sismik hareket neticesinde yapı üzerine gelen yatay yüklerin yapıyı maruz bıraktığı kuvvetlere dönüştürülmüş halidir. Uygulanan çevrimsel yükleme neticesinde oluşan bir pozitif bir de negatif yüklemenin ardı sıra birleştirilmesi ile “Döngü” ismi verilen bir çeşit yükleme durumu ulaşmaktadır. Lineer davranışta yapısal eleman elastik bölgede kaldığı sürece kuvvet uygulandıktan sonra oluşan deplasman, kuvvetin boşaltılması ile tekrar eski haline geri gelebilmektedir.

Lineer olmayan davranışa geçilince yer değiştirmeler kalıcı yani geri dönüşü olmayan deplasmanlara haline ulaşmakta. Yapısal eleman sırasıyla elastik bölgeden çıkarak sırasıyla önce elasto-plastik bölgeye ve daha sonra ki tersinir kuvvetlerden oluşan döngülerde plastik bölgede yer değiştirmeler yapmaya devam edecektir. Elemanın taşıma kapasitesinin maksimum tepe noktasına ulaştığında histeresis eğrisini oluşturan kuvvetin de tepe noktasına ulaştığı görülecektir.

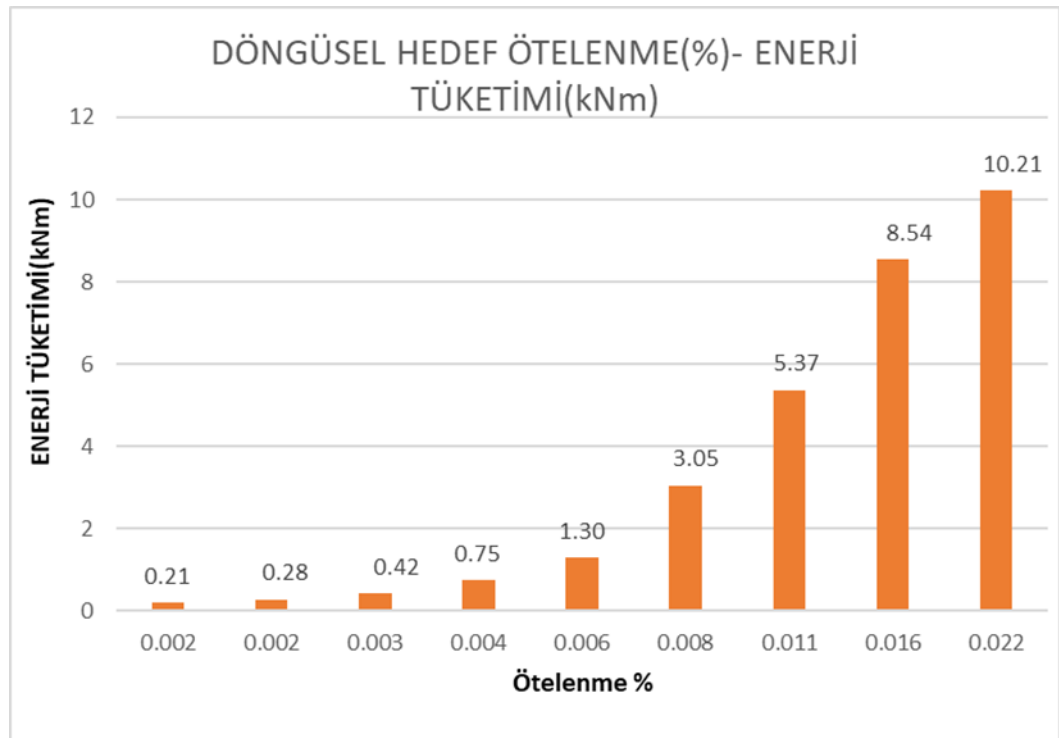
Yüklemeye protokolünün deplasman kontrollü olmasından dolayı hedef deplasman karşılığında oluşan maksimum yatay kuvvetler tepe noktaları olacaktır. Malzemenin veya elemanın sünekliğine göre oluşacak sıralı döngülerde her histeresis eğrisinin ulaştığı tepe yükü azalarak devam edecektir. Bununla birlikte deplasmanlar artmaya devam edecek ve böylece yapısal elemanın histeretik davranışını görülmüş olacaktır.



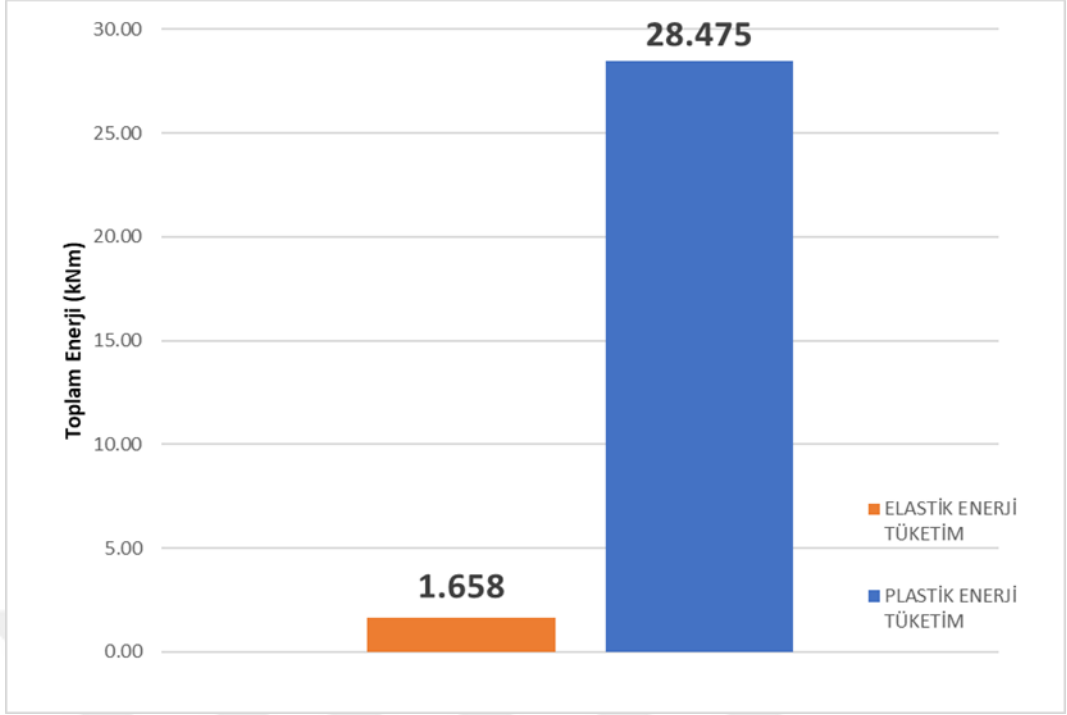
Şekil 31. P1-REF-C12 numunesi kuvvet- yerdeğiştirme eğrisi



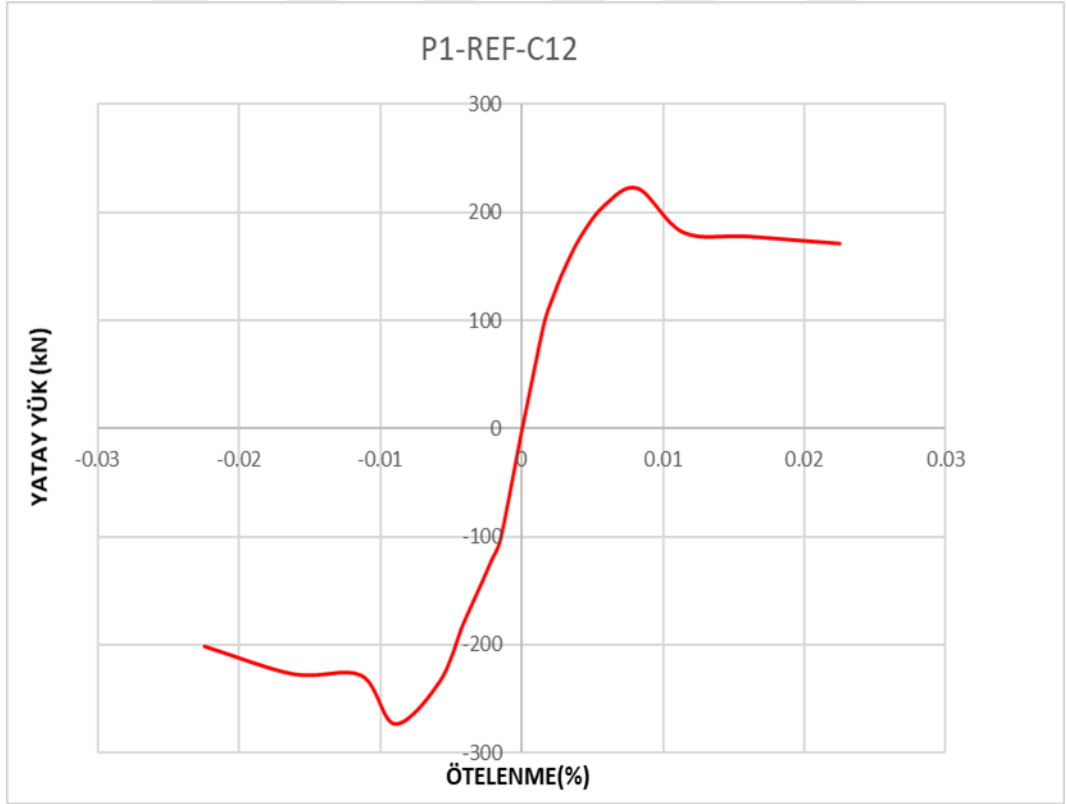
Şekil 32. P1-REF-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği



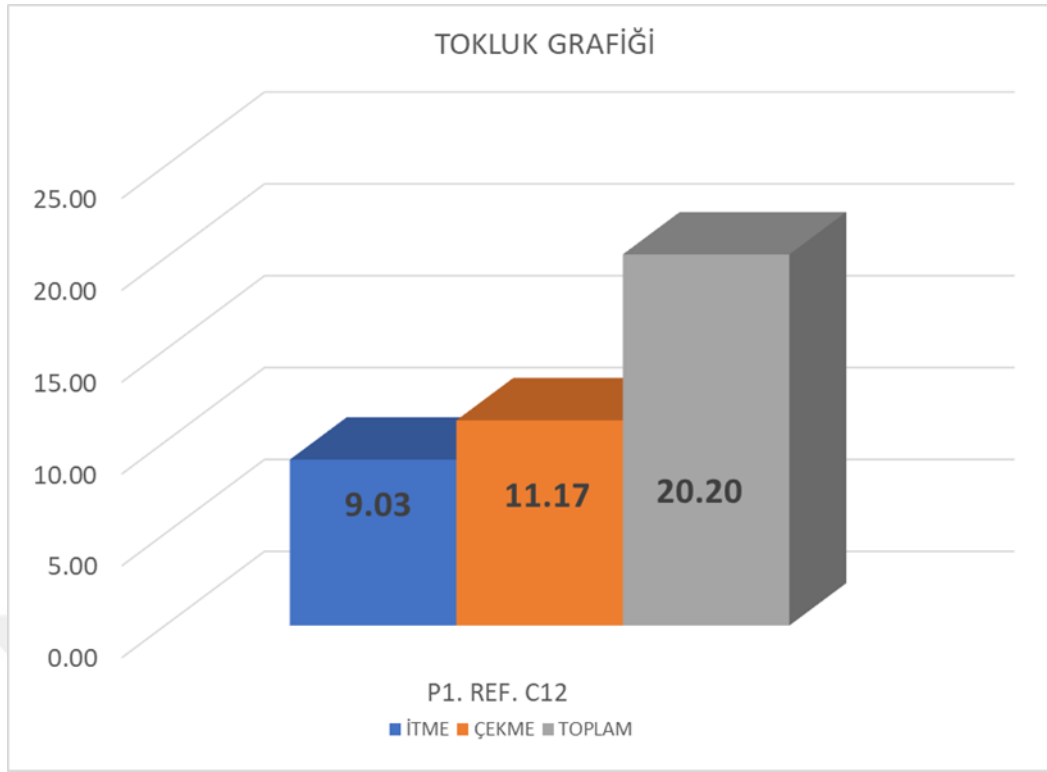
Şekil 33. P1-REF-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği



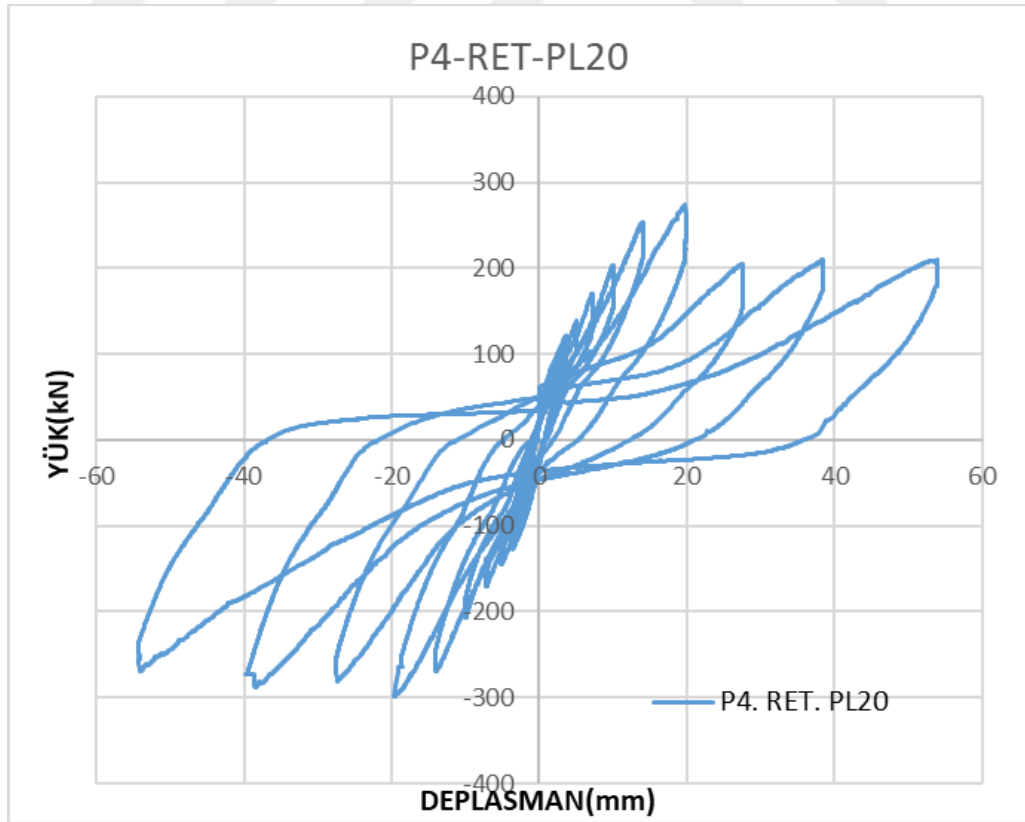
Şekil 34. P1-REF-C12 numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği



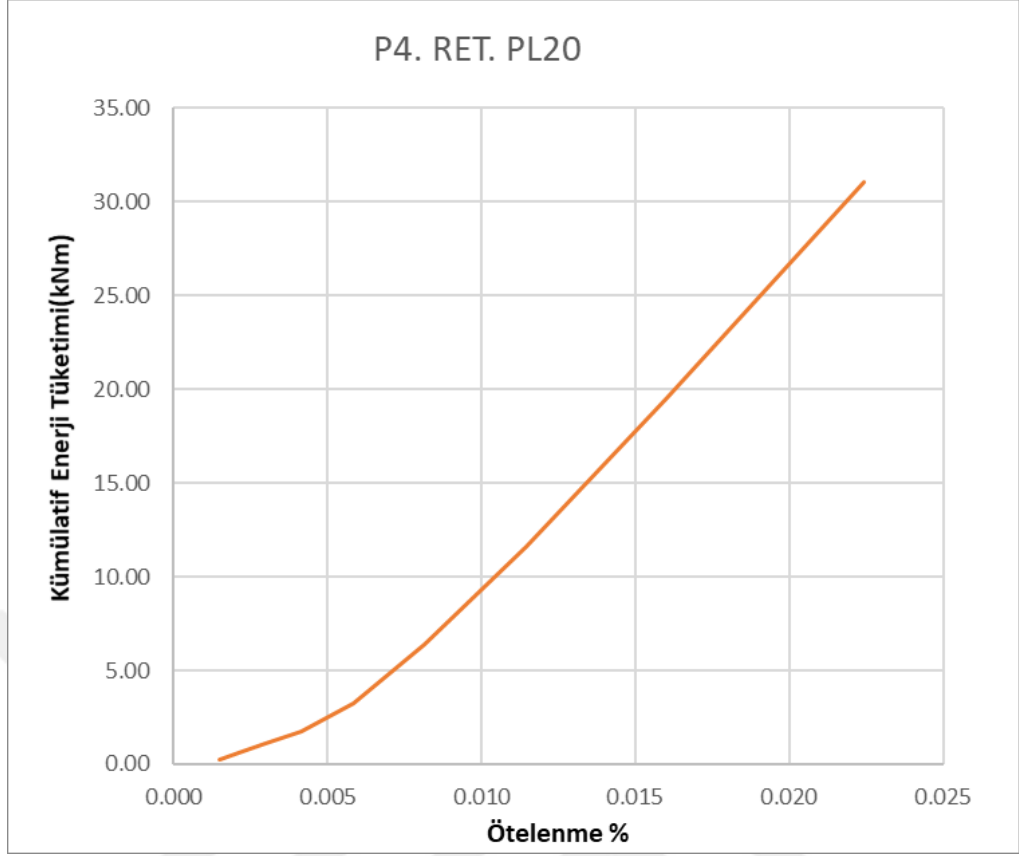
Şekil 35. P1-REF-C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği



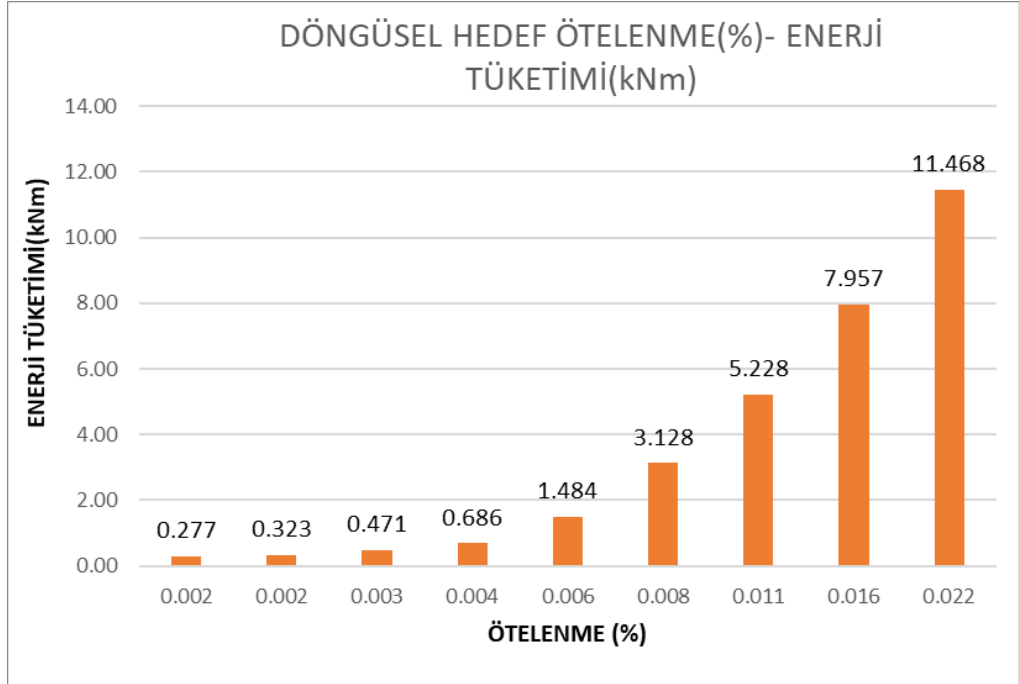
Şekil 36. P1-REF-C12 numunesinin tokluk grafiği



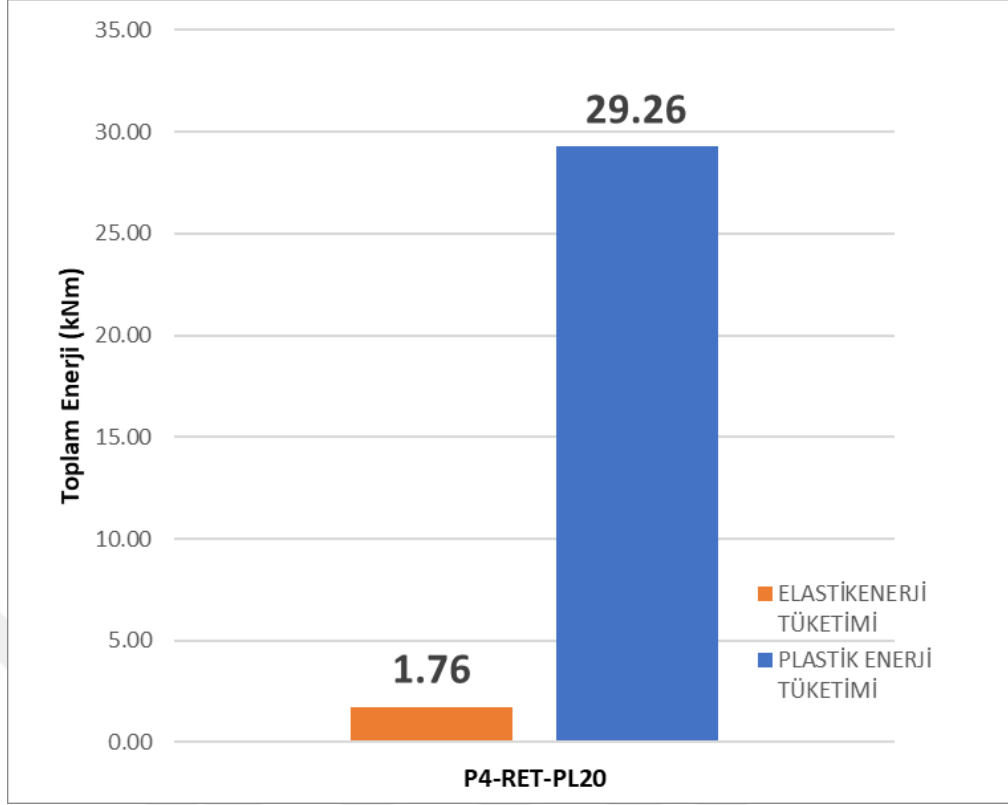
Şekil 37. P4-RET-PL20-C12 numunesi kuvvet- yerdeğiştirme eğrisi



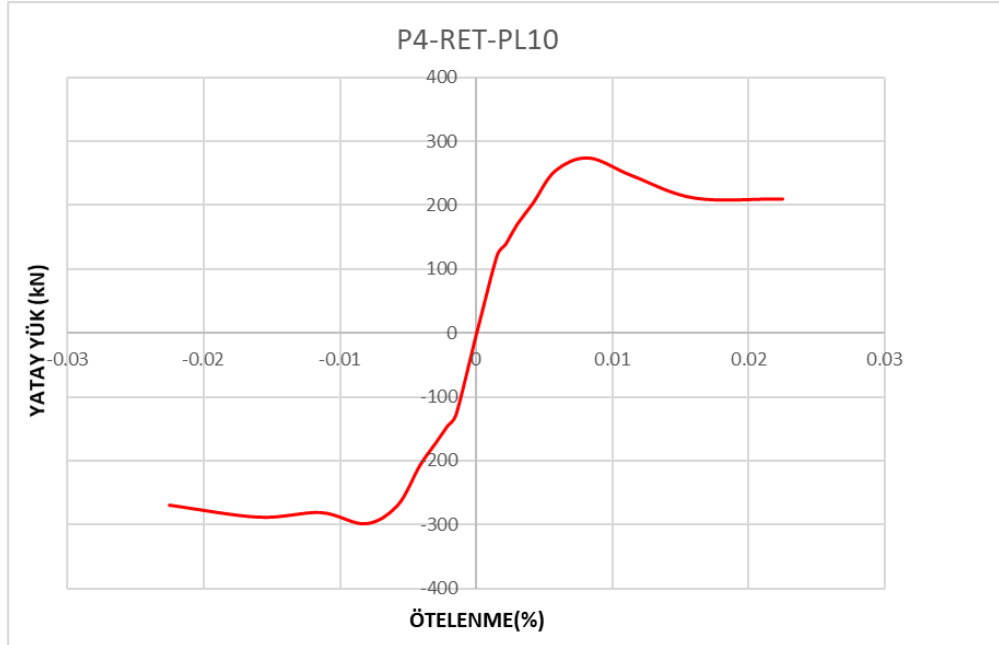
Şekil 38. P4-RET-PL20-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği



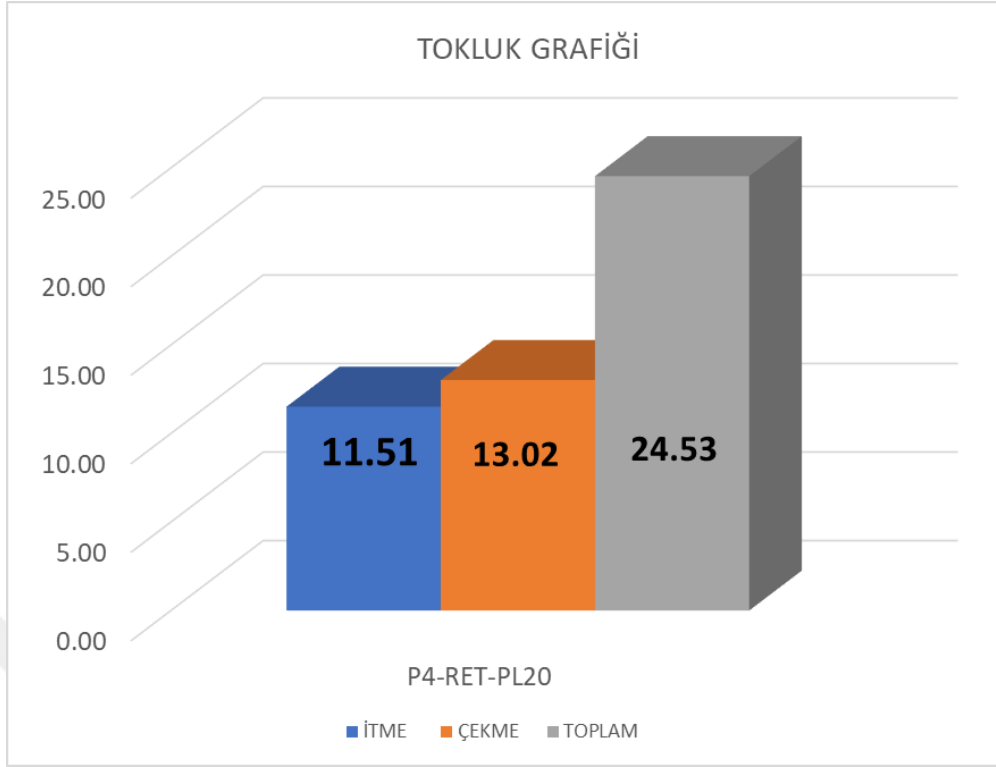
Şekil 39. P4-RET-PL20-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği



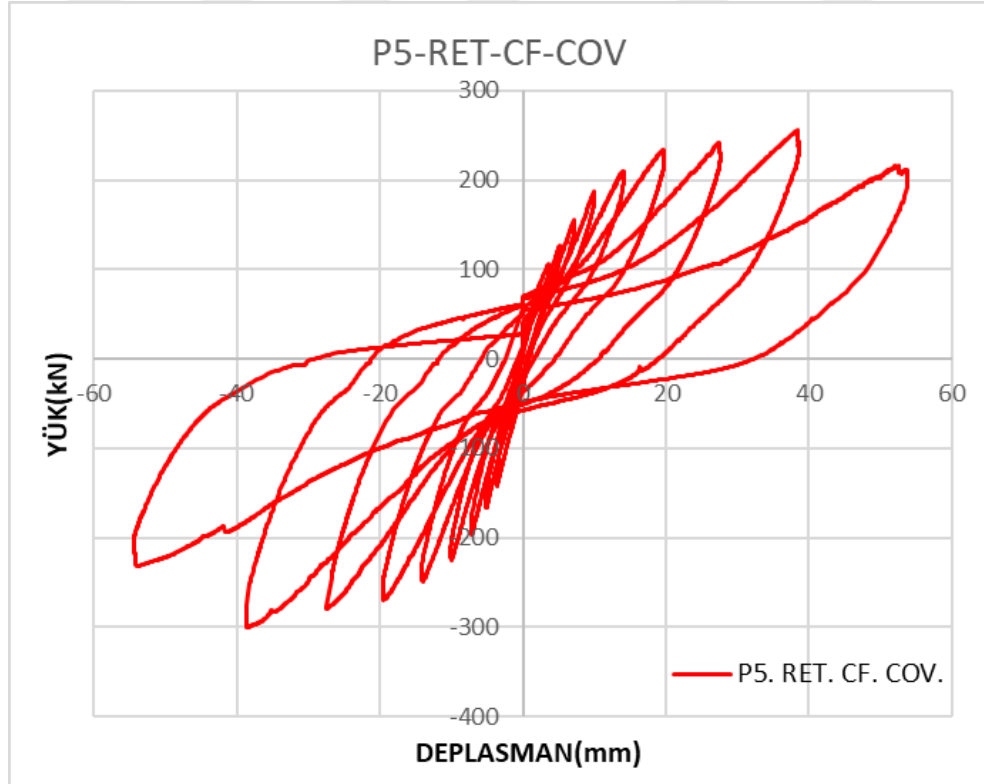
Şekil 40. P4-RET-PL20-C12 numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği



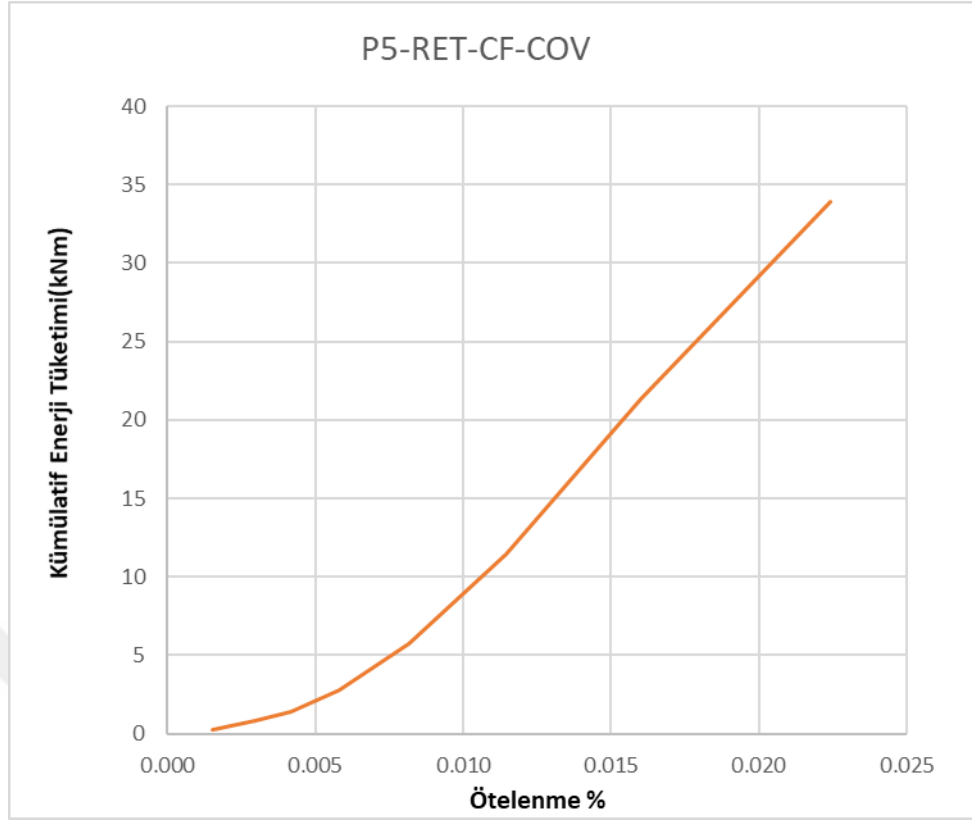
Şekil 41. P4-RET-PL20-C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği



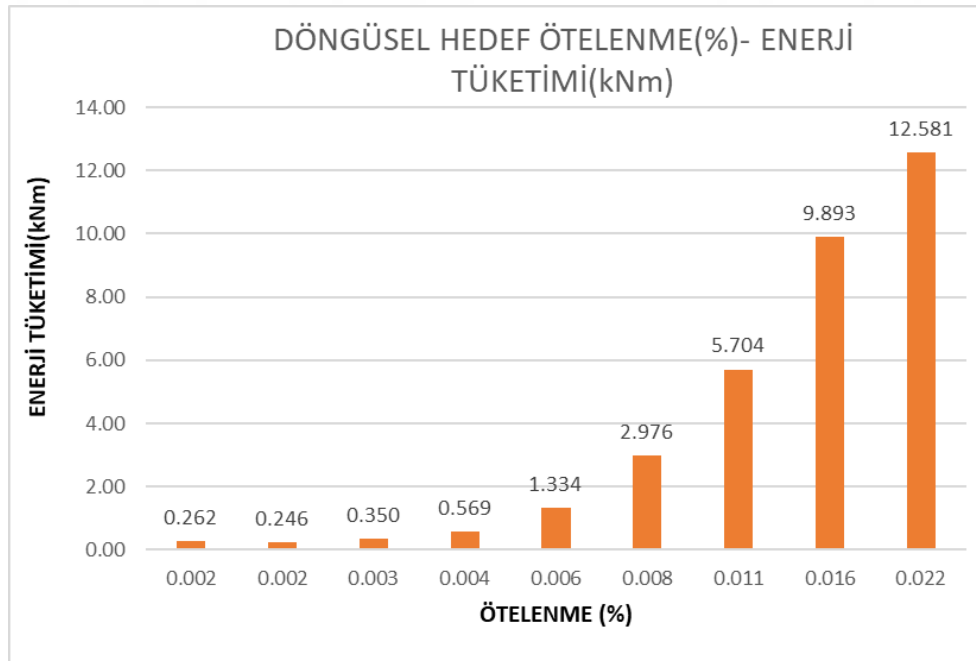
Şekil 42. P4-RET-PL20-C12 numunesinin tokluk grafiği



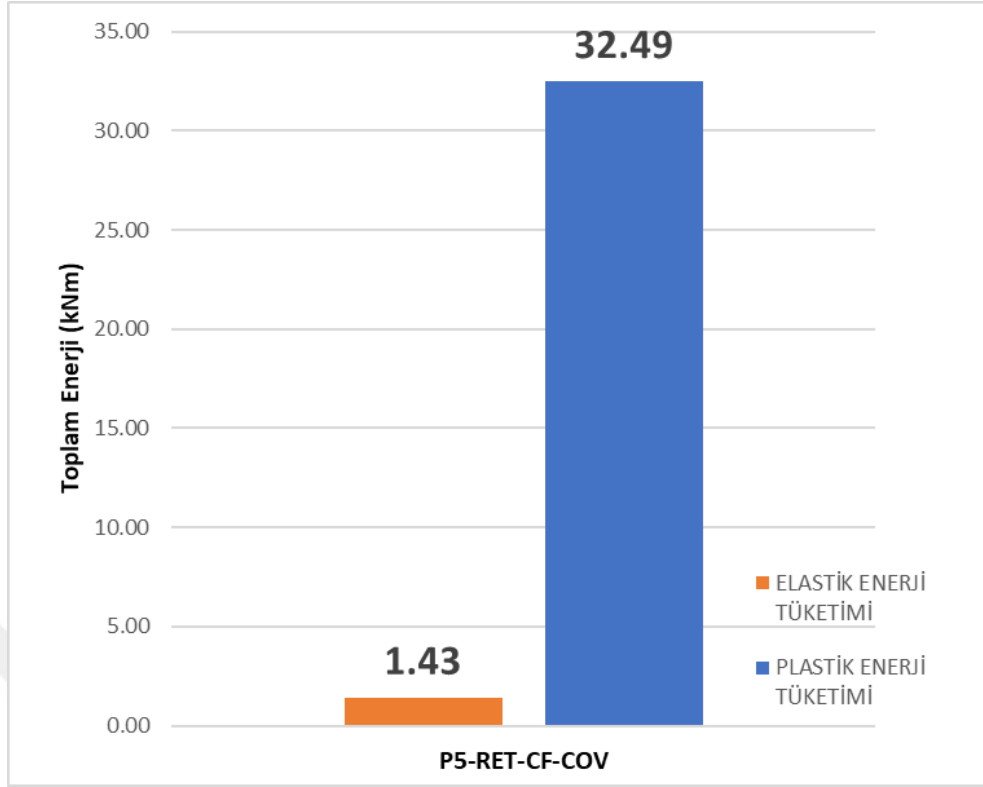
Şekil 43. P5-RET-CF-COV-C12 numunesi kuvvet- yerdeğiştirme eğrisi



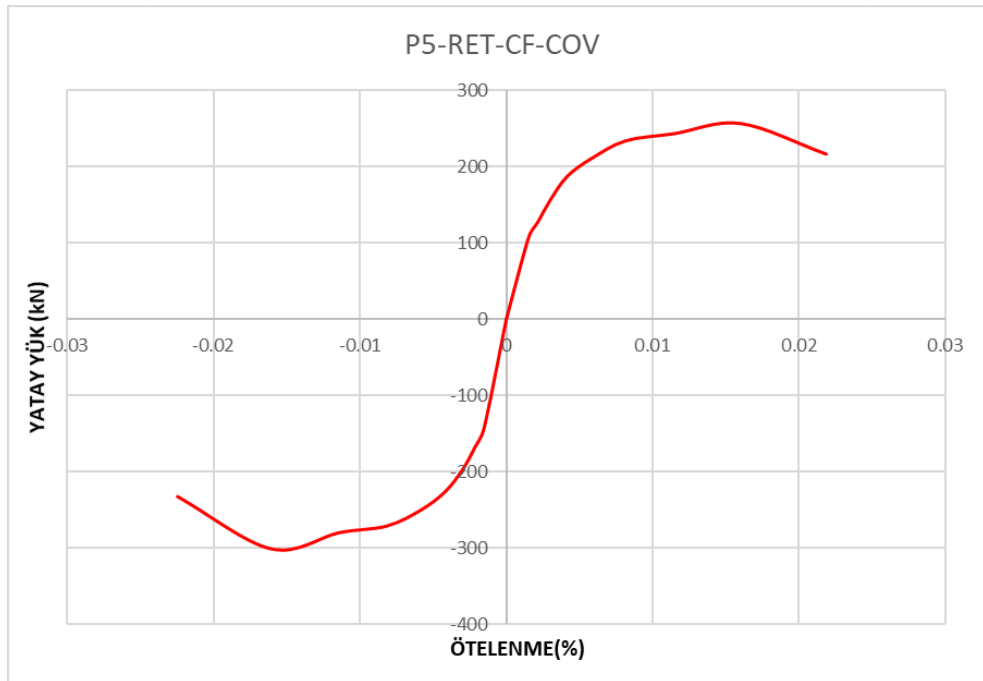
Şekil 44. P5-RET-CF-COV-C12 numunesinin kümülatif enerji tüketim grafiği



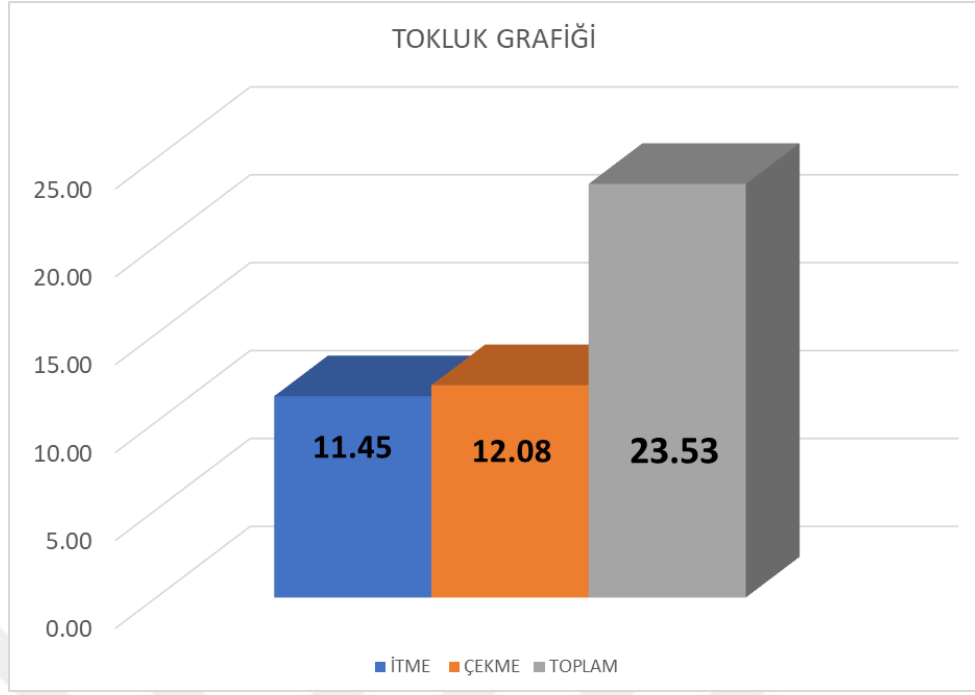
Şekil 45. P5-RET-CF-COV-C12 numunesinin döngüsel hedef deplasman enerji tüketimi grafiği



Şekil 63: P5-RET-CF-COV numunesinin elastik ve plastik bölgede enerji tüketim grafiği

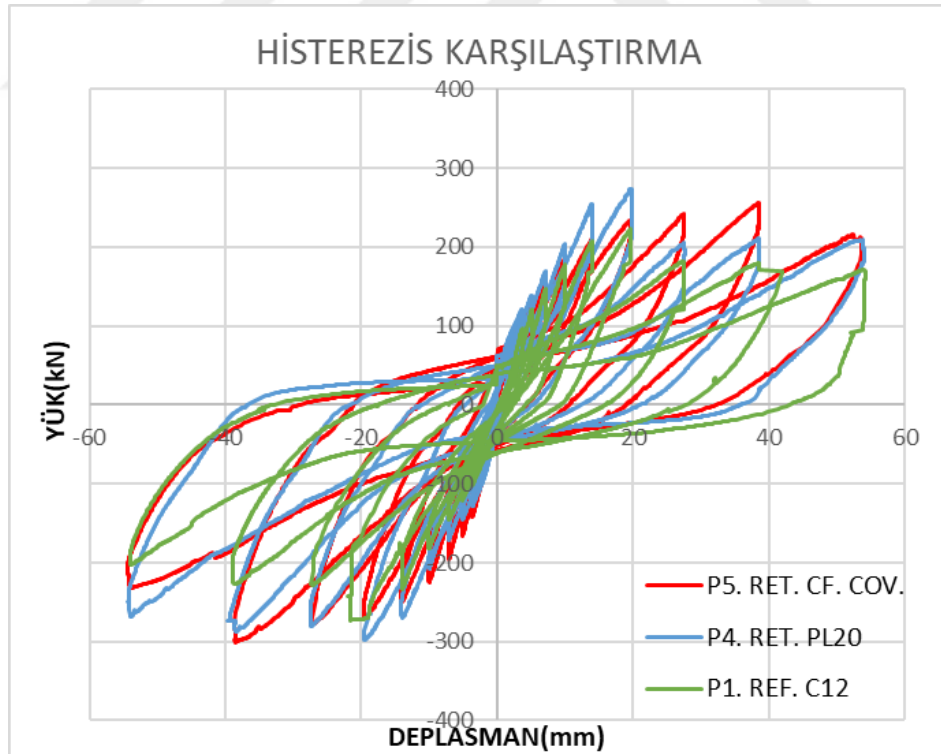


Şekil 64: P5-RET-CF-COV-C12 numunesinin zarf eğrisi grafiği

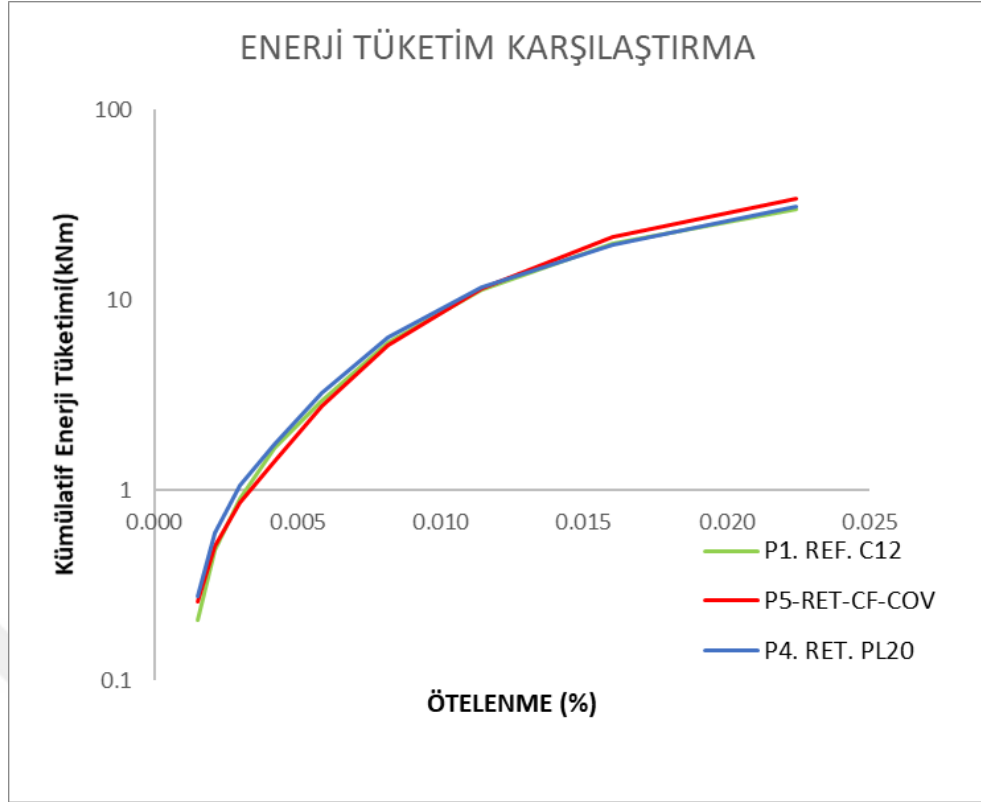


Şekil 46. P5-RET-CF-COV-C12 numunesinin tokluk grafiği

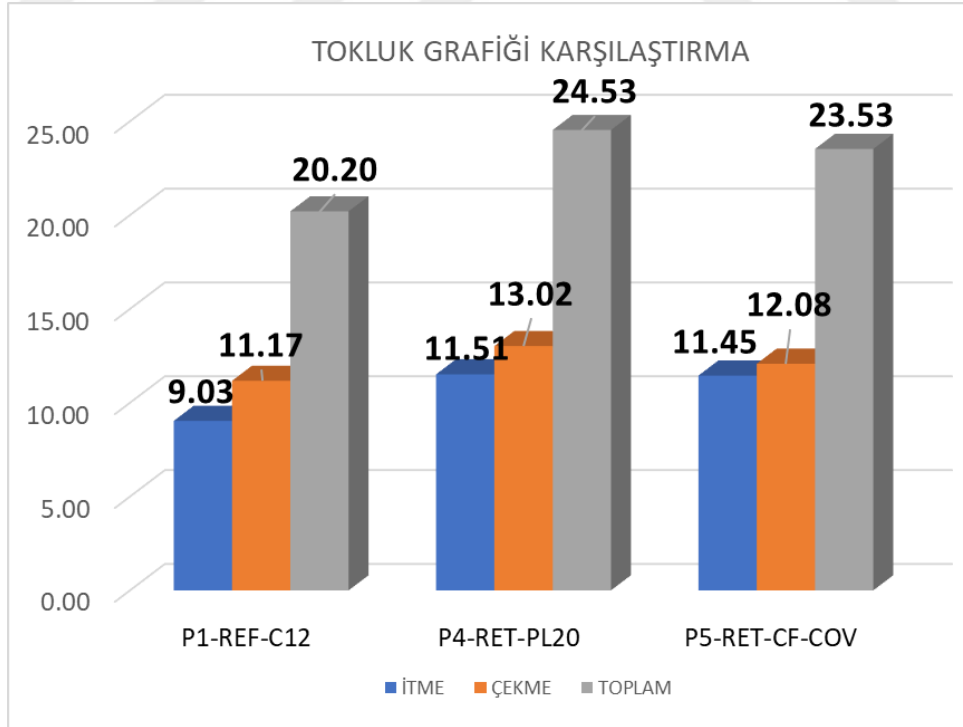
4.5. Numunelerin Karşılaştırılması



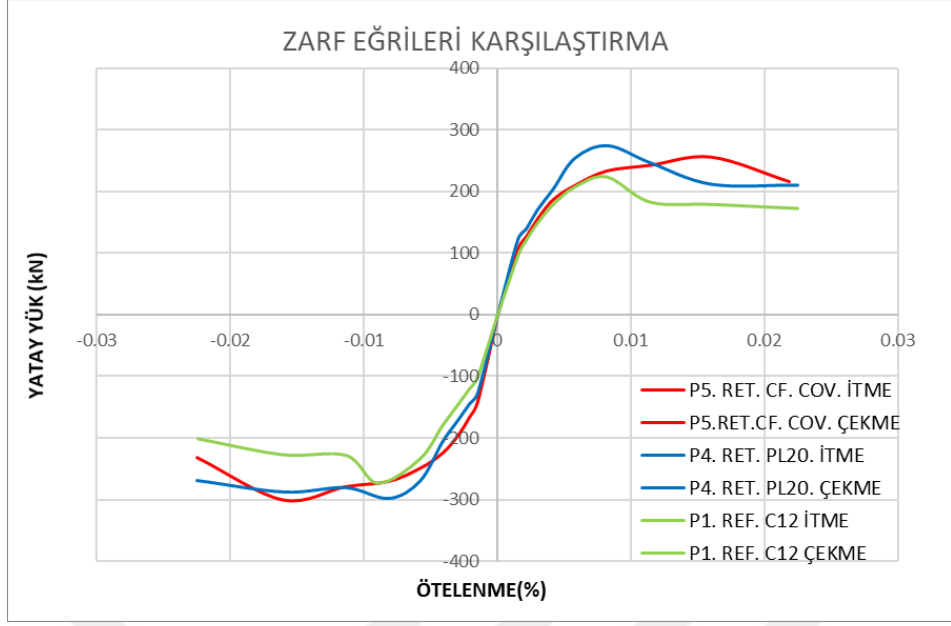
Şekil 47. Tüm numunelerin birlikte histeresis karşılaştırması



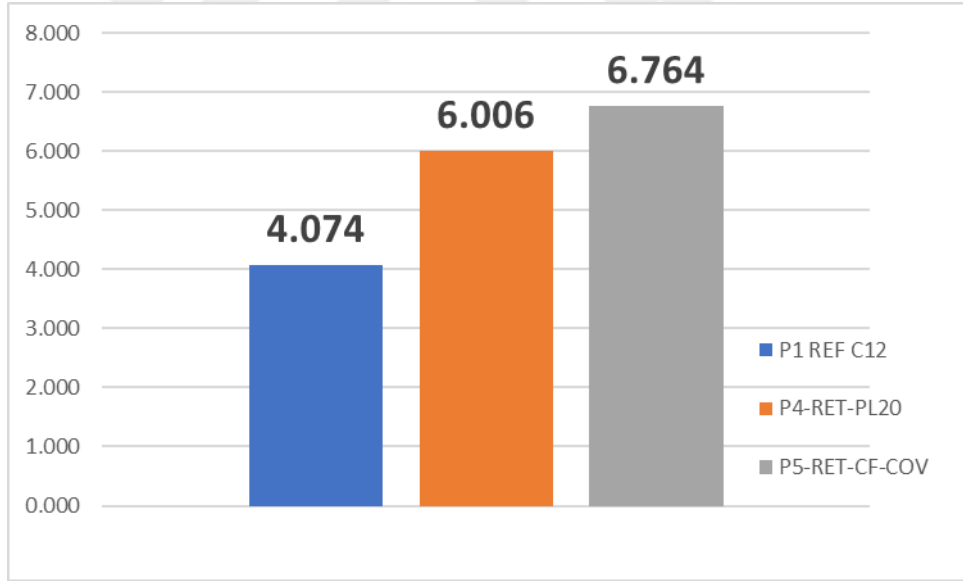
Şekil 48. Tüm numunelerin birlikte enerji tüketim karşılaştırması



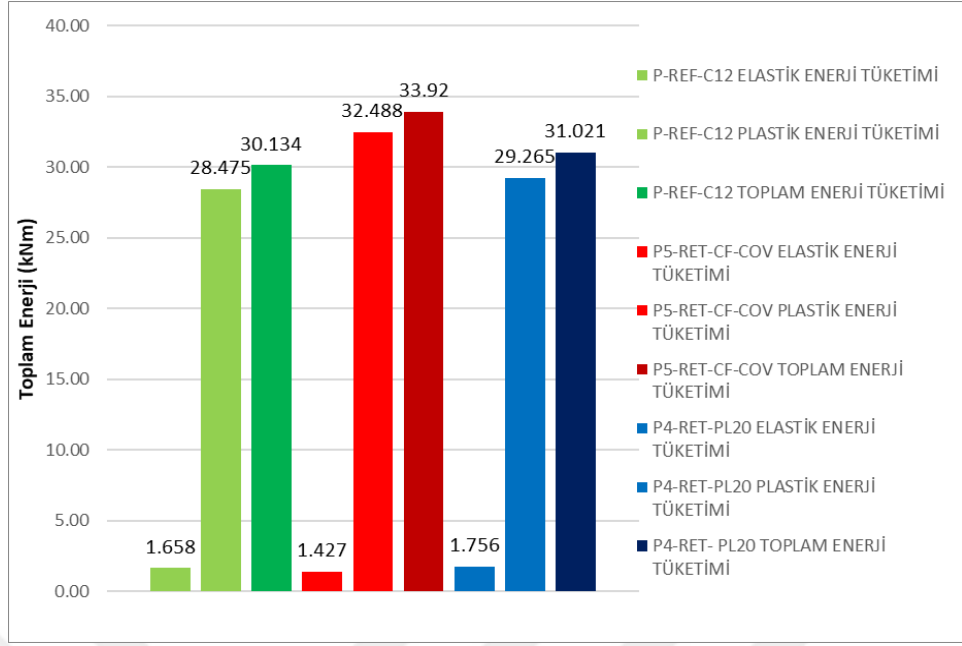
Şekil 49. Tüm numunelerin birlikte tokluk kapasitesi karşılaştırması



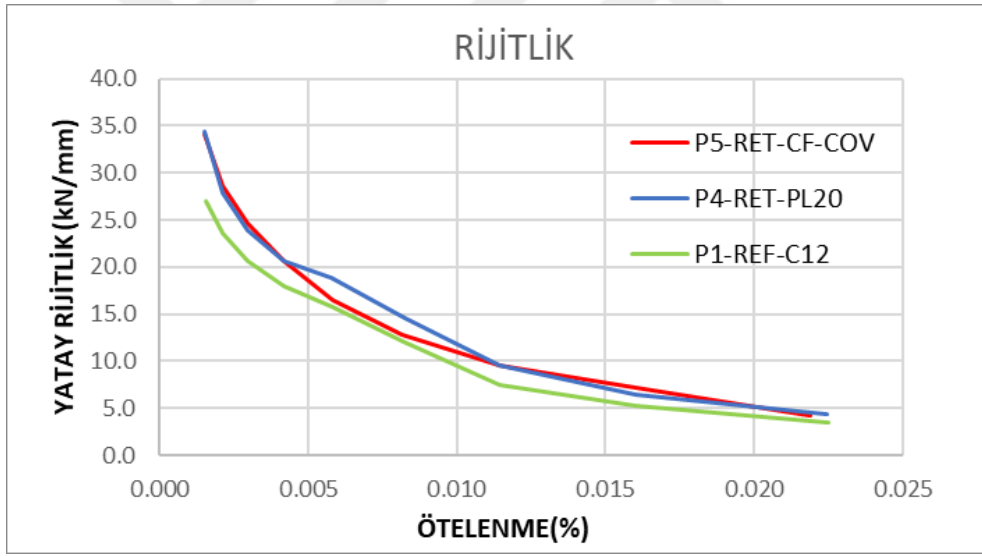
Şekil 50. Tüm numunelerin birlikte zarf eğrileri karşılaştırması



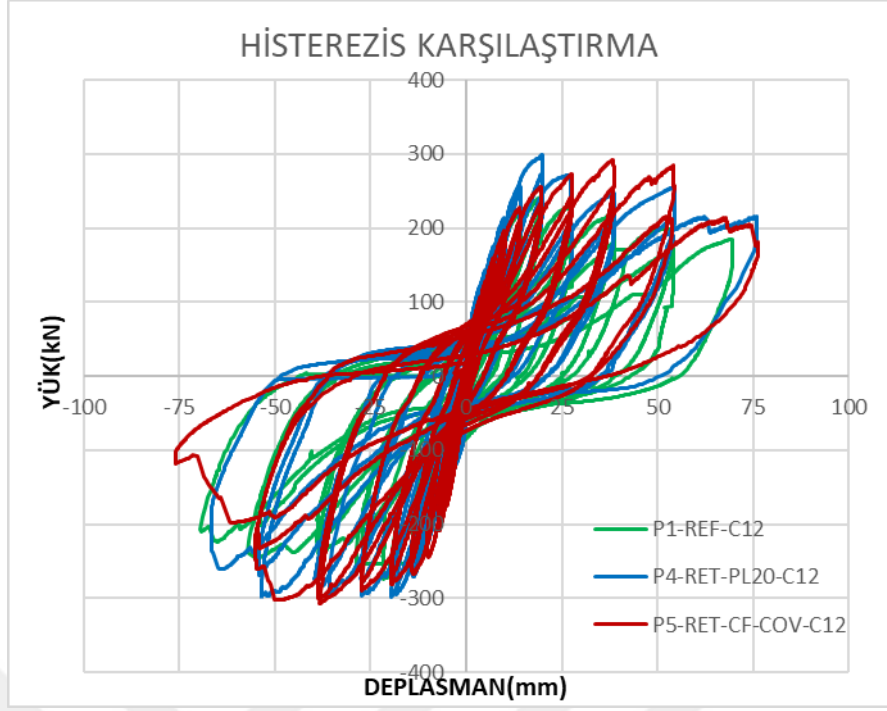
Şekil 51. Tüm Numunelerin Birlikte Süneklik Oranları Karşılaştırması (ATC-40 [80])



Şekil 52. Tüm numunelerin birlikte elastik ve plastik enerji tüketimlerinin karşılaştırması



Şekil 53. Tüm Numunelerin Birlikte Rijitlik-Ötelenme Karşılaştırması



Şekil 54. Tüm numunelerin birlikte (Mak.:75mm) deplasman seviyesinde histerezis karşılaştırması

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında beton sınıfı düşük ve başlık bölgesinde enine donatı şartını sağlamayan 1999 ve öncesi yönetmeliklere tabi olarak yapılan betonarme perde elemanların karbon lifli polimer kumaş ve yine karbon lifli “L” plakalardan perdenin kesitinde herhangi bir azalışa sebep olmadan dış yüzeyine epoksi yardımıyla empreye edilerek uygulanmış güçlendirme elemanları ile 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 bilgiçok detaylı 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.

Literatüre bakıldığında birçok çalışmada başlık bölgesi oluşturulmadan imal edilmiş betonarme perdeli yapıların depreme dayanıklılığı araştırmış ve bu durumun güncel yönetmelikleri sağlamadığı birçok defa kanıtlanmıştır. Söz konusu çalışmaları yürütmüş araştırmacılar bu benzeri yapısal elemanların güçlendirilmesi için farklı yöntemler önermişlerdir.

Bu çalışmada ise güncel yönetmeliği sağlamayan, 1:1 boyutlarında beton sınıfı düşük olan üç adet betonarme perde yapılmıştır. Bu numunelerden biri çalışma kapsamında referans numune olarak seçilip üzerinde hiçbir ilave bir çalışma yapılmadan deneye tabi tutulmuştur. Diğer numunelerden 2.’si son yıllarda gelişen teknoloji ile üretilmiş ürünlerden Karbon Lifli Polimer kumaşın perde elemanın başlık bölgesi olacak şekilde “U” biçimde sadece başlık bölgesini saran kumaş uygulaması olarak uygulandı. En son üçüncü numunede ise 20 cm aralıklar seçilerek perde elemanda karbon lifli plakaların “L” formunda olan versiyonu ile güçlendirme uygulaması yapılarak iyileştirme yapılmıştır.

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. Ancak 20. döngü deneylerde perde elemanların donatılarının kopması sonucu yapılamamıştır.

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 histeresis eğrileri mukayese edildiğinde güçlendirilen perdelerin referans perdesine oranla daha büyük yatay kuvvet kapasitesine ulaştığı görülmektedir.
- Güçlendirilen perdelerin referans perdeye oranla ilk rijiliklerinin daha yüksek olduğu, bununla birlikte plakalar ile güçlendirilen P4-RET-PL20 perdesinin L plakalar ile yatayda başlık bölgesi oluşturması ile elastik bölgede diğer perdelerle oranla daha büyük bir enerji tükettiği, ancak plastik bölge için P5-RET-CF-COV numunesinin gerek referans perdeden gerekse plaka ile güçlendirilen perdeden daha büyük enerji tükettiği görülmektedir.
- Bütün numuneler yaklaşık 15. döngüye kadar (30mm seviyesine kadar) eşit kümülatif enerji tüketimi gerçekleştirirken; daha sonra güçlendirme uygulanan perdelerde daha büyük tüketim görülmüştür. Ayrıca enerji tüketimlerinin ileri döngü ve deplasmanlara çıkıldıkça bariz olarak ayrışması gözükmesi

beklenmektedir. Ancak deneye tabi olan perdelerin hepsinde 19. döngüde boyuna donatıların kopması sonucu ani yük azalması ve stabilite problemi başlamasından kaynaklı daha büyük deplasmanlara çıkılamamıştır.

- Numunelerin zarf eğrileri sonuçları değerlendirildiğinde en çok kapasitenin P4-RET-PL20 numunesinde olduğu görülecektir. Bu sebepten tokluk kapasitesinde bu numunede diğer numunelerle oranla fazla çıkmıştır.
- Yapılan güçlendirme çalışmaları referans numuneye oranla daha iyi enerji tüketimi ile karşılığını vermiştir.
- Numunelerin zarf eğrileri değerlendirildiğinde itme ve çekmede 3mm seviyesine kadar yatay yük -deplasman eğrileri benzer hareketi gösterir iken, ilerleyen döngülerde özellikle referans numunede kapasite kaybı görülmektedir. Ancak diğer güçlendirilmiş iki perde numunesinin güçlendirme yöntemlerinin farklılığı göz önüne alındığında karbon lifli plakalı numunenin daha sünek bir davranış göstermeye başladığını zarf eğrileri grafiğinden yorumlanabilir. Bununla birlikte güçlendirme yapılan elemanlarda süneklik, referans numuneye göre çok belirgin artış göstermiştir.
- Güçlendirme yöntemi olarak farklı yöntemler kullanılan iki numunenin süneklik kapasitesi birbirine yakın çıktığı görülmektedir. “L” plakalarla yapılan güçlendirme uygulamasının tamamen kumaş ile sargı ile yapılan numuneye oranla çok yakın süneklik kapasitesi vermesi; mevcut yapıların güçlendirilmesinde yeni bir metod olarak “L” tipi plakalarla güçlendirme uygulamalarının yapılmasının önünü açacağı düşünülmektedir. Böylece mevcut yapılardaki perde elemanların duvar elemanları ile birleşim bölgelerinde ve/veya diğer yapı elemanları ile birleşim bölgelerinde perde diiri elemanlara hasar vermeden aralıklarla bu “L” plaka uygulaması yapılarak perdelerde başlık bölgesi oluşturulması sağlanabileceği görülmektedir.
- 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. Ancak son döngülerde kumaş sargı ile güçlendirilen numunenin kapasitesinde aşağı yönelim çok iken, karbon plakalı perde de önemli bir yük kaybı olmadan deplasman yapabilme devam etmektedir.

- 50mm deplasman döngüsü ve sonraki döngülerde plakalarda özellikle temel-perde düğüm noktasındaki plakalarda perdeden ayrışma olduğu, herhangi bir plakada kopma/uzama/birim şekil değiştirme bariz olacak kadar gözlenmemiştir. Plakalar epoksisinden ayrılmak yerine plakaların epoksi ile birlikte betona nüfuz etmesinden kaynaklı burkulan donatıların üzerindeki pas payları ile birlikte sökülerek dağıldığı görülmüştür.
- Karbon kumaş ile yapılan sargılama metodunun sargı etkisini özellikle betonarme elemanda net ortaya koyduğu perde elemanın tamamının sargılamasına gerek duyulmadan sadece başlık bölgesini kapsayacak şekilde güçlendirildiğinde enerji tüketiminin ve süneklik göstergelerinin daha iyi sonuç vereceği görülmektedir.
- Plakalar ile güçlendirme durumunda özellikle 20cm ara ile düşeyde yapmak yerine 10cm ara ile güçlendirme yapılması özellikle boyuna donatıların burkulmasını önlemek adına daha iyi sonuç verecektir. Ayrıca tüm kumaş ile sargı yapılması durumunda pas payları dağılmamakta ve boyuna donatıların burkulma deformasyonuna daha büyük deplasmanlarda karşılaşılabilmektedir.
- 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 görece kat öteleme seviyesi FEMA 356[82]'da yer verilen "0.02" (%2) "Göçme Öncesi" seviyesinde kapasiteleri görmek olsa da yatay yük uygulayan pistonların en yüksek çıkış kapasiteleri ile sınırlanan FEMA[75] 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 1998 öncesi yönetmeliklerde verildiği gibi pirsantajının 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 ulaşmadan sürtünme kesmesinden perdeler labil duruma geçeceği anlaşılmaktadır.

5.2. 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 kumaş sargının perdenin tamamını sararak mı yoksa değişken genişliklerde sarılmasının kapasite karşılığının araştırılması,
- Mevcut yapıların güçlendirilmesinde, yapıya fazladan kalıcı yük yapılmayacak farklı tip FRP ürünleri 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 gözde 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

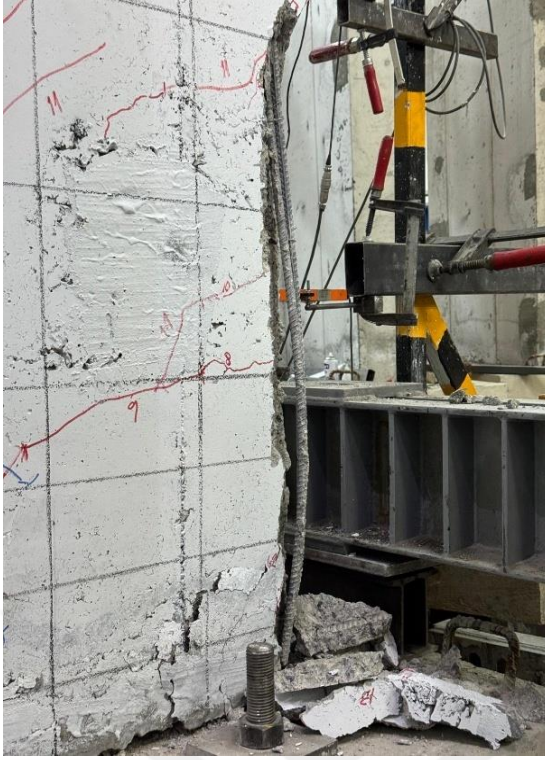
EK-1: P1-Ref-C12 Numunesi Hasar Resimleri



Şekil P1-Ref-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-1



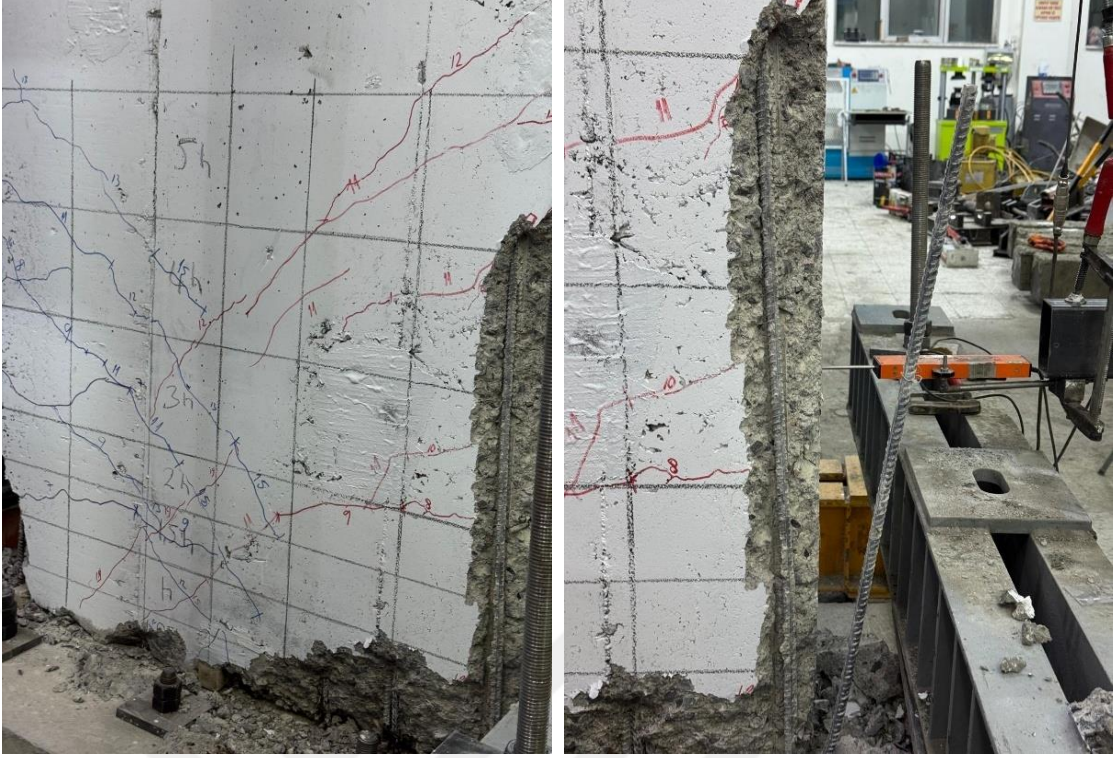
Şekil P1-Ref-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-2



Şekil P1-Ref-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-3



Şekil P1-Ref-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-4



Şekil P1-Ref-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-5

EK-2: P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Hasar Resimleri



Şekil P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-1



Şekil P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-2



Şekil P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-3



Şekil P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-4



Şekil P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-4



Şekil P4-Ret-PL20-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-5

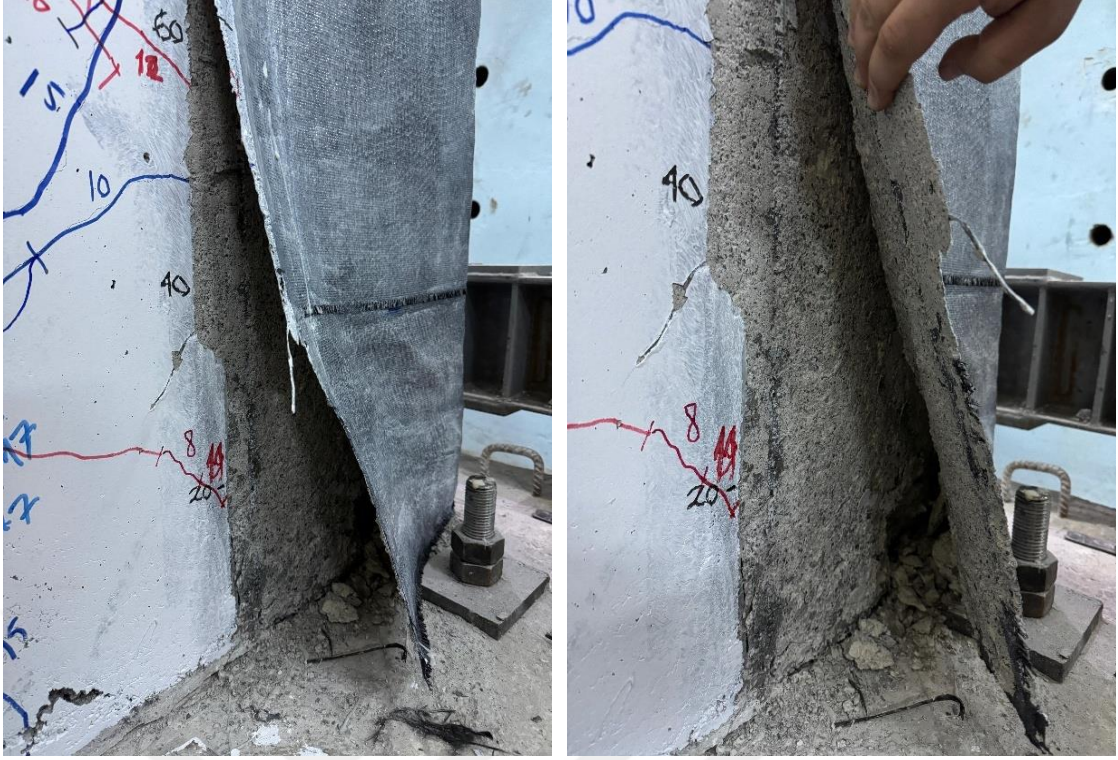
EK-3 P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Hasar Resimleri



Şekil P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-1



Şekil P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-2



Şekil P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-3



Şekil P5-Ret-Cf-Cov-C12 Numunesi Genel Hasar Resimleri-4

KAYNAKLAR

- [1] İmar ve İskan Bakanlığı, 1940. 1940 Zelzele Mintikalarında Yapılacak İnşaata Ait İtalyan Yapı Talimatnamesi. İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara.
- [2] İmar ve İskan Bakanlığı, 1944. Zelzele mintikaları muvakkat yapı talimatnamesi. (Web Sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/1944-dijital-Zelzele-Mintikalari-Muvakkat-Yapi-Talimatnamesi-1944-2.pdf> (Erişim Tarihi: Nisan 2025)).
- [3] İmar ve İskan Bakanlığı. 1949. 1949 Türkiye yersarsıntısı bölgeleri yapı yönetmeliği. (Web sayfası <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/1949-dijital-Turkiye-Yersarsintisi-Bolgeleri-Yapi-Yonetmeligi-1949.pdf> (Erişim Tarihi: Nisan 2025)).
- [4] İmar ve İskan Bakanlığı, 1953. Yersarsıntısı bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik. (Web Sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/1953-orjinal-Yersarsintisi-Bolgelerinde-Yapilacak-Yapilar-Hakkinda-Yonetmelik-1953.pdf> (Erişim Tarihi: Nisan 2025)).
- [5] İmar ve İskan Bakanlığı, 1962. 1962 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. (Web sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/1962-orjinal-Afet-Bolgelerinde-Yapilacak-Yapilar-Hakkinda-Yonetmelik-ABYYHY-1962.pdf> (Erişim Tarihi: Nisan 2025)).
- [6] İmar ve İskan Bakanlığı. 1968. 1968 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkında Yönetmelik. (Web sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/1968-dijital-Afet-Bolgelerinde-Yapilacak-Yapilar-Hakkinda-Yonetmelik-ABYYHY-1968.pdf>, (Erişim Tarihi: Nisan 2025)).
- [7] İmar ve İskan Bakanlığı, 1975. 1975 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar hakkında Yönetmelik. (Web sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/1975-orjinal-Afet-Bolgelerinde-Yapilacak-Yapilar-Hakkinda-Yonetmelik-ABYYHY-1975.pdf>, (Erişim Tarihi: Mart 2025)).
- [8] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998. 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. (Web sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/1998-Afet-Bolgelerinde-Yapilacak-Yapilar-Hakkinda-Yonetmelik-ABYYHY-1998.pdf> (Erişim: Mart 2025)).

- [9] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. (Web Sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/2007-Deprem-Bolgelerinde-Yapilacak-Binalar-Hakkinda-Yonetmelik-DBYBHY-2007.pdf>, (Erişim Tarihi: Mart 2025).
- [10] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara, 416 s. (Web sayfası: <https://deprem.ebyu.edu.tr/wp-content/uploads/2023/07/2018-Turkiye-Bina-Deprem-Yonetmeliği-TBDY-2018.pdf> (Erişim Tarihi: Ocak 2025).
- [11] Alyamaç, K.E. 2005. Geçmişten günümüze afet yönetmelikleri ve uygulamada karşılaşılan tasarım hataları. *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- [12] TÜİK, 2022. Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması, 2021. (Web sayfası: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Building-and-Dwelling-Characteristics-2021-45870> (Erişim Tarihi: Nisan 2025)
- [13] T.C. Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023. Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu. (Web sayfası: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaras-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf> (Erişim Tarihi: Nisan 2025)
- [14] 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.
- [15] Karaca, N., 2022. Mevcut Betonarme Bir Okul Binasının Deprem Güvenliğinin İncelenmesi ve TBDY-2018'e Göre Alternatif Güçlendirme Yöntemlerinin Araştırılması ve Çözüm Önerileri. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 152 s.
- [16] Şahinkaya, Y., 2015. Mevcut betonarme binalardaki perde donatı ayrıntıları ve bir ayrıntı için sonlu eleman analizi, ss. 883-889. *XIX. Ulusal Mekanik Kongresi*, 24-28 Ağustos 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon-Konya.
- [17] Demirkıran, D., 2014. Betonarme Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, 146 s.

- [18] Yaltır, Ş., 2019. Betonarme Perdelerin Kesme Davranışının Analitik ve Deneysel Olarak İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 212 s.
- [19] İnceoğlu, Ç., 2016. Betonarme Perdelerin Kesme Dayanımının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 161 s.
- [20] Kamal Ali Ali, M., 2021. Betonarme Perde Konumunun Yapı Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkilerinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 326 s.
- [21] Sarıbyık, A., 2013. Beton Dayanımı Düşük Betonarme Yapı Elemanlarının Lifli Kompozitlerle Güçlendirilmesi ve Karşılaştırılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 184 s.
- [22] Akın, D., 2019. Betonarme Binaların Depreme Karşı Güçlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 111 s.
- [23] Akyıldız, H., 2007. Betonarme Bir Yapının Güçlendirme Öncesi ve Sonrası Yapı Performansının İncelenmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 109 s.
- [24] Açikel Altunkara, H., 2024. Lifli Polimer ile Güçlendirilmiş Betonarme Elemanların Kapasite Tahminine Yönelik Akıllı Sistem Uygulaması. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 225 s.
- [25] Yüzbaşı, J., 2018. Mevcut Betonarme Yapıların Depreme Karşı Güvenliğinin Araştırılması ve Güçlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 162 s.
- [26] Tan, M.T., 2009. Seismic strengthening of a Mid-Rise Reinforced Concrete Frame Using CFRPs: An Application From Real Life. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 183 s.
- [27] Lüleci, M.C., 2022. Standart Altı Betonarme Kolonların Yenilikçi Malzemeler Kullanılarak Deprem Performansının İyileştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 107 s.

- [28] 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.
- [29] Efe, Y., 2024. Betonarme Elemanların Basınç Bölgelerinin Lifli Polimerler ile Güçlendirilmesinin Araştırılması. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Diyarbakır, 216 s.
- [30] Yaman, S., 2024. Betonarme Kolonların CFRP Levhalar ile Güçlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 216 s.
- [31] Ateş, A.O., 2022. Betonarme Kolonların Deprem Performansının Tekstil Donatılı / Donatısız Cam Lifli Püskürtme Harçla İyileştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 476 s.
- [32] Aytaç, E., 2011. CFRP Güçlendirme Malzemesi ve Güçlendirme Teknikleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 124 s.
- [33] Mercimek, Ö., 2017. CFRP Şeritlerle Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Çarpışma Yükleme Etkisindeki Davranışının İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 185 s.
- [34] Mangır, Ö., 2017. Düşük Dayanımlı Betonarme Yapılarda Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinin Deprem Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 269 s.
- [35] Sanrı, M., 2015. Farklı Tekniklerle Güçlendirilen Betonarme Yapıların Güçlendirme Maliyetlerinin Karşılaştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 117 s.
- [36] Karahan, A.K., 2023. Lifli Polimer Kompozit Malzemeler ile Güçlendirilen Beton Numunelerin Basınç Dayanımına Lif Türü ve Sarım Sayısının Etkisinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 108 s.
- [37] Akçaat, Y.K., 2022. Yapay ve Doğal Lifli Malzemeler İle Güçlendirilmiş Beton Yapı Elemanlarının İncelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 91 s.

- [38] 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): 219-234.
- [39] Lefas, I.D., Kotsovos, M.D., Ambraseys, N.N., 1990. Behavior of reinforced concrete structural walls: strength, deformation characteristics, and failure mechanism. **ACI Structural Journal**, 87(1): 23-31
- [40] Komaravolu, V.P., Samanta, N., Dasgupta, K., 2025. Effective stiffness of flanged reinforced concrete structural walls: a numerical approach. *Conference: Proceedings of the 3rd Croatian Conference on Earthquake Engineering-3CroCEE*. Split, Croatia
- [41] 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,
- [42] Almassri, B., 2024. Experimental and fe numerical analysis of rc shear walls retrofitted using cfrp and steel plates. **The Open Civil Engineering Journal**, 18. DOI: 10.2174/0118741495344620240830103333
- [43] 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.
- [44] 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):
- [45] Mamdouh, H., Zenhom, N., Hasabo, M., Deifalla, A.F., Salman, A., (2022), Performance of strengthened, reinforced concrete shear walls with opening, **Sustainability**, 14(21): 1-32.
- [46] 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, **The Institution of Structural Engineers**, 56. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105005>.

- [47] Dukes, J., Sattar, S., 2005. Retrofit of reinforced concrete shear walls with CFRP composites. *Conference: fib Symposium- Keep Concrete Attractive*. Budapest, Hungary,
- [48] Habibi, O., Khaloo, A., Abdoos, H., 2013. Seismic behavior comparison of RC shear walls strengthened using FRP composites and steel elements. **Journal of Composites for Construction**, 17(5): 603-613.
- [49] Jiaji, W., Tao, M., Nie, X., 2018. Seismic behavior of steel plate reinforced concrete composite shear walls under tension-bending-shear combined cyclic load. **Journal of Structural Engineering**, 144(7): 04018075.
- [50] 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.
- [51] 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 (4): 441-447.
- [52] Segura, C., Wallace, J.W., 2018. Seismic performance limitations and detailing of slender reinforced concrete walls. **ACI Structural Journal**, 115(3): 849-859.
- [53] 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.
- [54] 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.
- [55] 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.
- [56] 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.

- [57] 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): 636-644.
- [58] 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
- [59] El-Sokkary, H., Galal, K., 2012. Shake table tests on frp-rehabilitated RC shear walls. *Conference: 6th International Conference on Advanced Composite Materials in Bridges and Structures*, Montréal, Québec, Canada
- [60] 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
- [61] Bakis, C.E., Bank, L.C., Brown, V.L., Cosenza, E., Davalos, J.F., Lesko, J.J., Machida, A., Rizkalla, S.H., Triantafillou, T.C., 2002. Fiber-reinforced polymer composites for construction state of the art review. **Journal Of Composites For Construction**, **6**(2): 73-87
- [62] Antoniadis, 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
- [63] Woods, J.E., Cruz-Noguez, C.A., Lau, D.T., 2014. An Innovative FRP Anchor System for the Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Shear Walls. *Conference: 10th U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Anchorage, Alaska
- [64] 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
- [65] Shaheen, I., 2014. Seismic Retrofit and Strengthening of Deficient Reinforced Concrete Shear Walls Using Externally Bonded Fibre Reinforced Polymer Sheets. Carleton University, Department Of Civil And Environmental Engineering, Master's Thesis, Ottawa, Ontario, Canada, 88 s.

- [66] 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
- [67] Sivaguru, V., 2020. Behaviour Of Reinforced Concrete Squat Shear Walls With And Without Openings. Department Of Civil Engineering Indian Institute Of Technology, Master's Thesis, Madras, Indian, 215 s.
- [68] Khalil, A., Ghobarah, A., 2005. Behaviour of rehabilitated structural walls. **Journal of Earthquake Engineering**, **9**(3): 371-391
- [69] Hiotakis, S., 2004. Repair And Strengthening Of Reinforced Concrete Shear Walls For Earthquake Resistance Using Externally Bonded Carbon Fibre Sheets and A Novel Anchor System. Carleton University, Department Of Civil And Environmental Engineering, Master's Thesis, Ottawa, Ontario, Canada, 272 s.
- [70] 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
- [71] Luna, B.N., Rivera, J., Epackachi, S., Whittaker, A.S., 2018. Seismic Response of Low Aspect Ratio Reinforced Concrete Walls Revision 01. New York University at Buffalo, The State University of New York, Technical Report, United States 455 s.
- [72] Fintel, M., 1995. Performance of buildings with shear walls in earthquakes of the last thirty years. **PCI Journal**, **40**(3): 62-80.
- [73] Elnady, M.M.E., 2008. Seismic Rehabilitation Of RC Structural Walls. McMaster University, School of Graduate Studies, Master's Thesis, Hamilton, Canada, 329 s.
- [74] Matsui, T., Saito, T., Reyna, R., 2014. Basic study on reinforced concrete shear walls without boundary columns retrofitted by carbon fiber sheets. **Journal of Disaster Research**, **9**(6): 1008-1014
- [75] FEMA 461 Draft document, Federal Emergency Management Agency, 2007. Interim Protocols for Determining Seismic Performance Characteristics of Structural and Nonstructural Components Through Laboratory Testing.
- [76] Etabs 19, 2019. Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems. Computers and Structures Inc., Berkeley, United States.

- [77] TS500-2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Şubat 2000, 79s.
- [78] TS 708. 2016. Çelik- Betonarme için- Donatı çeliği. Türk Standartları Enstitüsü. 24s.
- [79] TS-EN 12350-1, 2010. Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 1: Numune alma, Türk Standartları Enstitüsü, 11 s.
- [80] TS EN 12390-1, 2021. Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, 15 s.
- [81] ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings
- [82] 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: Ersin YİĞİT

Uyruğu: T.C.

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durumu:

Tel:

Fax:

GSM:

Email:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniveristesi	2010
Lise	Gazi Çok Programlı Lisesi	2001

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011-2012	Volis Mühendislik	Şantiye Şefi
2012-2019	Büyükbaş Yapı Denetim	YKE İnşaat Mühendisi
2019-2024	PİU Proje	Statik Proje Mühendisi
2024-Halen	Büyükbaş Yapı Denetim	PUD İnşaat Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce

Ersin Yiğit "Mevcut Yapılardaki Başlıksız Betonarme Perdelerin Karbon Lifli Kumaş ve Plakalarla Güçlendirilmesinin Deneysel Araştırılması"

ORJİNALLİK RAPORU

% 15	% 14	% 7	% 6
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	% 4
2	hdl.handle.net İnternet Kaynağı	% 1
3	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	% 1
4	etd.lib.metu.edu.tr İnternet Kaynağı	% 1
5	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	% 1
6	acikerisim.dicle.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
7	Submitted to Erciyes Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
8	fbe.cu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
9	libratez.cu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
10	gcris.ktun.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
11	curve.carleton.ca İnternet Kaynağı	<% 1

12	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
13	Submitted to Beykent Üniversitesi Öğrenci Ödevi	<% 1
14	www.scribd.com İnternet Kaynağı	<% 1
15	spectrum.library.concordia.ca İnternet Kaynağı	<% 1
16	Submitted to Ankara University Öğrenci Ödevi	<% 1
17	celikkollu.medeniyetmuhendisleri.com İnternet Kaynağı	<% 1
18	dspace.gazi.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
19	docplayer.biz.tr İnternet Kaynağı	<% 1
20	Advances in FRP Composites in Civil Engineering, 2011. Yayın	<% 1
21	escholarship.org İnternet Kaynağı	<% 1
22	Submitted to Karadeniz Teknik University Öğrenci Ödevi	<% 1
23	www.eng.buffalo.edu İnternet Kaynağı	<% 1
24	Submitted to Akdeniz University Öğrenci Ödevi	<% 1
25	www.naturalhazards.govt.nz İnternet Kaynağı	<% 1

26	Mohamed F.M. Fahmy. "Advanced fiber-reinforced polymer composites to enhance seismic response of existing structures", Elsevier BV, 2023 Yayın	<%1
27	ebyu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
28	Ghida Edlebi, Adnan Masri, Oussama Baalbaki, Nour Wehbi. "Experimental and numerical investigation on the behavior of reinforced concrete walls strengthened by steel members", Asian Journal of Civil Engineering, 2024 Yayın	<%1
29	www.hig.se İnternet Kaynağı	<%1
30	Submitted to University of Auckland Öğrenci Ödevi	<%1
31	acikerisim.karatay.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<%1
32	aees.org.au İnternet Kaynağı	<%1
33	csce.ca İnternet Kaynağı	<%1
34	www.civil.hku.hk İnternet Kaynağı	<%1
35	sara.openquake.org İnternet Kaynağı	<%1
36	www.eaee.org İnternet Kaynağı	<%1
37	www.springerprofessional.de İnternet Kaynağı	<%1

38	Submitted to University of Wollongong Öğrenci Ödevi	<% 1
39	www.jsee.ir İnternet Kaynağı	<% 1
40	www.scielo.cl İnternet Kaynağı	<% 1
41	d-nb.info İnternet Kaynağı	<% 1
42	acikerisim.deu.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
43	structurae.net İnternet Kaynağı	<% 1
44	www.diva-portal.org İnternet Kaynağı	<% 1
45	1library.co İnternet Kaynağı	<% 1
46	Beyaz, Abdullah. "Bursa İli Kentsel donusum calismalarinin Yapisal Olarak Incelenmesi Ve Alansal Donusum onerileri", Bursa Uludag University (Turkey), 2021 Yayın	<% 1
47	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
48	polen.itu.edu.tr:8443 İnternet Kaynağı	<% 1
49	scientiairanica.sharif.edu İnternet Kaynağı	<% 1

50	www.istructe.org İnternet Kaynağı	<% 1
51	www.mdpi.com İnternet Kaynağı	<% 1
52	cds.ismrm.org İnternet Kaynağı	<% 1
53	www.tandfonline.com İnternet Kaynağı	<% 1
54	m.haberturk.com İnternet Kaynağı	<% 1
55	Submitted to Istanbul Kultur University Öğrenci Ödevi	<% 1
56	earsiv.cankaya.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
57	www.theses.fr İnternet Kaynağı	<% 1
58	Submitted to Indian Institute of Technology, Madras Öğrenci Ödevi	<% 1
59	Submitted to TechKnowledge Turkey Öğrenci Ödevi	<% 1
60	acikarsiv.aydin.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
61	www.mevzuat.gov.tr İnternet Kaynağı	<% 1
62	Abdullah, Eman. "Fiber Reinforced Polymer Strengthening of Reinforced Concrete Wall- Foundation Connections Under Reverse Cyclic Loading", North Carolina State University, 2023 Yayın	<% 1

63	Submitted to Gazi University Öğrenci Ödevi	<% 1
64	"Design Procedures for the Use of Composites in Strengthening of Reinforced Concrete Structures", Springer Nature, 2016 Yayın	<% 1
65	crocee.grad.hr İnternet Kaynağı	<% 1
66	doi.org İnternet Kaynağı	<% 1
67	idiprints.knjiznica.idi.hr İnternet Kaynağı	<% 1
68	ormantransportu.org İnternet Kaynağı	<% 1
69	www.ahaber.com.tr İnternet Kaynağı	<% 1
70	acikerisim.karabuk.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
71	acikerisimarsiv.selcuk.edu.tr:8080 İnternet Kaynağı	<% 1
72	ankarabarosu.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
73	www.icssca.org İnternet Kaynağı	<% 1
74	www.wikidata.it-it.nina.az İnternet Kaynağı	<% 1
75	Erkan Töre. "Lifli Polimer Kompozitler Ile Güçlendirilmiş (Sargılanmış) Betonarme Kolonların Deprem Davranışı Ve Performansa Dayalı Deformasyon Limitleri", Balıkesir University (Turkey), 2024 Yayın	<% 1

76	Sümer, Yusuf. "FRP Elemanlarla Güçlendirilmiş Hasarlı Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi", Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2022 Yayın	<% 1
77	Toumatari, Salar Ghafourzadeh. "Betonarme Binaların Deprem Performansının Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle Belirlenmesi ve Perde İle Güçlendirmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024 Yayın	<% 1
78	fbe.nny.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
79	pdfcoffee.com İnternet Kaynağı	<% 1
80	sbe.nny.edu.tr İnternet Kaynağı	<% 1
81	sybiosisonlinepublishing.com İnternet Kaynağı	<% 1
82	www.akademikbilgisistemi.com İnternet Kaynağı	<% 1
83	www.gecekitapligi.com İnternet Kaynağı	<% 1
84	www.imobursa.org.tr İnternet Kaynağı	<% 1
85	www.proteccioncivil.gob.mx İnternet Kaynağı	<% 1
86	"Strength and Behavior of Reinforced Concrete Squat Shear Walls with Openings under Cyclic Loading", ACI Structural Journal, 2021	<% 1

87 Akdaş, Galip. "Bütünleşik Afet Yönetimi Gelişim Sürecinde Türkiye'de Güvenli Konut", Dokuz Eylul Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

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

Yayın

<% 1

89 Gelmedi, Özgür. "Betonarme çerçeve tipi yapılarda burulma düzensizliğinin doğrusal olmayan statik artımsal itme analiz yöntemleri ile incelenmesi", Dokuz Eylul Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

90 Halis, Bülent. "İkinci Kez Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Deneyisel Olarak İncelenmesi", Balıkesir University (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

91 ceej.aut.ac.ir

İnternet Kaynağı

<% 1

92 dspace.kocaeli.edu.tr:8080

İnternet Kaynağı

<% 1

93 eprints.qut.edu.au

İnternet Kaynağı

<% 1

94 pt.scribd.com

İnternet Kaynağı

<% 1

95 publications.polymtl.ca

İnternet Kaynağı

<% 1

96 search.fbe.itu.edu.tr

97

sidenor.gr
İnternet Kaynağı

<%1

98

www.istanbulbarosu.org.tr
İnternet Kaynağı

<%1

99

Özbayram, Goncagül Gültekin. "Doğal Afetler
ve Yerel Topluluk Liderleri: Balıkesir Örnek
Olay İncelemesi", Balıkesir University (Turkey),
2024
Yayın

<%1

100

Güngör, İlhan. "Dişli Döşemeli ve Geniş Kirişli
Betonarme Binaların Deprem Performansları
Üzerine Sayısal İncelemeler", Balıkesir
University (Turkey), 2024
Yayın

<%1

101

Murat Günaydin, Barbaros Atmaca, Serhat
Demir, Ahmet Can Altunışık et al. "Seismic
damage assessment of masonry buildings in
Elazığ and Malatya following the 2020 Elazığ-
Sivrice earthquake, Turkey", Bulletin of
Earthquake Engineering, 2021
Yayın

<%1

102

acikerisim.sakarya.edu.tr
İnternet Kaynağı

<%1

103

fbetebankasi.gazi.edu.tr
İnternet Kaynağı

<%1

104

fizikolog.net
İnternet Kaynağı

<%1

105

ijmcl.aydin.edu.tr
İnternet Kaynağı

<%1

106

purehost.bath.ac.uk
İnternet Kaynağı

<%1

107

shellbuckling.com

İnternet Kaynağı

<% 1

108

www.alpinsport-basis.de

İnternet Kaynağı

<% 1

109

www.atlas1.net

İnternet Kaynağı

<% 1

110

www.sanalsantiye.com

İnternet Kaynağı

<% 1

111

Çatlı, Zeki. "Farklı Geometrik Özelliklere Sahip Alüminyum Balpeteği Kompozit Panellerin Termal Çevrim Sonrası Mekanik Özelliklerindeki Değişimin İncelenmesi", Necmettin Erbakan University (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

112

Encyclopedia of Earthquake Engineering, 2015.

Yayın

<% 1

113

"Advances in Structural Engineering", Springer Science and Business Media LLC, 2015

Yayın

<% 1

114

Misir, İbrahim Serkan. "Betonarme Yapıların Deprem Davranışının İyileştirilmesinde çimento şerbeti emdirilmiş lifli beton (Sifcon) kullanımı", Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey), 2024

Yayın

<% 1

115

repozitorij.fsb.hr

İnternet Kaynağı

<% 1

116

Özçelik, Gökhan. "Derin Çekme İşleminin Simülasyonu", Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2022

Yayın

<% 1