
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

HASAR GÖRMÜŞ BOŞLUKLU PERDELERİN ONARILMA POTANSİYELİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Anıl ÖZDEMİR

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2020

Anıl ÖZDEMİR tarafından hazırlanan "HASAR GÖRMÜŞ BOŞLUKLU PERDELERİN ONARILMA POTANSİYELİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yağmur KOPRAMAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……..

Başkan: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ……..

Üye: Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……...

Üye: Doç. Dr. Baki ÖZTÜRK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Hacettepe Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Tez Savunma Tarihi: 15/12/2020

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

...……

Prof. Dr. Cevriye GENCER

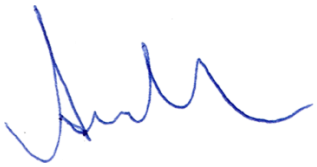
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.



Anıl ÖZDEMİR

15/12/2020

HASAR GÖRMÜŞ BOŞLUKLU PERDELERİN ONARILMA POTANSİYELİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

(Doktora Tezi)

Anıl ÖZDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2020

ÖZET

Taşıyıcı elemanlarda, çeşitli yükler altında gelişen gerilmeler sonucunda, farklı taşıyıcı eleman tasarım faktörlerine bağlı olarak birçok şekilde göçme oluşabilmektedir. Çatlak genişliği, kat öteleme oranı veya eleman kapasitesine bağlı olarak bu hasarlar hafif, orta veya ağır hasarlar başlıkları altında incelenmektedir. Bu çalışmada, hem çatlak boyutu hem de kalıcı deformasyon düzeyi bakımından ağır ve orta düzeyde hasar görmüş perde duvarlar üzerinde onarım potansiyeli incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında on iki adet perde duvar 1/1 gerçek ölçekte imal edilmiştir. Perde duvarların 4 adedi pencere, 4 adedi kapı boşluklu olacak şekilde üretilmiştir. Kalan 4 adedinde ise boşluk bulunmamaktadır. 6 adedi ağır ve 6 adedi ise orta düzeyde hasar gören toplam 12 deney elemanı, çelik şerit ve karbon fiber elyaf kumaş (CFRP) kullanılarak onarılmıştır. Yürütülen deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılarak, farklı boşluk oranı/şekle sahip ve ağır/orta hasar seviyesindeki perdeler üzerinde farklı onarım tekniklerinin, enerji tüketim kapasitesine, deplasman-süneklik oranına, yük-deplasman davranışlarına olan katkıları irdelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda ağır hasarlı boşluklu/boşluksuz perde duvarların çelik şerit ile ve orta hasarlı boşluklu/boşluksuz perde duvarların çelik şerit veya CFRP ile onarılması tavsiye edilmiştir.

Bilim Kodu : 91130
Anahtar Kelimeler : Boşluklu perde duvar, onarım, CFRP ve çelik şerit, deprem
Sayfa Adedi : 186
Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Yağmur KOPRAMAN

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE REPAIR POTENTIAL OF DAMAGED RC SHEAR WALLS WITH OPENINGS

(Ph. D. Thesis)

Anıl ÖZDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2020

ABSTRACT

Load bearing members, may fail due to high stress levels depending on the loading combinations they resist. However structural damage would also be a result of a flaw in the design process. Depending on the developed crack width, lateral drift ratio or member bearing capacity, such damage levels are assigned to members like lightly, moderate or heavily. The scope of the experimental research, were investigated the repair potential on heavily and moderate damaged shear walls. In this experimental study, twelve 1/1 full scale specimens were produced. Four of the shear walls have an opening look like a window and the other 4 members has door shaped opening and remaining four has no opening. 6 heavily and 6 moderately damaged total of 12 damaged shear walls were repaired by means of steel strip and carbon fiber reinforced polymer (CFRP). The outcomes of the study were discussed by examining the behavior of the shear wall due to the change of opening ratio/shape and damage levels moderate/heavily. In addition contributions energy consumption capacity, displacement-ductility ratios, load-displacement characteristics of different repair techniques on specimens were examined. As a result of the experimental study, it was recommended to repair heavily damaged shear walls with steel strip and moderately damaged shear walls with steel strip or CFRP.

Science Code	:	91130
Key Words	:	Shear wall with openings, repair, CFRP and steel strip, earthquake
Page Number	:	186
Supervisor	:	Assist. Prof. Dr. Yağmur KOPRAMAN

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında engin bilgisini ve enerjisini paylaşarak her zaman hedefimi yüksek tutmama yardımcı olan, bu zor süreç boyunca deneysel çalışmanın yürütülmesi sırasında maddi manevi her türlü desteği sağlayan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yağmur KOPRAMAN ve Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Özgür ANIL'a, hasarlı deney numunelerinin onarılmasında emekleri bulunan Arş. Gör. Ömer MERCİMEK, Öğr. Gör. Rahim GHOROUBİ, Furkan ARMAKAN'a ve Yapı Mekaniği Laboratuvarında bana yardımlarını esirgemeyen ismini sayamadığım lisans öğrencilerimize ve bütün dostlarıma en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Son olarak üzerimde büyük emekleri olan anneme, babama ve kardeşime, doktora süresince yoğun çalışmam sebebiyle aksattığım, desteğini ve sevgisini esirgemeyen eşim Oya ÖZDEMİR'e ve eve her geldiğimde gülücükleriyle yorgunluğumu unutturan biricik oğlum Anıl Arhan'a teşekkür ederim.

Bu tez, Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından 07/2019-03 numaralı araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Destekleri için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xv

SİMGELER VE KISALTMALAR xix

1. GİRİŞ 1

2. GEÇMİŞTE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR 7

3. DENEY ELEMANLARI VE DENEY DÜZENEĞİ 19

3.1. Deney Elemanları 19

3.1.1. Malzemeler 21

3.1.2. Deney elemanlarının üretimi 28

3.2. Hasarlı Deney Elemanlarının Onarımı 38

3.2.1. Deney elemanlarının CFRP ile onarımı 43

3.2.2. Deney elemanlarının çelik şerit ile onarımı 50

3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Test Ekipmanları ve Ölçüm Düzeneği 59

3.4. Yükleme Geçmişi 61

4. DENEY ELEMANLARININ DAVRANIŞI VE DENEY SONUÇLARI 65

4.1. REF-D Referans Boşluksuz Deney Elemanı 65

4.2. REF-P Referans Pencere Boşluklu Deney Elemanı 70

4.3. REF-K Referans Kapı Boşluklu Deney Elemanı 74

Sayfa

4.4. D-AH-K Deney Elemanı 79
4.5. P-AH-K Deney Elemanı 84
4.6. K-AH-K Deney Elemanı 89
4.7. D-AH-Ç Deney Elemanı 94
4.8. P-AH-Ç Deney Elemanı 99
4.9. K-AH-Ç Deney Elemanı 104
4.10. D-OH-K Deney Elemanı 110
4.11. P-OH-K Deney Elemanı 115
4.12. K-OH-K Deney Elemanı 120
4.13. D-OH-Ç Deney Elemanı 125
4.14. D-OH-Ç Deney Elemanı 130
4.15. D-OH-Ç Deney Elemanı 135
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 141
5.1. Dayanım ve Davranış 141
5.2. Süneklik 149
5.3. Rijitlik 153
5.4. Enerji Tüketimi 161
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 169
6.1. Sonuçlar 169
6.2. Öneriler 173
KAYNAKLAR 175
ÖZGEÇMİŞ 183

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Deney elemanlarının isimlendirmesi 20

Çizelge 3.2. Deneysel çalışma kapsamında onarılan 12 deney elemanına ait parametreler 21

Çizelge 3.3. Temin edilen betonun karakteristik özellikleri 21

Çizelge 3.4. Deney elemanlarının beton eksenel basınç dayanımı test sonuçları 23

Çizelge 3.5. Betonarme donatı çeliğinin eksenel çekme dayanımı test sonuçları 24

Çizelge 3.6. Yapısal tamir harcının mekanik özellikleri 25

Çizelge 3.7. Kullanılan yapısal tamir harcının eksenel basınç dayanımı test sonuçları 25

Çizelge 3.8. Kullanılan CFRP'nin fiziksel ve mekanik özellikleri 26

Çizelge 3.9. Kullanılan epoksi reçinenin mekanik özellikleri 26

Çizelge 3.10. Kullanılan çelik şeritlerin mekanik özellikleri 27

Çizelge 3.11. Çelik şerit ile onarımda kullanılan epoksi reçinenin mekanik özellikleri 27

Çizelge 4.1. REF-D çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 69

Çizelge 4.2. REF-P çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 74

Çizelge 4.3. REF-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 78

Çizelge 4.4. D-AH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 83

Çizelge 4.5. P-AH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 88

Çizelge 4.6. K-AH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 93

Çizelge 4.7. D-AH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 98

Çizelge 4.8. P-AH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 104

Çizelge 4.9. K-AH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 109

Çizelge 4.10. D-OH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 114

Çizelge 4.11. P-OH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 119

Çizelge 4.12. K-OH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 124

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 4.13. D-OH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 129

Çizelge 4.14. P-OH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 135

Çizelge 4.15. K-OH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri 140

Çizelge 5.1. Taşıma gücü kapasitesine karşılık gelen kat öteleme oranı değerleri..... 142

Çizelge 5.2. Deney elemanlarının süneklik oranları 151

Çizelge 5.3. Deney elemanlarının rijitlikleri..... 154

Çizelge 5.4. Deney elemanlarının birikimli enerji tüketim kapasiteleri 162

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Yapı elemanına uygulanan güçlendirme ve onarımın performans üzerindeki etkisi 3

Şekil 3.1. Boşluksuz betonarme perde duvar deney elemanlarının kalıp planı 31

Şekil 3.2. Pencere boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının kalıp planı ... 31

Şekil 3.3. Kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının kalıp planı 32

Şekil 3.4. Boşluksuz betonarme perde duvar deney elemanlarının donatı planı 34

Şekil 3.5. Pencere boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının donatı planı . 35

Şekil 3.6. Kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının donatı planı 36

Şekil 3.7. Hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarların CFRP onarım detayı..... 44

Şekil 3.8. Hasarlı pencere boşluklu betonarme perde duvarların CFRP onarım detayı . 45

Şekil 3.9. Hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarların CFRP onarım detayı..... 46

Şekil 3.10. Kullanılan fan tipi ankrajlara ait detaylar 47

Şekil 3.11. Hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarların çelik şerit onarım detayı..... 51

Şekil 3.12. Hasarlı pencere boşluklu betonarme perde duvarların çelik şerit onarım detayı..... 52

Şekil 3.13. Hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarların çelik şerit onarım detayı..... 53

Şekil 3.14. Kullanılan çelik ankrajlara ait detaylar..... 55

Şekil 3.15. Deney düzeneği 60

Şekil 3.16. LVDT ve birim-deformasyon ölçerlerin yerleşimleri ile ölçüm düzeneği ... 61

Şekil 3.17. Deney elemanlarına uygulanan yatay yükleme geçmişi..... 62

Şekil 4.1. REF-D deney elemanına ait yük-deplasman grafiği..... 68

Şekil 4.2. REF-D deney elemanı zarf eğrisi 68

Şekil 4.3. REF-D deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği..... 69

Şekil 4.4. REF-P deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 72

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. REF-P deney elemanı zarf eğrisi 73

Şekil 4.6. REF-P deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği..... 73

Şekil 4.7. REF-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği..... 77

Şekil 4.8. REF-K deney elemanı zarf eğrisi 77

Şekil 4.9. REF-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği..... 78

Şekil 4.10. D-AH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 82

Şekil 4.11. D-AH-K deney elemanı zarf eğrisi..... 82

Şekil 4.12. D-AH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 83

Şekil 4.13. P-AH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği..... 87

Şekil 4.14. P-AH-K deney elemanı zarf eğrisi 87

Şekil 4.15. P-AH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği... 88

Şekil 4.16. K-AH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 92

Şekil 4.17. K-AH-K deney elemanı zarf eğrisi..... 92

Şekil 4.18. K-AH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 93

Şekil 4.19. D-AH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 97

Şekil 4.20. D-AH-Ç deney elemanı zarf eğrisi..... 97

Şekil 4.21. D-AH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 98

Şekil 4.22. P-AH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği..... 102

Şekil 4.23. P-AH-Ç deney elemanı zarf eğrisi..... 103

Şekil 4.24. P-AH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği... 103

Şekil 4.25. K-AH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 108

Şekil 4.26. K-AH-Ç deney elemanı zarf eğrisi..... 108

Şekil 4.27. K-AH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 109

Şekil 4.28. D-OH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği..... 113

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.29. D-OH-K deney elemanı zarf eğrisi 113

Şekil 4.30. D-OH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 114

Şekil 4.31. P-OH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 118

Şekil 4.32. P-OH-K deney elemanı zarf eğrisi 118

Şekil 4.33. P-OH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği ... 119

Şekil 4.34. K-OH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 123

Şekil 4.35. K-OH-K deney elemanı zarf eğrisi 123

Şekil 4.36. K-OH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 124

Şekil 4.37. D-OH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 128

Şekil 4.38. D-OH-Ç deney elemanı zarf eğrisi 128

Şekil 4.39. D-OH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 129

Şekil 4.40. P-OH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 133

Şekil 4.41. P-OH-Ç deney elemanı zarf eğrisi 134

Şekil 4.42. P-OH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği ... 134

Şekil 4.43. K-OH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 139

Şekil 4.44. K-OH-Ç deney elemanı zarf eğrisi 139

Şekil 4.45. K-OH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği .. 140

Şekil 5.1. REF-D, D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç'ye ait zarf eğrileri..... 143

Şekil 5.2. REF-P, P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç'ye ait zarf eğrileri 145

Şekil 5.3. REF-K, K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç'ye ait zarf eğrileri..... 147

Şekil 5.4. Onarılan betonarme perde duvar deney elemanların göçme biçimleri 149

Şekil 5.5. İdealleştirilmiş zarf eğrisi ve kullanılan parametreler 150

Şekil 5.6. Boşluksuz deney elemanların kat öteleme oranına göre rijitlik değişimi..... 155

Şekil 5.7. Pencere boşluklu deney elemanların kat öteleme oranına göre rijitlik değişimi 157

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.8. Kapı boşluklu deney elemanların kat öteleme oranına göre rijitlik değişimi. 158

Şekil 5.9. Enerji tüketim hesabı yapılan çevrimlerdeki alanlar 161

Şekil 5.10. Boşluksuz elemanların birikimli enerji tüketimi-kat öteleme oranı grafiği.. 163

Şekil 5.11. Pencere boşluklu elemanların birikimli enerji tüketimi-kat öteleme oranı grafiği..... 164

Şekil 5.12. Kapı boşluklu elemanların birikimli enerji tüketimi-kat öteleme oranı grafiği..... 166

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Betonarme perde duvar gövdesinde görülen hasar şekilleri..... 7

Resim 2.2. Betonarme perde duvarların maksimum moment bölgesinde görülen hasarlar 8

Resim 3.1. Test öncesi ve sonrası beton standart küp numuneler..... 22

Resim 3.2. Test öncesi ve sonrası yapısal tamir harcı standart küp numuneleri 25

Resim 3.3. Kalıp imalatı ve montajı..... 33

Resim 3.4. Tamamlanmış kalıp imalatları 33

Resim 3.5. Donatıların hazırlanması ve imalatı..... 36

Resim 3.6. Tamamlanmış donatı imalatları 37

Resim 3.7. Deney elemanlarının beton dökümü..... 37

Resim 3.8. Beton dökümü tamamlanan deney elemanları..... 38

Resim 3.9. Ağır hasarlı boşluksuz perde duvarların hasarlı kesitlerinin temizlenmesi.. 40

Resim 3.10. Ağır hasarlı boşluklu perde duvarların hasarlı kesitlerinin temizlenmesi.. 40

Resim 3.11. Donatı ankrajlarının yapılması ve kopan boyuna donatıların kaynaklanması..... 41

Resim 3.12. Yapısal tamir harcı ile boşluklu perde duvarların tamiratının tamamlanması..... 41

Resim 3.13. Yapısal tamir harcı ile boşluksuz perde duvarların tamiratının tamamlanması..... 42

Resim 3.14. Beton yüzeyinin temizlenmesi ve CFRP şeritlerin yerlerinin işaretlenmesi 48

Resim 3.15. Ankraj deliklerinin açılması ve epoksi reçine uygulaması 49

Resim 3.16. Düşey ve yatay CFRP şeritlerin beton yüzeye epoksi reçine ile yapıştırılması..... 49

Resim 3.17. Fan tipi CFRP ankrajların perde gövdesine ve temel kirişine yerleştirilmesi..... 50

Resim **Sayfa**

Resim 3.18. Düşey çelik şeritlerin geçtiği bölgelerdeki 4 mm beton katmanının kazınması 57

Resim 3.19. Epoksi reçine uygulaması ve 2 mm çapında çelik bilyelerin kullanımı 57

Resim 3.20. Düşey çelik şeritlerin beton yüzeye epoksi reçine ile yapıştırılması 58

Resim 3.21. Çelik şeritlerin işkence ve çelik ankrajlar ile sıkılması 58

Resim 3.22. Temel kirişindeki çelik ankrajların sıkılması ve nokta kaynak yapılması . 59

Resim 4.1. Deney sonrası REF-D deney elemanının görünümü 66

Resim 4.2. REF-D deney elemanı maksimum moment bölgesindeki hasarlar 67

Resim 4.3. REF-D deney elemanı eğilme çatlakları ve donatının burkulması 67

Resim 4.4. Deney sonrası REF-P deney elemanının görünümü 71

Resim 4.5. Pencere boşluğu sol ve sağ alt köşelerde oluşan 45° eğimli kesme çatlakları 72

Resim 4.6. Deney sonrası REF-K deney elemanının görünümü 76

Resim 4.7. REF-K deney elemanı maksimum moment bölgesindeki hasarlar 76

Resim 4.8. Deney sonrası D-AH-K deney elemanının görünümü 80

Resim 4.9. D-AH-K deney elemanı sol dış kenarındaki boyuna donatıların kopması ... 81

Resim 4.10. D-AH-K deney elemanı perde gövdesinde oluşan hasarlar 80

Resim 4.11. Deney sonrası P-AH-K deney elemanının görünümü 85

Resim 4.12. P-AH-K deney elemanı perde sol ve sağ dış kenarlarında oluşan hasarlar 86

Resim 4.13. P-AH-K deney elemanı pencere alt ve üst iç köşelerinde oluşan hasarlar . 86

Resim 4.14. Deney sonrası K-AH-K deney elemanının görünümü 90

Resim 4.15. K-AH-K elemanın sağ dış kenarında ve temel kirişi üzerinde oluşan hasarlar 89

Resim 4.16. K-AH-K deney elemanı kapı alt ve üst iç köşelerinde oluşan hasarlar 91

Resim 4.17. Deney sonrası D-AH-Ç deney elemanının görünümü 95

Resim **Sayfa**

Resim 4.18. D-AH-Ç deney elemanı ankrajların sıyrılması ve çelik şeritlerin ayrılması 96

Resim 4.19. D-AH-Ç deney elemanı yatay şeritlerin ayrılması ve kaynakların kopması 96

Resim 4.20. Deney sonrası P-AH-Ç deney elemanının görünümü..... 100

Resim 4.21. Pencere boşluğu kenarındaki çelik şeritlerin ve boyuna donatının burkulması..... 101

Resim 4.22. P-AH-Ç deney elemanı düşey ve yatay şeritlerin ayrılması 102

Resim 4.23. Deney sonrası K-AH-Ç deney elemanının görünümü..... 106

Resim 4.24. K-AH-Ç deney elemanı kapı boşluğu üst köşelerinde oluşan hasarlar 107

Resim 4.25. Deney elemanı en alt yatay çelik şeritin kopması ve ankrajların sıyrılması 105

Resim 4.26. Deney sonrası D-OH-K deney elemanının görünümü..... 111

Resim 4.27. Deney elemanı sol kenardan ilk üç sıradaki boyuna donatıların kopması . 112

Resim 4.28. D-OH-K elemanın temel kirişi perde duvar birleşimi üzerinde kayması... 112

Resim 4.29. Deney sonrası P-OH-K deney elemanının görünümü 116

Resim 4.30. P-OH-K deney elemanı maksimum moment bölgesinde oluşan hasarlar.. 117

Resim 4.31. Deney elemanı pencere üst köşelerindeki düşey CFRP şeritin kopması..... 117

Resim 4.32. Deney sonrası K-OH-K deney elemanının görünümü..... 121

Resim 4.33. Deney elemanının temel kirişi birleşim bölgesinden tamamen kopması... 122

Resim 4.34. P-OH-K deney elemanı kapı alt ve üst iç köşelerinde oluşan hasarlar..... 122

Resim 4.35. Deney sonrası D-OH-Ç deney elemanının görünümü..... 126

Resim 4.36. Deney elemanı perde gövdesi düşey ve yatay çelik şeritlerin ayrılması.... 127

Resim 4.37. D-OH-Ç en alt yatay çelik şeritin kopması ve ankrajların sıyrılması..... 127

Resim 4.38. Deney sonrası P-OH-Ç deney elemanının görünümü..... 131

Resim 4.39. P-OH-Ç pencere boşluğu alt ve üst iç köşelerinde oluşan kesme çatlakları 132

Resim **Sayfa**

Resim 4.40. P-OH-Ç düşey şeritlerin burkulması ve ankrajların sıyrılması 133

Resim 4.41. Deney sonrası K-OH-Ç deney elemanının görünümü 137

Resim 4.42. K-OH-Ç deney elemanı kapı boşluğu üst köşelerinde oluşan hasarlar 138

Resim 4.43. K-OH-Ç Yatay çelik şeritin kuşaklarının açılması ve ankrajların sıyrılması 138

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A_{Sh}	Yatay donatı toplam kesit alanı
A_{St}	Eğilme için gereken toplam yatay donatı kesit alanı
A_{Sv}	Düşey donatı toplam kesit alanı
b_f	Betonarme temel kirişi genişliği
b_w	Betonarme perde duvar genişliği
c	Betonarme kesitte tarafsız eksen
d	Eğilmede faydalı derinlik
E_c	Birikimli enerji tüketimi
$E_{c\ CFRP\ onarım}$	CFRP onarımlı deney elemanına ait birikimli enerji tüketimi
$E_{c\ çelik\ onarım}$	Çelik onarımlı deney elemanına ait birikimli enerji tüketimi
$E_{c\ onarım}$	Onarılan deney elemanına ait birikimli enerji tüketimi
$E_{c\ referans}$	Referans deney elemanına ait birikimli enerji tüketimi
f_c	Standart silindir beton basınç dayanımı
$f_{c\ küp}$	Küp beton basınç dayanımı
f_c'	Ortalama standart silindir beton basınç dayanımı
f_{ctd}	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
f_R	Standart silindir tamir harcı basınç dayanımı
$f_{R\ küp}$	Küp tamir harcı basınç dayanımı
f_{su}	Çeliğin çekme dayanımı
f_{sy}	Çeliğin akma dayanımı
f_{ywd}	Yatay donatı tasarım akma dayanımı
H'	Kat ötelemesi ölçümü ile temel kirişi üst yüzeyi arası uzaklık
h_f	Betonarme temel kirişi yüksekliği
h_w	Betonarme perde duvar yüksekliği
K	Kelvin
$K_{onarım}$	Onarılan deney elemanın rijitliği
$K_{referans}$	Referans deney elemanın rijitliği

Simgeler	Açıklamalar
kJ	KiloJoule
kN	KiloNewton
kNm	KiloNewtonmetre
L_f	Betonarme temel kirişi uzunluğu
l_w	Betonarme perde duvar uzunluğu
M_n	Kesitin eğilme dayanımı kapasitesi
MPa	MegaPascal
Mw	Moment büyüklüğü
m	Metre
m^2	Metrekare
mm	Milimetre
mm^2	Milimetrekare
mm^3	Milimetreküp
N	Newton
N_D	Uygulanan eksenel kuvvet değeri
N_u	Faktörel eksenel kuvvet değeri
S_l	Düşey donatı aralığı
$S_{l\ max}$	Maksimum düşey donatı aralığı
S_t	Yatay donatı aralığı
$S_{t\ max}$	Maksimum yatay donatı aralığı
sn	Saniye
V_n	Kesitin kesme kapasitesi
V_n'	Moment kapasitesi hesabına göre hesaplanan kesme kuvveti
V_c	Kesme dayanımına beton katkısı
V_{cr}	Kesitin kesmede çatlama dayanımı
V_{max}	Taşıma gücünde %15'lik düşüşe karşılık gelen yük
V_s	Kesme dayanımına donatı katkısı
V_u	Taşıma gücü kapasitesi
$V_{u\ onarım}$	Onarılan deney elemanın taşıma gücü kapasitesi
$V_{u\ referans}$	Referans deney elemanın taşıma gücü kapasitesi
V_y	Akmanın yaşandığı yük
Δ_a	İzin verilebilir kat ötelemesi

Simgeler	Açıklamalar
Δ_{max}	Taşıma gücünde %15'lik düşüşe karşılık gelen deplasman
Δ_u	Taşıma gücü kapasitesine karşılık gelen deplasman
Δ_y	Akmanın yaşandığı deplasman
μ	Süneklik oranı
ρ_l	Düşey donatı oranı
$\rho_{l\ max}$	Maksimum düşey donatı oranı
ρ_t	Yatay donatı oranı
$\rho_{t\ max}$	Maksimum yatay donatı oranı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ACI	American Concrete Institute
AFRP	Aramid Fiber Elyaf Kumaş
ASTM	American Society for Testing and Materials
ATC	Applied Technology Council
CFRP	Karbon Fiber Elyaf Kumaş
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
FRP	Fiber Elyaf Kumaş
GFRP	Cam Fiber Elyaf Kumaş
LVDT	Lineer Deplasman Ölçer
SG	Birim Deformasyon Ölçer
SLS	Hizmet Verebilirlik Sınır Durumu
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu

1. GİRİŞ

Son yüzyılda, rapor edilen doğal felaketlerin sayısı hızlı bir şekilde artmaktadır. Dünya nüfusunun yaklaşık yüzde 25'i doğal felaketlerin oluşabileceği riskli bölgeler altında yaşamaktadır [1]. Buna ek olarak dünya da her gün yaklaşık 180.000 insan büyük yerleşim yerlerine taşınmaktadır. Şehir nüfusları, şehir altyapısının oluşturulmasından daha hızlı büyümektedir. Bu sebeple yerleşim yerlerine taşınan bu insanlar genellikle altyapı, kamu hizmetleri ve barınma eksiklikleriyle karşılaşmakta ve güvensiz yerlerde yaşamını sürdürmeye çalışmaktadır [2].

Ülkemizde 1950'li yıllardan itibaren büyükşehirlere göçün arttığı, bu nedenle yasadışı ve plansız yerleşimler, yapısal ve fonksiyonel olarak tehlikeli olarak inşaa edilmiştir. Örneğin ülkemizin en büyük nüfusuna ve sanayisine ev sahipliği yapan İstanbul'daki yapıların %40'ından fazlası plansız [3] ve yapı stokunun sadece %7'si yürürlükte olan deprem yönetmeliklerine uygun olarak inşaa edilmiştir [4]. Önemli miktarda yapı stokumuzun bulunduğu İstanbul da 2030 yılına kadar Mw>7.0 büyüklüğünde bir depremin olma olasılığı araştırmacılar tarafından %44±18 olarak hesaplanmaktadır [5,6]. Son yıllarda kentsel dönüşümün başlamasına rağmen halen riskli yapıların çoğunlukta olduğu görülmektedir [7]. Şubat 2019 tarihinde Kartal da 1992 yılında inşaa edilen 9 katlı bir bina çökmüş ve 21 kişi hayatını kaybetmiştir. Eylül 2019 tarihinde İstanbul da 5.7 Mw büyüklüğünde deprem meydana gelmiş [8] ve 320 bağımsız bölüm, 9 okul binası, 1 hastane idari binası ve 3 cami ağır hasar görmüştür. Ocak 2020 tarihinde Elazığ da 6.5 Mw büyüklüğünde deprem meydana gelmiş [9] ve 41 kişi hayatını kaybetmiş, 6.845 bina ağır hasara ve 1.207 bina orta hasara uğramıştır. Şubat 2020 tarihinde Bahçelievler de 1991 yılında inşaa edilen 7 katlı bir bina çökmüştür. Ekim 2020 tarihinde merkez üssü Yunanistan'ın Sisam Adası açıklarında 6.9 Mw büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Depremin meydana gelmesiyle ülkemizde; 116 kişi hayatını kaybetmiş ve 1.034 kişi yaralanmış, 384 yapı ağır hasarlı/yıkık, 483 yapı orta ve 4.187 yapı az hasarlı olarak tespit edilmiştir.

1999 Gölcük depremiyle ülkemizde yapıların ve yapı elemanlarının deprem performanslarını araştıran çalışmaların sayısı artmış [10] ve 2007 yılında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007) [11] yayınlanmıştır. Böylece yapı stokumuza katılacak yeni yapıların depreme dayanıklılığı ve kalitesi artırılmış, toplumda ise yapılan çalışmalar ile deprem bilinci oluşturulmuştur. 2018

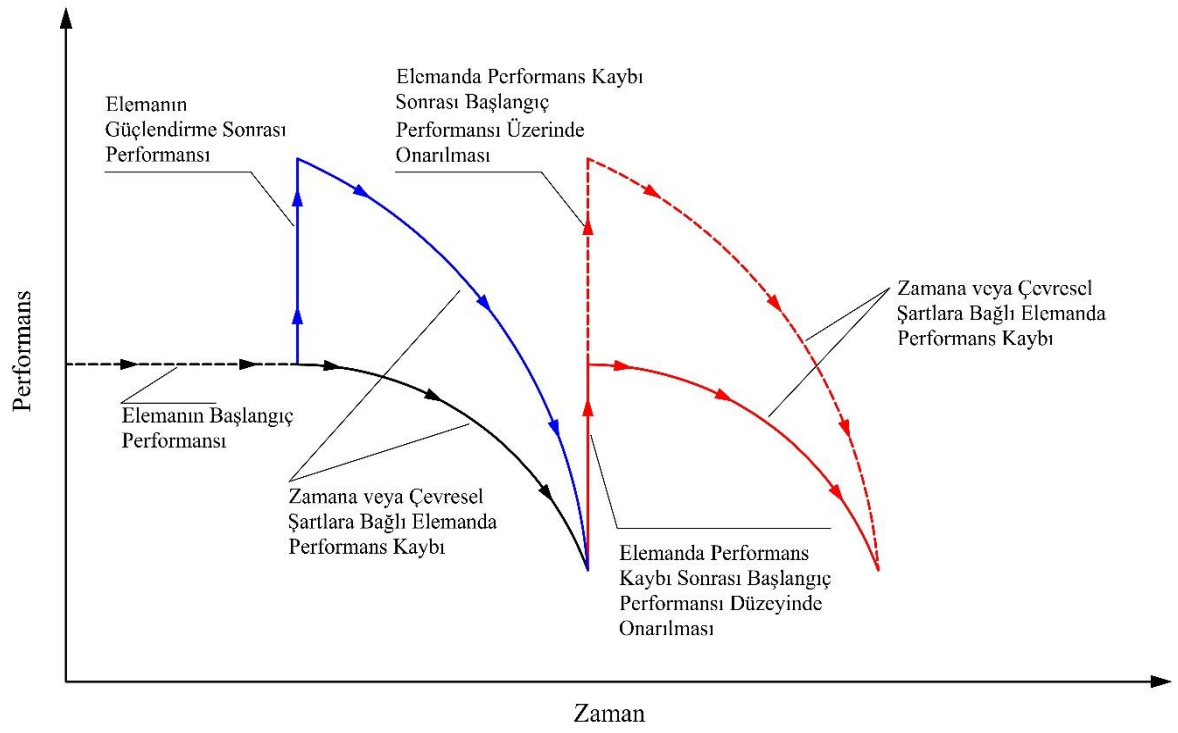
yılında Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve hesaplama yöntemlerinde değişikliğe gidilerek Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) [12] yayınlanmıştır. Mevcut yapıların deprem güvenliğinin incelenmesi ve gerekli olanların güçlendirilmesi/onarılması için uygulanacak hesap yöntemleri TBDY 2018'in on beşinci bölümünde belirtilmiştir. Yönetmelikte, yapının kullanım amacına bağlı olarak, farklı deprem düzeyleri için sağlanması gereken minimum performans hedefleri de öngörülmektedir. TBDY 2018 de belirtilen bu hedefler ve tasarım ilkeleri boşluksuz betonarme perde duvarlar için verilmiştir. Ancak daha karmaşık bir davranış sergileyen boşluklu betonarme perde duvarlar için herhangi bir hesap yöntemi verilmemiştir. Buna ek olarak betonarme perde duvarların kesme kapasitesinin artırılması için sismik tasarım alanında daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Betonarme perde duvar, yapıya yatay rijitlik ve dayanım sağlayan taşıyıcı bir elemandır. Betonarme perde duvarlar yatay yükleri etkin bir biçimde karşıladıkları için çerçeve türü yapılar yerine, yaygın olarak karma taşıyıcı sisteme sahip yapıların inşaa edilmesi güncel deprem yönetmeliğimiz tarafından tavsiye edilmektedir. Şiddetli sismik etki altında, betonarme yapıdaki perde duvarlar yapıya etkiyen yatay yüklerin büyük kısmını üstlenmekte ve geri kalan küçük orandaki yatay yükün yapıdaki diğer taşıyıcılara aktarılmasını sağlamaktadır. Böylece, göreli kat ötelemeleri ve yanal yer değiştirmeler azaltılabilmektedir. Deprem sonrası yapılan saha incelemelerinde; taşıyıcı sistemi sadece kolon ve kirişlerden oluşan çerçevelerin çoğunlukla daha ileri bir taşıyıcı sistem hasarı gördüğü, uygun perde duvar yerleşimine sahip betonarme yapılarda ise genellikle toptan göçmenin önlendiği, perde duvar bulunan yapılardaki hasarların sadece çerçeveli yapılara göre çok daha az seviyede kaldığı bilinmektedir. İlkesel olarak, deprem performansının yetersiz olduğu anlaşılan yapıların, ağır hasar almasının veya toptan göçmesinin engellenmesi, ancak yapı taşıyıcı sistemine yeterli enerji tüketimi imkanı ve yatay dayanımın sağlanması sonucunda mümkün olabilmektedir. Gerekli olan yeteneklerin yapı taşıyıcı sistemine kazandırılması için yapılacak her türlü çalışma, yapısal iyileştirme başlığı altında ulusal ve uluslararası literatürde modern deneysel çalışmaların konusu olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, boşluklu betonarme perde elemanlarda, farklı boşluk oranı/şeklin düzlem içi eleman davranışı üzerine etkileri ve boşluklu perde elemanların hasar durumuna bağlı olarak farklı yöntemlerle onarılma potansiyeli incelenmiştir. Bu konu hakkındaki bilgi birikiminin eksikliği bir sonraki konuda irdelenecek olan önceki yapılan çalışmalar başlığı altında aktarılacaktır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler ışığında farklı hasar

düzeyleri ve boşluk oranı/şekle sahip betonarme perde duvarların onarım performansı irdelenecektir.

Çalışmanın amacı

Güçlendirmedeki amaç; taşıyıcı elemanlarda yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik gibi özellikleri artırmak suretiyle iyileştirme yaparak, yapının deprem performansını yürürlükteki deprem yönetmeliğinin belirlediği düzeye ya da daha üzerine çıkarmak ve bu sayede toptan göçmesini ve hasar almasını engellemektir. Onarımdaki amaç ise zamana veya çevresel şartlara bağlı olarak hasar almış; fakat tamamen tükenmemiş yapı elemanlarını başlangıç performansı düzeyine ya da daha üzerine çıkarmak amaçlanmaktadır. Yapı elemanına uygulanan güçlendirme ve onarımın performans üzerindeki etkisi Şekil 1.1'de verilmiştir. Literatürde, güçlendirme çalışmalarının yoğun olarak çalışıldığı ancak gerçek ölçekli elemanların onarımı hakkında az sayıda deneysel çalışma olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, hem çatlak boyutu hem de kalıcı deformasyon düzeyi bakımından ağır ve orta düzeyde hasar görmüş perde duvarlar üzerinde onarım potansiyelinin incelenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.1. Yapı elemanına uygulanan güçlendirme ve onarımın performans üzerindeki etkisi

Eleman bazlı onarım çalışmalarında uygulanan tekniklerin oluşturacağı mimari değişiklikler ve gereken imalat süresi diğer yapısal iyileştirme teknikleri ile kıyaslandığında daha kullanıcı dostu olduğu bilinmektedir [13]. Betonarme perde duvarların deprem performansı birçok tasarım ve imalat kusuruna bağlı olarak değişim göstermektedir. Ülkemizde yaygın olarak karşılaşılan kusurlar; vasıfsız işçilik, yetersiz donatı detayı, zamana ve çevresel şartlara bağlı oluşan hasarlar ve kalitesiz malzeme olarak sıralanmaktadır. Betonarme perde duvarlarda görülen bu kusurların iyileştirilmesi için birçok onarım tekniği geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden CFRP ve çelik şeritler ile onarım tekniği tez çalışması kapsamında seçilmiştir.

Karbon lifli malzemeler ile onarım tekniğinde, lif tipine göre üç başlık altında onarım yapılmaktadır. Genel olarak bu başlıklar; karbon lifli polimer (CFRP), cam lifli polimer (GFRP) ve Aramid lifli polimer (AFRP) olarak sıralanmaktadır. Farklı mekanik özelliklere sahip bu malzemeler arasında yaygın olarak onarım çalışmalarında CFRP malzemesi kullanılmaktadır. CFRP malzemeler ilk olarak havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaya başlasa da 1990'lı yıllardan itibaren yapıların güçlendirme ve onarımında kullanılmaya başlanmıştır. CFRP malzemesinin uygulama kolaylığı ve yapı elemanının estetikliğini bozmamasının yanı sıra liflerin dizilim yönlerini ve yoğunluğunun ihtiyaca göre ayarlanması, hafifliği, yüksek mukavemeti ve çevresel şartlara karşı direnci yüksek olmasından dolayı tercih edilmektedir.

Çalışma kapsamında tercih edilen çelik şeritler ile onarım tekniği; şeritlerin birbirine kaynaklanması ve çelik şeritler ile beton arasındaki aderans artırıcı yapıştırıcının kullanılması ile bu yöntem yapı elemanlarının eğilme, kesme ve eksenel yük kapasitesine katkıda bulunmaktadır. Boşluklu betonarme perde duvar elemanlarının farklı teknikler aracılığıyla ne şekilde ve ne ölçüde onarılabildiği tam olarak bilinmemektedir. Konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışma olsa da bu çalışmaların içerdikleri numune sayısı ve deney parametrelerinin artırılması gerekmektedir.

Deneysel program kapsamında,

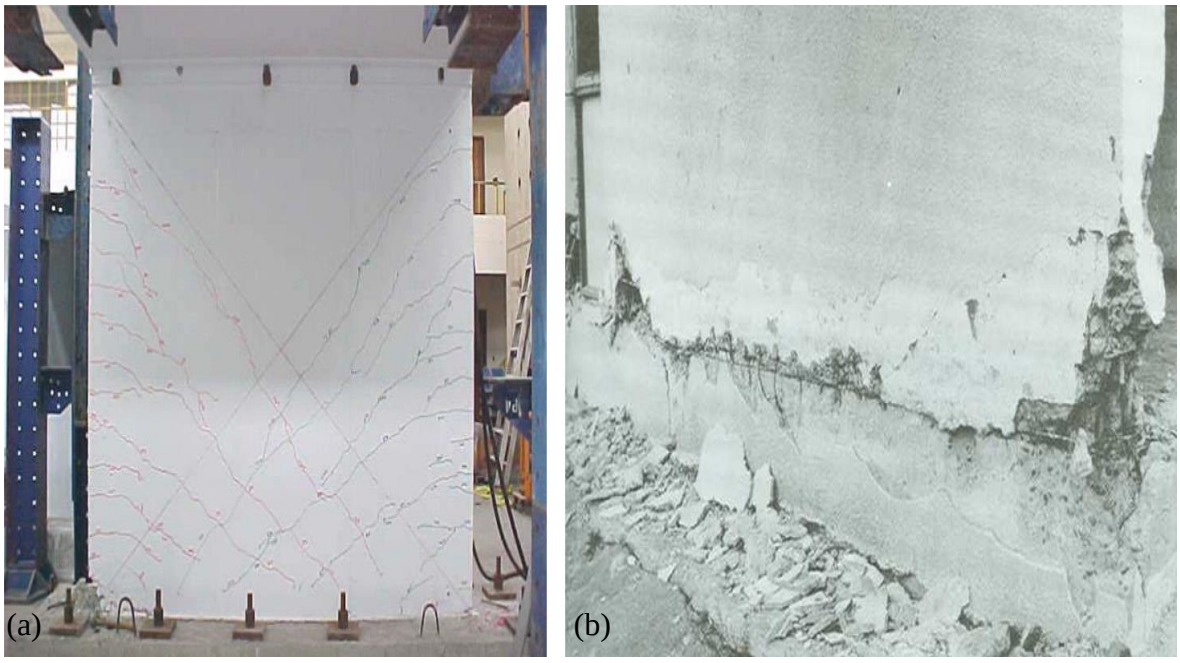
- Ağır hasarlı deney elemanları
  - Çelik ve CFRP şeritler ile onarım
  - Boşluksuz perde duvar

  - Pencere boşluklu perde duvar
  - Kapı boşluklu perde duvar
- Orta hasarlı deney elemanları
  - Çelik ve CFRP şeritler ile onarım
  - Boşluksuz perde duvar
  - Pencere boşluklu perde duvar
  - Kapı boşluklu perde duvar

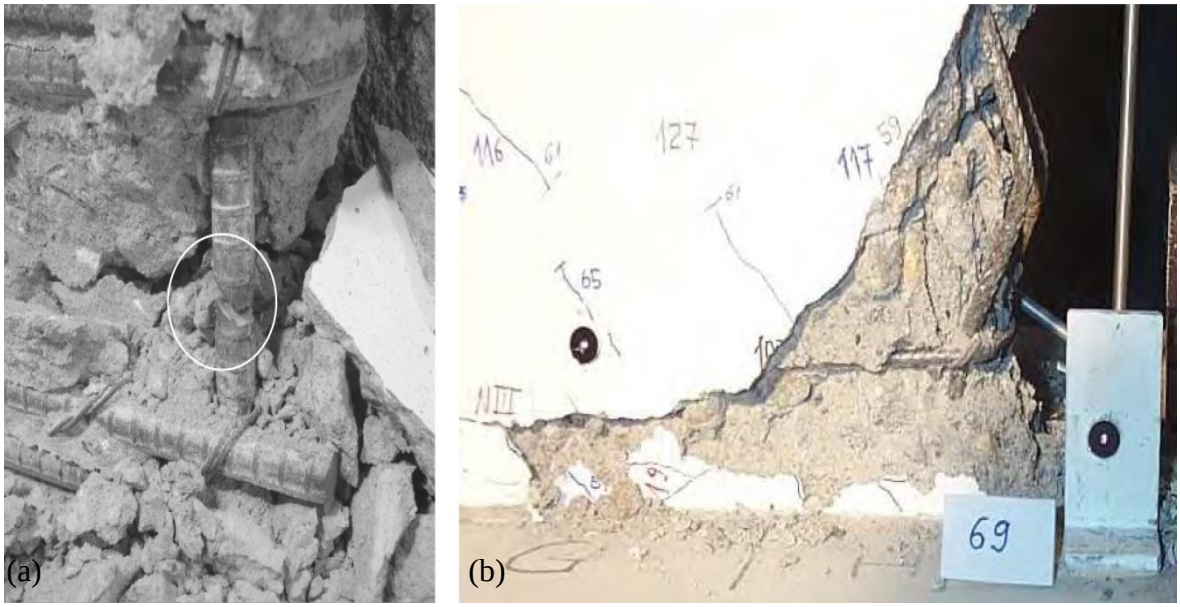
başlıkları altında listelenebilecek, üç deneysel değişkenin incelendiği toplam 12 deney elemanı test edilmiştir. Perde duvarların 4 adedi pencere, 4 adedi kapı boşluklu olacak şekilde üretilmiştir. Kalan 4 adedinde ise boşluk bulunmamaktadır. 6 adedi ağır ve 6 adedi ise orta düzeyde hasar gören toplam 12 deney elemanı, çelik ve CFRP şeritler kullanılarak onarılmıştır. Yürütülen deneysel çalışmanın tüm aşamaları Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiş olup, farklı boşluk oranı/şekle sahip ve ağır/orta hasar seviyesindeki kesme dayanımı yetersiz perdeler üzerinde farklı onarım tekniklerinin, enerji tüketim kapasitesine, deplasman-süneklik oranına, yük-deplasman davranışlarına olan katkılarının incelenmesi amaçlanmıştır.

2. GEÇMİŞTE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Deprem esnasında yapının salınımıyla yapı üzerinde ortaya çıkan enerjinin perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlar ile tüketilmesi gerekmektedir. Bu enerji tüketimi sonucunda betonarme perde duvarlarda hasar meydana gelmektedir. Betonarme perde duvarlarda bırakılan ya da mimari sebeplerle açılan boşlukların maksimum yük taşıma kapasitesini düşürdüğü deneysel çalışmalar ile raporlanmıştır [14]. Yapılan literatür araştırmasında perde duvarlarda hasar şekilleri; betonarme perde duvar gövdesinde oluşan çapraz kesme ve çekme çatlakları, betonarme perde duvarın temel kirişinden sıyrılarak kayması, betonarme perde duvarın temel kirişi ile birleşim bölgesindeki köşelerde betonun ezilmesi, betonarme perde duvar gövdesindeki boyuna donatıların akması/kopması ve betonarme perde duvar uç köşelerindeki boyuna donatılarda burkulma meydana gelmesi olarak sıralanmaktadır [15, 16]. Belirtilen bu hasar tiplerinden en çok karşılaşılanlar Resim 2.1-2.2'de verilmiştir.



Resim 2.1. Betonarme perde duvar gövdesinde görülen hasar şekilleri (a) Perde gövdesinde oluşan diyagonal kesme çatlakları [17] (b) Perde gövdesinin temel kirişinden kesilerek kayması [18]



Resim 2.2. Betonarme perde duvarların maksimum moment bölgesinde görülen hasarlar (a) Perde gövdesindeki boyuna donatının kopması [19] (b) Perde uç köşelerindeki boyuna donatıların burkulması [20]

Hasarlı betonarme elemanların sismik davranışını iyileştirmek için, elemanın dış yüzeyine mekanik veya kimyasal olarak birleştirilen, çelik levha ve karbon fiber elyaf kumaş (CFRP) gibi malzemeler ile onarım etkili bir teknik olarak kullanılmaktadır [21-23]. Ancak boşluklu betonarme perde duvar elemanının bu teknik ile onarımı sırasında uygulanacak ankraj ve şerit detayları gibi tasarım detaylarıyla birlikte uygulama sonucunda ne ölçüde kazanım sağlandığı tam olarak bilinmemektedir. Konuyla ilgili sınırlı sayıda çalışmalar olsa da bu çalışmaların içerdikleri numune sayısı ve deney parametrelerinin artırılması gerekmektedir. Bu araştırmalar sadece sistemin toplam performansını belirlemeye yönelik araştırmalardır. Diğer bir deyişle, yeterli sayıda ve tüm parametreleri içeren; sistemin çalışma mekanizmasının tespit edildiği bir çalışma literatürde bulunmamaktadır. Bu bölüm içerisinde konu ile ilgili esas teşkil eden deneysel/analitik çalışmalar kronolojik olarak özetlenmiştir.

Duvarların kesme dayanımının araştırılması için yapılan güçlendirilme üzerine ilk çalışma 1988 yılında Sharpe ve Ugrte tarafından yapılmıştır [24]. Bu çalışmada, 8 katlı bir binanın asansör şaftının duvarları çelik plakalar eklenerek güçlendirilmiştir. Uygulama esnasında 12,7 mm ve 16,0 mm kalınlığında çelik plakalar kullanılmıştır. Çelik plakalar civatalar ile beton yüzeye sabitlenmiş ve beton yüzey ile çelik plakaların arasına epoksi enjeksiyonu yapılmıştır. Çalışma sonucunda literatürde bu konuda çalışmalara ihtiyaç olduğu, yapılan

uygulama sonrası yapının bir miktar hasar alsa da büyük ölçekli bir depreme dayanıklı olacağını belirtmişlerdir.

Sahep ve Desayi (1990) deneysel çalışmalarında toplam 12 adet, tek/çift kapı boşluk, tek/çift pencere boşluk bulunan 600 mm yüksekliğinde, 900 mm uzunluğunda ve 50 mm genişliğinde betonarme perde duvar üretmişlerdir. Üretilen deney numunelerine tek ve çift doğrultuda yüklemeler uygulanmıştır. Bu iki yüklemenin yol açtığı yatay deformasyon, çatlak oluşumu ve maksimum yük taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarında göçme yükü, çift doğrultulu yüklemenin tek doğrultu yüklemeye göre daha yüksek seviyelerde oluştuğunu ancak maksimum yük taşıma kapasitelerinin birbirlerine oldukça yakın olduğunu tespit etmişlerdir [25].

Elnashai ve Salarna (1992), duvar bölümüne farklı kombinasyonlarda çelik plakalar ile güçlendirme yönteminin kesme dayanımına olan etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışma kapsamında, önceden belirlenmiş aralıklarla yanal çelik plakalar duvara bağlanmış ve beton çelik yüzey arasına epoksi enjeksiyonu uygulanmıştır. Deney elemanları 1/2,5 geometrik ölçeklerinde 1200 mm yüksekliğinde, 600 mm uzunluğunda ve 60 mm genişliğinde üretilmiştir. Deney elemanları tekrarlı yüklemeye maruz bırakılmış ve her yükleme iki kere uygulanmıştır. Deney elemanlarına ilk aşamada hasar verilmiş ve daha sonra onarımı yapılmıştır. Bu çalışma ile duvarın kesmeden ziyade eğilmeden dolayı göçme mekanizmasının oluştuğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, duvarlara güçlendirme amaçlı yanal çelik plakaların bağlanmasını tavsiye etmişlerdir [26]. Betonarme perde, kolon ve kirişlerin epoksi reçine kullanılarak çelik şerit ile güçlendirilmesi, dayanımını ve sünekliğini arttırmak için etkili ve uygun bir yöntem olduğu bilinmektedir ve bu konuda 1970-2000 yılları arasında birçok araştırma yapılmıştır [27-29].

Taghdi ve ark. (2000), 1800 mm yüksekliğinde, 1800 mm uzunluğunda ve 200 mm genişliğinde 4 adet briket duvar ve 2 adet betonarme duvar deney elemanı üretmişlerdir. Deney elemanlarına sabit 100 kN eksenel basınç ile birlikte tersinir tekrarlanır yatay yükleme uygulanmıştır. Referans deney elemanlarına %2 kat öteleme oranına kadar yükleme yapılmıştır. Hasarlı deney elemanları farklı kombinasyonlarda çelik şeritler ile onarılmıştır. Briket duvarlarda 3,81 mm ve betonarme duvarlarda 4,8 mm kalınlığındaki çelik şeritler kullanılmıştır. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar referans elemanlar ile karşılaştırıldığında, çelik şeritler ile onarılan betonarme duvarın %190'dan fazla yanal yük

taşıma kapasitesine ulaştığı görülmüştür. Deneyler sonucunda kagir ve betonarme duvarların güçlendirilmesi için önerilen çelik şerit sisteminin; kesit içi mukavemet, süneklik ve enerji yayılım kapasitelerini artırmakta etkili olduğunu tespit etmişlerdir [30].

Salonikios ve ark. (2000) betonarme perde duvarlarda sismik kayma problemi, en-boy oranı ile ele alınmış ve mevcut tasarım hükümlerinin geçerliliğini, hem Avrupa/Eurocode 8 [31] hem de Amerika Birleşik Devletleri/ACI 318-95 [32] standartları kapsamında deneysel ve analitik olarak değerlendirmiştir. Kapsamlı deneysel çalışmada farklı en-boy oranı ve farklı donatı planına sahip 11 adet betonarme perde duvar numunesi üretilmiştir. Deneyler sonucunda en-boy oranı 1,5 olan deney elemanlarında enerji tüketiminin daha yüksek olmasının sebebinin dayanımın yüksekliğinden çok bu elemanların daha fazla yatay deplasman yapabilme karakterinden kaynaklandığını belirtmiştir. 1,5 en-boy oranına sahip deney elemanının, 1,0 en-boy oranına sahip deney elemanına göre maksimum kesme kuvvetinin yaklaşık %25 daha düşük olduğu ve yaklaşık %80 daha fazla deplasman yapabilme kapasitesine sahip olduğu yazarlar tarafından tespit edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların analitik çalışmalar ile benzer sonuçlar verdiği ve Eurocode 8 ile ACI 318-95 standartlarında belirtilen hesaplama yöntemleri kullanılarak elde edilen sonuçların birbirine yakınsadığı görülmüştür [33].

Riva ve ark. (2003) deneysel çalışma kapsamında, 1/1 geometrik ölçekli betonarme perde duvarlar üzerine tersinir tekrarlanır yük uygulamışlardır. Test edilen deney elemanı, Eurocode 8'i benimseyen orta sismik eylemler (PGA = 0,20 g) için tasarlanmış olan dört katlı bir binanın bodrum duvarını temsil etmektedir. Deney elemanı 15,5 m uzunluğunda, 2800 mm genişliğinde ve 300 mm kalınlığında bir kesit olarak tasarlanmıştır. Deney sonucunda, lineer elastik bölgede deney elemanının enerji tüketiminin ve oluşan hasarın düşük olduğunu belirtmişlerdir. Deney elemanın kiriş kesitine yakın olacak şekilde açılan geniş çatlak nedeniyle perde duvarın bu kesitte kaymasıyla göçme meydana gelmiştir. Araştırmacılar; perde kesitini kiriş üzerinde kaymasından dolayı oluşan göçmeyi önlemek için, özellikle perde duvardaki eksenel kuvvet ihmal edilebilir olduğunda, kiriş ile perde duvarın bağlantısını sağlayan boyuna donatılarının miktarının arttırılması gerektiğini belirtmişlerdir [34].

Marini ve Med (2009) yapmış oldukları deneysel çalışmada betonarme perde duvarların güçlendirilmesi için yeni bir teknik sunmuşlardır. Araştırmacılar, dayanımı yetersiz perde

elemanın her bir ayrıtını 15 mm kalınlığa sahip ince bir betonarme katman kullanarak mantolamışlardır. Manto katmanı içerisinde yaklaşık 150 MPa basınç dayanımına sahip olan yüksek performanslı beton ve yüksek mukavemetli çelik donatı ile imal edilen donatı örgüsü kullanılmıştır. Deneysel çalışmada kapsamında 1/3 geometrik ölçekli, 3200 mm yüksekliğinde, 800 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde sahip bir betonarme perde duvar numunesi test edilmiştir. Deneyler sonucunda, güçlendirilen deney elemanı %3,34 kat öteleme oranında taşıma gücüne ulaşmış ve maksimum moment bölgesinde manto katmanın ezilmesinden dolayı göçmüştür. Önerilen yöntemin yapı direncini, deformasyon yapabilme kapasitesini ve sünekliğini önemli ölçüde artırdığını tespit etmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca deneysel verileri, sayısal modelleme sonucunda elde edilen analitik verilerle kıyaslayarak tahkik etmişlerdir [35].

Lee (2009) doktora çalışmasında, normal veya yüksek beton basınç dayanımına ve farklı boşluk konfigürasyonlarına sahip 48 adet betonarme perde duvar numunesini laboratuvarda test etmiş ve sonuç olarak çatlak oluşumu, göçme mekanizması, yük deformasyon davranışı ve nihai taşıma kapasitesi hakkında incelemelerde bulunmuştur. Deney elemanları 1/2 ve 1/3 geometrik ölçekli 1200 x 1200, 1400 x 1400 ve 1600 x 1600 mm yükseklik ve uzunluğunda, 40 mm genişliğinde olacak şekilde üretilmiştir. Deney numunelerine yükleme eksantrik tek doğrultuda ya da çift doğrultuda olacak şekilde uygulanmıştır. Yazar deneysel çalışmadan elde edilen verileri kullanarak, boşluklu perde duvarların taşıma gücü kapasitesini başarıyla tahmin eden bir ampirik formül önermiştir [36].

Mostofinejad ve Anaei (2012) ABAQUS yazılımını [37] kullanarak, betonarme perde duvarların kenar elemanlarının FRP ile sargılanmasını doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli oluşturmuş ve perde duvarın eğilme davranışı üzerinde bazı analizlerde bulunmuşlardır. Yazarlar analizlerde Perry ve arkadaşlarının (2007) deneysel çalışmada kullandığı 49 MPa beton basınç dayanımına sahip 12,2 m yüksekliğinde, 1,22 m uzunluğunda ve 127 mm genişliğinde perde duvar gövdesini kullanmışlardır. Deney elemanlarına eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u kadar eksenel yük ve depremi benzeştiren yatay yük uygulanmıştır [38]. Deneysel ve doğrusal olmayan sonlu elemanlar modelden elde edilen yük – kat ötelemesi verileri karşılaştırılmıştır. Oluşturulan modelin elastik bölgede deney elemanını birebir simüle edebildiği ancak akma sonrasında ise bazı farklılıkların oluştuğu belirtilmiştir. Yazarlar analizlerde deneysel parametrelere ek olarak betonarme perde duvar kenarlarına FRP sargılamasını kullanmışlardır. Çalışmanın sonucu

olarak, FRP kompozit tabakalarının betonarme perde duvar üzerine uygulanmasının sünek davranış üzerindeki etkinliği belirtilmiştir. Kenar elemanların FRP kompozit ile sargılanması, sabit yük altında nihai yer değiştirmeyi %50'ye kadar artırmıştır. Ayrıca, yazarlar FRP kompozit tabakalarının sadece duvarın plastik mafsal oluşum bölgesindeki kenarlara uygulanmasının yeterli olduğunu tavsiye etmiştir [39].

Altın ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, çelik şeritlerin yapıştırılmasıyla güçlendirilen kayma önleyici betonarme (RC) perde duvarların histeretik davranışlarını incelemişlerdir. Deneysel çalışma kapsamında, dört adet otalama 17,5 MPa beton basınç dayanımı ve 1,5 en-boy oranına sahip, 1/2 geometrik ölçekli 1500 mm yüksekliğinde 1000 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde betonarme perde duvar test numuneleri hazırlanmış ve tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmiştir. Deney elemanları, 100 mm genişliğindeki çelik şeritler 180 mm aralıklar ile yatay doğrultuda, 200 mm genişliğindeki çelik şeritler diyagonal ve yatay doğrultuda uygulanan konfigrasyona ek olarak perde gövdesi dış kenarları ile perde merkezinden geçen 100 mm genişliğinde düşey doğrultuda uygulanan çelik şeritler ile güçlendirilmiştir. Deneysel çalışmanın sonucu olarak tüm çelik şerit konfigürasyonlarının yetersiz kesme dayanımına sahip betonarme perde duvarların referans deney elemanı ile karşılaştırıldığında, maksimum yatay yük taşıma kapasitesini ortalama %65 artırdığı, enerji tüketme kapasitesinin 4,60 ile 7,10 kat arasında arttığı ve deformasyon yapabilme kapasitesini önemli ölçüde geliştirdiği belirtilmiştir [40].

Mohammed ve ark. (2013) betonarme duvarlarda açılan pencere veya kapı boşluklarının taşıma kapasitesine önemli derecede etki ettiğini ve boşluk kenarlarında çatlak gelişimi için zayıf nokta oluşturduğunu belirtmişlerdir. Kaybedilen taşıma kapasitesinin geri kazanılabilmesi için pencere ve kapı boşlukların kenarlarına farklı desenlerdeki CFRP şeritler ile güçlendirme tekniği uygulanmıştır. Her biri dört örnekten oluşan dört seri 1/3 geometrik ölçeklerinde betonarme duvar üretilmiştir. Toplam duvar alanının yüzdesi olarak duvarlarda farklı boyutlarda açıklıklar (%5, %10, %20 ve %30) bırakılmıştır. Çalışmada farklı olarak açıklıkların etrafındaki gerilme dağılımının tespit edilebilmesi için birim-deformasyon ölçerler ile veri alınmıştır. Yazarlar, boşluk kenarlarının düşey ve yatay şeritler ile güçlendirildiğinde gerilme dağılımının ortalama 1,59 kat azaldığını ve boşluk köşelerinde diyagonal doğrultuya dik olacak şekilde şerit uygulaması ile güçlendirildiğinde gerilme dağılımının ortalama 4,62 kat azaldığını belirtmişlerdir [41].

Mosoarca (2013) dört katlı bir yapıyı benzeştiren ve dikey sıralı farklı konfigürasyonlarda boşluklara sahip perde duvarların göçme mekanizmasını deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Deneysel çalışma kapsamında kat yüksekliği 650 mm olmak üzere dört katlı bir perde duvarı benzeştiren toplam yüksekliği 2600 mm, uzunluğu 1250 mm ve genişliği 80 mm ölçülerinde, 500 x 250 mm kapı boşluğuna sahip dört adet deney elemanı üretilmiş ve tersinir tekrarlanır yük etkisi altında testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda taşıma gücü kapasitesini hesaplayabilmek için basitleştirilmiş bir matematiksel model oluşturulmuştur. Analiz programları yardımıyla analitik olarak elde edilen sonuçlar deneysel olarak da doğrulanmıştır [42]. Husain ve ark. (2019) bu çalışmadaki deney elemanlarıyla özdeş olacak şekilde ABAQUS yazılımıyla 3 boyutlu dinamik lineer olmayan sonlu elemanlar modeli oluşturmuş ve farklı konfigürasyonlar da boşluklara sahip dört katlı perde duvarın FRP sargılarla güçlendirilmesinin deprem performansına etkisini analitik olarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda önerilen CFRP şeritle güçlendirme konfigürasyonunun yanal yük taşıma kapasitesini ve deformasyon kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı ayrıca perde duvarının sünekliğini ve enerji tüketim kapasitesini de kısmen arttırdığı belirtilmiştir [43].

Altın ve ark. (2013) CFRP şeritlerle güçlendirilmiş olan kesme yetersiz betonarme perde duvarları tersinir tekrarlanır yatay yüklemeye altında test etmişlerdir. Deneysel program kapsamında 1,5 en/boy oranına sahip 1/2 geometrik ölçekli bir adeti referans numune olmak üzere toplamda beş adet betonarme perde duvar üretilmiştir. Farklı konfigürasyonlara sahip X şeklinde, yatay ve paralel şeritler veya bunların kombinasyonları CFRP şeritler betonarme perde duvarın her iki yüzeyine simetrik olacak şekilde uygulanmıştır. Tüm CFRP şerit konfigürasyonlarının kesme yetersiz betonarme perde duvarların enerji tüketimini 2,5 - 5,15 kat artırdığı ve deformasyon kapasitesini önemli ölçüde geliştirdiği belirtilmiştir. Ayrıca güçlendirmede kullanılan fan tipi ankrajın, CFRP şeritlerin betonarme perde duvar yüzeyinden ayrılmasını engellediğini tespit etmişlerdir [44].

Zhang ve ark. (2014) ise perde uç bölgesinin geometrik özelliklerinin ve sargı donatısının farklı olmasının perde davranışı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmada 1/2 geometrik ölçekli 125 mm genişliğinde 6 adet perde numunesi 2 grup (850 x 1600 mm ve 1000 x 2000 mm ölçülerinde) altında değerlendirilmiştir. Deney elemanları tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmiştir. Ayrıca 1. grup deney elemanlarına 550 kN ve 2. grup deney elemanlarına 1355 kN sabit eksenel yük uygulanmıştır. Deneyler sonucunda deney elemanlarının maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin %110 ile %164

arasında arttığı belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonucu olarak yazarlar, etriye çapının ya da sıklığının arttırılmasının etriye oranını arttırdığı böylece kesme dayanımında pozitif bir değişikliğe yol açtığını tespit etmişlerdir. Ayrıca perde duvar gövdesinin dış kenarlarına yakın olan bölgede kullanılan boyuna donatıların dayanım açısından önem arz ettiği belirtilmiştir [45].

Alarcon ve ark. (2014) tarafından yapılan deneysel çalışmada geometrik, malzeme ve detay özellikleri bakımından özdeş üç betonarme perde duvar elemana farklı eksenel yük oranı (0,15-0,25-0,35) altında tersinir tekrarlanır yükleme ile test edilmiştir. Bu çalışmada 1/2 geometrik ölçekli 1600 mm yüksekliğinde, 700 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde betonarme perde duvarlar üretilmiştir. Uygulanan eksenel yükün artışı ile birlikte betonarme perde duvarların kesme dayanımlarında da artış gözlemlenmiştir. Test edilen perdeler arasından en fazla eksenel yük uygulanan W3 numunesi 185,6 kN ile en yüksek kesme kuvveti gösterirken, en küçük eksenel yük uygulanan W1 numunesi ise 144,3 kN ile en düşük kesme kuvveti değerine ulaşmıştır. Buna ek olarak, eksenel yükün artışı ile deney elemanlarında gözlemlenen göçmenin daha erken çevrimlerde meydana geldiği görülmüştür [46].

Cruz-Noguez ve ark. (2014) CFRP şeritler ile onarılmış ve güçlendirilmiş betonarme perde duvarların doğrusal olmayan davranışı için analiz modeli sunmuşlardır. Bu çalışmada, 2004 yılında tamamlanan Hiotakis [47] ve 1999 yılında tamamlanan Lombard'ın [48] yüksek lisans çalışmalarında kullanılan farklı ankraja sahip toplam dokuz adet deney elemanı modellenmiştir. Çalışma kapsamında 1800 mm yüksekliğinde, 1500 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde betonarme perde duvar modeli kullanılmıştır. Onarım uygulamalarında, oluşturulan analitik modelin deney elemanlarının başlangıç rijitliğini ve maksimum yük taşıma kapasitesini doğru bir şekilde tahmin ettiği belirtilmiştir. Yazarlar, CFRP şerit ile beton yüzeyin birbirinden ayrılma mekanizmasının CFRP ile güçlendirilmiş betonarme perde duvarların maksimum yük kapasitesini ve doğrusal olmayan histeretik davranışını kontrol eden önemli bir etken olduğunu tespit etmişlerdir [49].

Beko ve ark. (2015), 1/1 geometrik ölçek ve düşük en-boy oranlı (1200 mm yüksekliğinde ve 3000 mm uzunluğunda), 400 mm genişliğindeki betonarme perde duvarları deneysel olarak yatay tersinir tekrarlanır yük etkisinde incelemişlerdir. Ayrıca, deney elemanlarına 600 kN eksenel yük uygulanmıştır. 4 adet deney elemanın üretiminde 54 MPa basınç

dayanımına sahip beton ve akma dayanımı 500 MPa olan donatı kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, iyi tanımlanmış histerezis eğrileri elde edilmiştir. Yük-deplasman eğrileri ile deney elemanlarının maksimum kesme kapasitesi ve enerji tüketimi karşılaştırmaları yapılmıştır. Yarı statik orandaki yük döngüsünün, duvarın maksimum dayanımını veya genel davranışını önemli ölçüde etkilemediği bulunmuştur. Yazarlar son olarak simüle edebilen doğrusal olmayan bir matematik modeli oluşturmuşlardır [50].

Qazi ve ark. (2015), farklı CFRP şerit desenleriyle güçlendirilen kısa betonarme perde duvarların yük davranışını referans betonarme perde duvarın yük davranışı ile karşılaştırılmasını incelemişlerdir. Deneysel program kapsamında, dört adet 1/3 geometrik ölçekli 610 mm yüksekliğinde, 900 mm uzunluğunda ve 80 mm genişliğinde betonarme perde duvar üretilmiştir. Deney numuneleri statik ve tersinir tekrarlanır yük altında test edilmiştir. Deney elemanına uygulanan her yükleme çevrimi üç defa tekrarlanmıştır. Ayrıca deneysel çalışma sonucunda analitik bir modelleme de yapılmıştır. Deneysel çalışma ve modelleme sonucunda elde edilen veriler karşılaştırıldığında, iki veri arasında %5,7 ile %15 arasında değişen oranlarda farklılık olduğu görülmüştür [51].

Todut ve ark. (2015) ön üretimli betonarme perde duvar üzerinde deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında altı adet deney elemanı 1/1,2 geometrik ölçekli, 2150 mm yüksekliğinde, 2750 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde üretilmiş, tekrarlanır yatay yükleme altında hasar verilmiş ve CFRP ile onarılarak tekrar test edilmiştir. Üretilen beş deney elemanına, 1800 x 750 mm ve 1800 x 1750 mm ölçülerinde kapı boşluğu ve 1000 x 750 mm ve 1000 x 1750 mm ölçülerinde pencere boşluğu açılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, onarılmış veya güçlendirilmiş elemanların maksimum yük taşıma kapasitesinin %46,5 ile %154 arasında arttığı, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesinin ise referans elemanlara göre neredeyse eşit olduğu belirtilmiştir [52].

İnceoğlu (2016), betonarme perdelerin kesme dayanımının incelenmesi için 18 farklı ülkeden 41 farklı yazarın raporladığı 265 numuneden oluşan bir veri tabanı oluşturmuştur. Bu çalışma ile betonarme perde duvarların kesme dayanımı üzerinde farklı göçme biçimi için duvarın geometrik özellikleri, eksenel yük, yanal donatı miktarı gibi çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, DBYBHY'de verilen kesme dayanımı hesabına göre; kesme baskın olan betonarme perde duvarların deneysel dayanımları %7 daha yüksek ve bileşik kesme-eğilme ya da eğilme baskın olan betonarme

perde duvarların deneysel dayanımları %34 ile %44 arasında daha düşük hesapladığı belirtilmiştir. ACI 318-14'de [53] ise verilen kesme dayanımı hesabına göre; kesme baskın olan betonarme perde duvarların deneysel dayanımları %11 daha yüksek ve bileşik kesme-eğilme ya da eğilme baskın olan betonarme perde duvarların deneysel dayanımları %21 ile %34 arasında daha düşük hesapladığı belirtilmiştir [54].

Woods ve ark. (2016) düşük en boy oranına sahip sünek olmayan betonarme perde duvarları temsil eden örneklerin deprem performansını artırmak için CFRP kullanılmasının etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmada ayrıca referans numunelerin yanında hasar görmüş betonarme perde duvarların düşey ve yatay CFRP şeritler ile onarım ve güçlendirmesindeki etkisi de incelenmiştir. İlk seri deney elemanlarının boyutları 1800 mm yüksekliğinde, 1500 mm uzunluğunda, 100 mm genişliğinde ve en boy oranı 1,2 olacak şekilde üç adet betonarme perde duvar üretilmiştir. İkinci seri deney elemanlarının boyutları 1800 mm yüksekliğinde, 2100 mm uzunluğunda, 140 mm genişliğinde ve en boy oranı 0,85 olacak şekilde üç adet olmak üzere, toplam iki seride altı adet deney elemanı üretilmiştir. Çalışmada farklı olarak CFRP şeritlerin taşıdığı çekme kuvvetini deney elemanlarının temeline aktarmak için ankraj sistemi kullanmıştır. Yazarlar, CFRP güçlendirme yönteminin ağır hasar görmüş örneklerin başlangıç dayanımına ve rijitliğine çıkarabildiğini ve bu güçlendirme tekniğiyle eğilme dayanımı, süneklik ve enerji tüketme kapasitesinde önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir [55].

Hung ve ark. (2017), ultra yüksek performanslı elyaf takviyeli betonarme perde duvarların depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yük altında test etmişler ve davranışlarını araştırmışlardır. Bu amaçla, dört adet perde duvar 1100 mm yüksekliğinde, 1500 mm uzunluğunda, 160 mm genişliğinde ve 0,73 en boy oranında üretilmiş ve deplasman kontrollü olarak göçmeye uğratılmıştır. Deney elemanına uygulanan her bir yükleme üç kere tekrarlanmıştır. Ultra yüksek performanslı elyaf takviyeli beton basınç dayanımının 70 MPa olması hedeflenmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları incelendiğinde, yüksek kesme gerilmesi altında bile deney elemanları sünek eğilme davranışı sergilemiştir ve ultra yüksek performanslı elyaf takviyeli betonarme perde duvarların kesme dayanımı %76 daha yüksek ölçülmüştür. Buna ek olarak ultra yüksek performanslı elyaf takviyeli beton içerisinde çelik liflerin kullanılmasıyla, enerji tüketme kapasitesini %150 ve rijitliği %30'dan fazla artırdığı, perde gövdesindeki boyuna donatıların gerilmesini %20 ve etriye donatılarının gerilmesini %40'dan fazla azalttığı belirtilmiştir [56].

Christidis ve Trezos (2017) modern sismik hükümlere uymayan eski sismik kodlara göre tasarlanan perde duvarları, yani uygun olmayan betonarme perde duvarları değerlendirmeyi ve güçlendirmeyi amaçlamıştır. Dört adet betonarme perde duvar 1400 mm yüksekliğinde, 750 mm uzunluğunda ve 125 mm genişliğinde üretilmiş, statik yatay tersinir tekrarlanır yükleme altında test edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan boyuna donatı ve kesme donatısının miktarı değişken olarak seçilmiştir. İncelenen perde duvarlarda düşük orandaki kesme donatısının kullanımı, taşıma gücünü veya kat öteleme kapasitesini önemli ölçüde etkilemediği yazarlar tarafından belirtilmiştir. Dört numunenin tümü, eğilme kapasitelerine (hesaplanan kesme dayanımından daha yüksek) yakın bir yüke ulaşmış ve sünek davranış sergilemiştir [57].

Popescu ve ark. (2017) tarafından deneysel çalışmalarda kullanmak amacıyla altı adet 4 x 2,6 x 0,1 m ölçülerinde ve dokuz adet 1,8 x 1,35 x 0,06 m ölçülerinde (yükseklik x uzunluk x genişlik) boşluksuz, pencere ve kapı boşluklu betonarme duvar üretilmiştir. Eleman boyutları, elemanlarda bırakılan boşluk oranı ve onarımdaki farklılıklar deneysel çalışmada değişken olarak seçilmiştir. Betonarme duvarlarda bırakılan/açılan boşlukların elemanların dayanımında düşüşe yol açtığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada, CFRP ile güçlendirilmiş boşlukları olan betonarme duvarların maksimum yük taşma kapasitesini değerlendirmek için limit analizi teorisine dayanan yeni bir prosedür önerilmiştir. Yatay yüklemenin baskın olduğu durumda betonarme perde duvar içerisindeki boyuna donatıların akması/kopmasıyla göçme meydana geldiği, eksenel yüklemenin baskın olduğu durumda ise beton ezilmesinden dolayı göçmenin meydana geldiği belirtilmiştir. Deney elemanlarının CFRP ile güçlendirilmesi için, beton yüzeyindeki düzensizlikleri ve çimento şerbeti bulunan üst tabakayı gidermek için beton yüzey silinmiş ve beton içerisindeki agregalar açığa çıkarılmıştır. Ayrıca CFRP'nin yüzey ile temasını artırmak ve ayrılmasını engellemek amacıyla mekanik ankrajlar da kullanılmıştır [58].

Woods ve ark. (2017) CFRP kullanarak 1800 mm yüksekliğinde, 1500 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde betonarme perde duvarları güçlendirmişlerdir ve yatay tersinir tekrarlanır yük altında test etmişlerdir. Deney elemanına yükleme iki aşamalı olarak uygulanmıştır. İlk aşamada deney elemanının akma kapasitesinin %0,25, %0,50, %0,75 ve %100'üne denk gelen çevrimler ile yük kontrollü ve deney elemanının akma kapasitesine ulaştıktan sonra ise deplasman kontrollü olacak şekilde yük uygulanmıştır. Her çevrim iki kere tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmada farklı olarak betonarme perde duvarların

üzerindeki gerilme dağılımının ölçülebilmesi için fiber optik sensörler kullanılmıştır. Kullanılan ölçüm sisteminin güçlendirilmiş betonarme perde duvarlarda değişim gösteren gerilme değerlerini ölçmede başarılı olduğu belirtilmiştir. Yazarlar CFRP ile güçlendirilmiş perde duvarlarda oluşan gerilmeleri iki boyutlu olacak şekilde görselleştirmişlerdir. Perde gövdesindeki donatılardan alınan gerilme değerlerine göre; en yüksek gerilme değerlerinin perde dış kenarlarına yakın boyuna donatılarda ve temel kirişine yakın bölgede gerçekleştiği tespit edilmiştir. Perde gövdesinin dış kenarlarındaki boyuna donatıların merkezdeki boyuna donatılara göre yaklaşık 2,75 kat daha fazla gerilme değerine ulaşmıştır [59].

Mosallam ve Nasr (2017), CFRP kompozit şeritlerle güçlendirilmiş pencere ve kapı boşluklu betonarme perde duvarların yapısal performansı hakkında bir dizi deneysel ve analitik çalışma yürütmüşlerdir. Deneysel çalışma kapsamında beş adet 1828 mm yüksekliğinde, 1828 mm uzunluğunda ve 203 mm genişliğinde betonarme perde duvar üretilmiştir. İlk seride boşluksuz, pencere boşluklu ve kapı boşluklu deney elemanları üretilmiş ve bu perde duvarlarda açılan boşluğun taşıma gücüne olan etkisi araştırılmıştır. İkinci seride üretilen pencere ve kapı boşluklu deney elemanları CFRP şeritler ile güçlendirilmiş ve boşluklu betonarme perde duvarların CFRP şeritler ile güçlendirmesindeki etkinliği araştırılmıştır. Yazarlar, önerilen CFRP ile güçlendirilme sisteminin betonarme perde duvarların hem dayanımını hem de sünekliğini arttırmakta başarılı olduğunu bildirmiştir. Çalışmada deney elemanlarına eksenel ve tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmıştır. Güçlendirilmiş betonarme perde duvarlar güçlendirilmemiş duvarlar ile karşılaştırıldığında, güçlendirmenin ortalama dayanımı %20 ve sünekliği ise % 28 artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca deneysel çalışmada CFRP şeritlerin temel kirişine çekme yükünü aktarabilmesi için çelik L profil, temel kirişi-perde gövdesi birleşimine çelik ankrajlar ile montajlanmıştır [60].

Behfarnia ve Shirneshan (2017) CFRP şeritlerle güçlendirilmiş perde duvarın davranışıyla ilgili ABAQUS yazılımı kullanarak doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle analitik bir çalışma yapmışlardır. Çalışama kapsamında altı adet betonarme perde duvar üretilmiş, bunlardan ikisi referans perde duvar olarak kullanılmış ve kalan dört perde duvar farklı CFRP konfigrasyonu kullanılarak güçlendirilmiştir. Bütün perde duvarlar monotonik yatay yükleme altında test edilmiştir. Betonarme perde duvar gövde alanının %50'sine denk gelen ölçülerde boşluk açılmasının yük kapasitesini yaklaşık %42 ve deplasman kapasitesini yaklaşık %32 oranında azalttığı tespit edilmiştir. Önerilen matematiksel modelleme, literatürde bulunan birçok deneysel çalışmanın sonucu kullanarak doğrulanmıştır [61].

3. DENEY ELEMANLARI VE DENEY DÜZENEĞİ

Deneysel çalışma üretim, ön hasar verme ve test aşaması olmak üzere üç aşamada uygulanmıştır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında toplam 12 deney elemanının üretimi yapılmıştır. Sonraki aşamada 6 adedi ağır, 6 adedi de orta düzeyde olmak üzere deney elemanlarının tümüne hasar verilmiştir. Son aşamada ise ağır ve orta düzeyde hasar görmüş deney elemanları onarılarak test edilmiştir. Bu bölümde, deney elemanlarının üretim aşamasından, test aşamasına kadar olan zaman içerisinde, üretim ve onarımda kullanılan malzemeler, deney elemanlarının onarım detayları ve aşamaları hakkında bilgi sunulmuştur. Ayrıca, çalışma kapsamında incelenen değişkenler ve deney elemanlarının adlandırılması ile çalışma da kullanılan test ekipmanları, ölçüm düzeneği ve deney elemanlarına uygulanan yükleme geçmişi hakkında bilgilere yer verilmiştir.

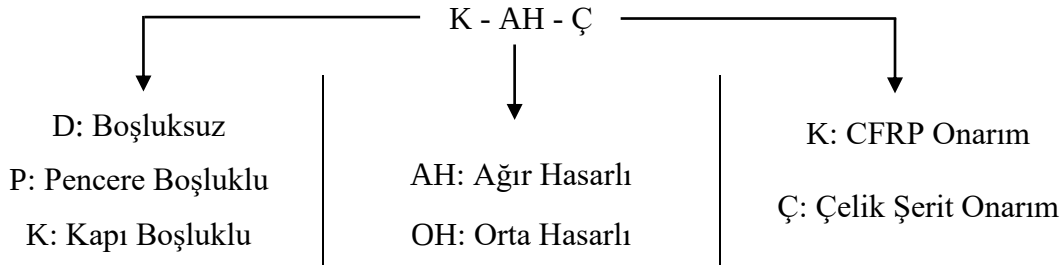
3.1. Deney Elemanları

Betonarme perde duvar, yapıya yatay rijitlik ve dayanım sağlayan taşıyıcı bir elemandır. Betonarme perde duvarlar yatay yükleri etkin bir biçimde karşıladıkları için çerçeve türü yapılar yerine, yaygın olarak karma taşıyıcı sisteme sahip yapıların inşaa edilmesi güncel deprem yönetmeliğimiz tarafından tavsiye edilmektedir. Şiddetli sismik etki altındaki betonarme perde duvarlar, yapıya etkiyen yatay yüklerin büyük kısmını üstlenerek, geri kalan küçük orandaki yatay yükün yapıdaki diğer taşıyıcılara aktarılmasını sağlamaktadır. Böylece, göreli kat ötelemeleri ve yanal yer değiştirmeler azaltılabilmektedir. Deprem sonrası yapılan gözlemlerde; taşıyıcı sistemi sadece kolon ve kirişlerden oluşan çerçevelerin çoğunlukla daha yüksek bir taşıyıcı sistem hasarı gördüğü, uygun perde duvar yerleşimine sahip betonarme yapılarda ise genellikle toptan göçmenin önlendiği gözlemlenmiştir. Bu gözlemlere ek olarak perde duvar bulunan yapılarda, genel olarak hafif ve orta düzeyde hasar oluştuğu ancak az olsa da bazı yapılarda ağır hasar oluştuğu bilinmektedir.

Bu çalışma kapsamında betonarme perde duvarlarda imalat esnasında bırakılan ya da imalat sonrasında mimari sebeplerden dolayı açılan boşlukların farklı hasar düzeylerindeki performansa etkisi incelenmiştir. Ayrıca orta ve ağır düzeyde hasar gören toplam 12 adet deney elemanı farklı onarım teknikleri arasındaki performansın karşılaştırılması için onarılmıştır. Laboratuvar ortamında Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği'nde [12] geçen orta ölçekli bir betonarme yapının bodrum kat perde duvarı olarak tasarlanan 1/1 gerçek

ölçekli betonarme perde duvarlar üretilmiştir. Üretilen deney elemanlarının tamamında perde boyutları ve temel kirişi boyutları birbiriyle özdeştir. Deneysel çalışma kapsamında onarılan test numunelerinin isimlendirmesi Çizelge 3.1'de, deneysel parametreler ise Çizelge 3.2'de verilmiştir. Ayrıca deney elemanlarına uygulanan onarım tekniklerinin etkinliğinin karşılaştırılması için seçilen referans deney elemanları REF-D (boşluksuz perde duvar), REF-P (pencere boşluklu perde duvar) ve REF-K (kapı boşluklu perde duvar) olarak isimlendirilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney elemanlarının isimlendirmesi



Çizelge 3.2. Deneysel çalışma kapsamında onarılan 12 deney elemanına ait parametreler

Deney Elemanı	Hasar Derecesi	Perde Tipi	Onarım Türü
D-AH-K	Ağır Hasarlı	Boşluksuz	CFRP
P-AH-K		Pencere Boşluklu	CFRP
K-AH-K		Kapı Boşluklu	CFRP
D-AH-Ç		Boşluksuz	Çelik Şerit
P-AH-Ç		Pencere Boşluklu	Çelik Şerit
K-AH-Ç		Kapı Boşluklu	Çelik Şerit
D-OH-K	Orta Hasarlı	Boşluksuz	CFRP
P-OH-K		Pencere Boşluklu	CFRP
K-OH-K		Kapı Boşluklu	CFRP
D-OH-Ç		Boşluksuz	Çelik Şerit
P-OH-Ç		Pencere Boşluklu	Çelik Şerit
K-OH-Ç		Kapı Boşluklu	Çelik Şerit

3.1.1. Malzemeler

Deneysel çalışma kapsamında kullanılan tüm malzemeler Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi tarafından 07/2019-03 numaralı araştırma projesi kapsamında temin edilmiştir. Bu bölümde deney elemanlarının üretimi esnasında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri paylaşılmıştır.

Beton

Deneysel çalışma kapsamında, uygulamada en çok tercih edilen C25 sınıfında ve ortalama eksenel basınç dayanımının 25 N/mm^2 olan beton kullanılması planlanmıştır. Dökümü laboratuvarda yapılan beton, hazır beton santralinden temin edilmiştir. Hazır beton santrali tarafından TS EN 206:2013+A1 (2017) [62] ve bu standarttın uygulanmasına yönelik tamamlayıcısı olan TS 13515 (2019) [63]'de bulunan tüm şartlara uygun beton üretilmiş ve dökümü yapılmıştır. Hazır beton santralinden temin edilen betonun karakteristik özellikleri Çizelge 3.3'de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Temin edilen betonun karakteristik özellikleri

Betonun karakteristik özellikleri	Cins/Sınıf/Miktar
Su/Çimento Oranı (W/C)	0,57
Çimento Cinsi ve Sınıfı	CEM I 42,5 R Portland Çimentosu
Mineral Katkı Cinsi	Uçucu Kül
Kimyasal Katkı Cinsi	Hiper Akışkanlaştırıcı
Çevresel Etki Sınıfı	XC3
Beton Çökme Sınıfı	S3
Klorür İçeriği Sınıfı	0,2

Beton karışımında kullanılan su, çimento, agrega, mineral katkı ve kimyasal katkı malzemeleri 1 m^3 beton içerisinde sırasıyla %7,0, %12,3, %78,8, %1,7 ve %0,2 ağırlıkları oranınca kullanılmıştır. Beton karışımında 0-4 ince, 4-11 iri ve 11-22 iri dane çaplı agrega 1 m^3 beton içerisinde toplam %39,4 ağırlıkları oranınca kullanılmıştır. 1 m^3 beton içerisinde 0-4 dane çaplı ince agrega %39,4, 4-11 dane çaplı iri agrega %11,0 ve 11-22 dane çaplı iri agrega %28,4 ağırlıkları oranınca kullanılmıştır.

Beton dökümü esnasında her bir deney elemanından 3 adet olmak üzere toplam 36 adet her bir ayrıtı 150 mm ölçüsünde olan standart küp numune alınmıştır. Deney elemanları ve standart küp numuneler beton dökümünden sonraki ilk 7 gün ıslak kür ortamında bırakılmış, ardından 21 gün sürede ise laboratuvar ortamında kurumaları sağlanmıştır. Deney elemanları ve küp numuneler özdeş kür koşullarında 28 gün boyunca muhafaza edilmiştir.

Standart küp numunelerin eksenel basınç dayanımının tespiti için laboratuvar envanterinde bulunan 3000 kN kapasiteli tam otomatik eksenel yükleme test cihazı kullanılmıştır. Standart küp numuneler ACI 318-02'ye [64] uygun 2,5 MPa/s yükleme hızı ile test edilmiştir. Standart küp numunelerin kırılması sonucunda elde edilen beton basınç dayanımları, deney elemanlarının test edildiği günde belirlenmiş ve test sonuçları Çizelge 3.4'de sunulmuştur. Ayrıca küp dayanımdan yola çıkarak TS 500'de [65] önerilen bağıntı ile elde edilen standart silindir dayanım (fc) hesaplanarak Çizelge 3.4'de sunulmuştur. Referans olarak kullanılan REF-D, REF-P ve REF-K deney elemanlarının beton basınç dayanımları D-AH-K, P-AH-K ve K-AH-K deney elemanları ile aynı değere sahiptir. Bazı standart küp numunelere ait test öncesi ve sonrası görseller Resim 3.1'de verilmiştir.



Resim 3.1. Test öncesi ve sonrası beton standart küp numuneler

Deney elemanlarının ortalama beton eksenel basınç dayanımları 25,3 N/mm^2 olarak belirlenmiş olup, bu değer hedeflenen 25 N/mm^2 değerine oldukça yakındır. Deney elemanlarının ortalama beton eksenel basınç dayanım değerleri arasındaki standart sapma ve varyasyon değerleri oldukça düşük elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. Deney elemanlarının beton eksenel basınç dayanımı test sonuçları

Deney Elemanı	Numune No	Yük (kN)	Basınç Dayanımı $f_{c\ küp}$ (N/mm^2)	Ortalama $f_{c\ küp}$ (N/mm^2)	Ortalama f_c (N/mm^2)
D-AH-K	1	683,1	30,4	30,3	25,2
	2	671,6	29,8		
	3	688,9	30,6		
P-AH-K	1	634,8	28,2	30,1	25,1
	2	683,1	30,4		
	3	714,2	31,7		
K-AH-K	1	715,3	31,8	30,7	25,6
	2	734,9	32,7		
	3	623,3	27,7		
D-AH-Ç	1	556,6	24,7	29,5	24,5
	2	754,4	33,5		
	3	679,7	30,2		
P-AH-Ç	1	653,2	29,0	29,5	24,5
	2	670,5	29,8		
	3	664,7	29,5		
K-AH-Ç	1	725,7	32,3	31,2	26,0
	2	695,8	30,9		
	3	687,7	30,6		
D-OH-K	1	614,1	27,3	27,9	23,1
	2	611,8	27,2		
	3	659,0	29,3		
P-OH-K	1	580,8	25,8	30,3	25,2
	2	680,8	30,3		
	3	782,0	34,8		
K-OH-K	1	707,3	31,4	32,5	27,0
	2	714,2	31,7		
	3	769,4	34,2		
D-OH-Ç	1	726,8	32,3	33,0	27,4
	2	749,8	33,3		
	3	751,0	33,4		
P-OH-Ç	1	668,2	29,7	30,0	25,0
	2	693,5	30,8		
	3	664,7	29,5		
K-OH-Ç	1	639,4	28,4	30,2	25,2
	2	682,0	30,3		
	3	718,8	31,9		

Betonarme donatı çeliği

Deney elemanlarının tamamında yüksek mukavemetli, kaynaklanabilen, nervürlü ST III (S420) sınıfı çelik donatı kullanılmıştır. Deney elemanların imalatında; perde duvar gövdesinde boyuna ve etriye donatısı olarak Ø10 mm, temel kirişi boyuna donatısı olarak Ø20 mm ve temel kirişi etriye donatısı olarak Ø8 mm çapında nervürlü çelik donatı kullanılmıştır. Kullanılan bu donatılardan yeterli sayıda ASTM E8'de [66] belirtilen kriterlere uygun numune alınmış ve laboratuvar envanterinde bulunan çelik eksenel çekme cihazında 6 MPa/sn yükleme hızı ile testleri yapılmıştır. Deney elemanlarında kullanılan çelik donatılardan alınan numunelerin dayanım sonuçları Çizelge 3.5'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçların TS 708'de [67] belirtilen betonarme donatı çeliği performans özelliklerini karşıladığı görülmüştür.

Çizelge 3.5. Betonarme donatı çeliğinin eksenel çekme dayanımı test sonuçları

Çelik Donatı Çapı (mm)	Ort. Akma Dayanımı f_{sy} (N/mm^2)	Ort. Çekme Dayanımı f_{su} (N/mm^2)	f_{su}/f_{sy}
8	441	565	1,28
10	459	572	1,24
20	520	620	1,19

Yapısal tamir harcı

Ağır düzeyde hasar gören betonarme perde duvarların tamiratında kullanılan BASF MasterEmaco S 488 – Yapısal Tamir Harcı; çimento esaslı, tek bileşenli, polimer ve fiber takviyeli, tiksotropik yapısal tamir harcıdır. Kullanılan tamir harcının mekanik özellikleri Çizelge 3.6'da sunulmuştur. Ayrıca kullanılan tamir harcından iki adet her bir ayrıtı 150 mm ölçüsünde olan standart küp numune alınmıştır. Standart küp numunelerin ortalama eksenel basınç dayanımları 54,64 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Standart küp numunelerin eksenel basınç dayanımları, deney elemanlarının test edildiği günde belirlenmiş ve test sonuçları Çizelge 3.7'de sunulmuştur. Çizelge 3.8'de ayrıca küp dayanımdan yola çıkarak TS 500'de [65] önerilen bağıntı ile hesaplanan standart silindir dayanımı (f_R) hesaplanarak

sunulmuştur. Standart küp numunelere ait test öncesi ve sonrası görseller Resim 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Yapısal tamir harcının mekanik özellikleri [68]

Basınç Dayanımı	1. Gün	7. Gün	28. Gün
	>25 N/mm^2	>50 N/mm^2	>70 N/mm^2
Eğilme Dayanımı	28. Gün		
	>8 N/mm^2		
Elastisite Modülü	28. Gün		
	>20.000 N/mm^2		

Çizelge 3.7. Kullanılan yapısal tamir harcının eksenel basınç dayanımı test sonuçları

Numune No	Yük (kN)	Basınç Dayanımı $f_{R\ küp}$ (N/mm^2)	Ort. Basınç Dayanımı $f_{R\ küp}$ (N/mm^2)	Ortalama f_R (N/mm^2)
1	1261	56,04	54,64	66,62
2	1198	53,24		

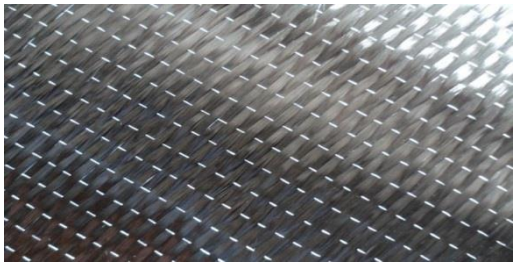


Resim 3.2. Test öncesi ve sonrası yapısal tamir harcı standart küp numuneleri

CFRP şerit

Hasarlı deney elemanlarının eğilme ve kesme kapasitesinin arttırılması için yapılan onarım çalışmasında SikaWrap -300 C tek doğrultulu, orta sınıf dayanıma sahip ve karbon lif takviyeli polimer dokuma kullanılmıştır. Kullanılan CFRP'nin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.8'de sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Kullanılan CFRP'nin fiziksel ve mekanik özellikleri [69]

Lif Doğrultusu	Tek doğrultulu (0°)
Desen	
Çözgü Dokuması	Siyah karbon fiberler (toplam ağırlığın % 99'u)
Atkı Dokuması	Beyaz termoplastik ısıl işleme tabi tutulmuş fiberler (toplam ağırlığın %1'i)
Kuru Fiber Yoğunluğu	$1.82x10^{-3}$ g/mm^3
Kuru Fiber Kalınlığı	0.167 mm
Bölge Yoğunluğu	304 g/m^2 ±10 g/m^2
Kuru Fiber Çekme Dayanımı	4.000 N/mm^2
Kuru Fiber Elastisite Modülü	230.000 N/mm^2
Kuru Fiber Kopmada Uzaması	%1,70

CFRP şerit ile onarımda kullanılan epoksi reçine

Onarım çalışmasında; Sikadur -330 iki bileşenli, tiksotrpik özellikli epoksi reçine kullanılmıştır. Hazırlanan epoksi reçine; hasarlı deney elemanlarında oluşan kılcal çatlakların empregnasyonunda, CFRP şeritlerin beton yüzeye yapıştırılmasında/doyurulmasında ve fan tipi CFRP ankrajların epoksi enjeksiyonunda kullanılmıştır. Kullanılan epoksi reçinenin mekanik özellikleri Çizelge 3.9'da sunulmuştur.

Çizelge 3.9. Kullanılan epoksi reçinenin mekanik özellikleri [70]

Yoğunluk	1,30 ± 0,1 kg/l (A+B bileşeni)
Eğilmede Elastisite Modülü	3.800 N/mm^2
Gerilimde Elastisite Modülü	4.500 N/mm^2
Çekme Dayanımı	30 N/mm^2
Kopmada Uzama	%0,90
Termal Genleşme Katsayısı	$4,5x10^{-5}$ 1/K

Çelik şerit

Deney elemanlarının eğilme ve kesme kapasitesinin arttırılması için yapılan onarım çalışmasında ST III (S420) sınıfı, 150 mm genişliğinde, 4 mm kalınlığında çelik şeritler kullanılmıştır. Çelik şeritlerin fabrikada hazırlanma aşamasında ASTM E8'de [66] belirtilen kriterlere uygun ve yeterli sayıda kaşık numune alınmış, laboratuvar envanterinde bulunan çelik eksenel çekme cihazında testleri yapılmıştır. Deney elemanlarında kullanılan çelik şeritlerden alınan kaşık numunelerin dayanım sonuçları Çizelge 3.10'da sunulmuştur.

Çizelge 3.10. Kullanılan çelik şeritlerin mekanik özellikleri

Çelik Şerit Kalınlığı (mm)	Ort. Akma Dayanımı f_{sy} (N/mm^2)	Ort. Çekme Dayanımı f_{su} (N/mm^2)	f_{su}/f_{sy}
4	350	491	1,40

Çelik şerit ile onarımda kullanılan epoksi reçine

Hasarlı deney elemanlarının onarımında kullanılan çelik şeritlerin beton yüzeye yapıştırılması ve ankrajların enjeksiyonunda Sikadur 31, iki bileşenli, tiksotrpik özellikli epoksi reçine kullanılmıştır. Kullanılan epoksi reçinenin mekanik özellikleri Çizelge 3.11'de sunulmuştur.

Çizelge 3.11. Çelik şerit ile onarımda kullanılan epoksi reçinenin mekanik özellikleri [71]

Yoğunluk	1,65 kg/l (A+B bileşeni)
Elastisite Modülü	4.300 N/mm^2
Basınç Dayanımı (10 gün)	60 - 70 N/mm^2
Çekme Dayanımı (10 gün)	15 - 20 N/mm^2
Yapışma Dayanımı (10 gün)	15 N/mm^2

3.1.2. Deney elemanlarının üretimi

Deneysel çalışma kapsamında, toplam 12 adet betonarme perde duvar saha uygulamalarına benzer olacak şekilde gerçek ölçülerde üretilmiştir. 12 adet deney elemanı, benzer hava sıcaklığı ve nem koşulları altındaki laboratuvar ortamında 4 farklı seride üretilmiştir. Her bir

üretim serisinde; bir adet boşluksuz, bir adet pencere boşluklu ve bir adet kapı boşluklu olmak üzere üç adet betonarme perde duvar üretilmiştir. Betonarme perde duvar gövdesi; 2500 mm yüksekliğinde, 1800 mm uzunluğunda (h_w x l_w) ve 150 mm (b_w) genişliğinde, temel kiriş kesiti; 400 mm yüksekliğinde, 500 mm genişliğinde (h_f x b_f) ve 2400 mm (L_f) uzunluğunda monolitik (bir döküm) olarak imal edilmiştir. Üretilen betonarme perde duvarlar laboratuvarda bulunan test imkanları göz önünde bulundurularak h_w / l_w oranı 1,39 olacak şekilde üretilmiştir. Deney elemanlarının donatı şeması ACI 318-14'e [53] göre tasarlanmıştır. REF-D deney elemanının ACI 318-14'e göre eğilme momenti ve kesme kapasitesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Deney elemanında kullanılan düşey donatı aralığı için $S_{l\,max}$ ve yatay donatı aralığı için $S_{t\,max}$ uygunluk kontrolü yapılmıştır.

$$S_{l\,max} = \begin{cases} 3b_w \\ 457{,}2\ \text{mm} \\ l_w/3 \end{cases} = \begin{cases} 450\ \text{mm} \\ 457{,}2\ \text{mm} \\ 600\ \text{mm} \end{cases} > 175\ \text{mm} \tag{5.1}$$

$$S_{t\,max} = \begin{cases} 3b_w \\ 457{,}2\ \text{mm} \\ l_w/5 \end{cases} = \begin{cases} 450\ \text{mm} \\ 457{,}2\ \text{mm} \\ 360\ \text{mm} \end{cases} > 225\ \text{mm} \tag{5.2}$$

Perde duvar gövdesinde kullanılan düşey donatı oranı (ρ_l) ve yatay donatı oranı (ρ_t) minimum donatı oranı şartlarını sağlamaktadır.

$$\rho_l = \frac{A_{Sv}}{(b_w \times l_w)} = 0{,}0064 \geq 0{,}0025 = \rho_{l\,min} \tag{5.3}$$

$$\rho_t = \frac{A_{Sh}}{(b_w \times S_t)} = 0{,}0047 \geq 0{,}0025 = \rho_{t\,min} \tag{5.4}$$

Deneysel çalışma kapsamında betonarme perde duvar deney elemanlarına eksenel kuvvet uygulanmamıştır. Deney elemanlarının eksenel kuvvet değeri (N_D) olarak sadece deney elemanının kendi ölü ağırlığı hesaplamalara katılmıştır. Bu değere göre ise N_u değeri hesaplanmıştır.

$$N_D = \begin{cases} \text{Beton Ağırlığı} = \left(2{,}5 \times 1{,}8 \times 0{,}15 - 22 \times \dfrac{\pi \times 0{,}01^2}{4}\right) \times 2{,}197 = 1479{,}18\ \text{kg} \\ \text{Demir Ağırlığı} = 22 \times 2{,}5 \times 0{,}617 = 33{,}94\ \text{kg} \end{cases}$$

$N_D = 1513{,}12 \times 9{,}81 = 14{,}84$ kN

$$N_u = 0{,}9 \times N_D = 0{,}9 \times 14{,}84 = 13{,}36 \text{ kN} \quad (5.5)$$

Betonarme kesitte tarafsız eksen (c) hesaplamasının yapılabilmesi için ilk olarak f_c' değeri 25,3 MPa kullanılarak Eşitlik 5.6'da β_1 katsayısı belirlenmiştir. Eşitlik 5.3'de elde edilen değer Eşitlik 5.7'de kullanılarak w değeri hesaplanmıştır. Eşitlik 5.5'de elde edilen N_u değeri Eşitlik 5.8'de kullanılarak α değeri hesaplanmıştır.

$$\beta_1 = \begin{cases} 17{,}27 \text{ MPa} < f_c' \leq 27{,}58 \text{ MPa}, & \beta_1 = 0{,}85 \end{cases} \quad (5.6)$$

$$w = \rho_l \times \frac{f_{sy}}{f_c'} = 0{,}0064 \times \frac{459}{25{,}3} = 0{,}11611 \quad (5.7)$$

$$\alpha = \frac{N_u}{h \times l_w \times f_c'} = \frac{13360}{150 \times 1800 \times 25{,}3} = 1{,}9558 \times 10^{-3} \quad (5.8)$$

Tarafsız eksen c'nin hesaplamasında Eşitlik 5.6, Eşitlik 5.7 ve Eşitlik 5.8 de bulunan değerler kullanılmıştır.

$$c = \left(\frac{\alpha + w}{0{,}85 \times \beta_1 + 2 \times w}\right) \times l_w = \left(\frac{1{,}9558 \times 10^{-3} + 0{,}11611}{0{,}85 \times 0{,}85 + 2 \times 0{,}11611}\right) \times 1800 = 222{,}60 \text{ mm} \quad (5.9)$$

$d = 0{,}8 \times l_w = 0{,}8 \times 1800 = 1440$ mm

Boşluksuz deney elemanlarının moment kapasitesi M_n ve bu moment değerini oluşturacak yatay yükleme kapasitesi V_n' değerleri aşağıdaki eşitliklerde hesaplanmıştır.

$$A_{St} = A_{Sv} \times \frac{l_w}{S_l} = 1727{,}88 \times \frac{1800}{175} = 17772 \text{ mm}^2$$

$$T = A_{St} \times f_{sy} \times \left(\frac{l_w - c}{l_w}\right) = 17772 \times 459 \times \left(\frac{1800 - 222{,}60}{1800}\right) = 7151371 \text{ N}$$

$$M_n = T \times \left(\frac{l_w}{2} \right) + N_u \times \left(\frac{l_w - c}{l_w} \right) = 7151371 \times \left(\frac{1800}{2} \right) + 13360 \times \left(\frac{1800 - 222,60}{2} \right)$$

$M_n = 644,68$ kNm

$\emptyset M_n = 0,9 \times 644,68 = 580,20$ kNm

$$V_n' = \frac{M_n}{H'} = \frac{580,20}{2,4} = 241,75 \text{ kN}$$

Boşluksuz deney elemanlarının kesme kapasitesi V_n değeri Eşitlik 5.10 ve Eşitlik 5.11'den elde edilen değerlerin toplanmasıyla aşağıda hesaplanmıştır. Ø değerleri ACI 318-14 Tablo 21.2.1'den alınmıştır.

$$V_C = 0,8 \times V_{CR} = 0,8 \times 0,65 \times f_{ctd} \times d \times b_w = 214,53 \text{ kN} \quad (5.10)$$

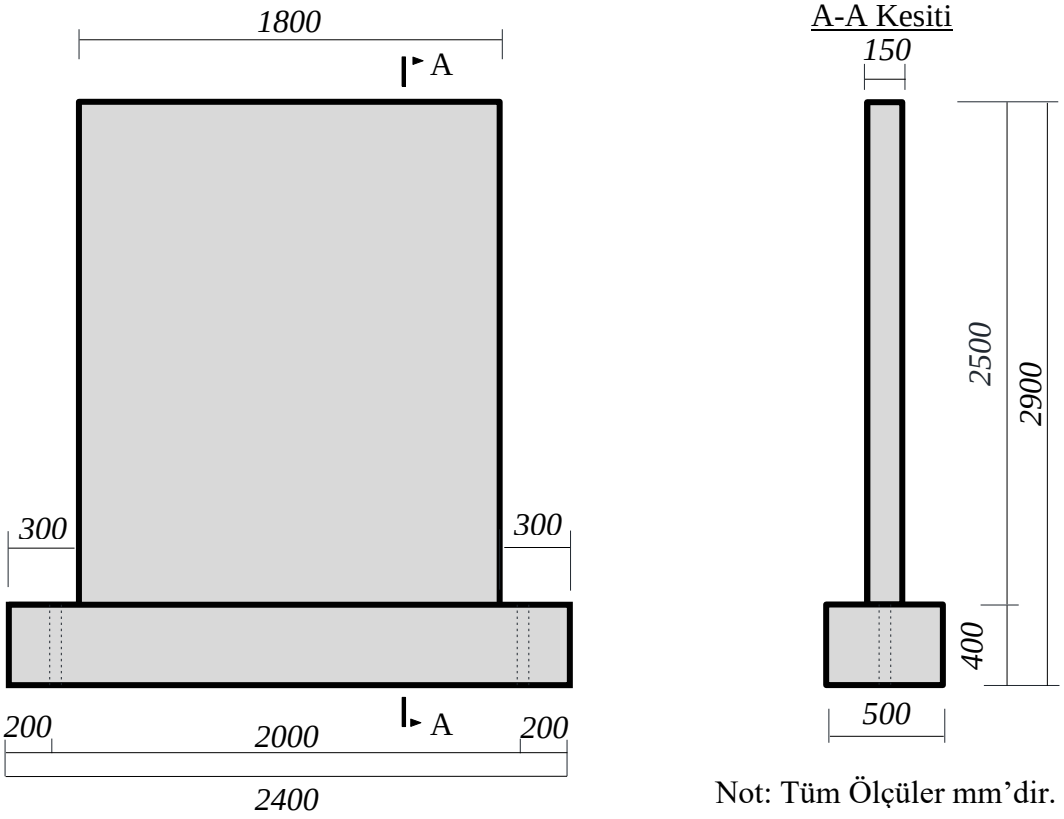
$$V_S = A_{Sh} \times f_{ywd} \times d = 90,28 \text{ kN} \quad (5.11)$$

$V_n = V_C + V_S = 214,53 + 90,28 = 304,81$ kN

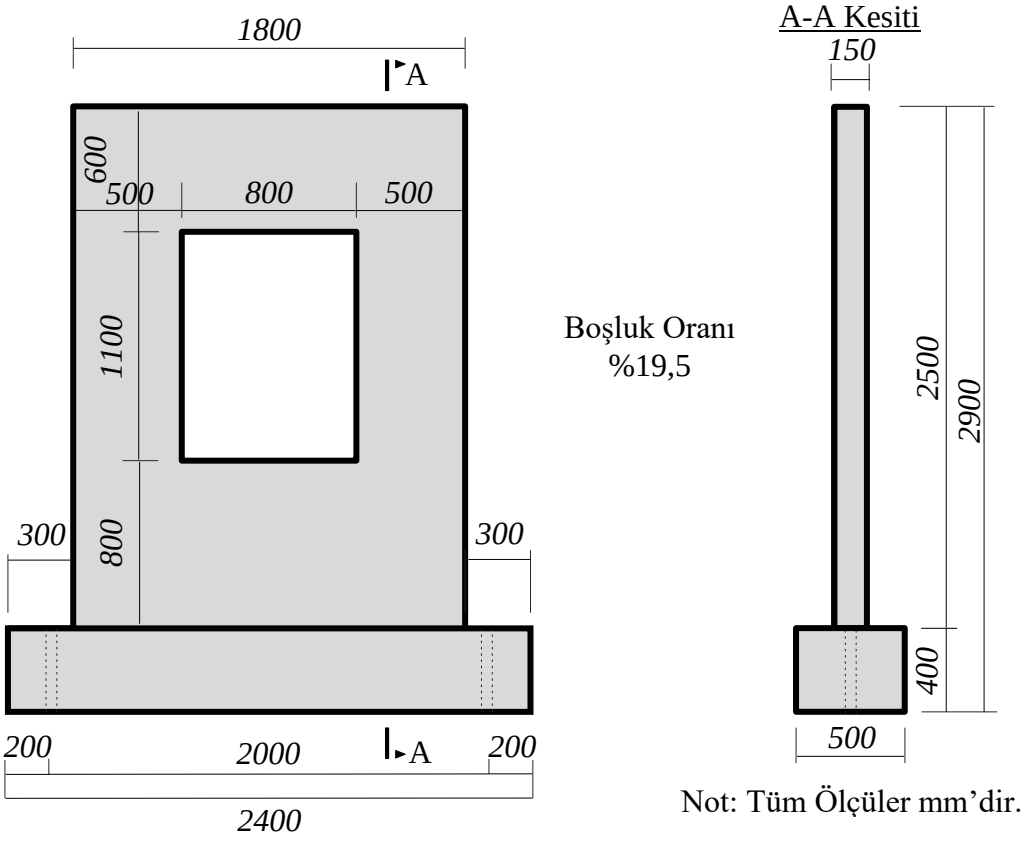
$\emptyset V_n = 0,75 \times 304,81 = 228,61$ kN

Yukarıda detaylı biçimde verilen hesap sonucunda REF-D deney elemanının 580,20 kNm eğilme momenti ve 228,61 kN kesme kapasitesine sahip olacağı teorik olarak öngörülmüştür. Betonarme perde duvarların h_w / l_w oranına ve hesaplanan teorik moment ile kesme kapasitesine bağlı olarak yapılan deneysel ve analitik çalışmalara göre, bu çalışmada kullanılan betonarme perde duvarların bileşik kesme-eğilme davranışı göstermesi beklenmektedir [72-74].

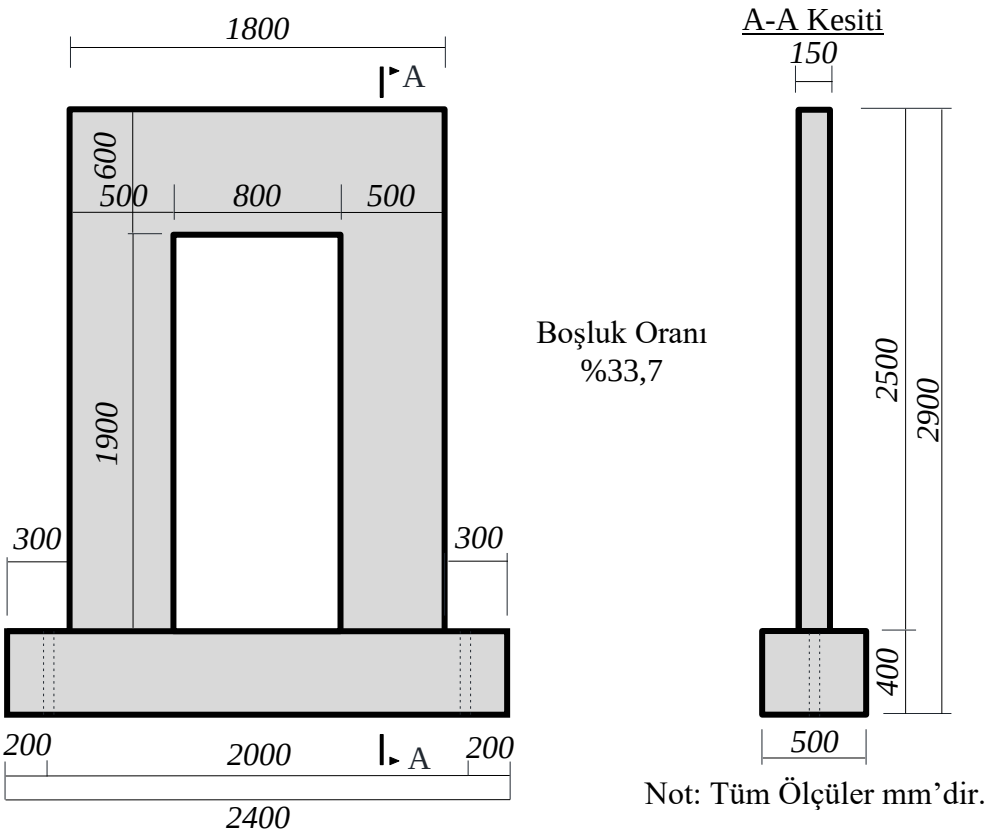
Betonarme perde duvarlara ait boşluksuz deney elemanın kalıp planı Şekil 3.1'de, pencere boşluklu deney elemanın kalıp planı Şekil 3.2'de ve kapı boşluklu deney elemanın kalıp planı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Boşluksuz betonarme perde duvar deney elemanlarının kalıp planı



Şekil 3.2. Pencere boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının kalıp planı



Şekil 3.3. Kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının kalıp planı

Boşluklu deney elemanlarının üretimi için, toplam perde duvar alanının %19,5 oranında betonarme perde duvar simetri ekseninde 1100 x 800 mm boyutlarında pencere boşluğu ve toplam perde duvar alanının %33,7 oranında betonarme perde duvar simetri ekseninde 1900 x 800 mm boyutlarında kapı boşluğu bırakılmıştır. Ayrıca, deney elemanlarının yüksek dayanımlı gijonlar ile laboratuvarda yer alan rijit deney döşemesine dik şekilde mesnetlenebilmesi için beton dökümü esnasında temel kirişi içerisinde 50 mm çapında iki adet boşluk bırakılmıştır. Deney elemanlarının kalıp yapımına ait görseller Resim 3.3 ve Resim 3.4'de verilmiştir.

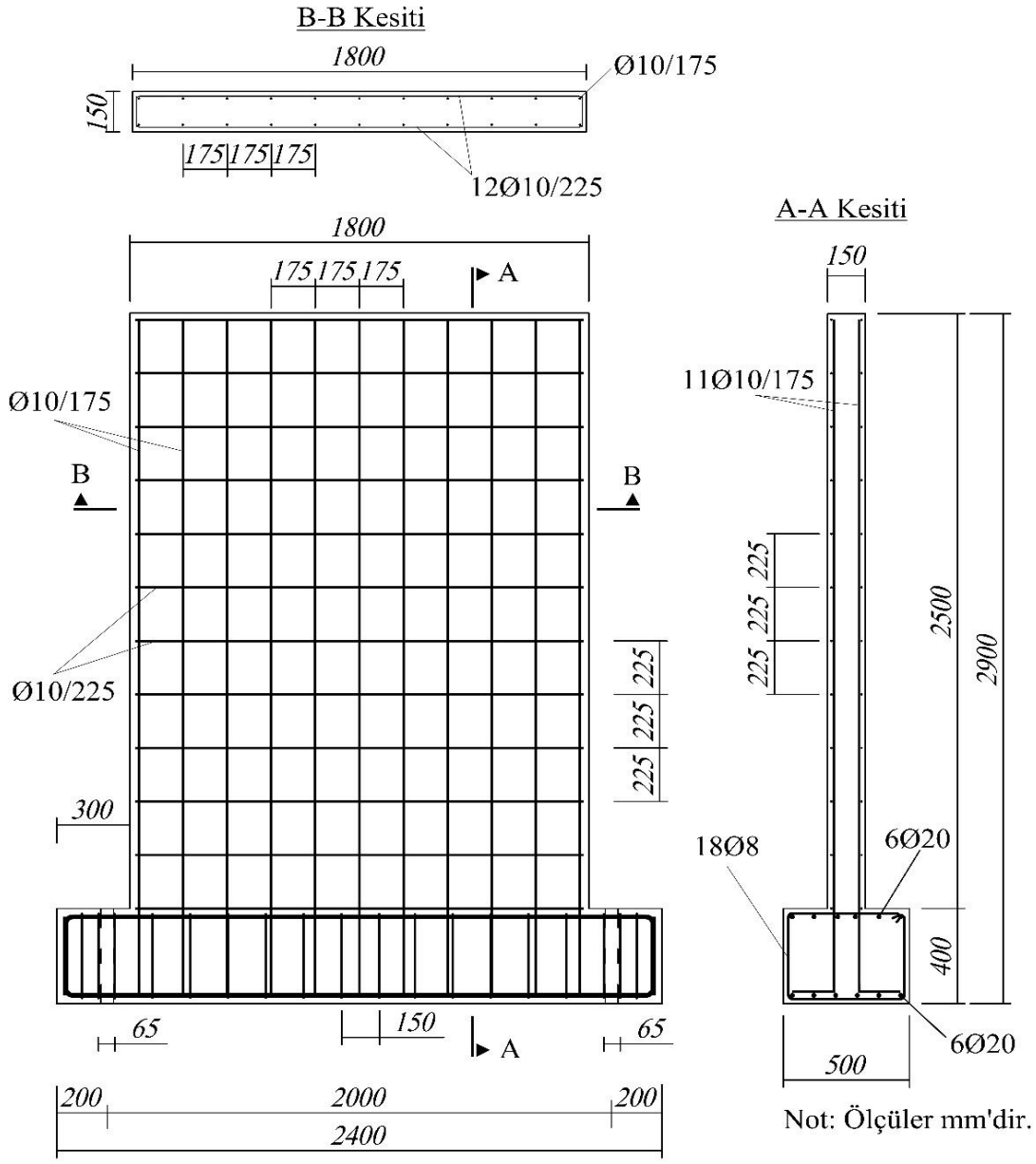


Resim 3.3. Kalıp imalatı ve montajı

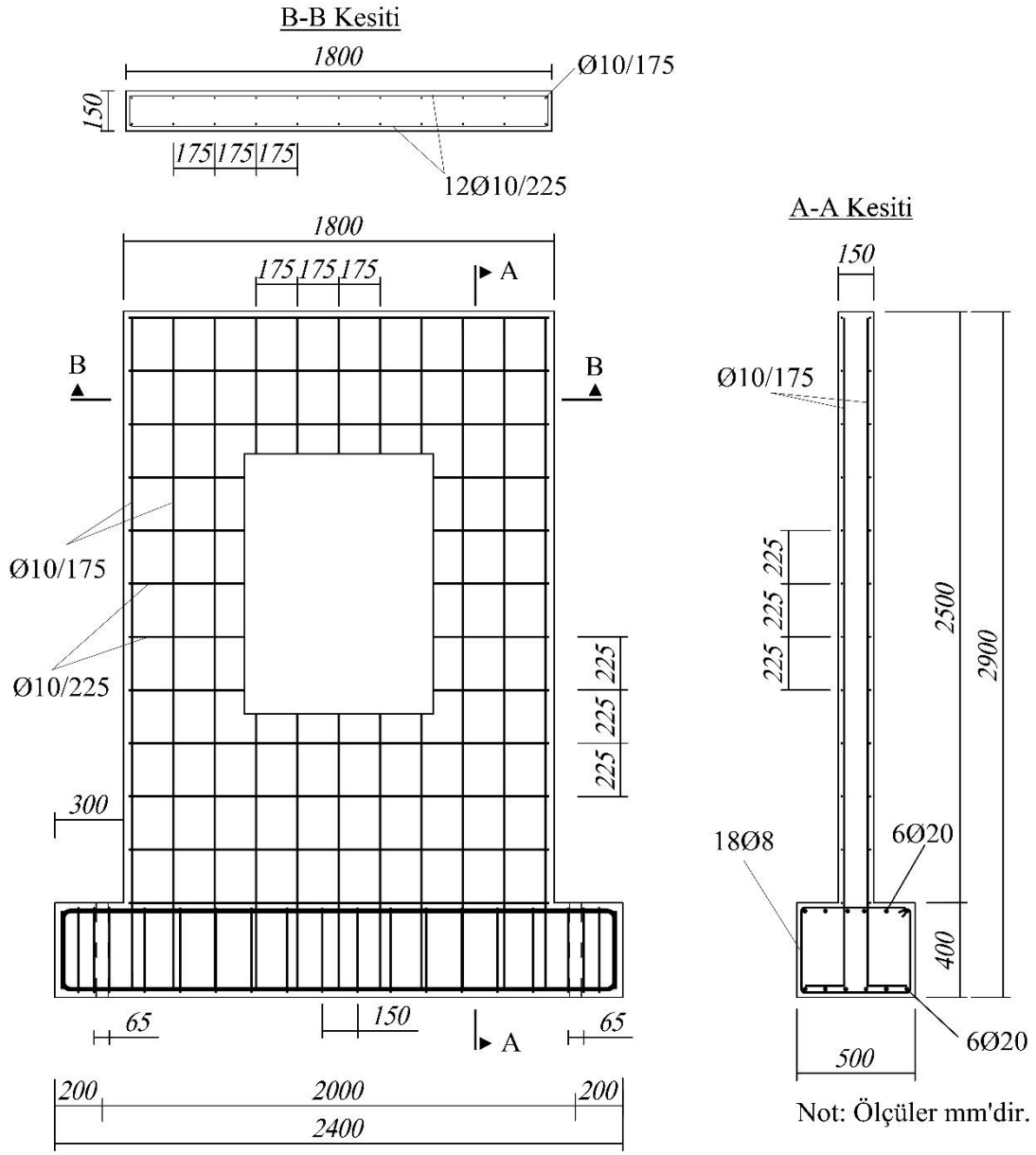


Resim 3.4. Tamamlanmış kalıp imalatları

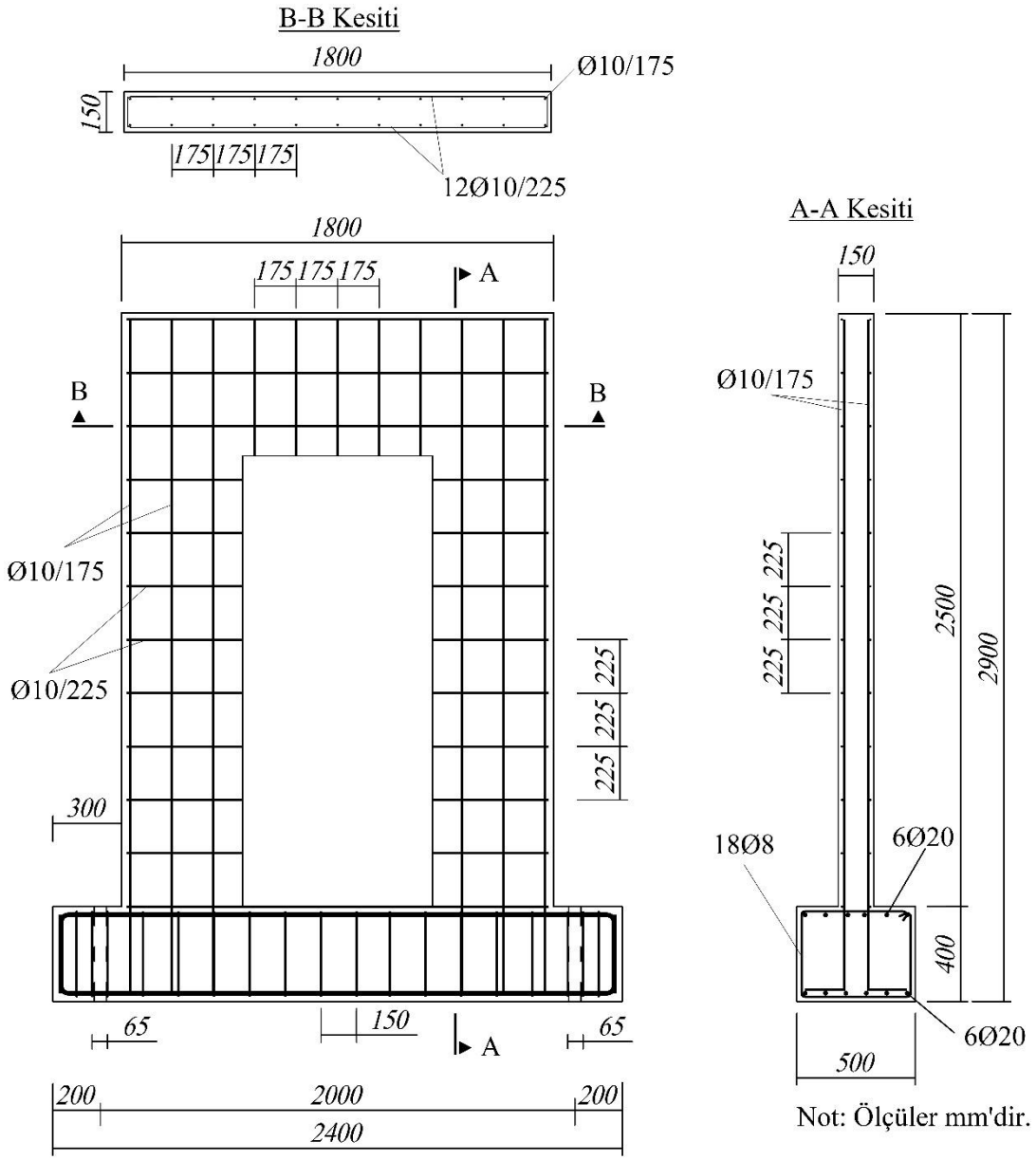
Betonarme perde duvarlara ait boşluksuz deney elemanın donatı planı Şekil 3.4'de, pencere boşluklu deney elemanın donatı planı Şekil 3.5'de ve kapı boşluklu deney elemanın donatı planı Şekil 3.6'da verilmiştir. Kullanılan donatılar tek seferde temin edilmiş ve özdeştir. Temel kirişinde, yüksek dayanımlı gijonlar ile laboratuvarda yer alan rijit deney döşemesine dik şekilde mesnetlenebilmesi için bırakılan 50 mm çapındaki boşluk etrafında etriye sıklaştırması yapılmıştır. Perde gövdesinde 25 mm paspayı ve temel kirişinde 30 mm paspayı bırakılmıştır. Donatılar İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında işlenmiş ve montajı yapılarak kalıba yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının donatı imalatına ait görseller Resim 3.5 ve Resim 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.4. Boşluksuz betonarme perde duvar deney elemanlarının donatı planı



Şekil 3.5. Pencere boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının donatı planı



Şekil 3.7. Kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarının donatı planı



Resim 3.5. Donatıların hazırlanması ve imalatı



Resim 3.6. Tamamlanmış donatı imalatları

Betonarme perde duvarların üretiminin, kolay ve monolitik dökümün yapılabilmesi için kalıplar yatay konumlandırılmıştır. Deneysel çalışmada, toplam 12 adet betonarme perde duvarın saha uygulamalarına benzer olacak şekilde gerçek ölçülerde üretilmesi planlamıştır. Üretim planlaması gereğince, her beton dökümünde 3 adet olmak üzere 12 deney elemanı 4 ayrı beton dökümü ile imal edilmiştir. Her bir beton dökümünde bir adet boşluksuz, bir adet pencere boşluklu ve bir adet kapı boşluklu olmak üzere üç adet betonarme perde duvar üretilmiştir. Beton dökümü esnasında beton içerisindeki hava kabarcıklarını çıkarmak, segregasyon oluşumunu engellemek ve deney elemanının her yerinde homojen bir dağılım elde edebilmek için el vibratörü kullanılmıştır. Ayrıca, mastar yardımıyla deney elemanlarının üst yüzeyindeki çukur/pürüzler düzeltilmiş ve yüzey aynı seviyeye getirilerek düzlenmiştir. Deney elemanlarının beton dökümüne ait görseller Resim 3.7 ve Resim 3.8'de verilmiştir.



Resim 3.7. Deney elemanlarının beton dökümü



Resim 3.8. Beton dökümü tamamlanan deney elemanları

Beton dökümünü takip eden 28. günde, betonarme perde duvarlar dikey konuma getirilmiş ve deneye hazırlanmıştır.

3.2. Hasarlı Deney Elemanlarının Onarımı

Bu bölümde 6 adet ağır ve 6 adet orta düzeyde hasar görmüş toplam 12 adet betonarme perde duvarın tamirat ve onarımı hakkında bilgiler sunulmuştur. Deneysel çalışma kapsamında, ağır ve orta düzeyde hasar verilen deney elemanlarının hasar şekilleri, literatürde belirtilen betonarme perde duvarlarda görülen hasar şekilleriyle benzerlik göstermektedir [15-20].

Ağır hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarlarda, gövde alt uç köşelerde betonda ezilme ve bu bölgedeki perde boyuna donatılarında burkulma ile dış liflere yakın konumlanan boyuna donatılarda kopma gözlenmiştir. Ayrıca, perde gövdesi temel kirişi üzerinden ileri deney çevrimlerinde gelişen çatlakları ile tamamen kesilerek hasar meydan gelmiştir.

Ağır hasarlı pencere boşluklu betonarme perde duvarlarda, pencere alt ve üst köşelerinde gelişen yaklaşık 45° eğimli çatlaklar perde dış kenarlarına kadar ilerlemiş ve perde duvarın temel kirişi ile birleşim bölgesindeki köşelerde betonun ezilmesi deney elemanında kapasite kaybına yol açmıştır.

Ağır hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarlardaki kapı köşelerinde meydana gelen kesme çatlaklarının çok büyük oranda genişlemesi, perde duvarın temel kirişi ile birleşim bölgesindeki köşelerde betonda ezilme ve bu bölgedeki perde boyuna donatılarında

burkulma meydana gelmiştir. Ayrıca, perde duvarlarda en alt uç köşelerde betonda ezilme ve boyuna donatılarda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir. Orta düzeyde hasar görmüş betonarme perde duvarlarda ise diyagonal kesme/eğilme çatlaklarının sayısı ve genişlikleri sınırlı kalarak kılcal boyutta çatlaklar oluşmuştur.

Çalışma kapsamında orta ve ağır düzeyde hasara uğratılmış deney elemanlarının tamiratı aşamasına geçilmiştir. Deney elemanlarının tamiratı hakkında bilgiler bu bölümden itibaren sunulmuştur. Ağır hasarlı betonarme perde duvarların burkulan boyuna donatıları düzeltilmiş ve kopan boyuna donatılar ek yapılarak kaynatılmıştır. Ağır hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarların gövdesinin temel kirişi üzerinden kesilmesinden dolayı bu bölgedeki hasarlı ve yük taşıyamaz halde olan beton kesit kırılarak temizlenmiştir. Benzer biçimde, ağır hasar gören pencere boşluklu betonarme perde duvarların, pencere alt ve üst köşelerinde oluşan geniş 45° eğimli kesme çatlaklarından dolayı zarar gören beton kırılarak temizlenmiştir. Buna ek olarak temel kirişi – perde duvar birleşim bölgesindeki köşelerde betonun ezilmesinden dolayı oluşan hasarlı ve yük taşıyamaz halde olan beton parçaları da temizlenmiştir. Ağır hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarlarda oluşan kapı alt ve üst köşelerinde yaklaşık 45° eğimli geniş kesme çatlaklarından dolayı meydana gelen beton parçaları kırılarak temizlenmiştir. Ayrıca temel kirişi - perde duvar birleşim bölgesindeki köşelerde betonun ezilmesinden dolayı oluşan hasarlı ve yük taşıyamaz halde olan beton parçaları parçalanarak alınmıştır. Katmanların birbiriyle aderansını artırmak için farklı doğrultularda donatılar ankraj edilmiştir. Temizlenen kesit yüzeylerin aderansını artırmak için beton yüzey fırçalanmış sonrasında hava kompresörü yardımıyla tozdan arındırılmış ve nemlendirilmiştir. Daha sonra bu kesitler BASF MasterEmaco S 488 – Yapısal Tamir Harcı kullanarak doldurulmuştur. Yapılan tamirat çalışmalarına ait görseller Resim 3.9 - 3.13’de verilmiştir.



Resim 3.9. Ağır hasarlı boşluksuz perde duvarların hasarlı kesitlerinin temizlenmesi (a) D-AH-K deney elemanı (b) D-AH-Ç deney elemanı



Resim 3.10. Ağır hasarlı boşluklu perde duvarların hasarlı kesitlerinin temizlenmesi (a) P-AH-K deney elemanı (b) K-AH-K deney elemanı



Resim 3.11. Donatı ankrajlarının yapılması ve kopan boyuna donatıların kaynaklanması (a) K-AH-K deney elemanı (b) D-AH-Ç deney elemanı



Resim 3.12. Yapısal tamir harcı ile boşluklu perde duvarların tamiratının tamamlanması (a) P-AH-K deney elemanı (b) K-AH-Ç deney elemanı



Resim 3.13. Yapısal tamir harcı ile boşluksuz perde duvarların tamiratının tamamlanması (a) D-AH-K deney elemanı (b) D-AH-Ç deney elemanı

Kılcal çatlakların tamirinde epoksi enjeksiyon uygulamasının etkisi deneysel çalışmalar ile kanıtlanmıştır [75, 76]. Ağır ve orta düzeyde hasarlı 12 adet betonarme perde duvarda oluşan tüm kılcal çatlaklardaki beton parçaları temizlenmiş, hava kompresörü yardımıyla tozdan arındırılmış ve epoksi enjeksiyon uygulamasıyla tamir edilmiştir.

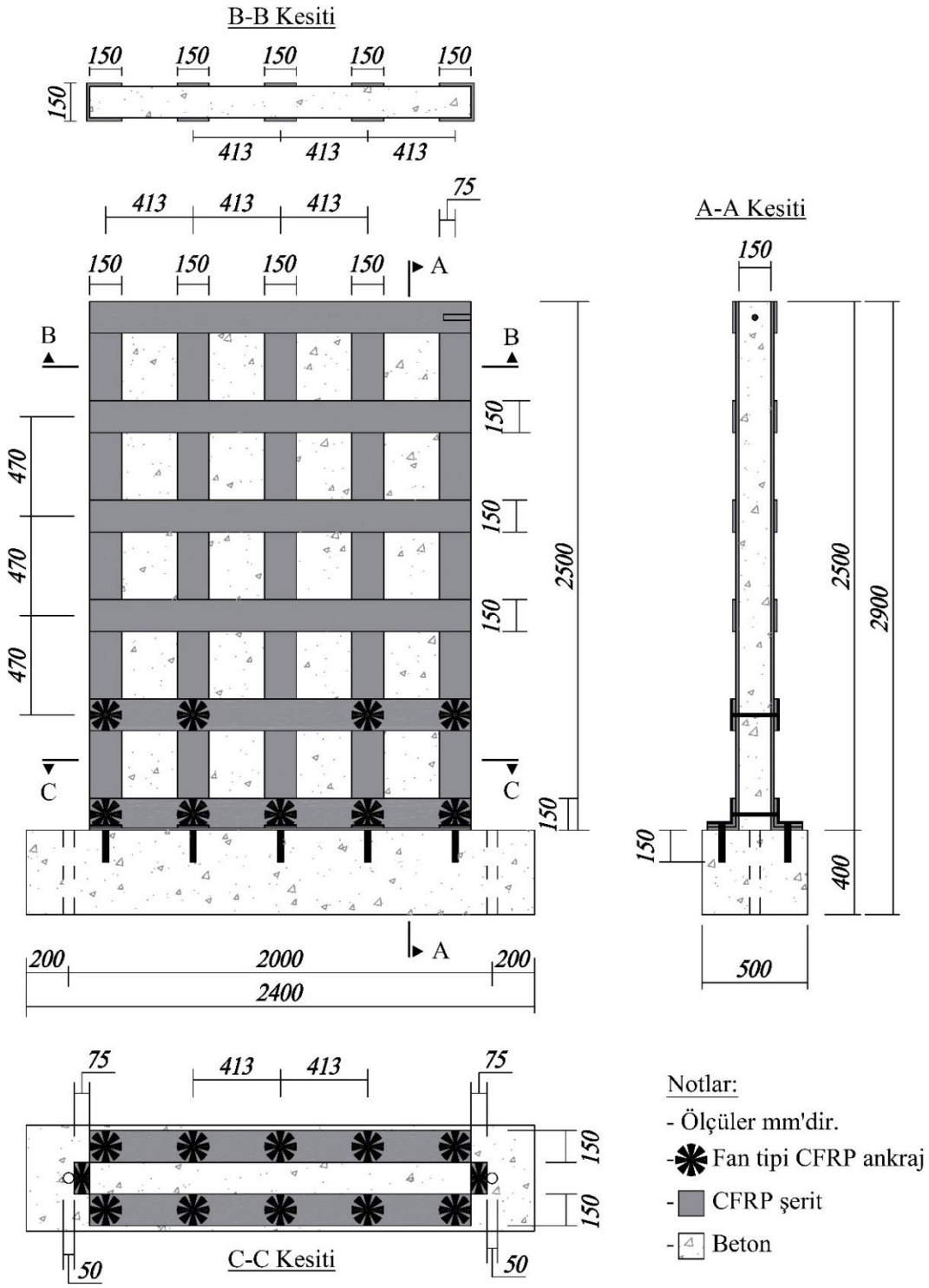
Literatür araştırmasında hasarlı betonarme taşıyıcı sistemlerin onarımında/güçlendirmesinde kullanılan birçok teknik bulunmaktadır [13,77-80]. Onarım, hasar gören elemanlar üzerinde uygulanan ve yapısal davranışı iyileştirmeyi hedefleyen çalışmalardır. Ancak onarım çalışmasında, gerek elemanın öncesinde almış olduğu hasar düzeyi gerekse de taşıyıcının orijinal tasarım parametreleri bakımından doğal olarak nihai başarı düzeyinin tahmin edilebilmesi olası değildir. Bu çalışmada, en kısa sürede imalatı yapılabilen, onarım esnasında yapının kullanımını tamamen engellemeyen ve yapının toplam ağırlığında önemli düzeyde artışa neden olmayan CFRP ve çelik şeritler ile onarım tekniği seçilmiştir. Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında, kesme dayanımı yetersiz olarak üretilen ağır ve orta düzeyde hasarlı perde duvarlar üzerinde CFRP ve çelik şeritler ile deney elemanlarının onarımı yapılmıştır. Alt başlıklarda, ağır ve orta düzeyde hasar görmüş deney elemanlarının onarım detayları ve aşamaları hakkında bilgiler sunulmuştur.

3.2.1. Deney elemanlarının CFRP ile onarımı

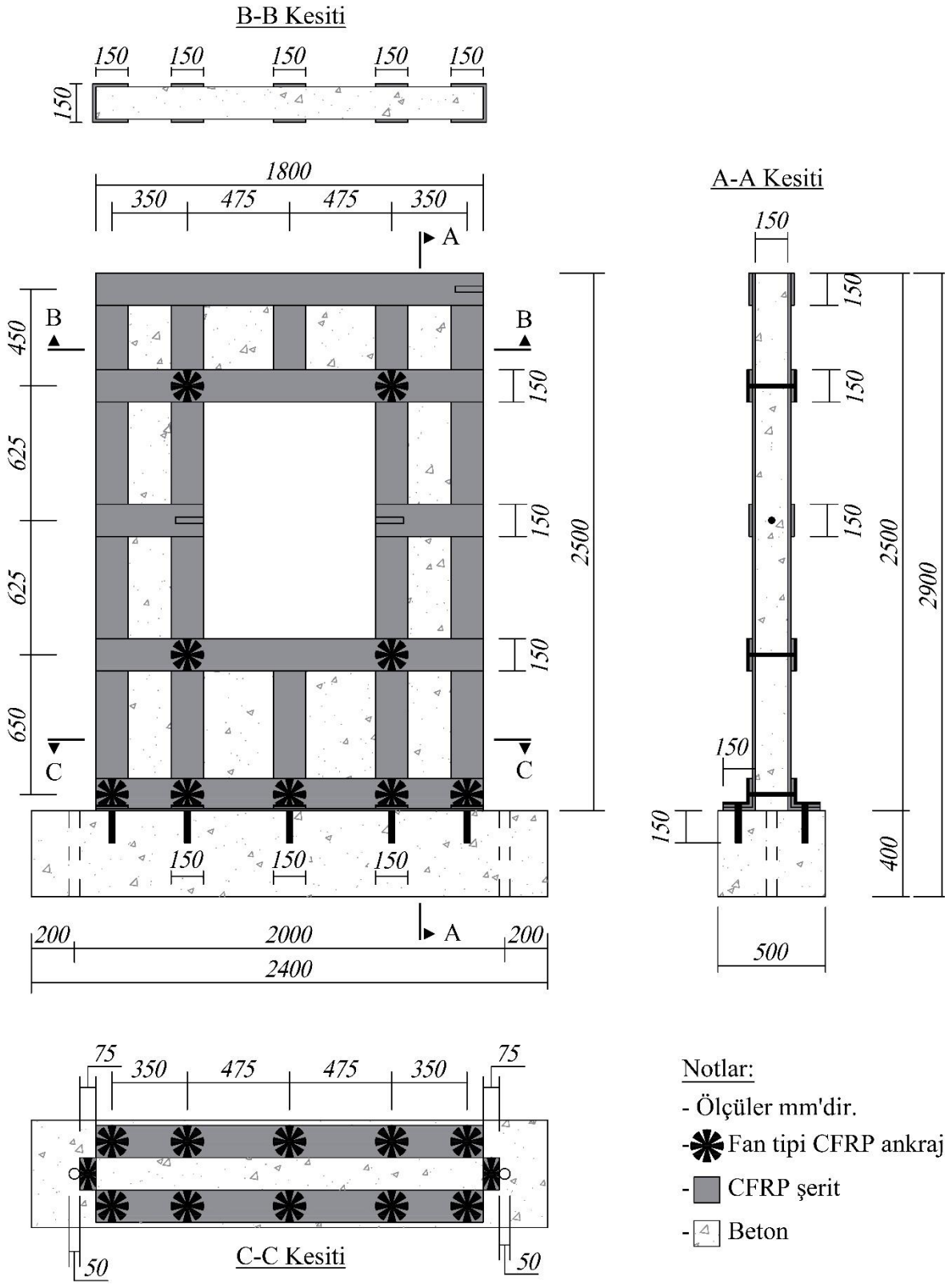
Son yıllarda CFRP kullanarak betonarme yapıların onarımı ya da güçlendirilmesinde önemli derecede artış vardır. CFRP genel olarak; uygulama kolaylığı, korozyona karşı yüksek performans ve yüksek dayanım/yapıya eklenen ağırlık oranı nedeniyle tercih edilmektedir. Literatürde genel olarak CFRP sargılama ile onarılan/güçlendirilen betonarme kolonlar üzerine araştırmalar mevcuttur [81-83]. Farklı düzeylerde hasar görmüş, boşluksuz ve boşluklu betonarme perde duvarların CFRP şeritler ile onarım/güçlendirilmesi üzerine kısıtlı çalışma vardır. Betonarme perde duvarların CFRP şeritler kullanarak onarılması/güçlendirilmesi pratik bir teknik olsa da; literatürde CFRP şerit düzeni, dayanıma etkisi ve enerji tüketimi gibi konularda bilgi eksikliği vardır.

Çalışma kapsamda 1/1 gerçek ölçülerde, 3 adet ağır düzeyde (D-AH-K, P-AH-K ve K-AH-K) ve 3 adet orta düzeyde (D-OH-K, P-OH-K ve K-OH-K) hasar görmüş toplam 6 adet betonarme perde duvar CFRP şeritler ile ACI 440.2R-02'ye [81] uygun olacak şekilde onarılmıştır. CFRP şeritler beton duvarın her iki tarafına simetrik olarak uygulanmıştır. Boşluksuz perde duvar yüzeyinin %62,7'si, pencere boşluklu perde duvar yüzeyinin %66,3'ü ve kapı boşluklu perde duvar yüzeyinin %70,5'si CFRP şerit ile kapatılmıştır. Uygulanan CFRP şeritlerle onarım detayları Şekil 3.7-3.9' da verilmiştir. Literatürde betonarme elemanların onarımında yaygın olarak kullanılan beş CFRP yapıştırma tekniğini hakkında araştırmalar bulunmaktadır. CFRP yapıştırma tekniklerinden en etkili yöntemin betonarme elemanın dörtkenarının sürekli olacak şekilde sargılanması olduğu bildirilmektedir. Bu tekniği sırasıyla U şeklinde sargılama (üç kenar sürekli), iki uzun kenar sargılama, iki kısa kenarla birlikte tek uzun kenar sargılama ve tek kenar süreksiz sargılamanın izlediğini belirtilmiştir [60]. Ayrıca yapılan araştırmalarda, dörtkenarın sürekli olacak şekilde sargılama yapılmasının, CFRP şeritlerin ayrılmasından dolayı erken göçme riskini neredeyse sıfırladığı belirtilmiştir [85]. Benzer şekilde bu çalışmada da betonarme perde duvarlarda sargılama etkisinin arttırılması için tüm yatay CFRP şeritler dörtkenarı sürekli olacak şekilde tasarlanmıştır. Düşey şeritler ise, CFRP şeritlerin taşıdığı çekme kuvvetini deney elemanının temel kirişine aktarmak için L şeklinde (temel kirişi yüzeyinde devam edecek şekilde) tasarlanmıştır. Boşluksuz betonarme perde duvar yüzeylerinde 320 mm aralıklarla 150 mm genişliğinde yatay şeritler ve 263 mm aralıklarla 150 mm genişliğinde düşey şeritler kullanılmıştır. Pencere ve kapı boşluklu betonarme perde duvarlarda ise literatürdeki araştırmalar dikkate alınarak boşluk etrafını tamamen

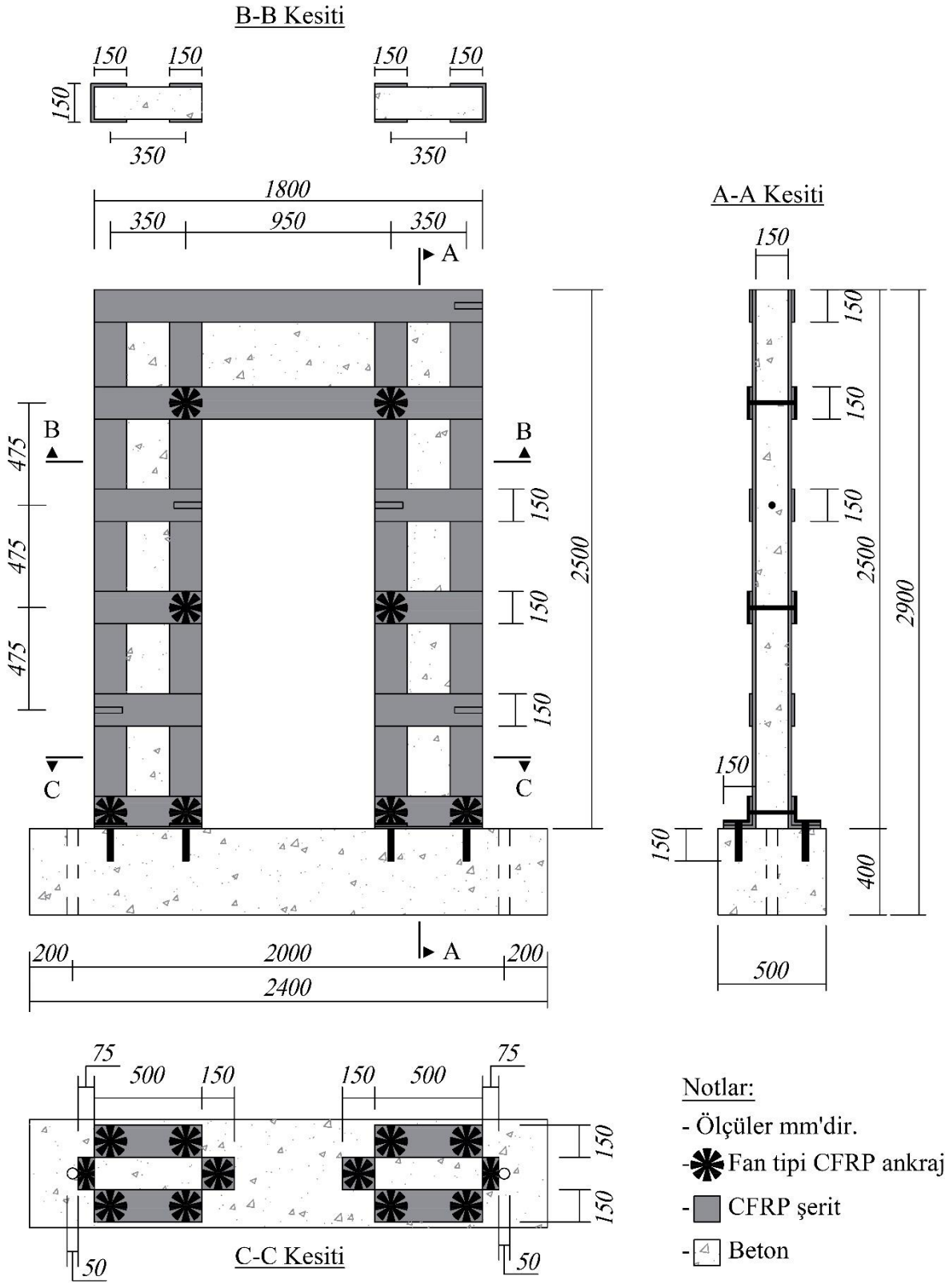
çevreleyecek şekilde [41, 86, 87] 150 mm genişliğinde yatay ve düşey CFRP şeritler kullanılmıştır. Bu prensiple pencere ve kapı boşluklu betonarme perde duvarlar için CFRP şerit konfigürasyonu tasarlanmıştır. Buna ek olarak gerilme birikimlerinin bulunduğu pencere ve kapı boşluğu köşeleri ankrajlar ile desteklenmiştir. Boşluksuz perde duvar deney elemanlarında ise maksimum moment bölgesinde ankrajlar yerleştirilerek desteklenmiştir.



Şekil 3.7. Hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarların CFRP onarım detayı



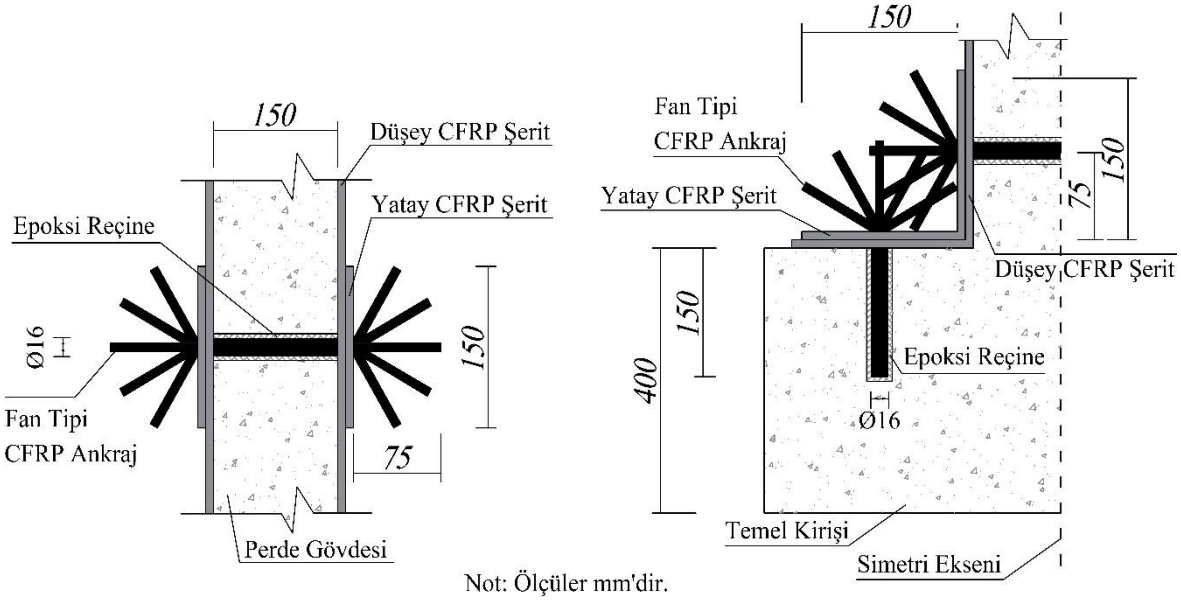
Şekil 3.8. Hasarlı pencere boşluklu betonarme perde duvarların CFRP onarım detayı



Şekil 3.9. Hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarların CFRP onarım detayı

Fiber elyaf kumaş (FRP) malzemelerini betonun dış yüzeyine yapıştırmak için epoksi reçine kullanılmaktadır. Ancak FRP şeritlerinin, tersinir tekrarlanır yük altında kopmadan önce beton yüzeyinden ayrıldıkları yaygın olarak raporlanmıştır [85]. FRP şeritlerin yüksek yük

taşıma kapasitesine rağmen, FRP şeritler ile güçlendirilen elemanlar, FRP şerit-beton yüzeyindeki yapışma problemi nedeniyle ayrılarak mekanik kapasitesinin altında göçmeye uğrayabilmektedir. Bu durumda, FRP şeritler betonarme elemanların onarılması/güçlendirilmesinde önemli bir rol oynamamaktadır. FRP şeritler ile beton arasındaki etkileşimi artırmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Yapılan literatür araştırmasında FRP şeritler ile beton arasındaki etkileşimi artırmak için genel olarak; U şekilli çelik plaklar ile FRP şerit ankraj [89, 90], fan tipi ankraj [44, 88], boru tip çelik ankraj [91, 92] ve hibrit FRP bağlantılı ankraj [93] olarak sıralanmaktadır. Bu deneysel çalışma kapsamında CFRP şeritler, fan tipi ankraj kullanılarak beton yüzeye ankraj edilmiştir. Kullanılan fan tipi ankrajlara ait detaylar Şekil 3.10'da verilmiştir. Perde gövdesini dik kesen ankrajlar, 150 mm genişliğinde ve 300 mm uzunluğunda CFRP şeritler yuvarlanarak rulo haline getirilmiş ve rulonun her iki ucundaki 75 mm uzunluğundaki CFRP şeritler fan şeklinde açılarak imal edilmiştir. Temel kirişindeki ve perde gövdesine paralel ankrajlar, 150 mm genişliğinde ve 225 mm uzunluğunda CFRP şeritler yuvarlanarak rulo haline getirilmiş ve rulonun bir ucundaki 75 mm uzunluğundaki CFRP şeritler fan şeklinde açılarak imal edilmiştir. Kullanılan tüm ankrajların fan çapı 150 mm olacak şekilde açılmıştır. Ancak yüksek dayanımlı gijonlar için temel kirişinde bırakılan boşlukların CFRP fan ile kapanması önlemek amacıyla uygulama esnasında bu bölgedeki fanların ölçüleri 75 x 150 mm olacak şekilde açılmıştır.



Şekil 3.10. Kullanılan fan tipi ankrajlara ait detaylar

CFRP ile onarım çalışmalarının uygulama kısmında ilk adım olarak CFRP şeritlerin ve fan tipi CFRP ankrajların yerleri, tamiratı tamamlanmış ağır ve orta düzeyde hasar görmüş olan deney elemanları üzerinde işaretlenmiştir. Daha sonra betonarme perde duvar gövdesinde ve temel kirişinde, fan tipi CFRP ankrajların yerleştirileceği 18 mm çaplı delikler açılmıştır. CFRP şeritlerin duvar yüzeyine epoksi reçine ile yapıştırılabilmesi için, beton yüzeyindeki düzensizlikler ve çimento şerbeti bulunan üst tabaka elmaslı beton duvar silme makinası ile silinmiş ve beton içerisindeki agregalar açığa çıkarılmıştır. Silinen beton yüzey ile CFRP şeritlerin aderansını artırmak için 1-2 mm derinliğinde pürüzlendirme yapılmıştır. Epoksi reçine uygulamasından önce işlem yapılan yüzeyler ve açılan ankraj delikleri hava kompresörü yardımıyla tozdan arındırılmıştır. Üretici firmanın el ile kuru uygulama metodunda belirtiği üzere ilk katman olarak yüzeylere 1.0-1.5 kg/m^2 olacak şekilde epoksi reçine sürülmüş ve ankraj deliklerine enjeksiyon yapılmıştır [94]. Onarım detaylarına göre uzunluk ve genişlikte hazırlanan CFRP şeritler yapıştırılmış ve önceden hazırlanan fan tipi CFRP ankrajlar açılan deliklere yerleştirilmiştir. Ayrıca, üst üste gelen CFRP şeritler arasına, fan tipi CFRP ankrajlar arasına ve en üstte kalan CFRP şeritlere 0,8 kg/m^2 olacak şekilde epoksi reçine sürülmüştür. Son olarak fan tipi CFRP ankrajların uçları her yönde fan şeklinde açılarak (fan çapı 150 mm) yapıştırılmıştır. Deney elemanları deneye hazır hale getirilmiş ve 7 gün beklendikten sonra deneyleri tamamlanmıştır. Yapılan onarım çalışmalarına ait görseller Resim 3.14 - 3.17'de verilmiştir.



Resim 3.14. Beton yüzeyinin temizlenmesi ve CFRP şeritlerin yerlerinin işaretlenmesi



Resim 3.15. Ankraj deliklerinin açılması ve epoksi reçine uygulaması (a) K-OH-K deney elemanı (b) D-AH-K deney elemanı



Resim 3.16. Düşey ve yatay CFRP şeritlerin beton yüzeye epoksi reçine ile yapıştırılması (a) D-OH-K deney elemanı (b) K-AH-K deney elemanı



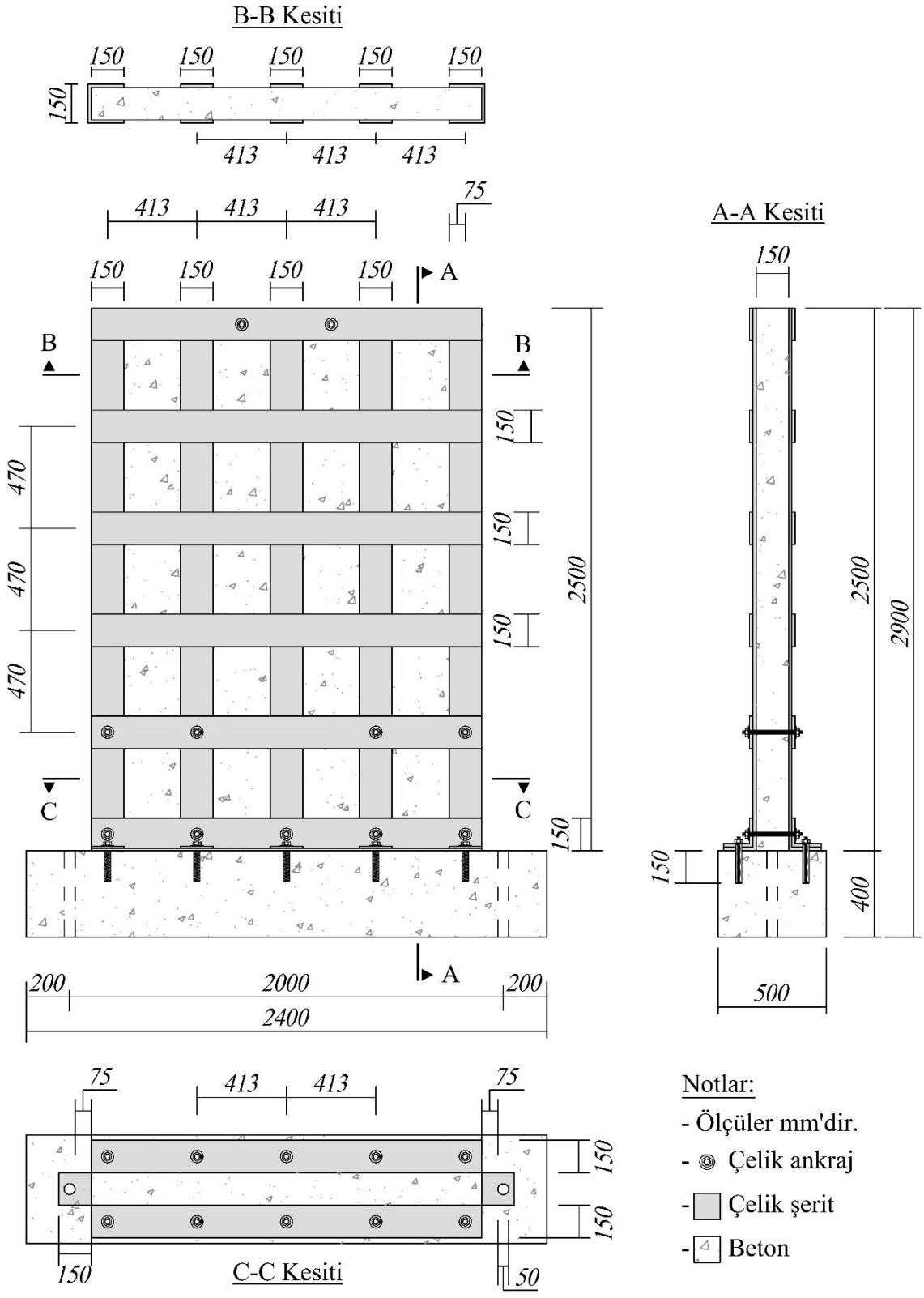
Resim 3.17. Fan tipi CFRP ankrajların perde gövdesine ve temel kirişine yerleştirilmesi (a) P-AH-K deney elemanı (b) K-OH-K deney elemanı

3.2.2. Deney elemanlarının çelik şerit ile onarımı

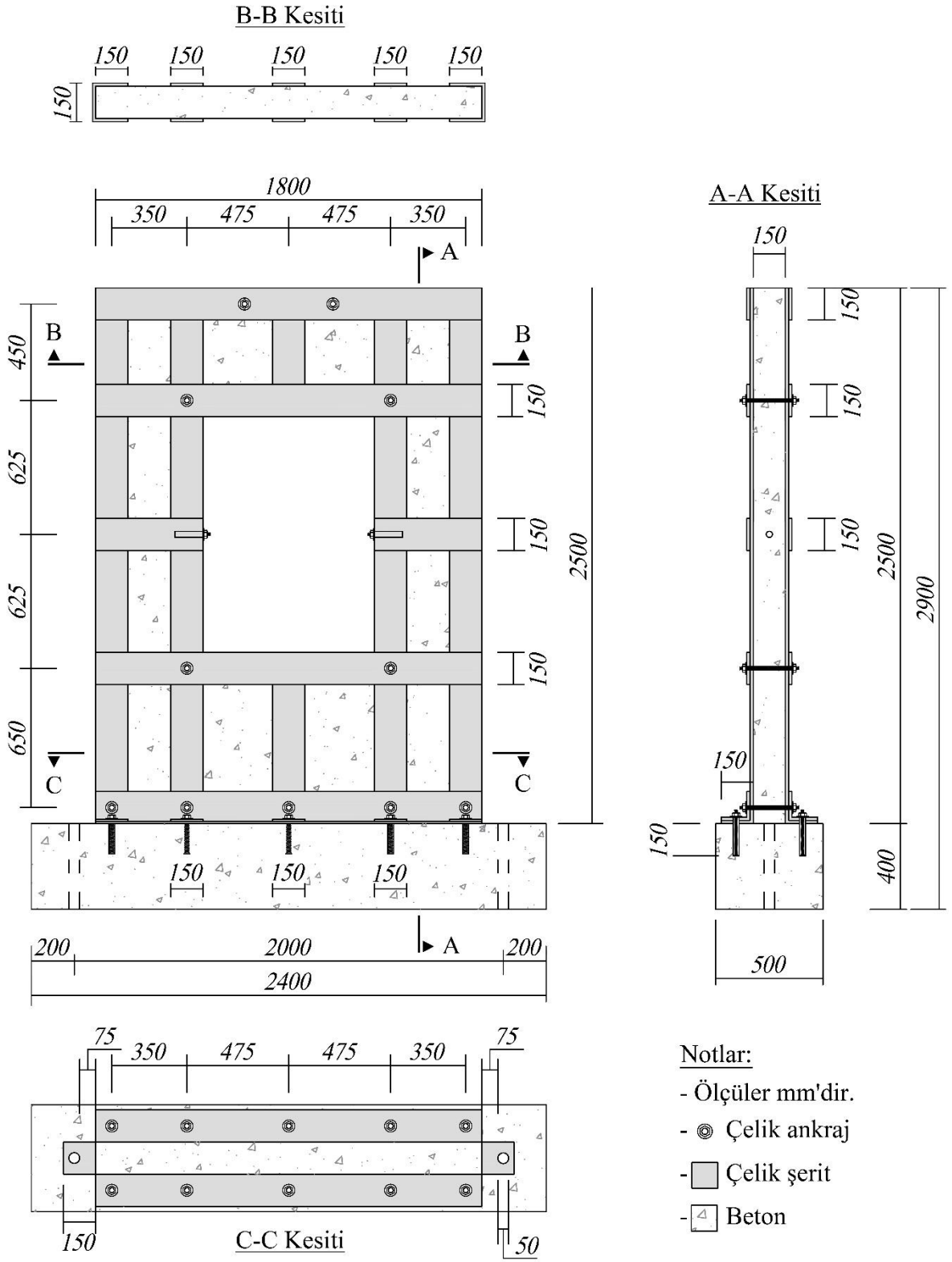
Betonarme taşıyıcı elemanların deprem davranışını iyileştirmek için, elemanın dış yüzeylerine yapıştırılan çelik şeritlerle onarım/güçlendirme yöntemi etkili bir tekniktir. Betonarme kolonların ve kirişlerin dış yüzeylerine çelik şerit yapıştırma tekniği ile onarılması/güçlendirilmesi, taşıyıcı elemanın dayanımını ve sünekliğini arttırdığı yapılan literatürdeki deneysel ve analitik çalışmalarda görülmüştür [37, 95-97]. Ancak boşluklu perde duvarlarda bu onarım/güçlendirme tekniğinin kullanımının, diğer onarım/güçlendirme teknikleri ile kıyaslamasının yapıldığı çalışmalara literatürde rastlanılmamıştır.

Çalışma kapsamda 1/1 gerçek ölçülerde, 3 adet ağır düzeyde (D-AH-Ç, P-AH-Ç ve D-HD-SP) ve 3 adet orta düzeyde (D-OH-Ç, P-OH-Ç ve K-OH-Ç) hasar görmüş toplam 6 adet betonarme perde duvar çelik şeritler ile onarılmıştır. Çelik şeritler beton duvarın her iki tarafına simetrik olarak uygulanmıştır. Boşluksuz perde duvar yüzeyinin %62,7'si, pencere boşluklu perde duvar yüzeyinin %66,3'ü ve kapı boşluklu perde duvar yüzeyinin %70,5'si

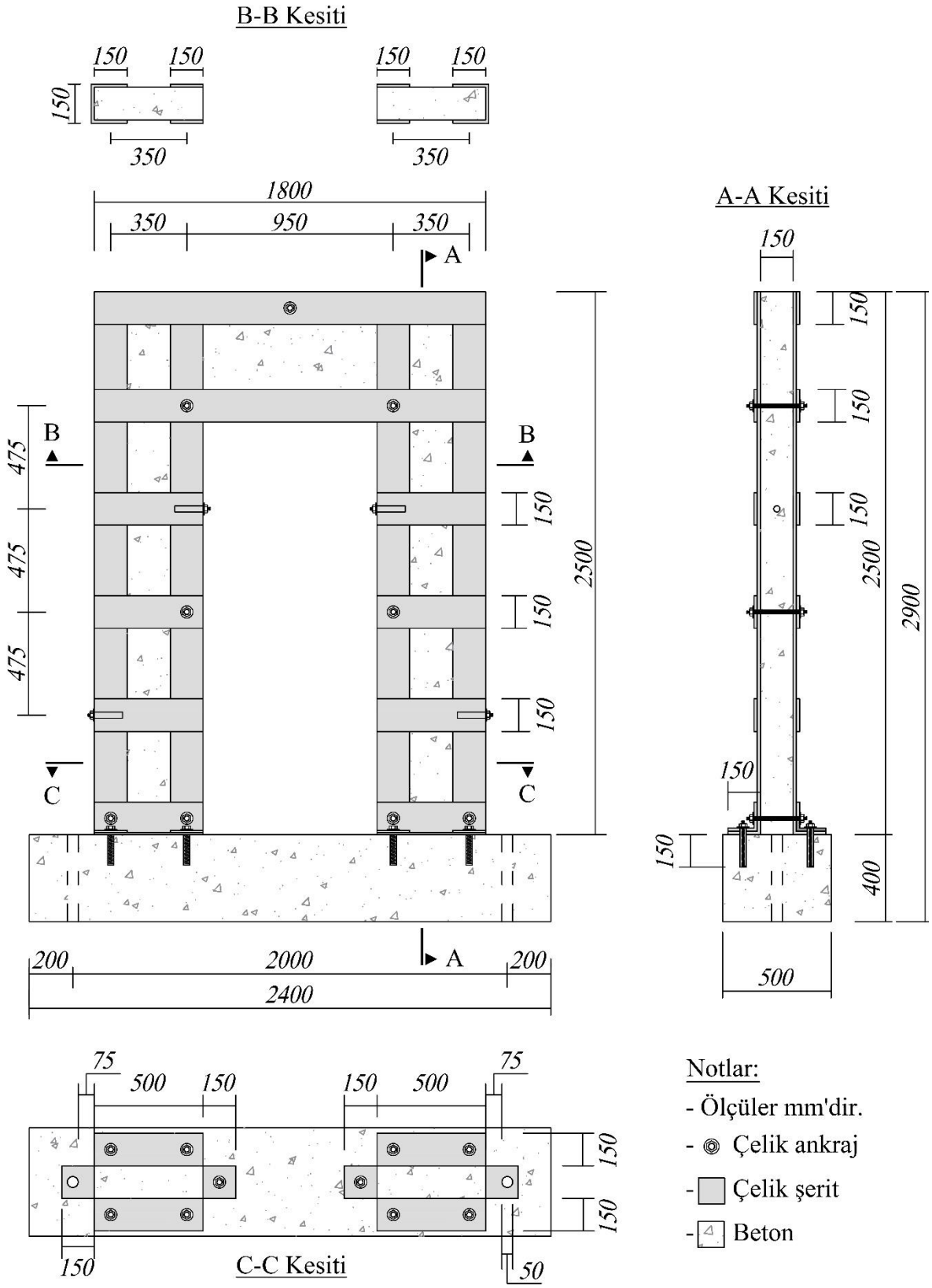
çelik şerit ile kapatılmıştır. ÇUygulanan çelik şeritlerle onarım detayları Şekil 3.11-3.13’ de verilmiştir.



Şekil 3.11. Hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarların çelik şerit onarım detayı



Şekil 3.12. Hasarlı pencere boşluklu betonarme perde duvarların çelik şerit onarım detayı



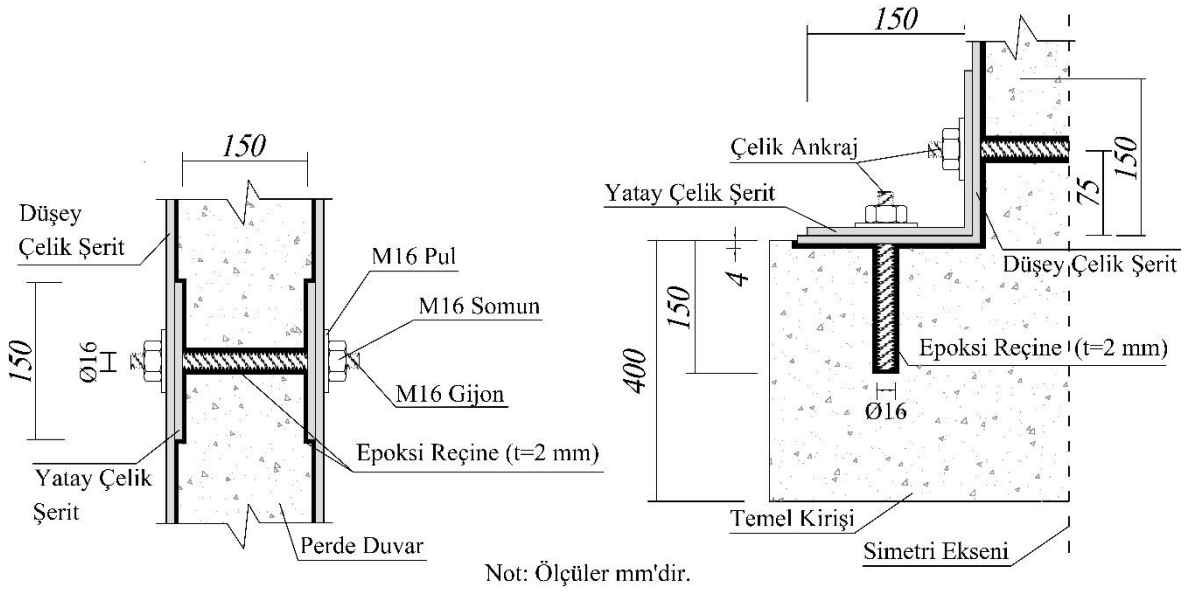
Şekil 3.13. Hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarların çelik şerit onarım detayı

CFRP ile onarım uygulamasına benzer şekilde betonarme perde duvarlarda sargılama etkisinin artırılması için tüm yatay çelik şeritler kuşak şeklinde sargılanmıştır. Düşey şeritler

ise, çelik şeritlerin taşıdığı çekme kuvvetini deney elemanının temel kirişine aktarmak için L şeklinde (temel kirişi yüzeyinde devam edecek şekilde) tasarlanmıştır. Boşluksuz, pencere boşluklu ve kapı boşluklu betonarme perde duvar yüzeylerinde kullanılan yatay ve düşey çelik şeritlerin konfigürasyonu, iki onarım yöntemi arasındaki deprem performansının karşılaştırılabilmesi için CFRP ile onarımda kullanılan şeritler ile aynı düzen ve ölçülerde kullanılmıştır. Buna ek olarak CFRP ile onarımda kullanılan ankraj yerleşimleri aynı noktalarda olacak şekilde uygulanmıştır. Bu prensiple betonarme perde duvarlar için çelik şerit konfigürasyonu tasarlanmıştır.

Çelik şeritleri betonun dış yüzeyine yapıştırmak için epoksi reçine kullanılmaktadır. Ancak CFRP şeritler ile onarım/güçlendirme sorununa benzer olarak, tersinir tekrarlanır yük altında çelik şeritlerin akma/kopma/burkulmasından önce beton yüzeyinden ayrıldıkları yaygın olarak bilinmektedir. Çelik şeritlerin yüksek yük taşıma kapasitesine rağmen, çelik şerit-beton yüzeyindeki yapışma problemi nedeniyle ayrılarak mekanik kapasitesinin altında göçmeye uğrayabilmektedir. Bu durumda, çelik şeritler betonarme elemanların onarılması/güçlendirilmesinde önemli bir rol oynamamaktadır. Çelik şeritler ile beton arasındaki etkileşimi artırmak için birçok araştırma yapılmaktadır. Bu deneysel çalışmanın yapıldığı Yapı Mekaniği Laboratuvarında ayrıca çekme etkisindeki beton-çelik yapışma arayüzeyinin davranışı da TÜBİTAK tarafından desteklenen proje ile araştırılmaktadır. Araştırmalarda çelik şeritler ile beton arasındaki etkileşimi artırmak için genel olarak; ankraj kullanımı, yapıştırılan çelik şeritin kalınlık etkisi, yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi reçinenin kalınlığı ve yapışma alanın artırılması gibi yöntemler kullanılmaktadır. Barnes ve ark. (2001), plaka veya yapıştırıcı kalınlığının arttırılmasının maksimum kesme gerilmesinde düşüşe neden olduğu, fakat sistemin toplam yük kapasitesini arttırdığını belirtmişlerdir [98]. Köse ve Özgen (2003) çelik şeritleri epoksi reçine ile yapıştırmadan önce aşırı pürüzlendirmemek şartı ile yüzeyi toz, nem ve zayıf parçalardan arındırma işleminin yapışma değerine olumlu katkıda bulunduğunu raporlamıştır [99]. Oh ve ark. (2003)'nın yaptıkları deneyler sonucunda, ayrılmanın sadece kesme baskın durumdayken, çelik şeritlerde kopmanın ise bileşik kesme-eğilme davranış gösterdiği durumda gerçekleştiğini ve çelik şerit kalınlığının artmasının arayüzeydeki dayanımı arttırdığı; yapıştırıcı kalınlığının da yalnızca ayrılma durumunda göçme yükünü etkilediğini tespit etmişlerdir [100]. Luo ve ark. (2012) yaptıkları analizlerde yapıştırıcı olarak kullanılan epoksi reçine kalınlığının 3-15 mm arasındaki değişiminin sonuçlarda etkisinin küçük olduğu, beton ile çelik ara yüzeyindeki ayrılmanın, yapıştırıcının ilk 2-5 mm arasındaki

bölgede meydana geldiği ve istenen performansı vermesi için yapıştırıcı olarak kullanılacak epoksi reçinenin elastisite modülünün 1000 MPa'ı geçmesi gerektiği belirtilmiştir [101]. Yuan ve ark. (2020) deneysel çalışmada, epoksi ankraj çapının arttırılmasının, kesme ve yapışma mukavemetini yaklaşık %80'e varan ölçüde arttırdığını belirtmişlerdir. Ancak epoksi ankraj sayısının arttırılmasının, maksimum yapışma mukavemetini ve maksimum kesme gerilmesini etkilemediğini yazarlar öne sürmüşlerdir [102]. Deney elemanlarının tamamında, ST III (S420) sınıfı 4 mm kalınlığında çelik şeritler ve 2 mm epoksi reçine kalınlığı kullanılmıştır. Ayrıca deneysel çalışma kapsamında çelik şeritler, TS EN ISO 898-1'e [103] uygun çelik ankraj kullanılarak beton yüzeye epoksi reçine yardımıyla ankraj edilmiştir. Perde gövdesini dik kesen ve temel kirişinde kullanılan ankrajlara ait detaylar Şekil 3.14'de verilmiştir. Çelik ankraj olarak M16 (metrik 16) gijon kullanılmıştır [104].



Şekil 3.14. Kullanılan çelik ankrajlara ait detaylar

Çelik şeritler ile onarım çalışmalarının uygulama kısmında ilk adım olarak, çelik şeritlerin ve çelik ankrajların yerleri, tamiratı tamamlanmış ağır ve orta düzeyde hasar görmüş olan deney elemanları üzerinde işaretlenmiştir. Daha sonra betonarme perde duvar gövdesinde ve temel kirişinde, çelik ankrajların yerleştirileceği 18 mm çaplı delikler açılmıştır. Tüm çelik şeritlerin duvar yüzeyine 2 mm kalınlıkta epoksi reçine ile yapıştırılabilmesi için, düşey çelik şeritlerin geçtiği bölgeler, çelik şerit kalınlığı olan 4 mm kalınlığındaki beton katmanı elmaslı beton duvar silme makinası ile kazınmıştır. Böylece yatay şeritlerin beton yüzeyine 2 mm kalınlıkta epoksi reçine ile yapıştırılmasına olanak sağlanmıştır. Silinen beton yüzey ile çelik şeritlerin aderansını artırmak için 1 - 2 mm derinliğinde pürüzlendirme yapılmıştır.

Epoksi reçine uygulamasından önce işlem yapılan yüzeyler ve açılan ankraj delikleri hava kompresörü yardımıyla tozdan arındırılmıştır. Çelik şeritlerin detay planına göre kesimi ve bükümü fabrikada yapılmıştır. İkinci aşamada, üretici firmanın belirttiği uygulama detaylarına göre, epoksi reçinenin uygulandığı alanın çevresel koşullarının (betonun/çeliğin yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, bağıl nem ve buna bağlı çiğlenme noktası vb.) oldukça önemli olduğu belirtilmiştir. Uygulama esnasında ve sonraki 10 günlük süre boyunca ortam sıcaklığı $20 \pm 2°$ olarak ölçülmüştür. Epoksi reçinenin uygulandığı yüzeylerin nem ölçümleri ve bu yüzeylerin nemlerine göre hesaplanan çiğlenme noktaları TS EN ISO 8502-4 yönetmeliğine [105] uygun olarak yapılmıştır. İlk katman olarak yüzeylere 2 mm kalınlıkta olacak şekilde epoksi reçine sürülmüş ve ankraj deliklerine enjeksiyon yapılmıştır. Beton yüzeyine sürülen epoksi reçinede 2 mm kalınlığın sağlanması için, 2 mm çapında çelik bilyeler epoksi reçine sürülen yüzeylere serpilmiştir. Onarım detaylarına göre hazırlanan çelik şeritler beton yüzeye yapıştırılmış ve enjeksiyon yapılan deliklere M16 çelik ankrajlar yerleştirilmiştir. Çelik şeritlerin epoksi reçine ile tam temasını sağlamak ve fazla epoksi reçinenin kusturulması için aralıklarla işkenceler yerleştirilmiş ve sıkılmıştır. Perde gövdesinde bulunan çelik ankrajlar ise somunlar yardımıyla sıkılmıştır. Üçüncü aşamada, epoksi reçine sertleştikten sonra temel kirişinde bulunan çelik ankrajlar somunlar yardımıyla sıkılmış ve çelik şeritlerin sistem olarak birlikte hareketini sağlamak için şeritlerin kesişim doğrultularında elektrod ile nokta kaynak yapılmıştır. Böylece deney elemanları deneye hazır hale getirilmiş ve 10 gün beklendikten sonra deneyleri tamamlanmıştır. Yapılan onarım çalışmalarına ait görseller Resim 3.18 - 3.21'de verilmiştir.



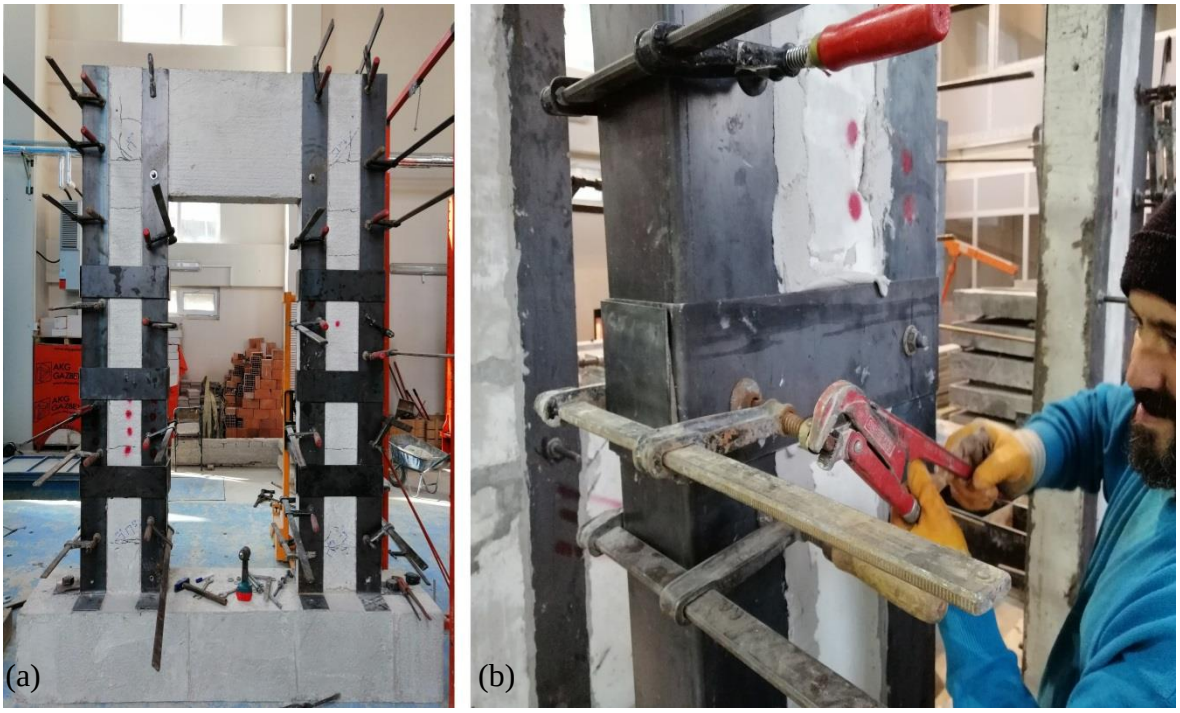
Resim 3.18. Düşey çelik şeritlerin geçtiği bölgelerdeki 4 mm beton katmanının kazınması



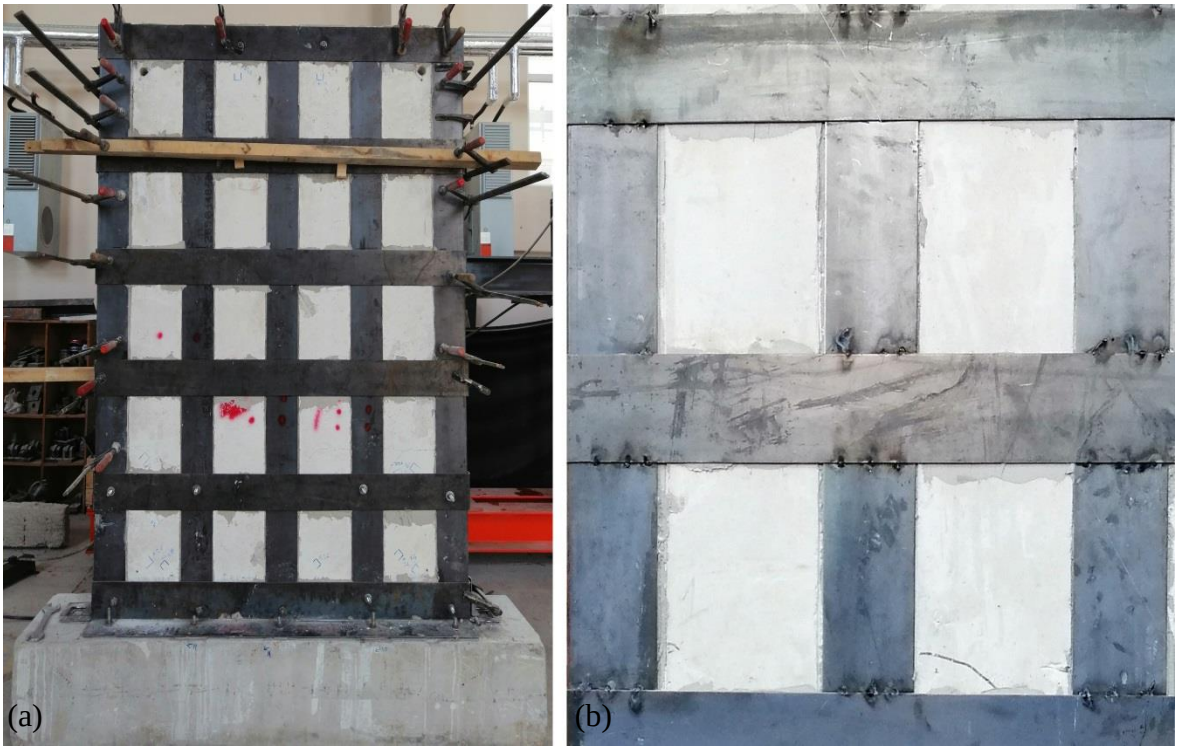
Resim 3.19. Epoksi reçine uygulaması ve 2 mm çapında çelik bilyelerin kullanımı (a) P-OH-Ç deney elemanı (b) P-AH-Ç deney elemanı



Resim 3.20. Düşey çelik şeritlerin beton yüzeye epoksi reçine ile yapıştırılması (a)P-AH-Ç deney elemanı (b) D-OH-Ç deney elemanı



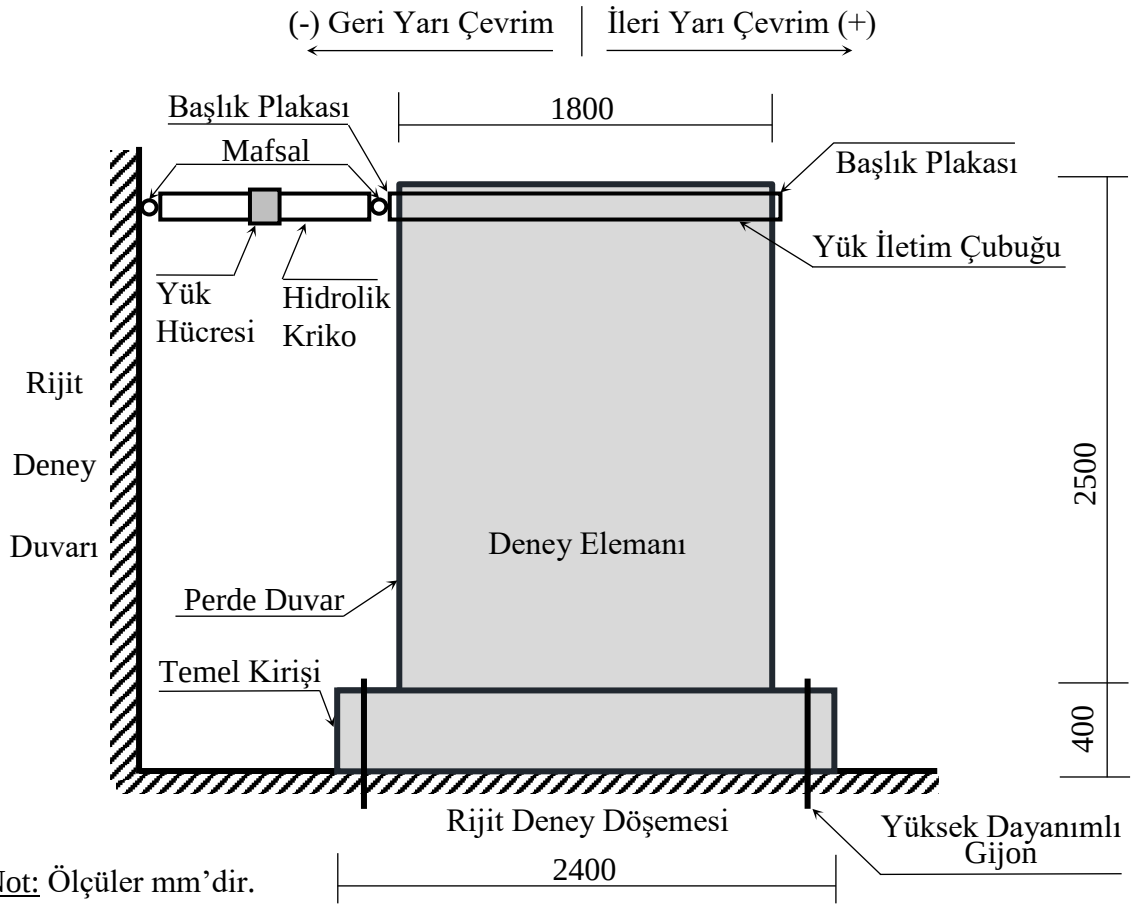
Resim 3.21. Çelik şeritlerin işkence ve çelik ankrajlar ile sıkılması (a) K-OH-Ç deney elemanı (b) K-AH-Ç deney elemanı



Resim 3.22. Temel kirişindeki çelik ankrajların sıkılması ve nokta kaynak yapılması (a) D-OH-Ç deney elemanı (b) D-AH-Ç deney elemanı

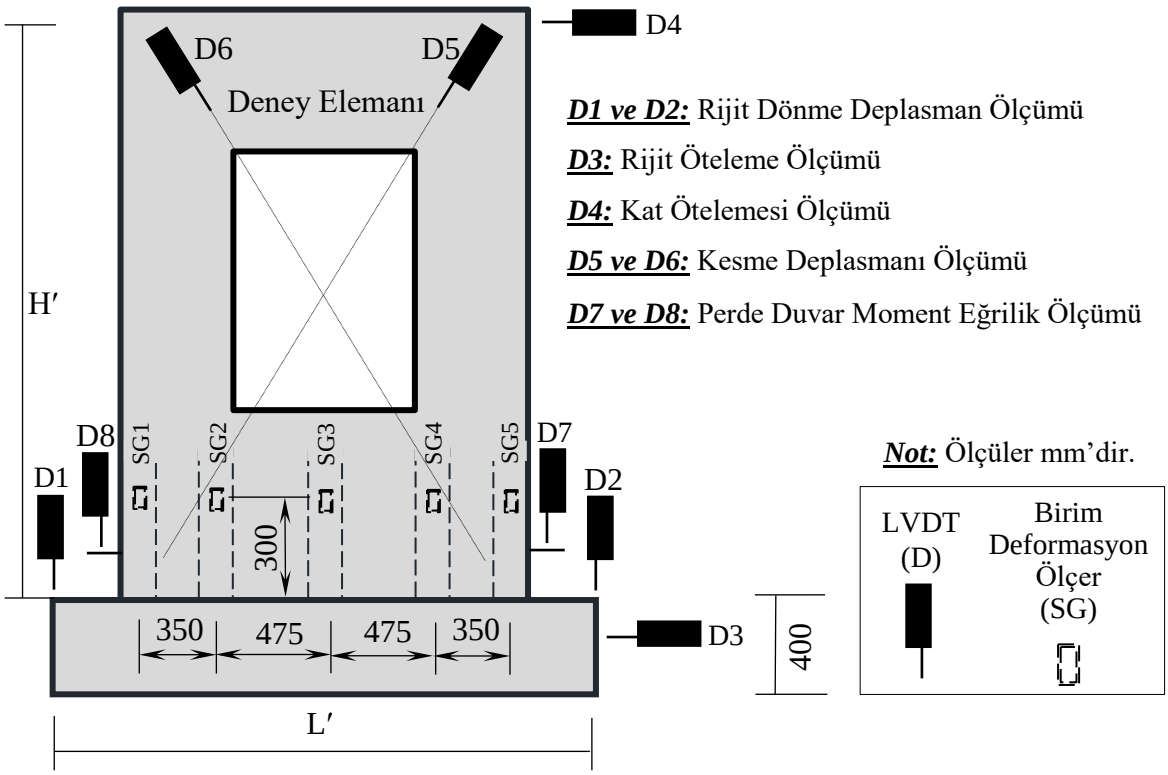
3.3. Deneysel Çalışmada Kullanılan Test Ekipmanları ve Ölçüm Düzeneği

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan test ekipmanları hakkında bilgiler sunulmuştur. Deney elemanları, beton dökümü esnasında temel kirişi içerisinde bırakılan boşluklardan geçirilen 40 mm çapında yüksek dayanımlı gijonlar ile laboratuvarda yer alan rijit deney döşemesi üzerinde düzeçlendikten sonra dik şekilde mesnetlenmiştir. Deney elemanlarına depremi benzeştiren yatay tersinir tekrarlanır yükleme, rijit deney duvarında yer alan çelik yükleme sistemi ile deney elemanı arasında kurulan yükleme kolonu aracılığı ile uygulanmıştır. Deney elemanlarına 1000 kN basınç ve 600 kN çekme kapasitesine sahip tam otomatik hidrolik kriko ve pompa sistemi ile yatay doğrultuda uygulanmıştır. Uygulanan depremi benzeştiren yatay tersinir tekrarlanır yükleme ise 1000 kN basınç ve 600 kN çekme kapasiteli bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Şekil 3.15'de, deney düzeneğine ait rijit deney duvarı ve rijit deney döşemesine bağlantı şekli, yükleme sisteminde kullanılan ara parçalar, yükleme yönü ve doğrultu kabulü verilmiştir.



Şekil 3.15. Deney düzeneği

Deney elemanlarından lineer deplasman ölçerler (LVDT) ile yük doğrultusunda kat ötelemesi, perde duvar maksimum moment bölgesinden iki adet moment-eğrilik, perde duvar üzerindeki diyagonal basınç çubuğu doğrultusunda iki adet kesme çatlağı genişliği, temel kirişi sol ve sağ uçlarının düşey deplasmanları ve temel kirişi rijit ötelemesi ölçümleri alınmıştır. Deneyler sırasında betonarme perde duvarların ön yüzündeki düşey CFRP ve çelik şeritlerden birim-deformasyon ölçerler (Strain Gauge) ile boşluksuz ve pencere boşluklu deney elemanlarından 5 adet ve kapı boşluklu deney elemanlarından 4 adet ölçüm alınmıştır. Birim-deformasyon ölçerler, temel kirişinden 300 mm yükseklikte ve şerit genişliklerin orta noktasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Şekil 3.16'da, deney elemanı üzerinden alınan LVDT'lerin ve birim-deformasyon ölçerlerin yerleşimleri ile ölçüm düzeneği sunulmuştur.



Şekil 3.16. LVDT ve birim-deformasyon ölçerlerin yerleşimleri ile ölçüm düzeneği

Deneyler sırasında boşluksuz ve pencere boşluklu deney elemanlarından, 1 kanaldan yük ölçümü, 8 kanaldan LVDT ölçümü ve 5 kanaldan birim deformasyon ölçümü olmak üzere toplam 14 kanaldan (kapı boşluklu deney elemanları için 13 kanaldan) laboratuvar envanterinde bulunan her biri 8 kanallı iki adet dijital veri toplama sistemi ile veri toplanmış ve bilgisayar ortamında kayıt altına alınmıştır.

3.4. Yükleme Geçmişi

Deneysel çalışma kapsamında, farklı tekniklerle onarılmış betonarme perde duvarların depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme etkisinde deprem performansının araştırılması, Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Betonarme perde duvar deney elemanları depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında test edilmiştir. Yüklemeler deplasman kontrollü yapılmış olup, kat öteleme oranının değişimine göre deney elemanlarına yükleme uygulanmıştır. Şekil 3.16'da belirtilen D1, D2, D3 ve D4 numaralı LVDT'ler kullanılarak deney elemanlarının yük

doğrultusundaki düzeltilmiş kat ötelemesi ve kat öteleme oranı aşağıdaki eşitlikler kullanarak hesaplanmıştır.

$$\Delta_{TK} = \frac{(\Delta_{D1} - \Delta_{D2})}{L'} \times H' \tag{3.1}$$

$$\Delta = \Delta_{D4} - \Delta_{D3} - \Delta_{TK} \tag{3.2}$$

$$\theta = \frac{\Delta}{H'} \tag{3.3}$$

Bu eşitliklerde;

Δ : Düzeltilmiş kat ötelemesi

Δ_{D1} : Sol rijit dönme deplasman ölçümü

Δ_{D2} : Sağ rijit dönme deplasman ölçümü

Δ_{D3} : Rijit öteleme ölçümü

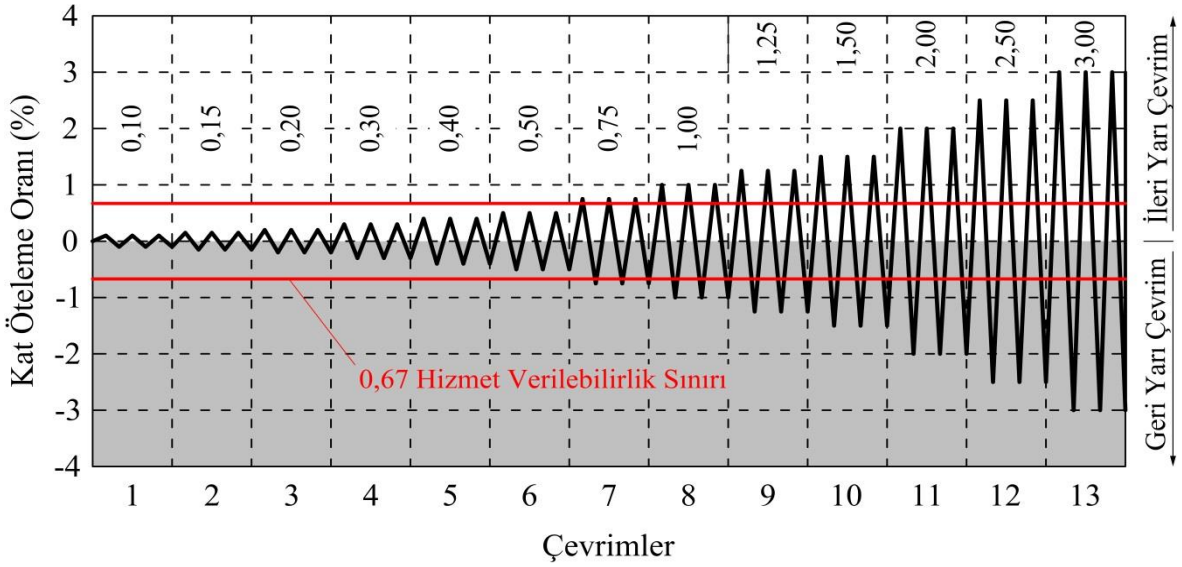
Δ_{D4} : Kat ötelemesi ölçümü

Δ_{TK} : Temel kirişinin dönmesinden dolayı perde üst ucunda ölçülen öteleme

θ : Kat öteleme oranı

H' : Kat ötelemesi ölçümü ile temel kirişi üst yüzeyi arası uzaklık

L' : Sol ve sağ rijit dönme deplasmanları arasındaki uzaklık



Şekil 3.17. Deney elemanlarına uygulanan yatay yükleme geçmişi

Deneysel çalışma kapsamında ilk seride üretilen 6 adet betonarme perde duvara (D-AH-K, P-AH-K, K-AH-K, D-AH-Ç P-AH-Ç ve K-AH-Ç) Şekil 3.17'de belirtilen 13 farklı kat öteleme değerinde (%0,10-0,15-0,20-0,30-0,40-0,50-0,75-1,00-1,25-1,50-2,00-2,50-3,00) her kat ötelenme oranının üç kere tekrarlanması ve toplamda 39 adet yatay yükleme geçmişi uygulanarak ağır hasar verilmesi planlanmıştır. Bu deney elemanları için birbirini takip eden iki çevrim arasında yatay yük taşıma kapasitesinde meydan gelen %15'lik düşüşün gözlendiği kat öteleme oranında kontrollü hasar verme durdurulmuş ve böylece deney elemanları ağır hasara uğratılmıştır. Ağır hasar verme deneyleri tamamlanan boşluksuz (D-AH-K), pencere boşluklu (P-AH-K) ve kapı boşluklu (K-AH-K) deney elemanlarından elde edilen veriler referans olarak alınmıştır. Deneysel çalışma kapsamında ikinci seride üretilen 6 adet betonarme perde duvara (D-OH-K, P-OH-K, K-OH-K, D-OH-Ç, P-OH-Ç ve K-OH-Ç) Şekil 3.17'de belirtilen 7 farklı kat öteleme değerinde (%0,10-0,15-0,20-0,30-0,40-0,50-0,67) her kat ötelenme oranı üç kere tekrarlanmış ve toplamda 21 adet yatay yükleme geçmişi uygulanarak orta düzeyde hasar verilmiştir. Uluslararası yönetmeliklerde hizmet verebilirlik sınır durumu (SLS) olarak tanımlanan kat deplasmanı (Δ_a), bu deneysel çalışmadaki deney elemanlarının kat ötelemesi ölçüm noktasına (H') göre hesaplanmış ve orta hasar düzeyi için %0,67 kat öteleme oranı elde edilmiştir [53-106]. Şekil 3.17 üzerinde %0,67 kat öteleme oranı hizmet verebilirlik sınır seviyesi olarak gösterilmiştir. Şekil üzerinde %0,67 kat öteleme oranı ayrı bir çevrim olarak verilmemiştir.

Onarımı tamamlanan betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yatay yükleme geçmişi Şekil 3.17'de verilmiştir. Onarımı tamamlanan deney elemanlarına 13 farklı kat öteleme değerinde, her kat ötelenme oranı üç kere tekrarlanarak toplamda 39 adet yükleme çevriminin uygulanması planlanmıştır. Onarılmış tüm deney elemanlarına özdeş yükleme geçmişi ACI 374.1-0'de önerildiği gibi uygulanmıştır [107].

4. DENEY ELEMANLARININ DAVRANIŞI VE DENEY SONUÇLARI

Deneysel çalışma kapsamında ilk seride üretilen; boşluksuz, pencere boşluklu ve kapı boşluklu olmak üzere toplam 3 adet referans deney elemanının testleri tamamlanmıştır. İkinci seride üretilen 3 adet deney elemanına ağır hasar ve sonraki serilerde üretilen 6 adet deney elemanına orta düzeyde hasar verilmiştir. Deney elemanlarına kontrollü hasar verildikten sonra referans deney elemanları da dahil olacak şekilde toplam 12 adet deney elemanının CFRP ve çelik şerit ile onarımı yapılmıştır. 6 adet CFRP ve 6 adet çelik şerit ile onarılmış toplam 12 adet betonarme perde duvar elemanlarına uygulanan yatay tersinir tekrarlanır deprem yüklemesinin kat ötelenme oranına göre değişimleri takip edilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney elemanlarının rijitlikleri ve enerji tüketim kapasiteleri gibi deprem performansı ile ilgili önemli parametrelere ilişkin değerler, yük-deplasman grafikleri kullanılarak çizilen zarf eğrileri ile hesaplanmıştır.

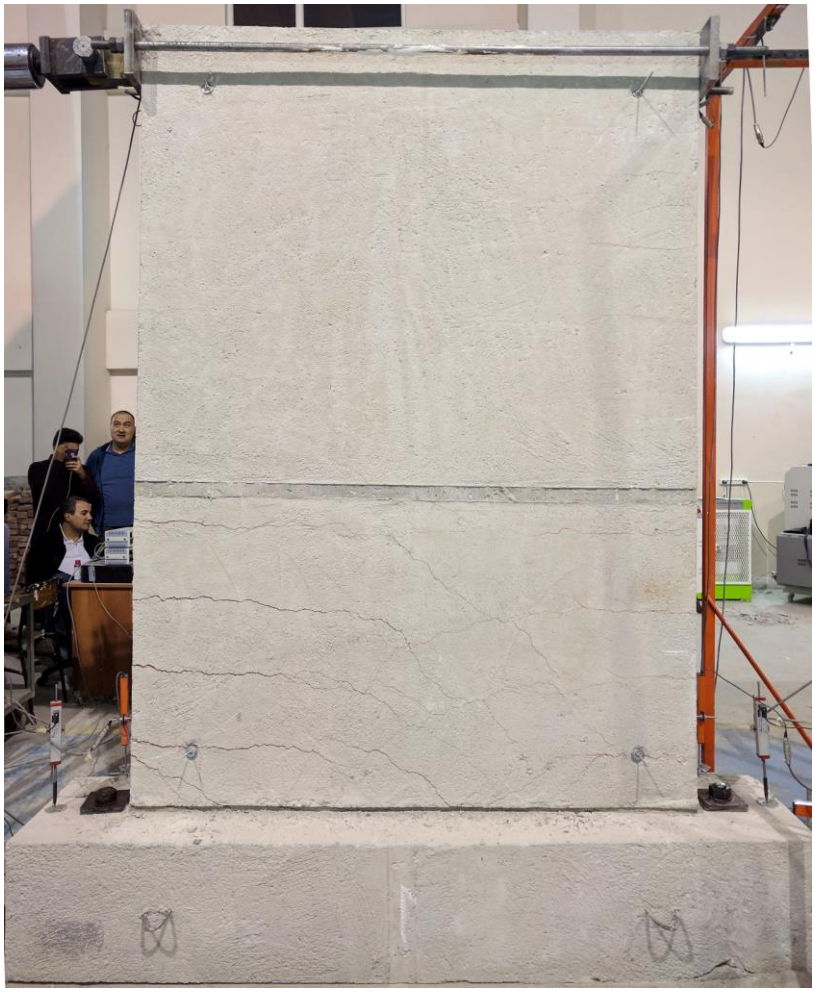
Bu bölümde alt başlıklar altında, her bir deney elemanına ait yük-deplasman grafikleri ve zarf eğrileri paylaşılmıştır. Ayrıca deney esnasında oluşan hasar ve yapılan gözlemler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

4.1. REF-D Referans Boşluksuz Deney Elemanı

İlk seride üretilen betonarme perde duvar içerisinden, deney elemanlarına uygulanan farklı onarım tekniklerinin, enerji tüketim kapasitesine ve yük-deplasman davranışlarına olan etkisinin incelenebilmesi için boşluksuz deney elemanı referans olarak seçilmiştir. Deney elemanına Şekil 3.17'de gösterilen yatay yükleme geçmişi uygulanmıştır. Birbirini takip eden iki çevrim arasında yatay yük taşıma kapasitesinde meydan gelen %15'lik düşüşün gözlendiği kat öteleme oranında deney elemanın göçtüğü kabul edilmiştir. Deney esnasındaki gözlemler ve önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Kat öteleme oranlarının %0,10 ve %0,15 olduğu yükleme çevrimlerinde test elemanı rijit davranış göstermiş ve çatlak genişlikleri son derece sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Artan yükleme ile %0,40 - %0,75 kat ötelenme oranları arasında hem ileri hem de geri yükleme yönünde, deney elemanının rijitliğinde önemli bir değişiklik meydana gelmiş ve deney elemanında meydana gelen eğilme çatlağı sayısı ve genişliklerinde önemli miktarda artış görülmüştür. Deney elemanı %0,75 kat öteleme oranı ileri yükleme

doğrultusunda 224 kN yük düzeyinde ve %1,00 kat öteleme oranı geri yükleme doğrultusunda ise 237 kN yük düzeyi betonarme perde duvar boyuna donatıları akma kapasitelerine ulaşmıştır. Deney elemanında bu kat ötelenme düzeylerinden sonra pekleşme etkisiyle deney elemanında hem ileri hem de geri yükleme yönünde taşıma gücünde bir miktar daha artış meydana gelmiştir. Artış gösteren yatay yük kapasitesi ileri ve geri yükleme yönlerinde %2,00 kat ötelenme oranına kadar devam etmiş, ileri yükleme yönünde deney elemanının taşıma gücü kapasitesi değeri 274 kN, geri yükleme yönünde ise 240 kN değerine kadar çıkmıştır. Deney elemanı ileri ve geri yükleme yönlerinde %2,50 kat ötelenme oranına çıkılan yükleme çevriminde basınç ve çekme bölgesindeki dış liflerde ezilmenin oluşması ve bu bölgedeki düşey donatılarda burkulmanın meydana gelmesi sonucunda taşıma gücünde önemli bir düşüş meydana gelmiş ve deney elemanı göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.1'de ve boşluksuz referans deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.2-4.3'de verilmiştir.



Resim 4.1. Deney sonrası REF-D deney elemanının görünümü

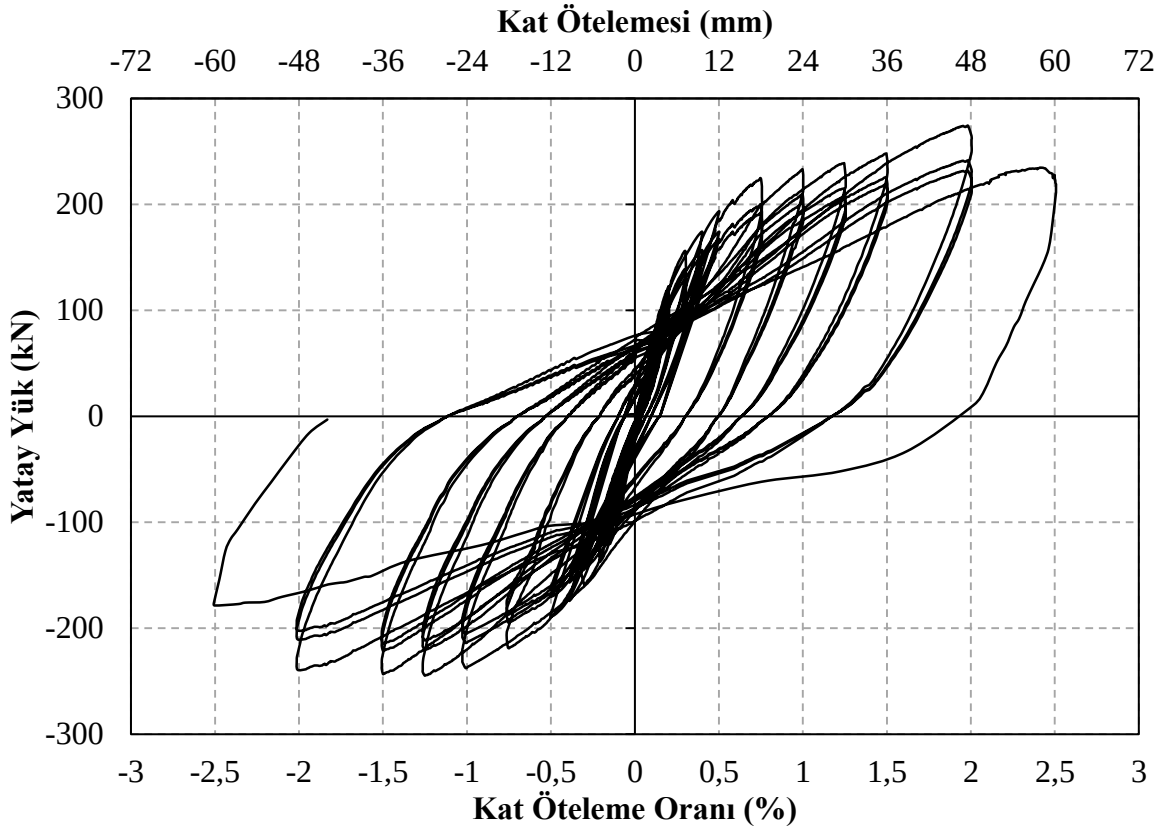
Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.1'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.2'de verilmiştir. Betonarme perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.3'de sunulmuştur. Çizelge 4.1'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



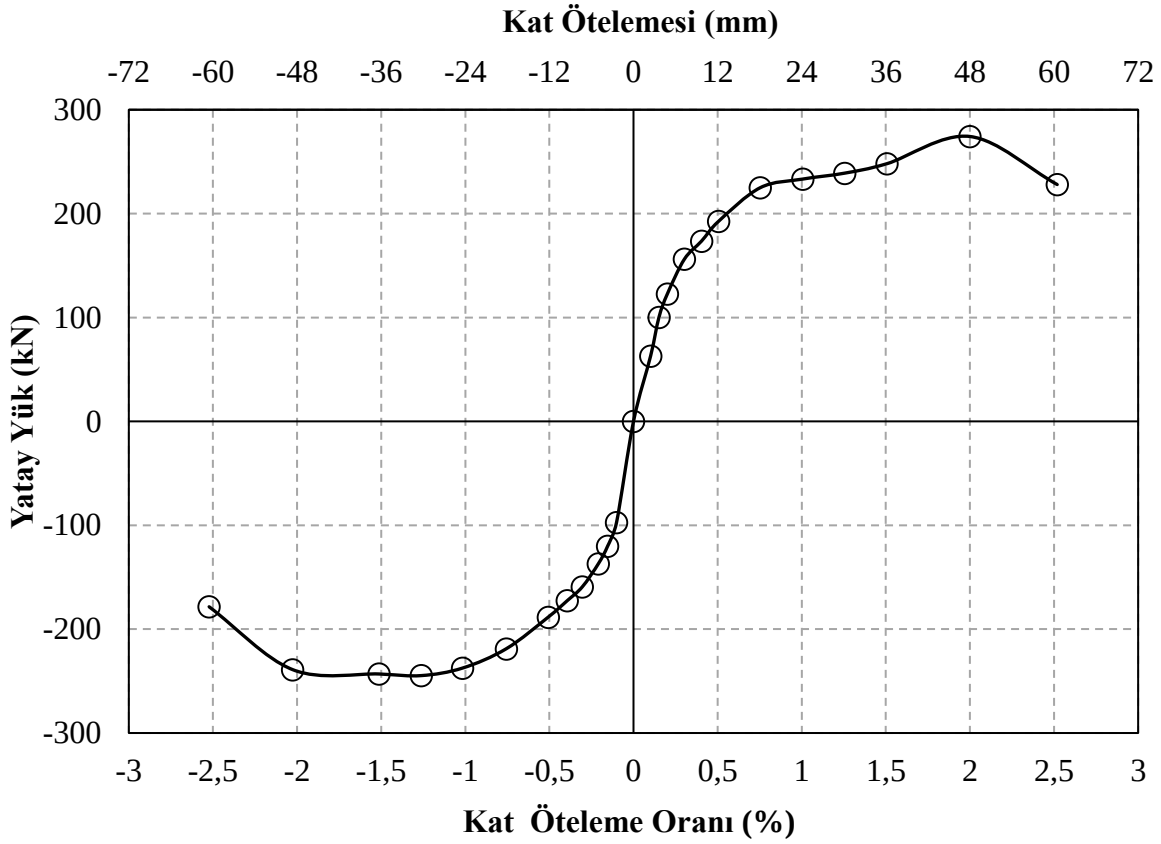
Resim 4.2. REF-D deney elemanı maksimum moment bölgesindeki hasarlar



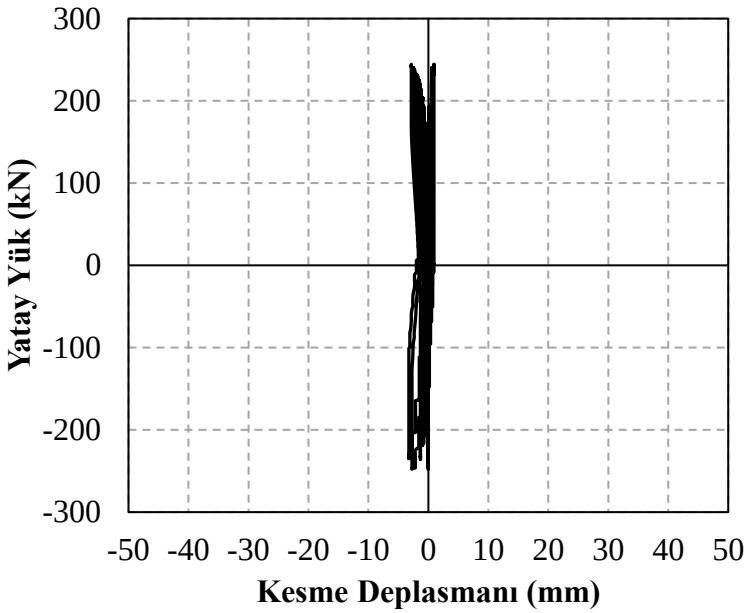
Resim 4.3. REF-D deney elemanı eğilme çatlakları ve donatının burkulması



Şekil 4.1. REF-D deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.2. REF-D deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.3. REF-D deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.1. REF-D çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	62,99	2,44	97,33	2,42
2	0,15	100,13	3,63	120,26	3,70
3	0,20	122,84	4,84	137,01	5,01
4	0,30	156,15	7,26	159,33	7,31
5	0,40	173,52	9,70	172,51	9,44
6	0,50	192,66	12,15	188,46	12,17
7	0,75	224,94	18,08	218,88	18,15
8	1,00	233,25	24,15	237,49	24,39
9	1,25	238,99	30,15	244,73	30,28
10	1,50	248,09	36,18	243,18	36,29
11	2,00	274,24	48,01	239,03	48,62
12	2,50	228,00	60,45	178,47	60,55

4.2. REF-P Referans Pencere Boşluklu Deney Elemanı

İlk seride üretilen betonarme perde duvar içerisinden, deney elemanlarına uygulanan farklı onarım tekniklerinin, enerji tüketim kapasitesine ve yük-deplasman davranışlarına olan etkisinin incelenebilmesi için pencere boşluklu deney elemanı referans olarak seçilmiştir. Deney elemanına Şekil 3.17'de gösterilen yatay yükleme geçmişi uygulanmıştır. Birbirini takip eden iki çevrim arasında yatay yük taşıma kapasitesinde meydan gelen %15'lik düşüşün gözlendiği kat öteleme oranında deney elemanın göçtüğü kabul edilmiştir. Deney esnasındaki gözlemler ve önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

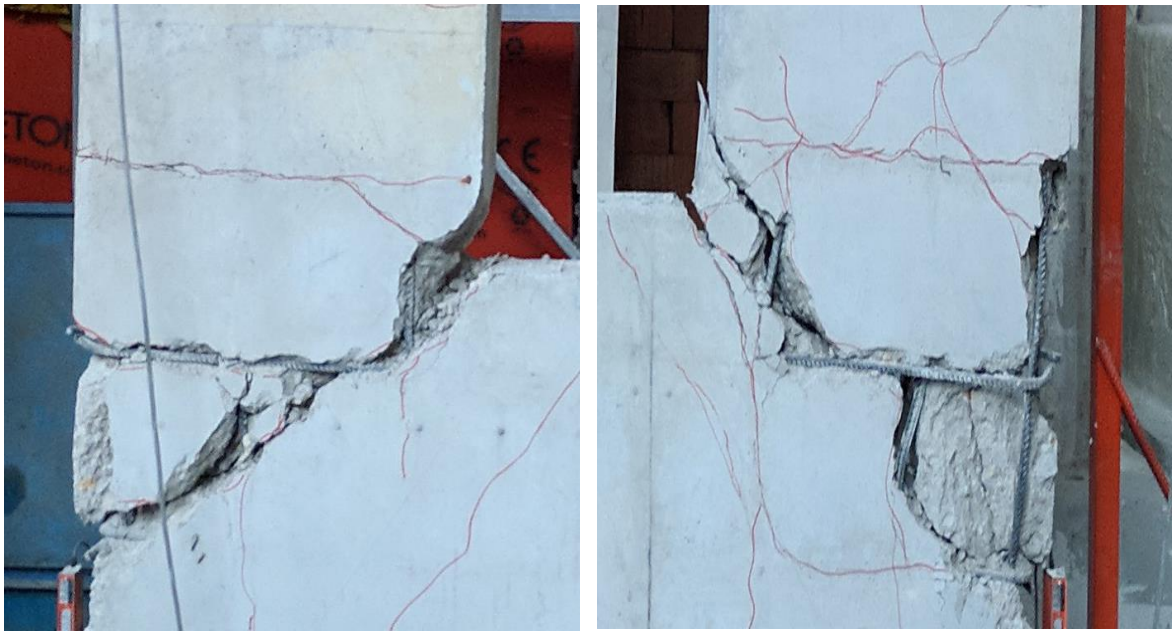
Deney elemanının simetri ekseninde 1100 x 800 mm boyutlarında toplam perde duvar alanının %19,5 oranında bir pencere boşluğu bırakılmıştır. Deney elemanına uygulanan yatay yükleme etkisiyle ilk olarak gerilme birikmelerinin olduğu pencere boşluğu üst köşe noktalarında yaklaşık olarak 45° eğimli kesme çatlakları meydana gelmiştir. Deney elemanında hem ileri hem de geri yükleme yönünde %0,40 kat ötelenme oranına kadar rijitlik de önemli bir değişim olmamış, pencere köşelerinde oluşan kesme çatlakları ve kanat bölümlerinde oluşan eğilme çatlaklarının sayısı ve genişlikleri sınırlı düzeyde kalmıştır. Deney elemanında %1,00 kat ötelenme oranında hem ileri hem de geri yükleme yönünde 140,53 kN yük düzeyinde perde boyuna donatılarında akma meydana gelmiştir. Daha sonra deney elemanı hem ileri hem de geri yükleme yönlerinde taşıma gücü düzeyinde bir düşüş meydana gelmeden %1,50 kat ötelenme oranına kadar deplasman yapmış ve betonarme perde duvar boyuna donatılarında meydana gelen pekleşme etkisiyle 142,80 kN taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır. Artan yükleme ile deney elemanı %2,00 ve %2,50 kat ötelenme oranı çevrimlerinde taşıma gücünde önemli oranda azalma meydana gelmiş ve pencere boşluğu alt köşelerinde oluşan kesme çatlağının perde dış kenarlarına kadar genişlemesi ile deney elemanı pencere boşluğunun alt kenarı üzerinde kesilerek göçmeye ulaşmıştır. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.

Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.4'de ve pencere boşluklu referans deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.5'de verilmiştir.

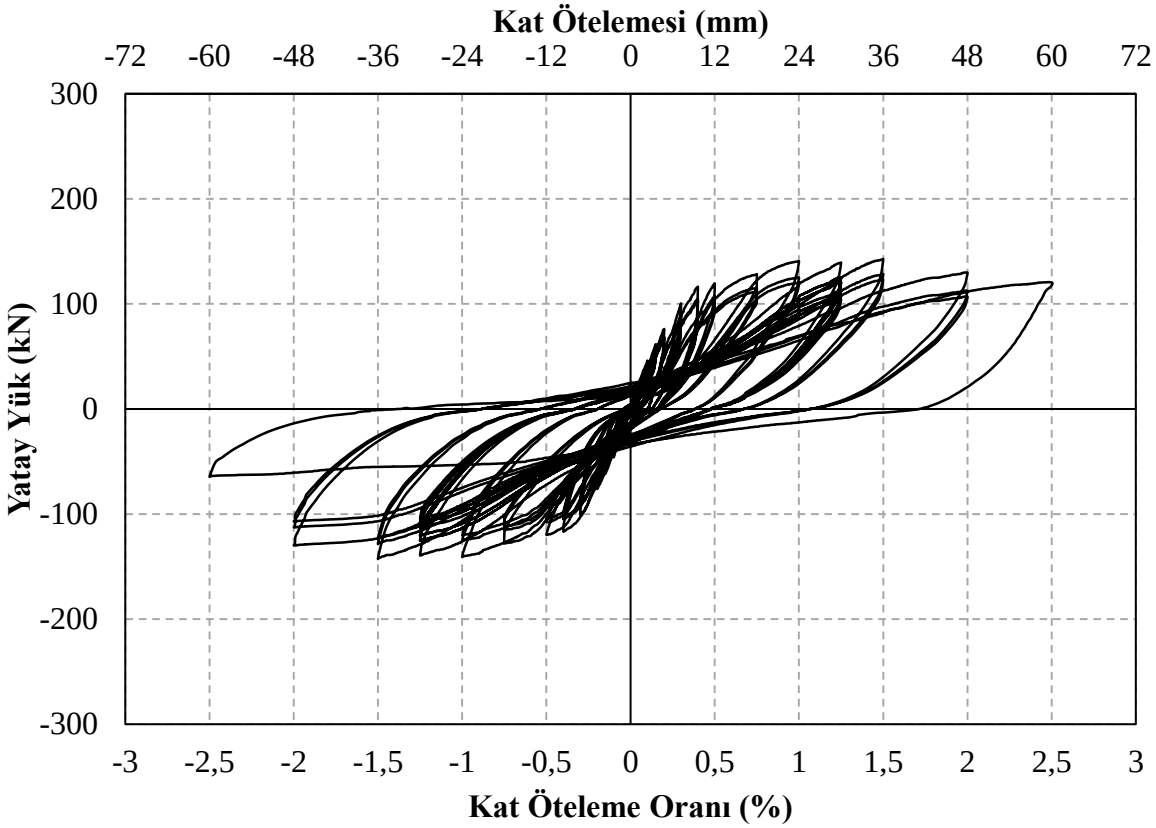


Resim 4.4. Deney sonrası REF-P deney elemanının görünümü

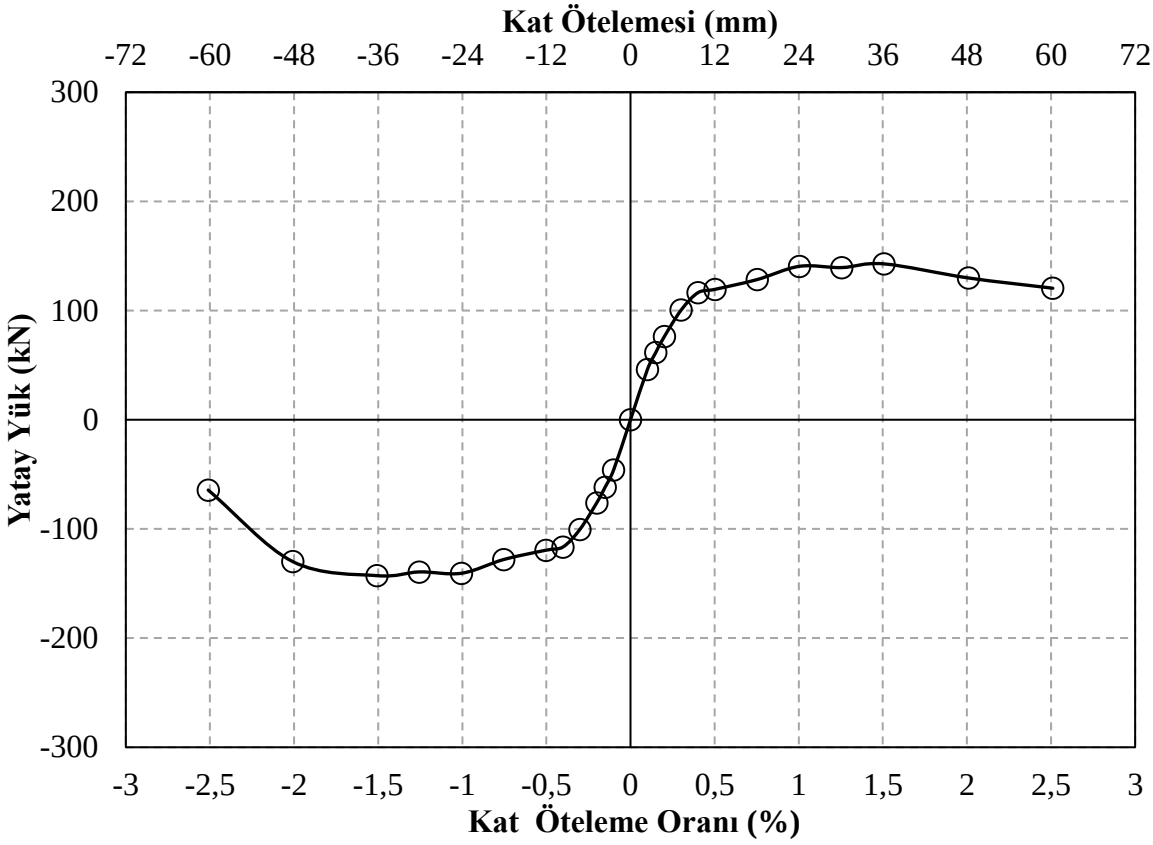
Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.4'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.5'de verilmiştir. Betonarme perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.6'de sunulmuştur. Çizelge 4.2'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.



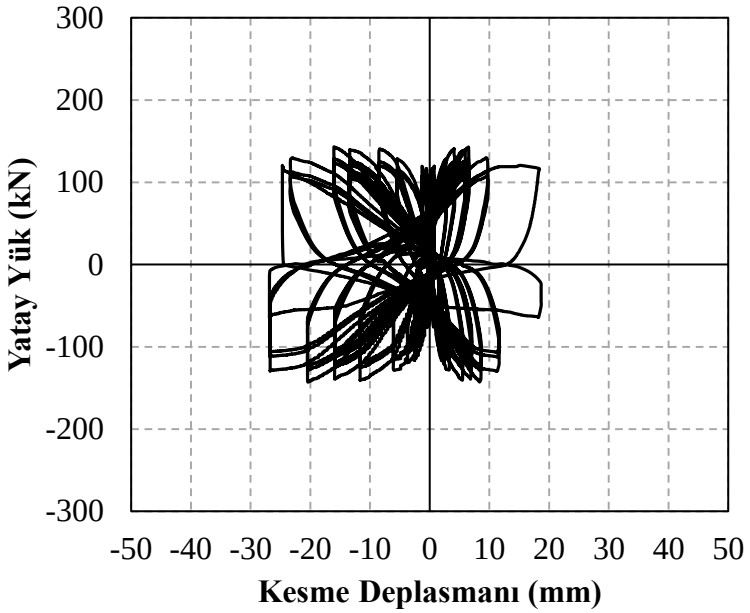
Resim 4.5. Pencere boşluğu sol ve sağ alt köşelerde oluşan 45° eğimli kesme çatlakları



Şekil 4.4. REF-P deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.5. REF-P deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.6. REF-P deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.2. REF-P çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	46,03	2,41	46,03	2,41
2	0,15	61,71	3,62	61,70	3,62
3	0,20	76,11	4,82	76,11	4,82
4	0,30	100,48	7,23	100,51	7,23
5	0,40	116,45	9,64	116,56	9,64
6	0,50	119,44	12,05	119,49	12,05
7	0,75	128,41	18,08	127,99	18,08
8	1,00	140,53	24,10	140,61	24,10
9	1,25	139,39	30,13	139,39	30,13
10	1,50	142,79	36,15	142,80	36,15
11	2,00	129,87	48,20	129,87	48,20
12	2,50	120,48	60,25	64,41	60,25

4.3. REF-K Referans Kapı Boşluklu Deney Elemanı

İlk seride üretilen betonarme perde duvar içerisinden, deney elemanlarına uygulanan farklı onarım tekniklerinin, enerji tüketim kapasitesine ve yük-deplasman davranışlarına olan etkisinin incelenebilmesi için kapı boşluklu deney elemanı referans olarak seçilmiştir. Deney elemanına Şekil 3.17'de gösterilen yatay yükleme geçmişi uygulanmıştır. Birbirini takip eden iki çevrim arasında yatay yük taşıma kapasitesinde meydan gelen %15'lik düşüşün gözlendiği kat öteleme oranında deney elemanın göçtüğü kabul edilmiştir. Deney esnasındaki gözlemler ve önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

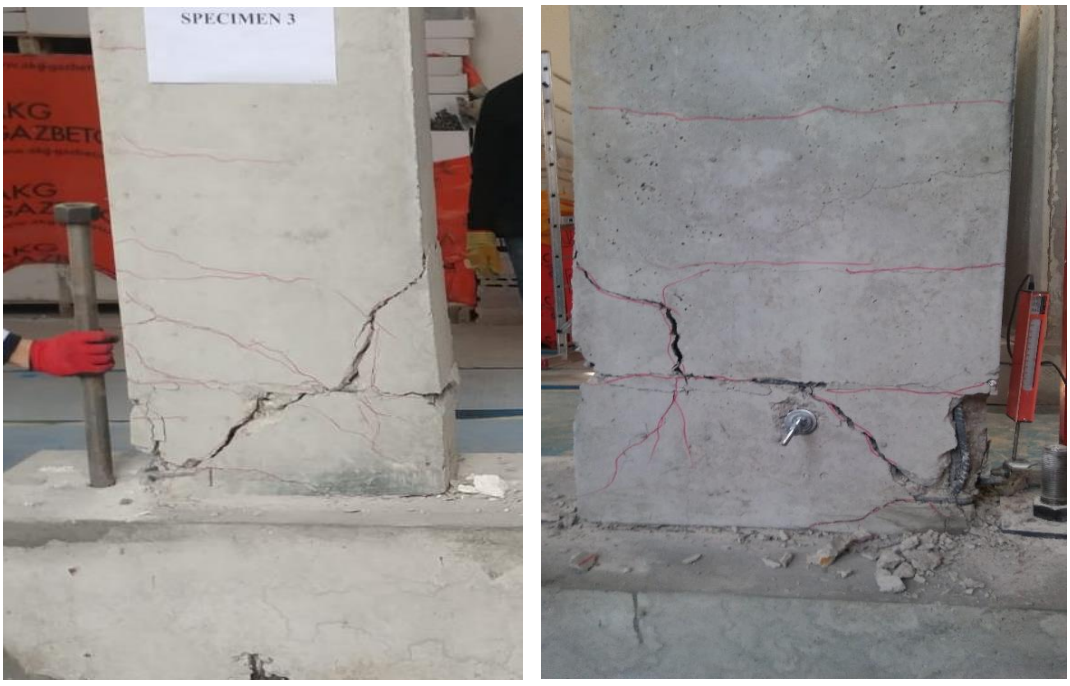
Bu deney elemanın simetri ekseninde 1900 x 800 mm boyutlarında toplam perde duvar alanının %33,7 oranında bir kapı boşluğu bırakılmıştır. Deney elemanına uygulanan yatay yüklemenin artış göstermesi ile ilk olarak kapı boşluğunun köşe noktalarından yaklaşık olarak 45° eğimli kesme çatlakları ile kapı boşluğunun sol ve sağ taraflarında yer alan

betonarme perde parçalarında eğilme çatlakları meydana gelmeye başlamıştır. Artan yükleme etkisiyle bu çatlakların sayısında ve genişliklerinde büyüme meydana gelmiş ve %0,50 kat ötelenme oranına kadar rijitlikte önemli bir değişim meydana gelmeden eğilme çatlakları ile kapı köşelerinde meydana gelen kesme çatlağı sayısı ve genişliklerinde artış görülmüştür. Deney elemanı ileri yükleme yönünde %0,75 kat ötelenme oranı çevriminde rijitlikte ani bir değişimin meydana gelmesi ile 96 kN yük düzeyinde betonarme perde duvar donatılarında akma meydana gelmiştir. Geri yükleme yönünde ise %1,00 kat ötelenme oranı çevriminde 104,38 kN yük düzeyinde betonarme perde duvar düşey donatıları akmıştır. Deney elemanı artan yükleme etkisiyle %2,00 kat ötelenme oranına kadar taşıma gücünü korumuş ve düşük oranda perde düşey donatılarındaki pekleşme etkisiyle taşıma gücünde artış meydana gelmiştir. %2,00 kat ötelenme oranında deney elemanı ileri yükleme yönünde 105,04 kN, geri yükleme yönünde ise 105,00 kN taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır. Deney elemanı bu kat ötelenme oranı değerinden sonra %2,50 ve %3,00 kat ötelenme oranı çevrimlerinde hem ileri hem de geri yükleme yönünde taşıma gücünde düşüş meydana gelmiştir. Kapı köşelerinde meydana gelen kesme çatlaklarının çok büyük oranda genişlemesi ve kapı kenarlarında yer alan kanat parçalarının dış köşelerinde betonun ezilmesi ve betonarme perde duvarın dış kenarlarına yakın boyuna donatıların burkulması sonucunda göçme meydana gelmiştir. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.

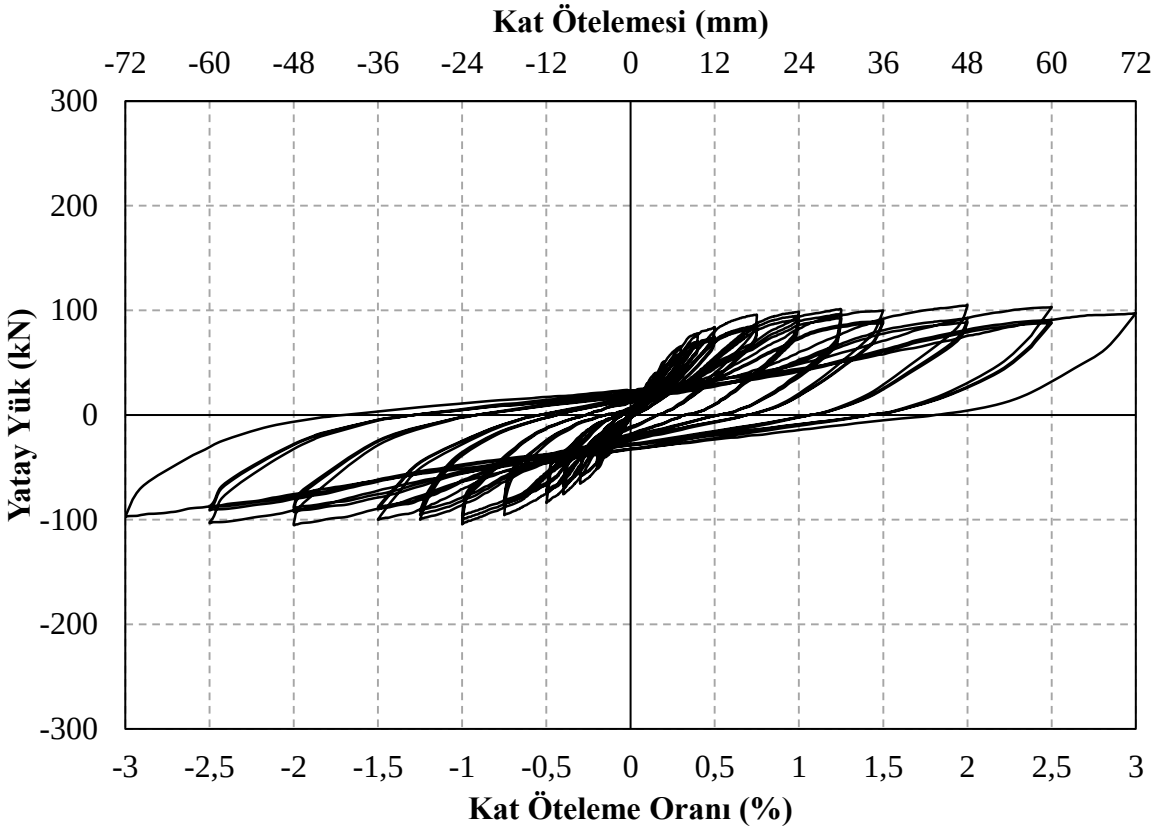
Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.6'da ve kapı boşluklu referans deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.7'de verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.7'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.8'de verilmiştir. Betonarme perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.9'de sunulmuştur. Çizelge 4.3'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



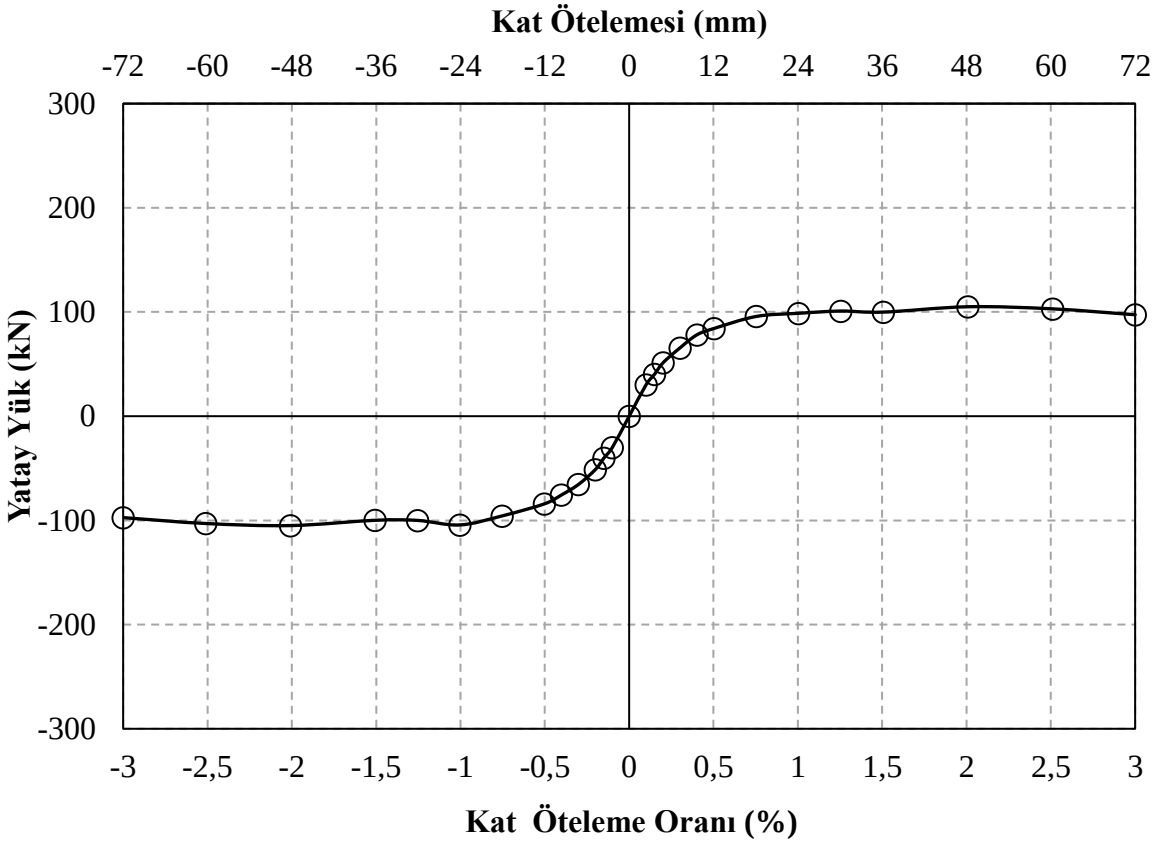
Resim 4.6. Deney sonrası REF-K deney elemanının görünümü



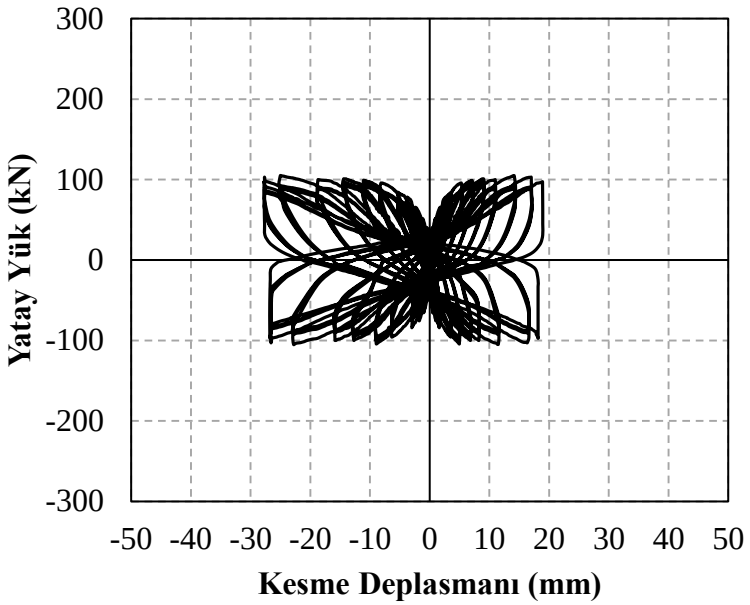
Resim 4.7 REF-K deney elemanı maksimum moment bölgesindeki hasarlar



Şekil 4.7. REF-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.8. REF-K deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.9. REF-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.3. REF-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

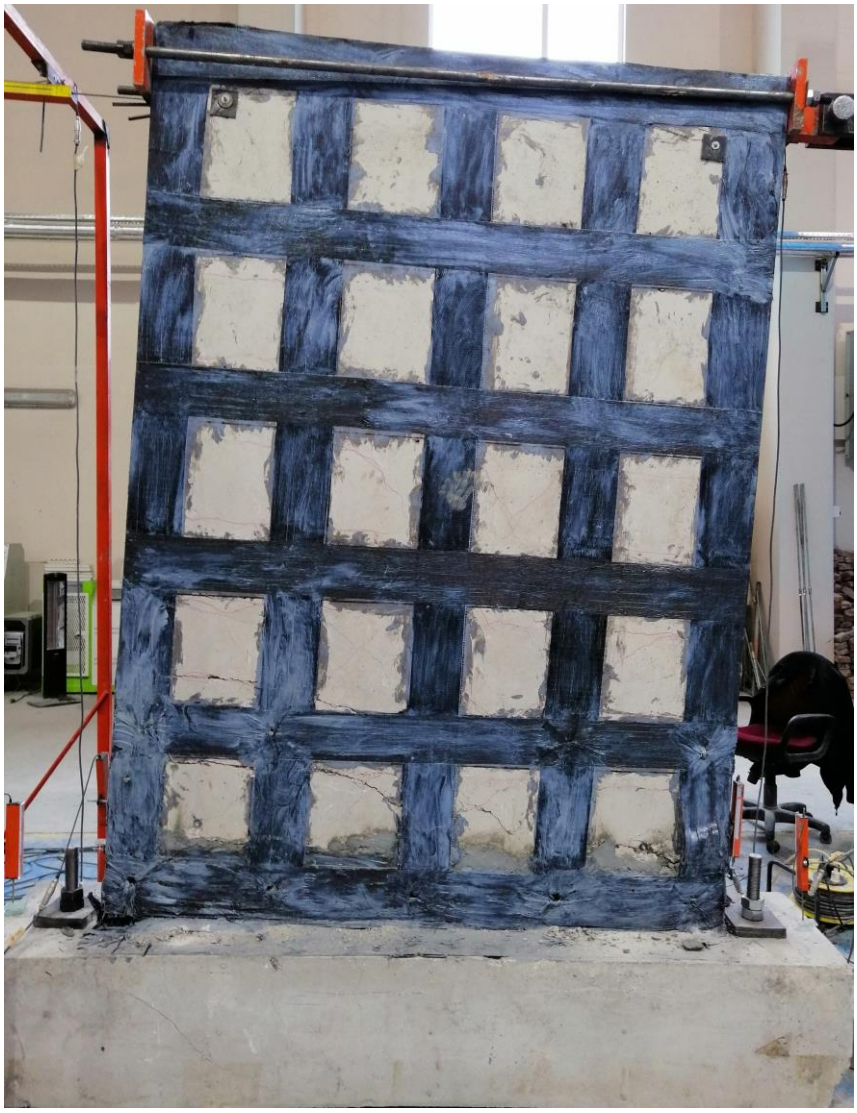
Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	30,19	2,41	30,19	2,41
2	0,15	40,32	3,62	40,31	3,62
3	0,20	51,27	4,82	51,28	4,82
4	0,30	65,56	7,23	65,58	7,23
5	0,40	78,10	9,64	75,62	9,64
6	0,50	84,15	12,05	84,13	12,05
7	0,75	95,72	18,08	95,70	18,08
8	1,00	98,75	24,10	104,38	24,10
9	1,25	100,90	30,13	100,02	30,13
10	1,50	99,87	36,15	99,89	36,15
11	2,00	105,04	48,20	105,00	48,20
12	2,50	103,02	60,25	102,98	60,25
13	3,00	30,19	2,41	30,19	2,41

4.4. D-AH-K Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında ilk test edilen D-AH-K (Ağır hasarlı boşluksuz CFRP onarımlı betonarme perde duvar) deney elemanıdır. D-AH-K deney elemanı, referans olarak kullanılan REF-D deney elemanın onarılmış halidir. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.8'de ve D-AH-K deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.9-4.10'da sunulmuştur.

%0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiş, perde gövdesinde diyagonal doğrultuda yeni kesme çatlakları ve yatay doğrultuda yeni eğilme çatlakları oluşmuştur. Ancak bu çatlakların genişlikleri ve sayısı sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Yatay ve düşey doğrultudaki CFRP şeritlerde herhangi bir ayrılma ve kopma gözlemlenmemiştir. CFRP fan tipi ankrajlar da sıyrılma gözlemlenmemiştir. %0,50 kat öteleme oranına kadar temel perde birleşim bölgesinde tamir harcı ile dolgu yapılan bölgede hasar görülmemiştir. Tamiratı yapılan kesitin, mevcut perde duvar gövdesi ile bütünleştiği gözlenmiştir. Artan yükleme ile %0,75 kat ötelemesi düzeyinde, ileri yükleme çevriminde sol dış kenar temel üzerindeki ankraj da sıyrılma başlangıcı görülmüştür. Aynı kat öteleme oranından sonra rijitlik de bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. %0,75 kat öteleme oranının ileri ve geri yükleme doğrultularında perde duvarın basınç ve çekme bölgesindeki dış liflerde ezilmenin oluştuğu, bu bölgelerde düşey ve yatay CFRP şeritlerde ayrılma/kopma meydana gelmiştir. %1,00 kat öteleme oranında ileri yükleme doğrultusunda 241,87 kN yük ve 23,75 mm kat ötelemesi, geri yükleme doğrultusunda 233,40 kN yük ve 23,80 mm kat ötelemesi ölçülmüş ve betonarme perde duvar yatay öteleme yapmaya başlamıştır. Bu kat öteleme oranında perde gövdesinde, temel kirişinin 250 mm üzerinde kesit boyunca yatay kayma çatlakları oluştuğu gözlenmiştir. Deney elemanı taşıma gücü kapasitesine %1,25 kat öteleme oranında ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 251,10 kN ve geri yükleme doğrultusunda 243,15 kN yatay yük ölçülmüştür. %1,25 kat öteleme oranında, perde gövdesinde alttan ikinci CFRP şeritin yüzeyden ayrıldığı ve bu şeritteki CFRP fan tipi ankrajların sıyrıldığı görülmüştür. Bu çevrimden sonraki çevrimlerde, daha önce oluşan kılcal çatlaklar genişlemiş ve çatlakların sayında artış gözlenmiştir. %1,50 kat öteleme oranı ve sonraki çevrimde deney elemanının yük taşıma kapasitesinde azalma gözlenmiştir. %1,50 kat öteleme oranına ulaşılması ile, ileri ve geri yükleme yarı çevrimleri doğrultularında betonarme perde duvarın alt kenarındaki dış köşelerde beton ezilmiş, bunun sonucunda tüm

düşey ve yatay CFRP şeritlerin bu bölgelerde beton yüzeyden ayrıldığı veya kopduğu görülmüştür. Deney elemanı ileri ve geri yükleme doğrultularında %2,00 kat ötelenme oranına çıkılan yükleme çevriminde sağ en dış kenarda bulunan iki boyuna donatısı perde gövdesi ile temel kirişi birleşim bölgesinde kopmuştur. %2,00 kat öteleme oranında perde gövdesinin, temel kirişinin 250 mm üzerindeki kesit boyunca kesilerek kaydığı gözlenmiştir. Bu hareketin sonucunda perde gövdesindeki boyuna donatıların burkulduğu görülmüştür. Deney elemanı %2,00 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %17,15 ve %18,26 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiş ve deney elemanı dış liflerdeki perde boyuna donatılarının kopması sonucunda göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.



Resim 4.8. Deney sonrası D-AH-K deney elemanının görünümü

Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.10'da ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.11'de verilmiştir. Betonarme perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.12'de sunulmuştur. Çizelge 4.4'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



Resim 4.9. D-AH-K deney elemanı sol dış kenarındaki boyuna donatıların kopması

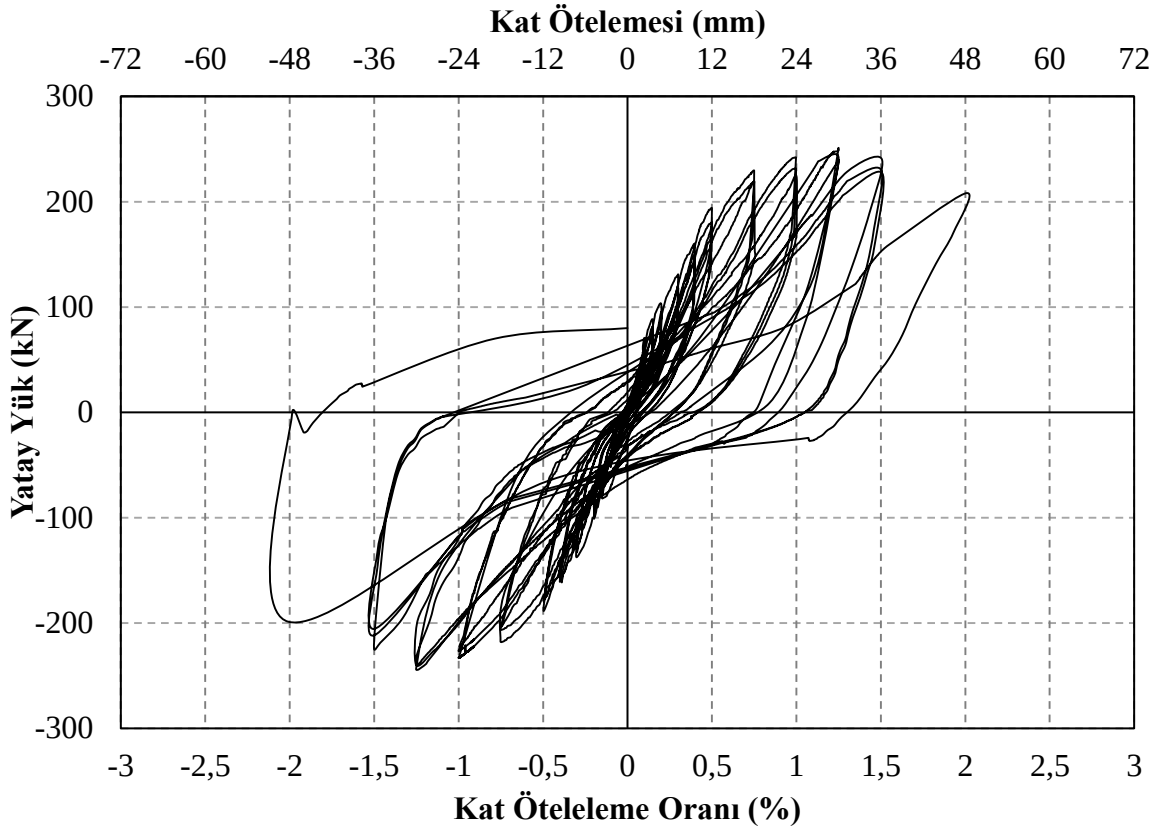


(a)

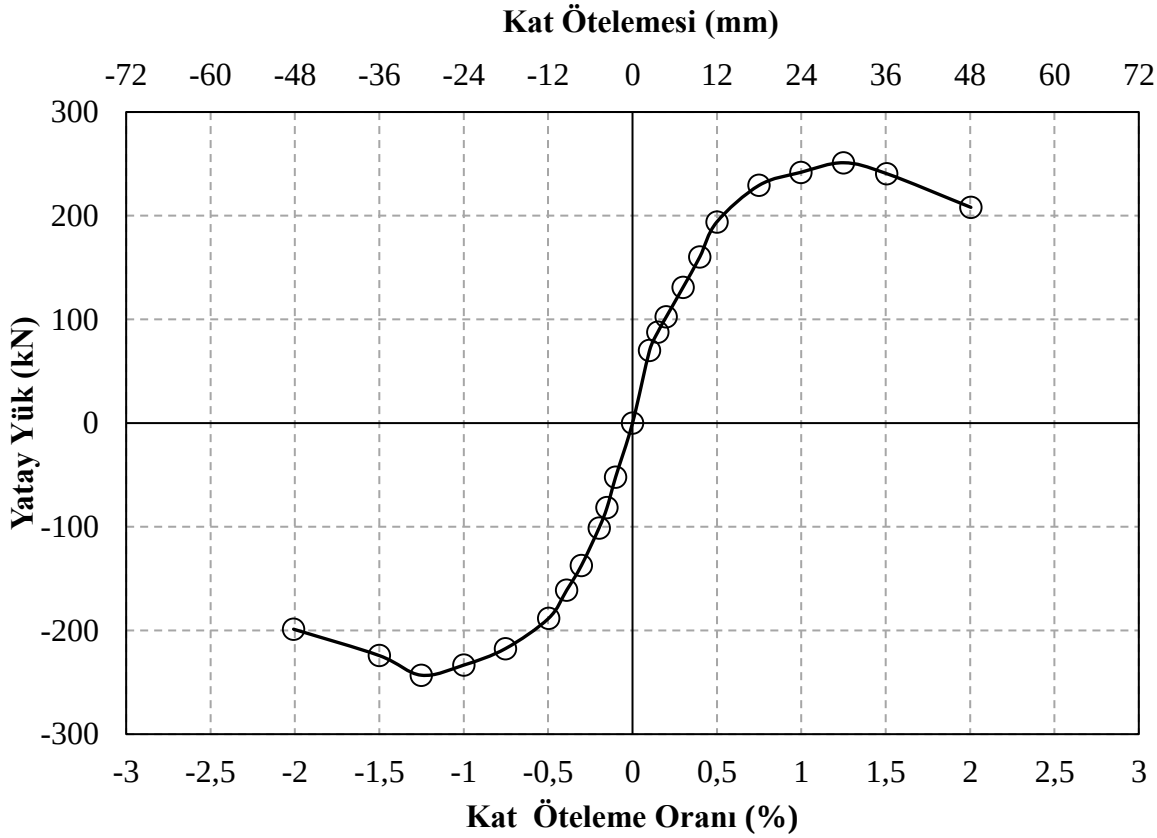


(b)

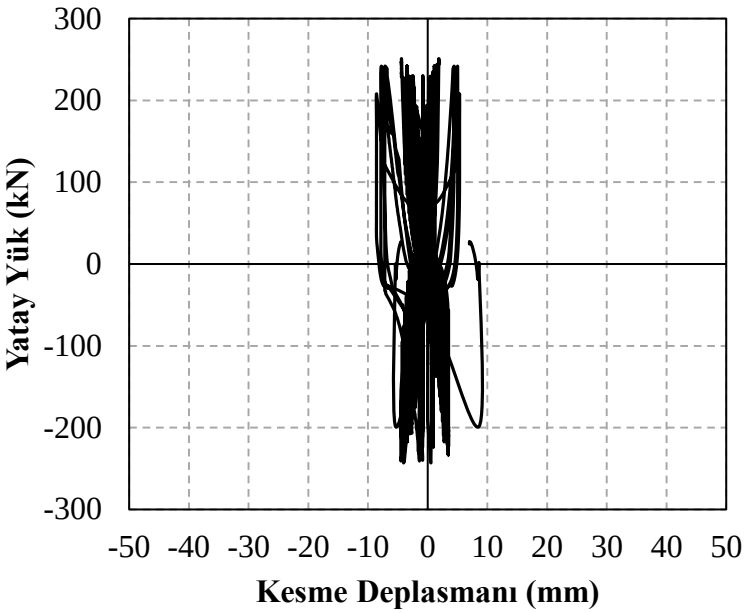
Resim 4.10. D-AH-K deney elemanı perde gövdesinde oluşan hasarlar



Şekil 4.10. D-AH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.11. D-AH-K deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.12. D-AH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.4. D-AH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

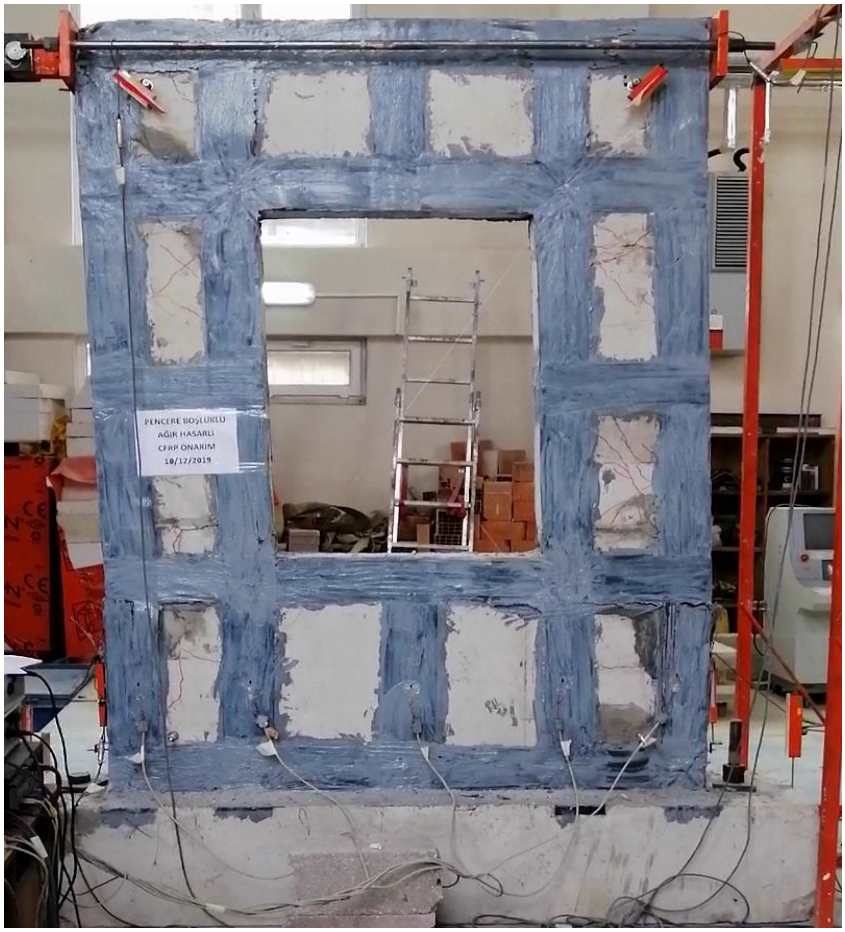
Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	70,00	2,41	52,07	2,38
2	0,15	87,75	3,57	81,51	3,60
3	0,20	102,44	4,75	101,06	4,71
4	0,30	131,06	7,15	137,41	7,22
5	0,40	160,29	9,50	161,18	9,28
6	0,50	194,03	11,90	188,34	11,84
7	0,75	229,32	17,84	217,42	17,89
8	1,00	241,87	23,75	233,40	23,81
9	1,25	251,10	29,74	243,15	30,28
10	1,50	240,64	36,42	224,18	36,33
11	2,00	208,05	48,53	198,77	48,60

4.5. P-AH-K Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen P-AH-K deney elemanı; ağır hasarlı pencere boşluklu CFRP onarımlı betonarme perde duvardır. P-AH-K deney elemanı, referans olarak kullanılan pencere boşluklu deney elemanın onarılmış halidir. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.11'de ve P-AH-K deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.12-4.13'de verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.13'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.14'de verilmiştir. Betonarme perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.15'de sunulmuştur. Çizelge 4.5'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiş, gerilme birikimlerinin olduğu pencere üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları ve pencere kanatlarında eğilme çatlakları oluşmuştur. Ancak bu çatlakların genişlikleri sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Yatay ve düşey doğrultudaki CFRP şeritlerde herhangi bir ayrılma ve kopma gözlemlenmemiştir. %0,50 kat öteleme oranına kadar tamirat yapılan bölgelerde herhangi bir hasar görülmemiştir. Artan yükleme ile %0,75 kat ötelemesi düzeyinde, gerilme birikimlerinin olduğu pencere üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli oluşan kesme çatlakları genişlemiş ve deney elemanının rijitliğinde düşüş meydana gelmiştir. Ayrıca, pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları oluşmuştur. Betonarme perde duvar sol dış kenarındaki CFRP şeritlerde kopmalar başlamıştır. Tamirat yapılan bölgelerde kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. %1,00 kat öteleme oranında pencere boşluğunun altındaki yatay CFRP şerit beton yüzeyden ayrılmıştır. Bu yükleme seviyesinde, ileri yükleme doğrultusunda 149,86 kN yük ve 24,21 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 139,70 kN yük ve 24,22 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat öteleme oranında, pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları genişlemiş ve bu çatlaklar betonarme perde duvarın dış kenarlarına doğru ilerlemiştir. Betonarme perde duvarın bu kenar bölgelerindeki düşey CFRP şeritlerin kopması hızlanmış ve bu bölgelerdeki beton ezilerek dökülmeye başlamıştır. %1,50 kat öteleme oranından sonra deney elemanının rijitliğinde önemli düşüş yaşanmıştır. Bu kat öteleme oranında; ileri yükleme doğrultusunda 168,16 kN yük ve 36,22 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 159,01 kN yük ve 36,24 mm kat ötelemesi

ölçülmüştür. %2,00 kat öteleme oranında, pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları perde dış kenarlarına ulaşmış ve bu bölgedeki düşey CFRP şeritler kesme kuvveti etkisiyle tamamen kopmuştur. CFRP şeritlerin kopmasından dolayı taşıma gücünde düşüşler meydana gelmiştir. Pencere etrafındaki yatay ve düşey CFRP şeritler yüzeyden ayrıldığı görülmüştür. Ancak bu CFRP şeritlerde uygulaması yapılan fan tipi CFRP ankrajlar sayesinde şeritlerin tamamen ayrılması engellenmiştir. Deney elemanı taşıma gücü kapasitesine %2,00 kat öteleme oranında ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 182,31 kN ve geri yükleme doğrultusunda 160,86 kN yük ölçülmüştür. Deney elemanı %2,50 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %21,58 ve %13,49 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Deney elemanı pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlaklarının perde dış kenarlarına ulaşmasıyla bu bölgedeki betonun ezilmesi, boyuna donatının burkulması ve CFRP şeritlerin tamamen kopması sonucunda göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.



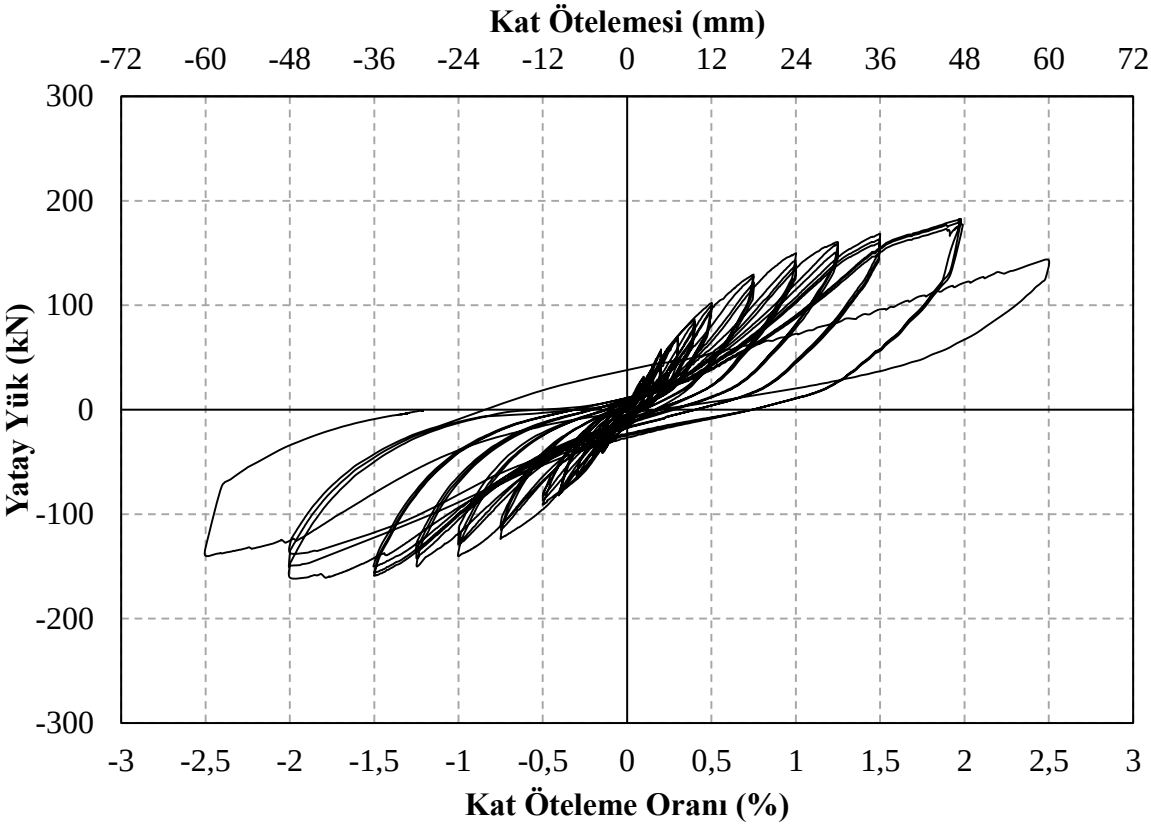
Resim 4.11. Deney sonrası P-AH-K deney elemanının görünümü



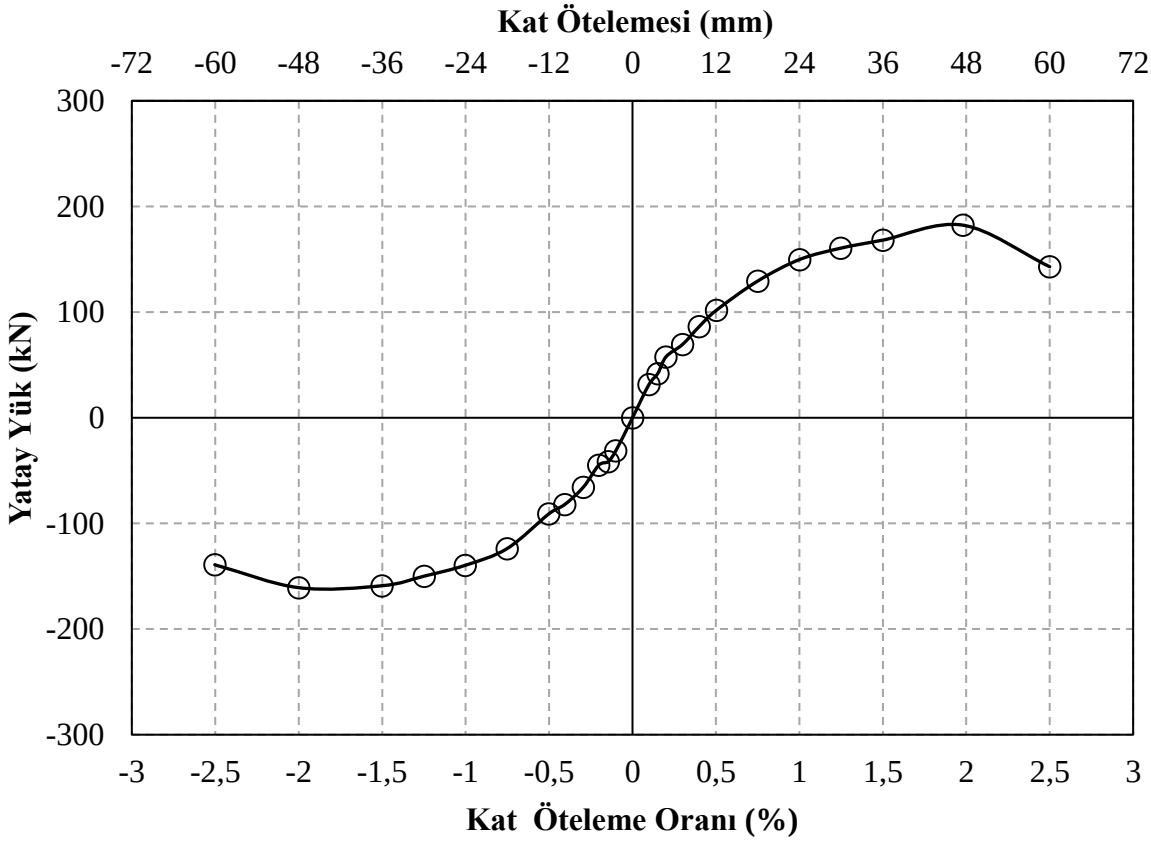
Resim 4.12. P-AH-K deney elemanı perde sol ve sağ dış kenarlarında oluşan hasarlar



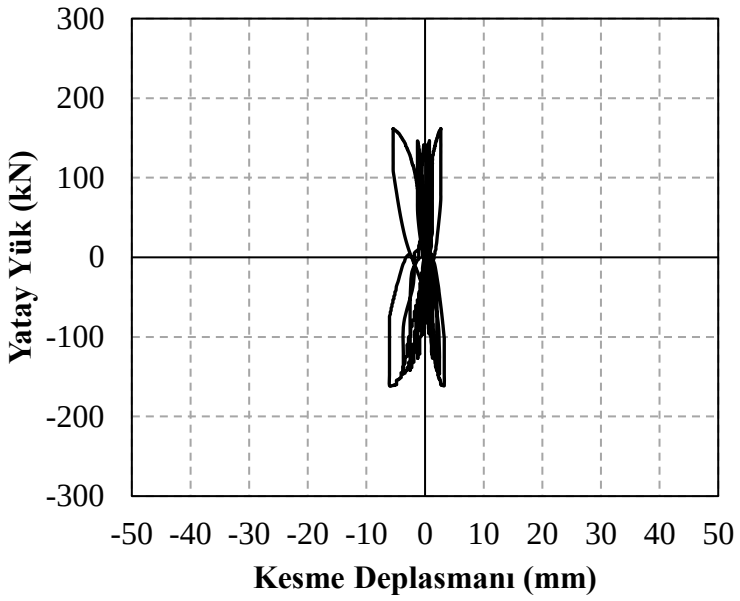
Resim 4.13. P-AH-K deney elemanı pencere alt ve üst iç köşelerinde oluşan hasarlar



Şekil 4.13. P-AH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.14. P-AH-K deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.15. P-AH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.5. P-AH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	31,58	2,39	31,25	2,42
2	0,15	41,97	3,67	41,54	3,50
3	0,20	57,75	4,86	44,84	4,87
4	0,30	69,43	7,25	65,57	7,11
5	0,40	86,41	9,67	82,19	9,69
6	0,50	101,80	12,14	90,91	12,09
7	0,75	129,41	18,11	123,78	18,15
8	1,00	149,86	24,21	139,70	24,22
9	1,25	160,53	30,13	149,88	30,13
10	1,50	168,16	36,22	159,01	36,24
11	2,00	182,31	47,82	160,86	48,28
12	2,50	142,98	60,40	139,16	60,44

4.6. K-AH-K Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen K-AH-K deney elemanı; ağır hasarlı kapı boşluklu CFRP onarımlı betonarme perde duvardır. K-AH-K deney elemanı, referans olarak kullanılan kapı boşluklu deney elemanın onarılmış halidir. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiş, gerilme birikimlerinin olduğu kapı üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları ve kapı kanatlarında eğilme çatlakları oluşmuştur. Ancak bu çatlakların genişlikleri sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Artan yükleme ile %0,75 kat ötelemesi düzeyinde, betonarme perde duvarın sol ve sağ dış kenarındaki düşey CFRP şeritlerde kopmalar başlamıştır. Buna ek olarak kapı kenarlarındaki düşey CFRP şeritler, kapı üst köşelerinden aşağı ve yukarı doğrultuda ayrılmaya başlamıştır. Bu çevrimden sonra, deney elemanının rijitliğinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. %1,00 kat öteleme oranının ileri ve geri yükleme doğrultularında, perde duvarın basınç ve çekme bölgesindeki dış liflerde ezilmenin oluştuğu, bu bölgelerde düşey ve yatay CFRP şeritlerde ayrılma/kopma meydana gelmiştir. Bu kat öteleme oranı ile deney elemanı yatay öteleme yapmaya başlamıştır. %1,00 kat öteleme oranı çevirimi, ileri yükleme doğrultusunda 95,79 kN yük ve 23,94 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 103,56 kN yük ve 24,13 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Artan yüklemenin etkisi ile kapı kenarlarındaki düşey CFRP şeritin betonarme perde duvardan tamamen ayrıldığı gözlemlenmiştir. %1,00 kat öteleme yükleme çevriminin geri yarı çevrim yüklemesi esnasında kapı boşluğunun sağ üst köşesindeki CFRP ankraj sıyrılmıştır. Bu yükleme adımına kadar temel kirişi üzerindeki fan tipi CFRP ankrajlar da hasar gözlemlenmemiştir. %1,50 kat öteleme oranında boyuna donatılarında pekleşme etkisiyle ileri doğrultuda 99,51 kN yük ve 36,13 mm kat ötelemesi ve geri doğrultuda 105,21 kN yük ve 36,20 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Bu yükleme düzeyinin geri yarı çevriminde taşıma gücü kapasitesine ulaşılmıştır. %1,50 kat öteleme oranında kapı boşluğunun üzerindeki yatay CFRP şerit tamamen ayrılmıştır. Ayrıca kapı kenarlarındaki düşey CFRP şerit, kapı üst köşesinde bulunan ankrajın altından ani bir şekilde kopmuştur. %2,00 kat öteleme oranında, maksimum moment bölgesindeki düşey CFRP şeritlerde kopma ve ayrılmalar artmıştır. Buna ek olarak temel kirişi üzerindeki yüksek dayanımlı gijonların kenarındaki ankrajlar da sıyrılma gözlemlenmiştir. Bu yükleme çevriminin ileri yarı çevriminde taşıma gücü kapasitesi olan 101,96 kN yük seviyesine

ulaşılmıştır. Deney elemanı %2,50 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %17,14 ve %18,26 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Kapı üst sol ve sağ iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli oluşan çatlakların genişlemesi, temel kirişi üzerindeki ankrajların sıyrılması ve kapı kenarlarındaki düşey CFRP şeritlerin tamamen kopması sonucunda deney elemanı göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.

Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.14'de ve P-AH-K deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.15-4.16'da verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.16'da ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.17'de verilmiştir. Betonarme perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.18'de sunulmuştur. Çizelge 4.6'da zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



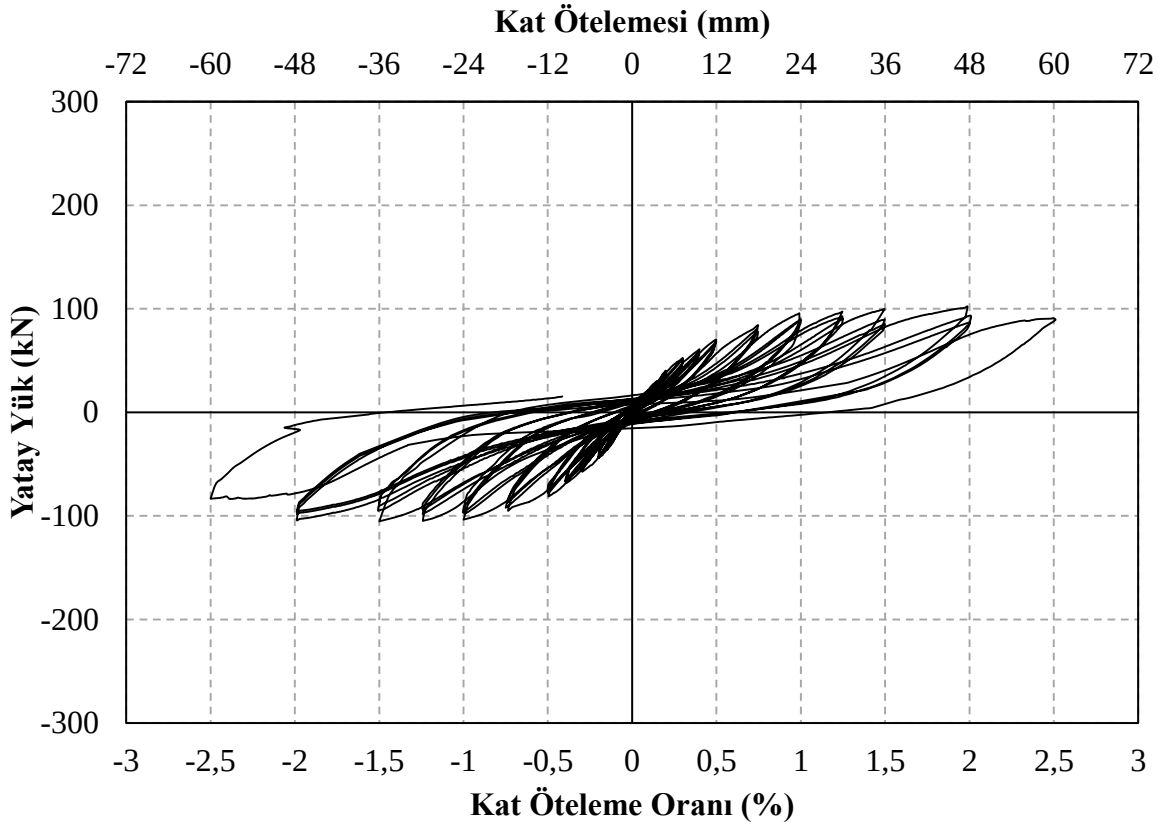
Resim 4.14. Deney sonrası K-AH-K deney elemanının görünümü



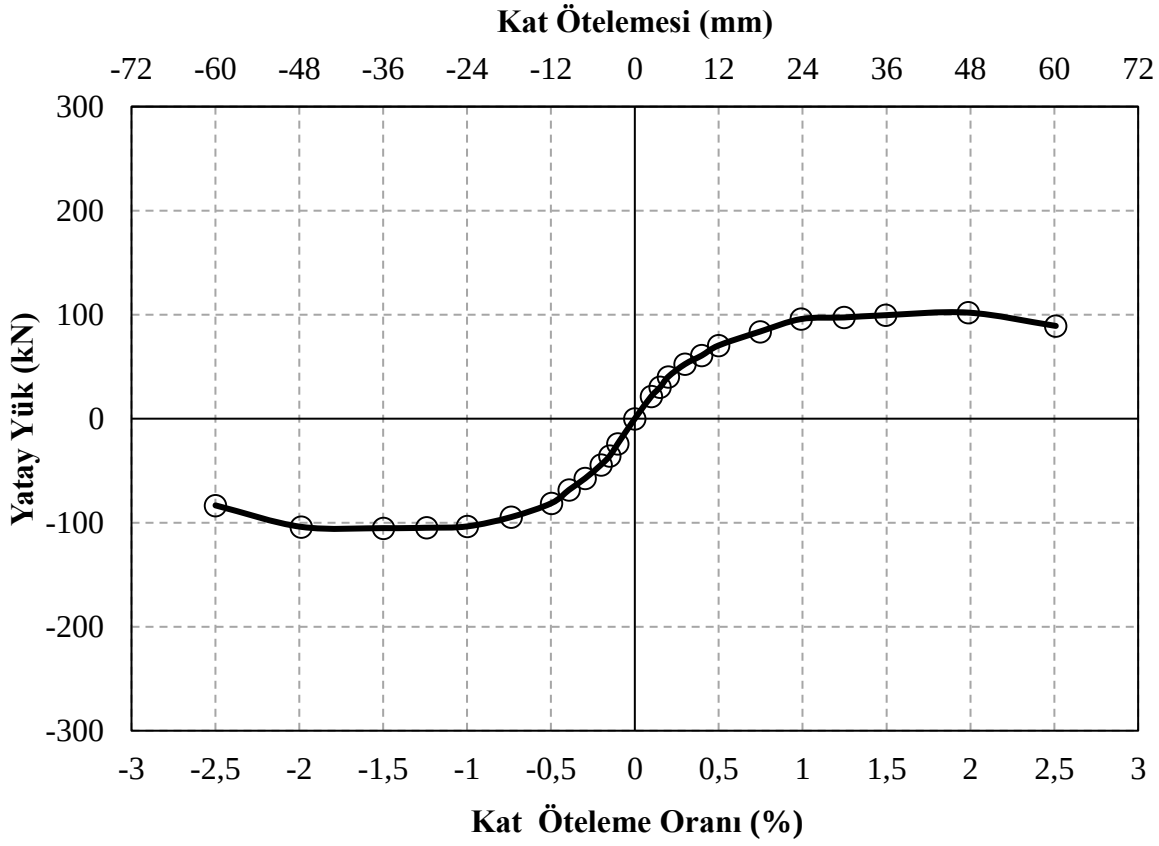
Resim 4.15. K-AH-K elemanın sağ dış kenarında ve temel kirişi üzerinde oluşan hasarlar



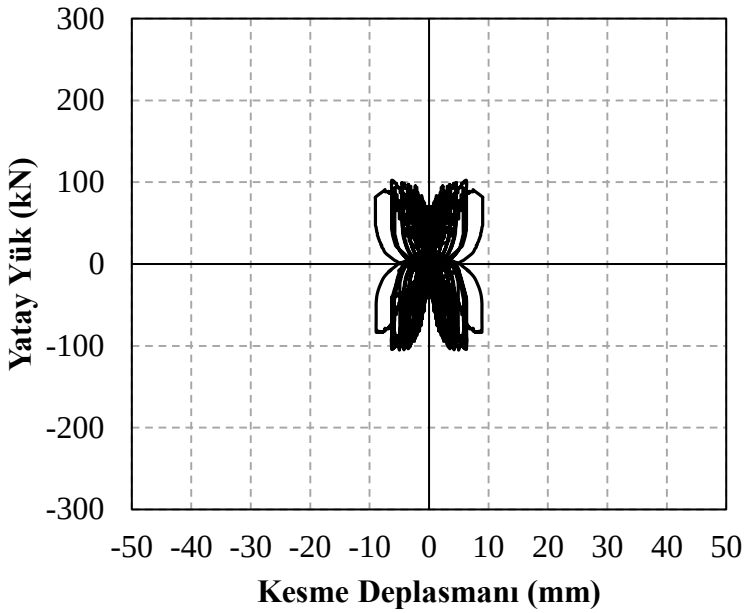
Resim 4.16. K-AH-K deney elemanı kapı alt ve üst iç köşelerinde oluşan hasarlar



Şekil 4.16. K-AH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.17. K-AH-K deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.18. K-AH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.6. K-AH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

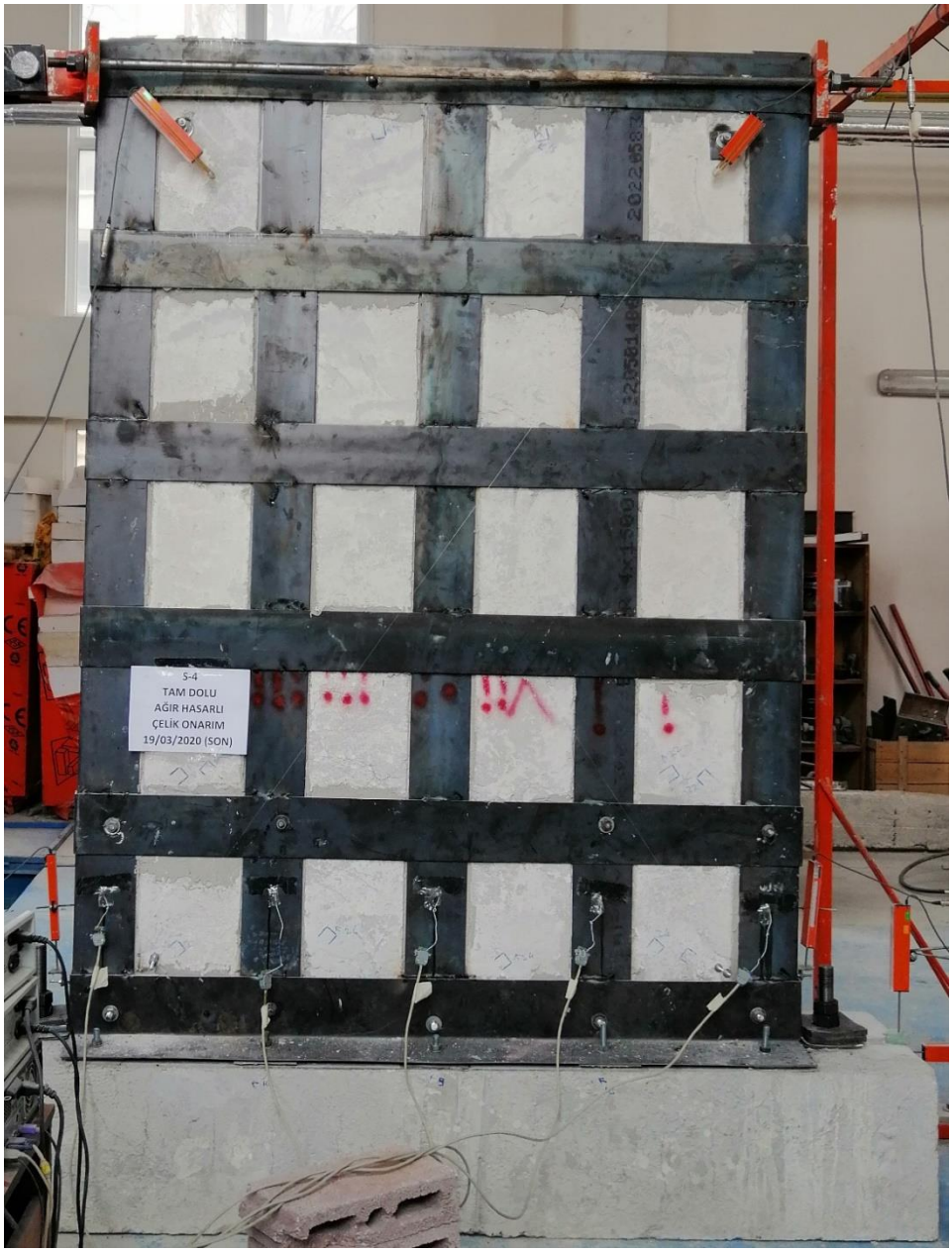
Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	21,48	2,36	24,09	2,46
2	0,15	30,25	3,66	35,92	3,61
3	0,20	40,27	4,81	44,25	4,85
4	0,30	52,44	7,23	57,35	7,14
5	0,40	60,75	9,64	68,40	9,46
6	0,50	70,37	12,06	81,21	11,99
7	0,75	83,78	18,05	94,53	17,78
8	1,00	95,79	23,94	103,56	24,13
9	1,25	97,32	30,12	104,85	29,98
10	1,50	99,51	36,13	105,21	36,21
11	2,00	101,96	48,02	104,00	48,02
12	2,50	89,17	60,60	83,36	60,36

4.7. D-AH-Ç Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen D-AH-Ç deney elemanı; ağır hasarlı boşluksuz çelik şerit onarımlı betonarme perde duvardır. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanının rijitliğinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. %0,75 kat öteleme oranından itibaren deney elemanının rijitliğinde düşüş gözlenmiştir. Artan yükleme ile %1,00 kat öteleme düzeyinde perde duvar üzerindeki en üst yatay çelik şerit dış kenarlardan başlayarak sol ve sağ ankrajlara kadar ayrılmıştır. Bu yükleme seviyesinde ileri yükleme doğrultusunda 292,69 kN yük ve 24,24 mm kat ötelemesi, geri yükleme doğrultusunda 282,45 kN yük ve 24,24 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Deney elemanı ileri doğrultuda taşıma gücü kapasitesine %1,25 kat öteleme oranında ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 325,37 kN yük ve 30,32 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat öteleme oranında, perde duvar sağ ve sol dış kenarlarındaki düşey çelik şeritler yükleme noktasından başlamak üzere temel kirişine doğru ayrılmaya başlamıştır. Ayrıca temel kirişi üzerinden ikinci ve üçüncü sıradaki yatay çelik şeritlerin üst üste bindirmelerinin bulunduğu dış kenarlardaki kaynaklarda kırılma ve açılma gözlenmiştir. %1,50 kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 322,43 kN yük ve 36,11 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 313,85 kN yük ve 36,33 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Deney elemanı geri yükleme doğrultusunda taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde, temel kirişi üzerindeki yatay çelik şerit hizasında yatay çatlakların oluştuğu ve temel kirişi üzerindeki ankrajlar da sıyrılma görülmüştür. %2,00 kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 264,36 kN yük ve 48,60 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 282,53 kN yük ve 48,53 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Deney elemanında bu kat öteleme oranının ilk ileri yarı çevriminde %18,75 ve geri yarı çevriminde %9,98 oranlarında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Daha önce oluşan temel kirişi üzerindeki yatay çelik şerit hizasındaki yatay çatlakların genişlediği ve perde duvar kesitinin bu çatlak üzerinde hareket ederek kaydığı, temel kirişi üzerindeki ankrajların sıyrıldığı böylece deney elemanın taşıma kapasitesinde düşüş gözlendiği tespit edilmiş ve deney elemanı göçmüştür.

Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.17'de ve D-AH-Ç deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.18-4.19'da verilmiştir.



Resim 4.17. Deney sonrası D-AH-Ç deney elemanının görünümü

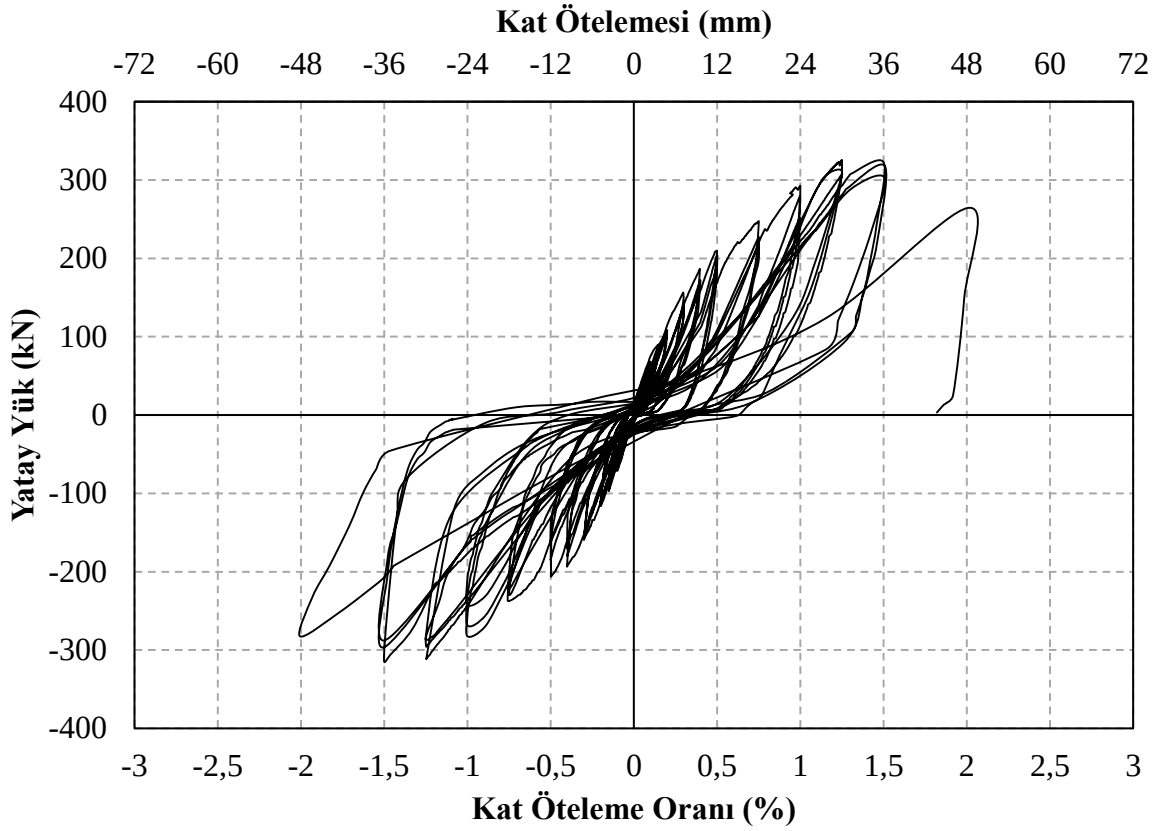
Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.19'da ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.20'de verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.21'de sunulmuştur. Çizelge 4.7'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



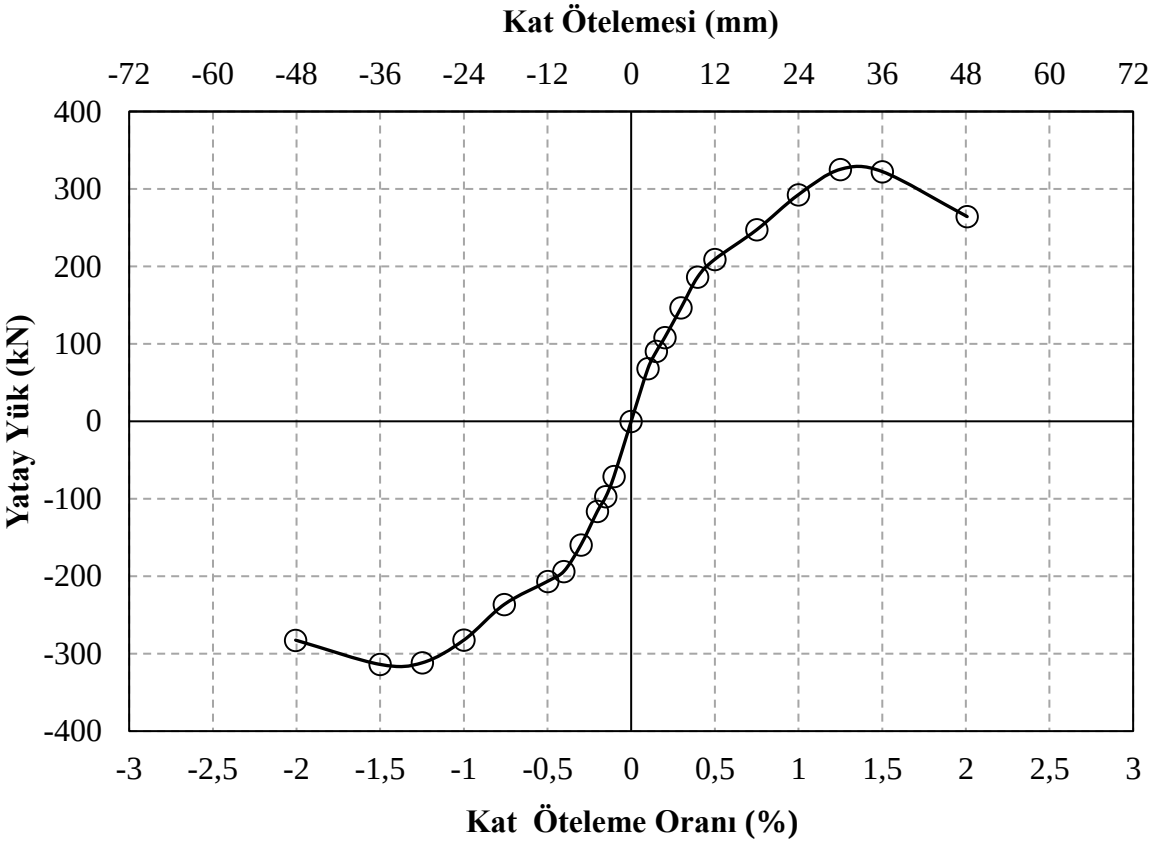
Resim 4.18. D-AH-Ç deney elemanı ankrajların sıyrılması ve çelik şeritlerin ayrılması



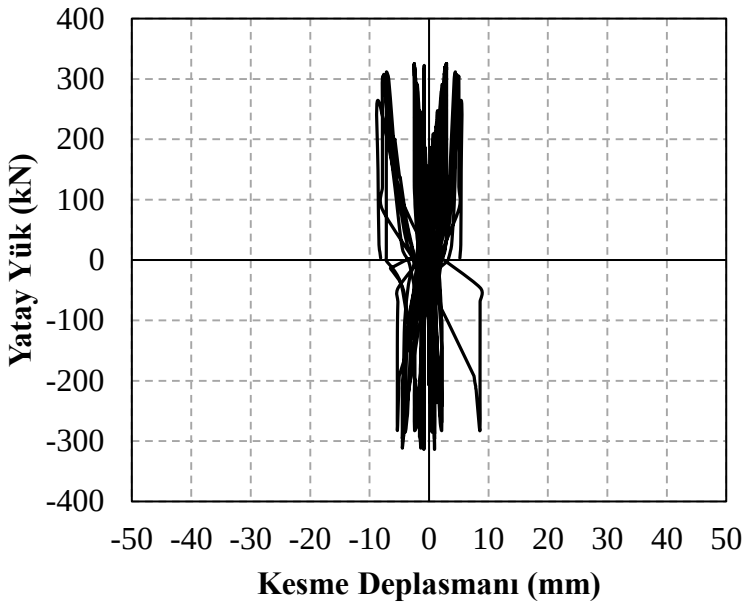
Resim 4.19. D-AH-Ç deney elemanı yatay şeritlerin ayrılması ve kaynakların kopması



Şekil 4.19. D-AH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.20. D-AH-Ç deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.21. D-AH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.7. D-AH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	68,14	2,42	71,11	2,50
2	0,15	90,45	3,66	97,16	3,66
3	0,20	108,36	4,88	116,20	4,91
4	0,30	146,56	7,22	159,46	7,29
5	0,40	186,22	9,62	193,64	9,75
6	0,50	209,18	12,13	206,42	12,07
7	0,75	247,46	18,20	236,34	18,39
8	1,00	292,69	24,24	282,44	24,24
9	1,25	325,37	30,32	311,71	30,18
10	1,50	322,43	36,11	313,85	36,33
11	2,00	264,36	48,60	282,53	48,53

4.8. P-AH-Ç Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen P-AH-Ç deney elemanı; ağır hasarlı pencere boşluklu çelik şerit onarımlı betonarme perde duvardır. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.20'de verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiştir. %0,50 kat öteleme oranında, perde duvar üzerindeki en üst yatay çelik şerit dış kenarlardan başlayarak sol ve sağ ankrajlara kadar ayrılmaya başlamıştır. %0,75 kat öteleme oranında, pencere boşluğu üzerindeki yatay çelik şerit perde dış kenarlarından başlayarak pencere köşelerindeki ankrajlara kadar ayrılmaya başlamıştır. Bu yükleme çevriminde deney elemanının rijitliğinde bir miktar düşüş görülmüştür. Artan yükleme ile %1,00 kat ötelemesi düzeyinde, gerilme birikimlerinin olduğu pencere üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları meydana gelmiştir. Buna ek olarak pencere boşluğu sol ve sağ kesitlerinde kenarlardan başlayan yeni kesme ve eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu yükleme seviyesinde, ileri yükleme doğrultusunda 250,95 kN yük ve 24,50 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 224,16 kN yük ve 24,39 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat öteleme oranında, pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları genişlemiş ve bu çatlaklar perde duvar dış kenarlarına doğru ilerlemiştir. Ayrıca pencere boşluğunun üst ve alt köşelerindeki ankrajların olduğu bölgelerde düşey ve yatay çelik şeritler burkulmaya başlamıştır. Bu bölgedeki beton ezilmiş ve paspayı düşmüştür. Bu yükleme çevriminin hem ileri hem de geri doğrultusunda deney elemanı taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 253,39 kN ve geri yükleme doğrultusunda 229,04 kN yük ölçülmüştür. %1,50 kat öteleme oranından sonra deney elemanının rijitliğinde önemli bir düşüş yaşanmıştır. Bu kat öteleme oranında; ileri yükleme doğrultusunda 242,71 kN yük ve 36,16 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 226,74 kN yük ve 36,15 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Artan yükleme ile pencere boşluğu üzerindeki yatay çelik şeritlerin bindirme bölgesindeki kaynaklarının kırıldığı ve açıldığı ayrıca pencere boşluğu kenarlarındaki düşey ve yatay şeritlerin tamamen ayrıldığı görülmüştür. %2,00 kat öteleme oranında, pencere alt sağ ve sol iç köşelerindeki betonun ezildiği, bu bölgedeki betonun döküldüğü, pencere boşluğu iç kenarlarına yakın olan boyuna donatıların burkulduğu ve bu bölgedeki etriyelerin açıldığı görülmüştür. Bu çevrimin ilk ileri yarı çevrimi yüklemesi esnasında %1,72 kat öteleme oranı ve ilk geri yarı çevrimi yükleme esnasında %1,83 kat öteleme oranında pencere boşluğunun altındaki yatay

çelik şeritlerin kenarında bulunan bindirme bölgesindeki kaynaklar aniden kırılmış ve kuşaklar açılmıştır. Meydana gelen bu hasarlar nedeniyle yük seviyesinde düşüş meydana gelmiştir. %2,50 kat öteleme oranında; ileri yükleme doğrultusunda 189,13 kN yük ve 60,89 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 179,61 kN yük ve 61,10 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %2,50 kat öteleme oranının ilk ileri yarı çevriminde, deney elemanının taşıma gücünde %25,36 ve geri yarı çevriminde %21,58 düzeylerinde taşıma gücünde düşüş meydana gelmiştir. Pencere kenarlarındaki beton kesitinin azalmasından, bu bölgedeki boyuna donatıların burkulmasından ve perde duvar üzerindeki tüm çelik şeritlerin sıyrılmasından dolayı deney elemanı göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.



Resim 4.20. Deney sonrası P-AH-Ç deney elemanının görünümü

P-AH-Ç deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.21-4.22'de verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.22'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği

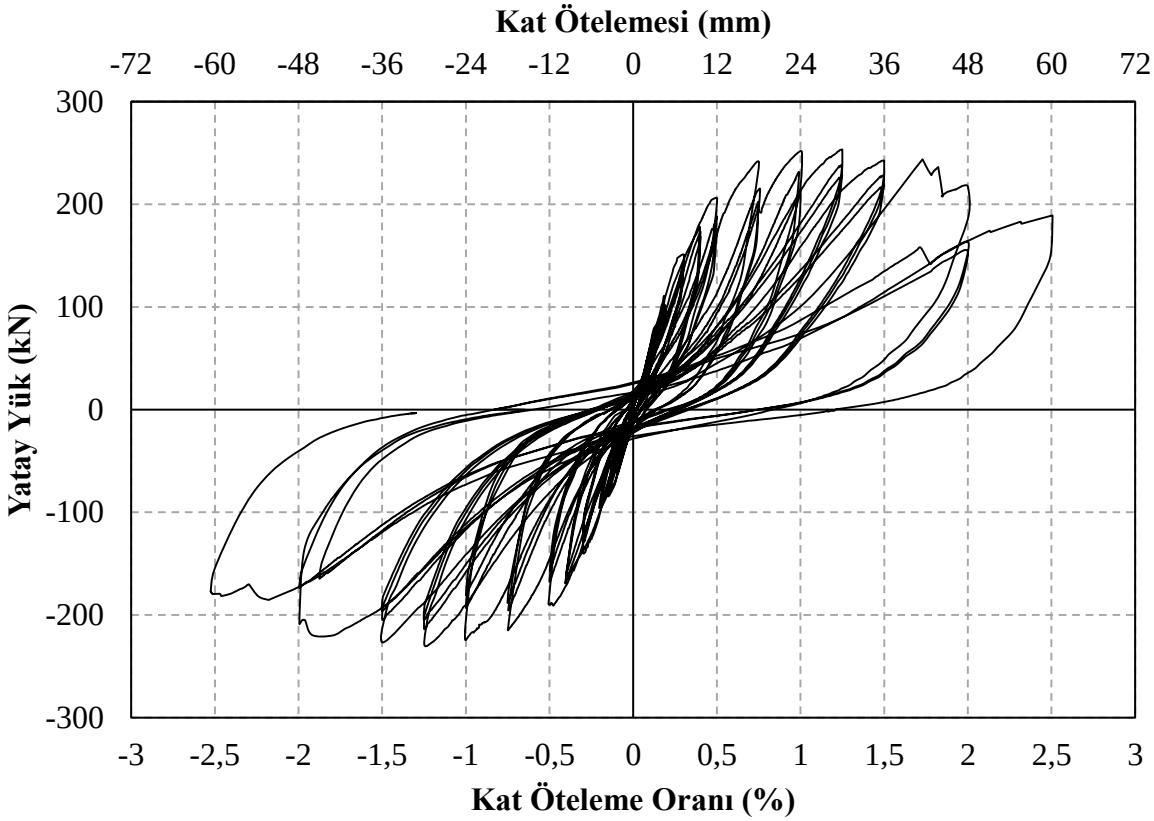
kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.23'de verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.24'de sunulmuştur. Çizelge 4.8'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.



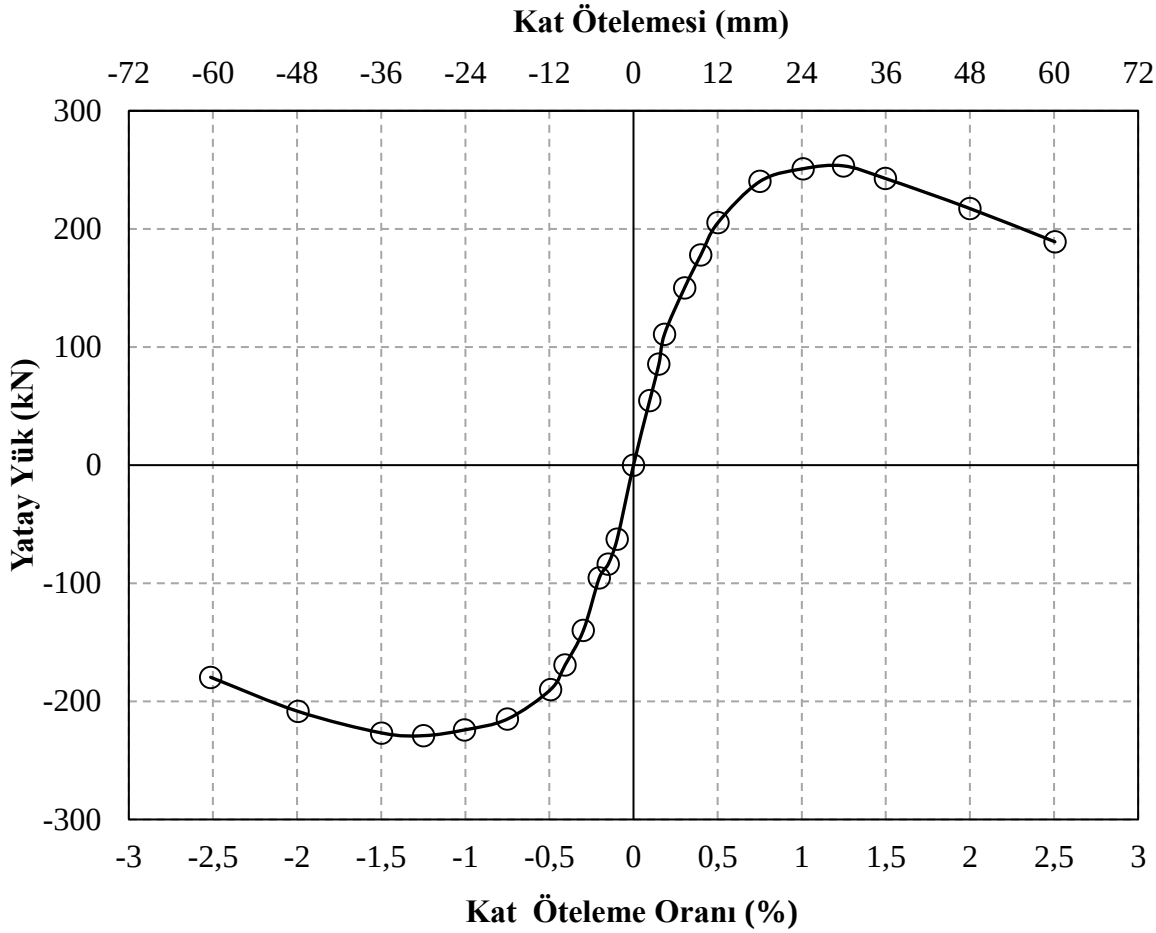
Resim 4.21. Pencere boşluğu kenarındaki çelik şeritlerin ve boyuna donatının burkulması



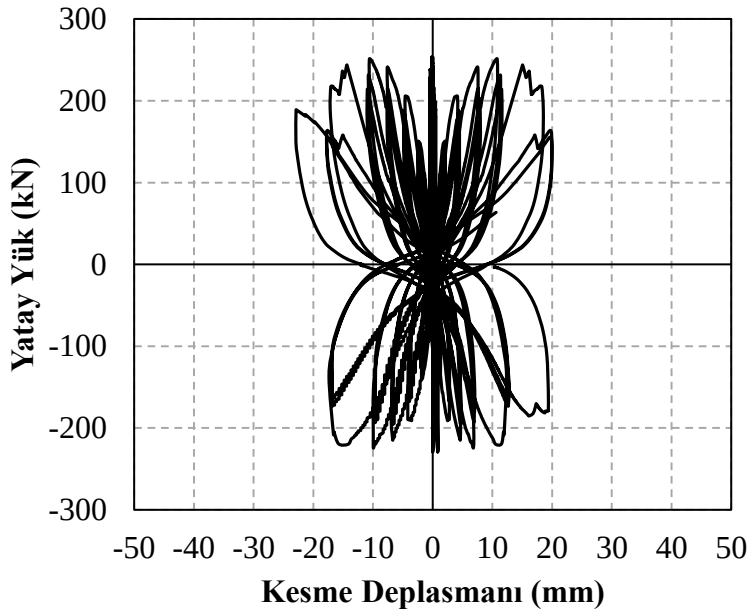
Resim 4.22. P-AH-Ç deney elemanı düşey ve yatay şeritlerin ayrılması



Şekil 4.22. P-AH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.23. P-AH-Ç deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.24 P-AH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.8. P-AH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	54,60	2,32	62,51	2,36
2	0,15	85,53	3,67	83,79	3,64
3	0,20	110,82	4,46	95,28	4,94
4	0,30	150,22	7,39	139,98	7,25
5	0,40	177,92	9,67	169,23	9,69
6	0,50	205,28	12,20	190,02	11,98
7	0,75	240,24	18,26	214,96	18,19
8	1,00	250,95	24,50	224,16	24,39
9	1,25	253,39	30,13	229,04	30,13
10	1,50	242,71	36,16	226,74	36,15
11	2,00	217,26	48,62	208,46	48,48
12	2,50	189,13	60,89	179,61	61,10

4.9. K-AH-Ç Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen K-AH-Ç deney elemanı; ağır hasarlı kapı boşluklu çelik şerit onarımlı betonarme perde duvardır. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiş, en üst yatay çelik şerit dış kenarlardan başlayarak ankraja kadar olan bölgede ayrılmaya başlamıştır. Artan yükleme ile %0,75 kat ötelemesi düzeyinde, perde duvar sol ve sağ dış kenarındaki düşey çelik şeritler ve kapı boşluğu kenarındaki düşey ve yatay şeritlerde ayrılma başlamıştır. Buna ek olarak kapı boşluğunun sağ üst köşesindeki ankrajın olduğu bölgede yatay ve düşey çelik şeritlerde burkulma gözlemlenmiştir. Bu çevrimden sonra, deney elemanının rijitliğinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. %1,00 kat öteleme oranında kapı boşluğu üzerindeki yatay çelik şeritin iki ankraj arasındaki bölgede tamamen

ayrıldığı ve bu bölgedeki beton yapışma arayüzeyinin etkisiyle dökülmüştür. Bu kat öteleme oranında, ileri yükleme doğrultusunda 130,70 kN yük ve 24,29 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 129,67 kN yük ve 23,95 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat ötelemesi düzeyinde, gerilme birikimlerinin olduğu kapı boşluğu üst sağ ve sol iç köşelerinde yükleme plakalarına doğru ilerleyen yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları meydana gelmiştir. Buna ek olarak pencere boşluğu sol ve sağ kesitlerinde kenarlardan başlayan yeni kesme ve eğilme çatlakları oluşmuştur. %1,50 kat öteleme oranında temel kirişi üzerindeki ankrajlarda sıyrılmanın başladığı ve kapı boşluğunun kenarındaki düşey şeritlerin tamamen ayrıldığı tespit edilmiştir. Bu kat öteleme oranında, ileri yükleme doğrultusunda 144,95 kN yük ve 36,24 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 136,89 kN yük ve 36,34 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Bu çevrim itibariyle deney elemanının rijitliğinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. %2,00 kat öteleme oranı üçüncü ileri yarı çevrimi yüklemesi esnasında %1,94 kat öteleme oranında kapı boşluğu üzerindeki yatay çelik şeritin bindirme bölgesindeki kaynakları kırılarak ani bir şekilde kuşaklar açılmıştır. Bu nedenle taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş meydana gelmiştir. Bu yükleme çevriminin geri yarı çevriminde taşıma gücü kapasitesi olan 145,59 kN yük seviyesine ulaşılmıştır. Deney elemanı %2,50 kat öteleme oranı ilk ileri yarı çevriminde pekleşmenin etkisiyle 155,38 kN taşıma gücü kapasitesine ve 60,63 mm kat ötelemesine ulaşmıştır. Bu çevrim de artan yükleme etkisi ile temel kirişi - perde birleşim bölgesindeki sargılamayı sağlayan yatay çelik şeritin köşesinde kopma başlangıcı tespit edilmiştir. Deney elemanı %3,00 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %11,84 ve %18,15 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Deney elemanı kapı boşluğu üst sol ve sağ iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli oluşan kesme çatlaklarının genişlemesi, kapı alt iç köşelerinde bulunan temel kirişi üzerindeki ankrajların tamamen sıyrılması ve kapı kenarlarındaki düşey/yatay çelik şeritlerin tamamen ayrılması sonucunda deney elemanı göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.

Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.23'de ve K-AH-Ç deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.24-4.25'de verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.25'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.26'da verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.27'de sunulmuştur. Çizelge 4.9'da zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



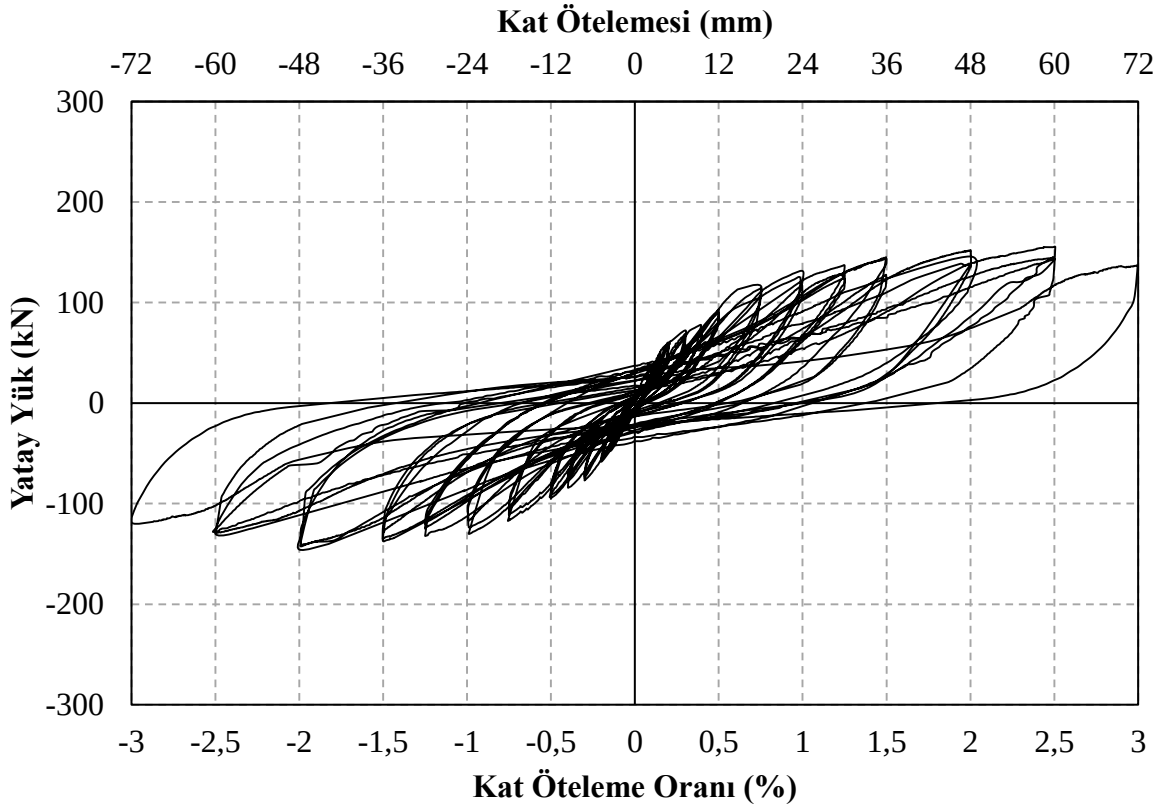
Resim 4.23. Deney sonrası K-AH-Ç deney elemanının görünümü



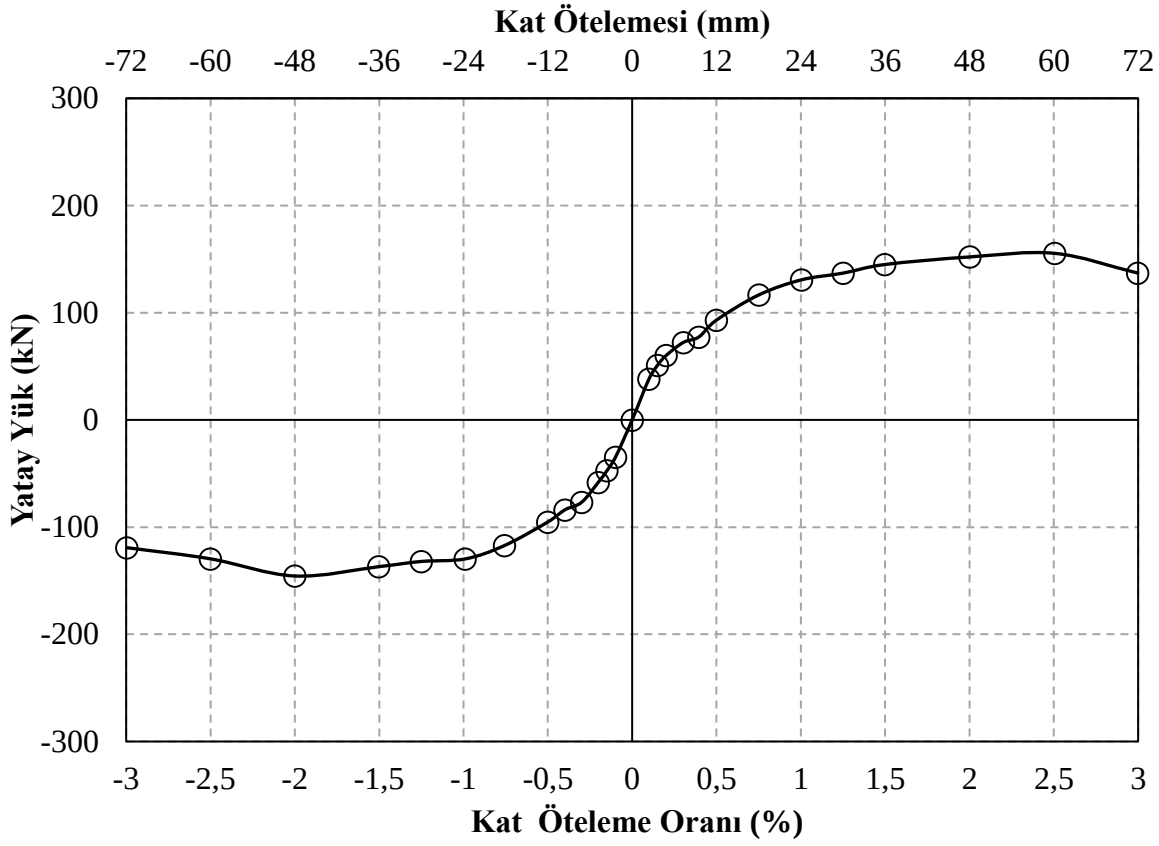
Resim 4.24. K-AH-Ç deney elemanı kapı boşluğu üst köşelerinde oluşan hasarlar



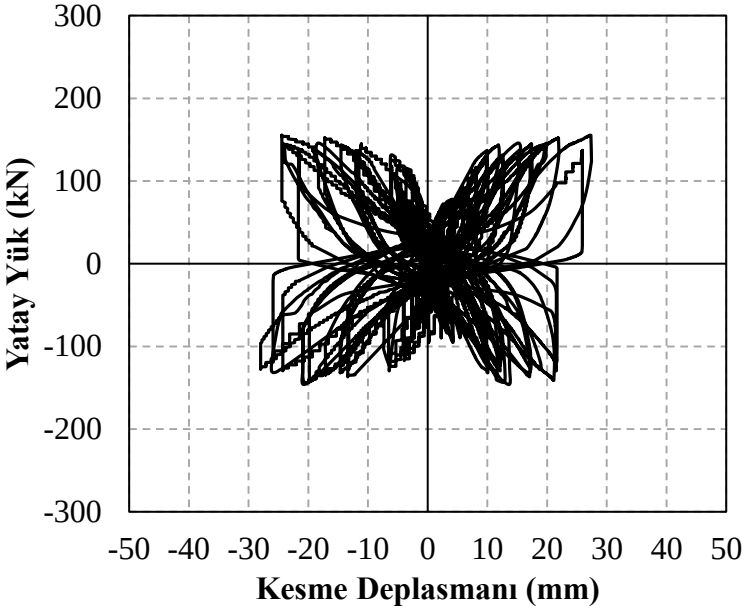
Resim 4.25. Deney elemanı en alt yatay çelik şeritin kopması ve ankrajların sıyrılması



Şekil 4.25. K-AH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.26. K-AH-Ç deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.27. K-AH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

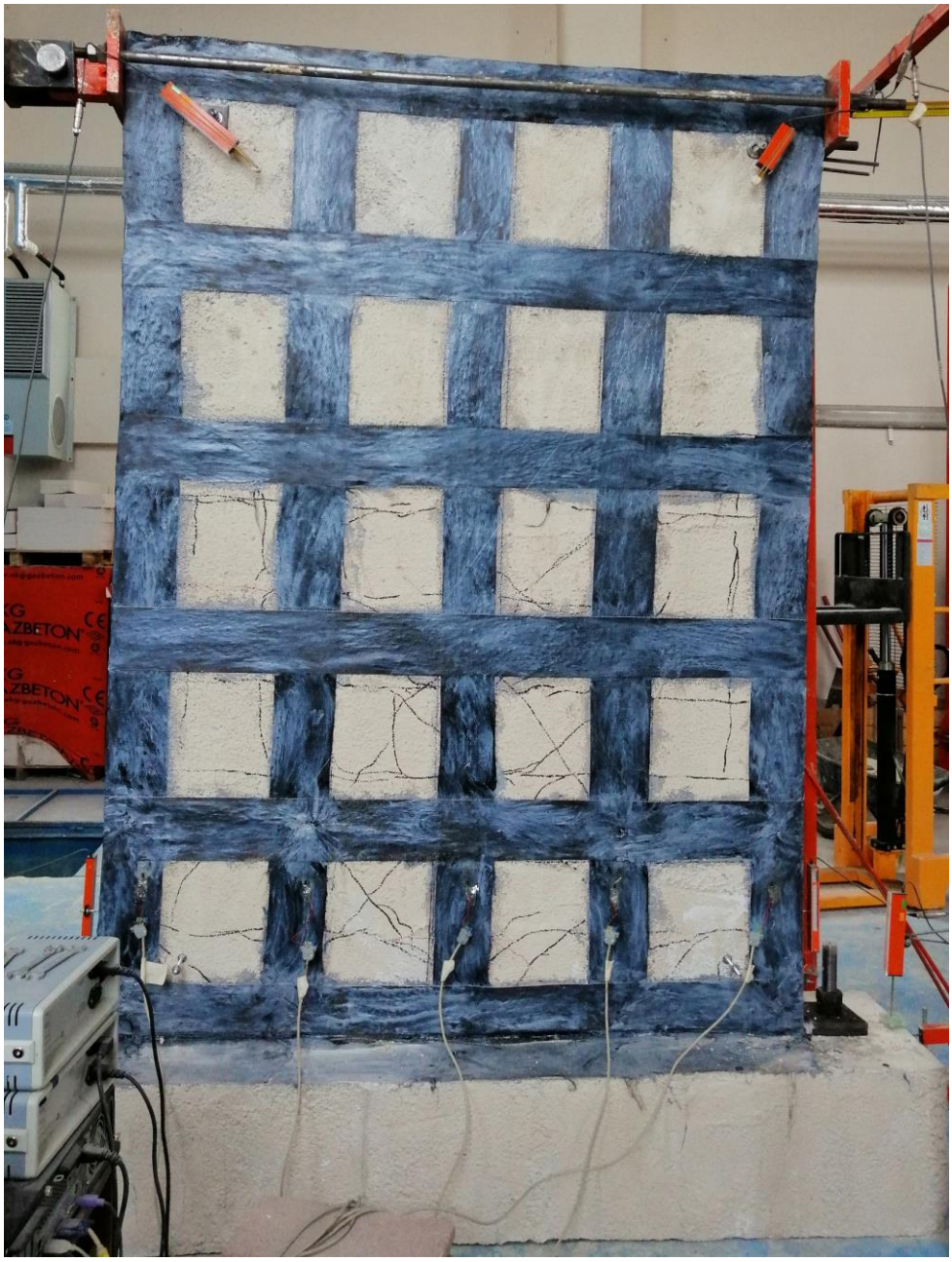
Çizelge 4.9. K-AH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	37,97	2,41	34,79	2,39
2	0,15	50,89	3,63	47,44	3,63
3	0,20	60,22	4,88	58,26	4,88
4	0,30	72,26	7,34	76,91	7,26
5	0,40	77,31	9,57	83,88	9,65
6	0,50	93,14	12,11	95,32	12,14
7	0,75	116,62	18,18	117,19	18,31
8	1,00	130,70	24,29	129,67	23,95
9	1,25	136,93	29,95	132,05	29,94
10	1,50	144,95	36,24	136,89	36,34
11	2,00	152,04	48,44	145,59	47,91
12	2,50	155,38	60,63	129,58	59,89
13	3,00	136,98	72,54	119,17	72,54

4.10. D-OH-K Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen D-OH-K deney elemanı; orta hasarlı boşluksuz CFRP onarımlı betonarme perde duvardır. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiş, perde gövdesinde diyagonal doğrultuda yeni kesme çatlakları ve yatay doğrultuda yeni eğilme çatlakları oluşmuştur. Ancak bu çatlakların genişlikleri ve sayısı sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Artan yükleme ile %1,00 kat öteleme düzeyinde perde duvar üzerindeki alttan ikinci yatay CFRP şerit sol ve sağ ankrajlar arasındaki bölgelerde ayrılmıştır. Bu yükleme seviyesinde ileri yükleme doğrultusunda 276,99 kN yük ve 24,33 mm kat ötelemesi, geri yükleme doğrultusunda 262,0 kN yük ve 24,49 mm kat ötelemesi ölçülmüş ve perde duvar deney elemanı yatay öteleme yapmaya başlamıştır. %1,00 kat öteleme oranında, temel kirişi - perde duvar birleşim bölgesinde bulunan yatay CFRP şerit dış köşelerden perde ortasına doğru kopmaya başlamıştır. Deney elemanı taşıma gücü kapasitesine %1,25 kat öteleme oranında ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 280,25 kN ve geri yükleme doğrultusunda 269,98 kN yük ölçülmüştür. %1,50 kat öteleme oranı çevriminin ilk ileri yarı çevrimi esnasında %1,31 kat ötelemesi oranında sol dış kenardaki iki boyuna donatı kopmuştur. Daha sonra deney elemanı tekrar yük almış ve %1,50 çevrimini tamamlamıştır. Bu kat öteleme oranında temel kirişi - perde duvar birleşim bölgesinde bulunan yatay CFRP şeritte oluşan kopma tüm kesit boyunca ilerlemiş ve tamamen kopmıştır. Perde gövdesinin temel kirişi üzerinden kesilerek, perde gövdesinin bu bölge üzerinde kaydığı görülmüştür. Artan yükleme ile %2,00 kat öteleme çevriminin ilk ileri yarı çevrimi esnasında, sol dış kenardan ikinci ve üçüncü sıradaki boyuna donatılar kopmuş ve taşıma gücünde düşüş meydana gelmiştir. %2,00 kat öteleme çevriminin ilk geri yarı çevrimi esnasında ise %1,72 kat öteleme oranında sağ dış kenardaki boyuna donatılar ve %1,91 kat öteleme oranında sağ dış kenardan ikinci sıradaki boyuna donatılar kopmuştur. Deney elemanı %2,00 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %40,39 ve %53,47 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Deney elemanı dış liflerdeki perde boyuna donatılarının kopması sonucunda göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.26'da ve deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.27-4.28'de verilmiştir.

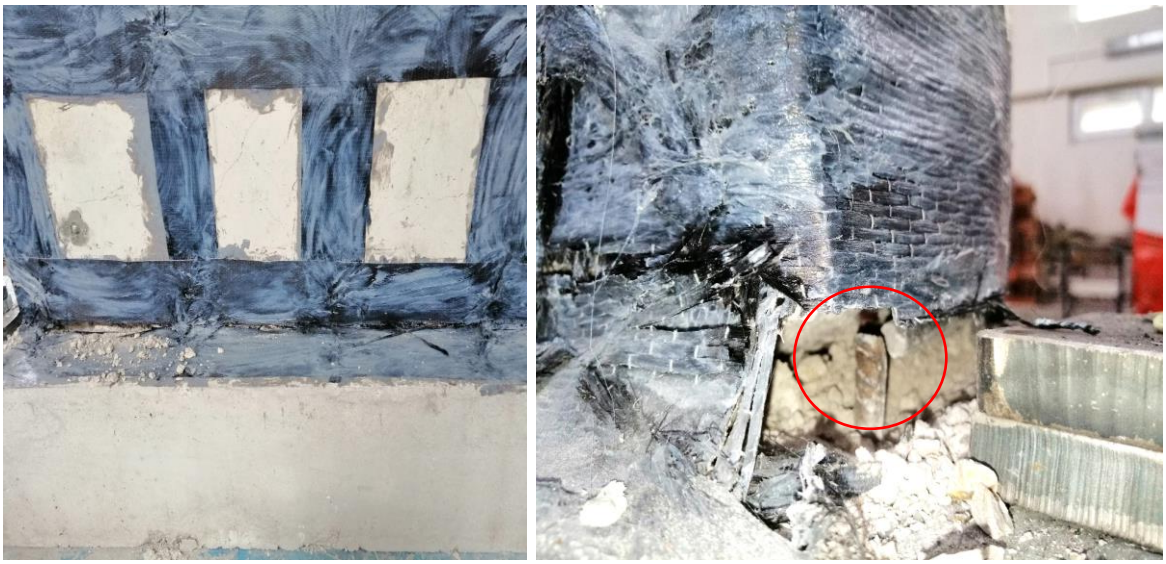


Resim 4.26. Deney sonrası D-OH-K deney elemanının görünümü

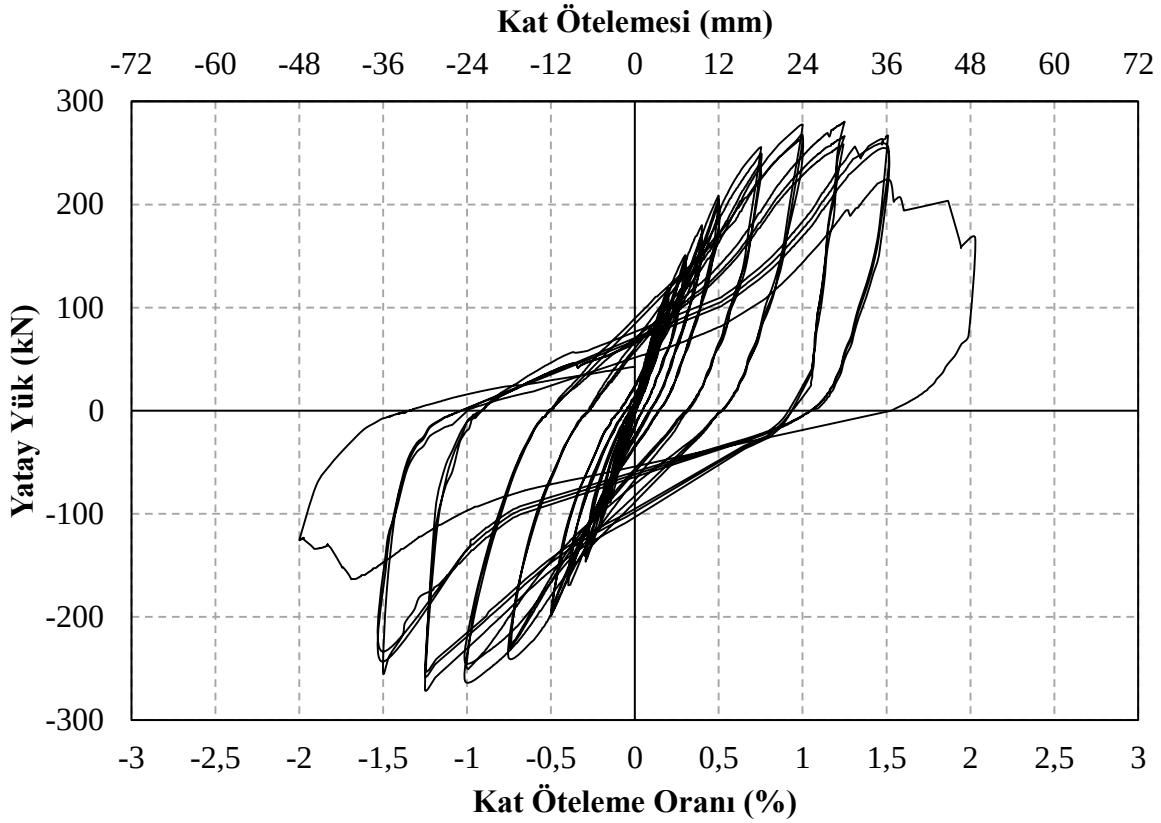
Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.28'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.29'da verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.30'da sunulmuştur. Çizelge 4.10'da zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



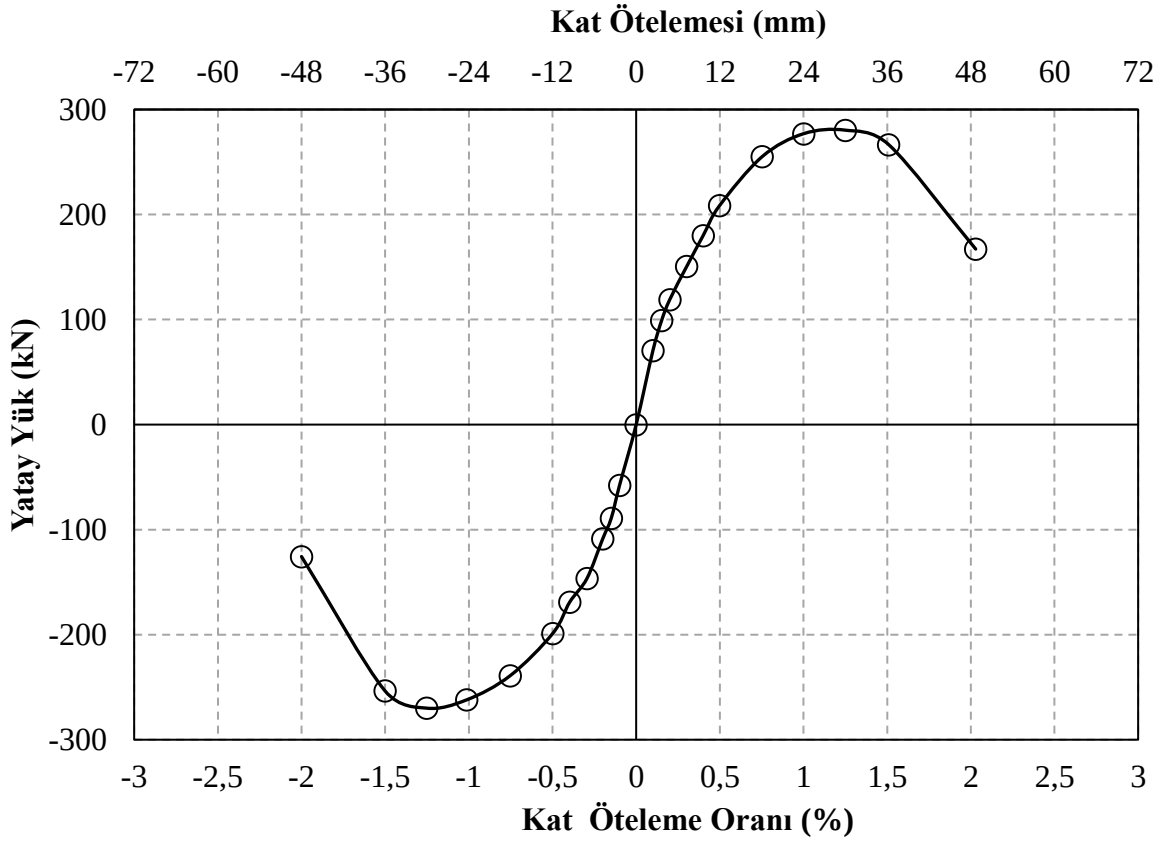
Resim 4.27. Deney elemanı sol kenardan ilk üç sıradaki boyuna donatıların kopması



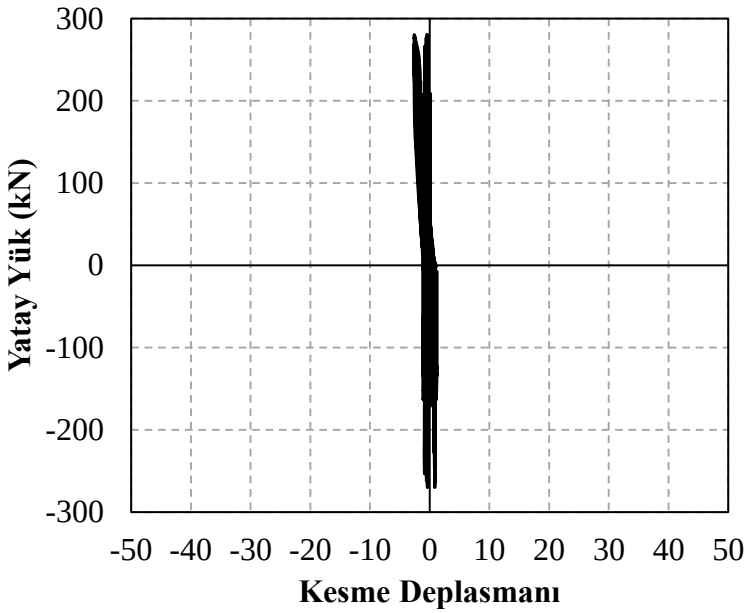
Resim 4.28. D-OH-K elemanın temel kirişi perde duvar birleşimi üzerinde kayması



Şekil 4.28. D-OH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.29. D-OH-K deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.30. D-OH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.10. D-OH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	70,47	2,42	57,59	2,40
2	0,15	99,10	3,68	89,08	3,62
3	0,20	119,13	4,87	108,72	4,83
4	0,30	150,58	7,30	146,43	7,12
5	0,40	179,91	9,68	168,95	9,61
6	0,50	208,66	12,07	198,88	12,08
7	0,75	255,13	18,22	239,06	18,23
8	1,00	276,99	24,23	261,99	24,49
9	1,25	280,32	30,25	269,98	29,58
10	1,50	266,56	36,51	253,53	36,33
11	2,00	167,13	49,10	125,62	48,41

4.11. P-OH-K Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen P-OH-K deney elemanı; orta hasarlı pencere boşluklu CFRP onarımlı betonarme perde duvardır. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.29'da ve P-OH-K deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.30-4.31'de verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.31'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.32'de verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.33'de sunulmuştur. Çizelge 4.11'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiş, gerilme birikimlerinin olduğu pencere üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları ve pencere kanatlarında eğilme çatlakları oluşmuştur. Ancak bu çatlakların genişlikleri sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Artan yükleme ile %0,75 kat ötelemesi düzeyinde, gerilme birikimlerinin olduğu pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları oluşmuştur. Perde duvarın maksimum moment bölgesindeki düşey CFRP şeritler kopmaya başlamıştır. %1,00 kat öteleme oranında pencere boşluğunun etrafındaki düşey ve yatay CFRP şeritler beton yüzeyden ayrılmıştır. Bu yükleme seviyesinde, ileri yükleme doğrultusunda 209,70 kN yük ve 23,89 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 200,57 kN yük ve 24,07 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları genişlemiş ve bu çatlaklar perde duvar dış kenarlarına doğru ilerlemiştir. %1,25 kat öteleme oranında, perde duvarın bu kenar bölgelerindeki düşey CFRP şeritlerin kopması hızlanmış ve bu bölgelerdeki beton ezilerek dökülmeye başlamıştır. Bu yükleme düzeyi ile deney elemanı yatay öteleme yapmaya başlamıştır. %1,50 kat öteleme oranı çevriminin ilk ileri yarı çevrimi esnasında pencere altındaki yatay CFRP şerit, maksimum moment bölgesinde sol dış kenardaki düşey CFRP şerit ve pencere boşluğunun sol kenarındaki düşey CFRP şerit kopmuştur. Bu yükleme seviyesinde, ileri doğrultuda 216,23 kN yük ve 36,01 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda ise boyuna donatıda pekleşmenin etkisiyle taşıma gücü kapasitesi olan 212,04 kN yük ve 35,97 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %2,00 kat öteleme oranında, pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları perde dış kenarlarına ulaşmış ve bu bölgedeki düşey CFRP şeritler tamamen kopmuştur. Bu

yükleme düzeyinin geri yarı çevrimi esnasında pencere sağ üst köşesinde bulunan ankraj sıyrılmıştır. Deney elemanı %2,0 kat öteleme oranı çevrimi ilk ileri yarı çevriminde taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 220,76 kN ve geri yükleme doğrultusunda 211,56 kN yük ölçülmüştür. %2,50 kat öteleme oranı ilk ileri yarı çevrimi esnasında temel kirişinin sol kenarındaki fan tipi CFRP ankrajlarda sıyrılma görülmüştür. Ayrıca geri yarı çevrim esnasında sol dış kenarda bulunan iki boyuna donatı burkulmuş ve bu bölgedeki betonda ezilme meydana gelmiştir. Deney elemanı %2,50 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %11,87 ve %20,87 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlaklarının perde dış kenarlarına ulaşmasıyla bu bölgedeki betonun ezilmesi, boyuna donatının burkulması ve CFRP şeritlerin tamamen kopması sonucunda deney elemanı göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.



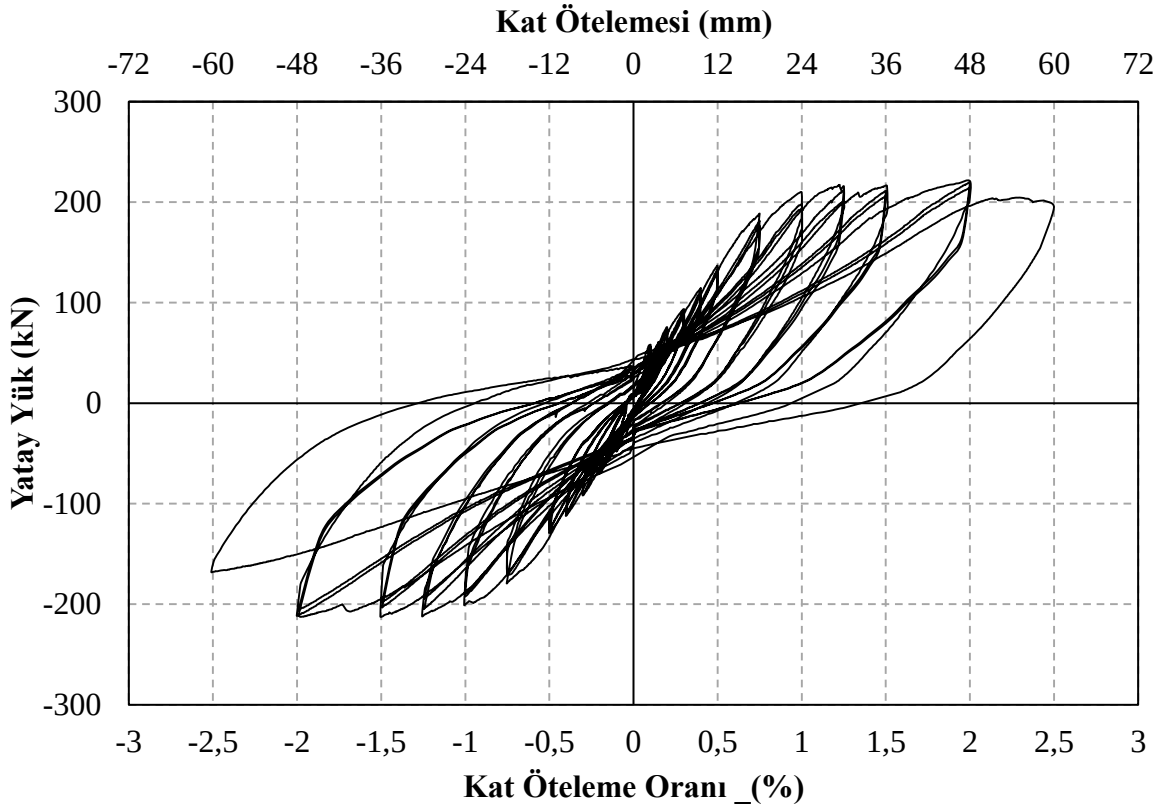
Resim 4.29. Deney sonrası P-OH-K deney elemanının görünümü



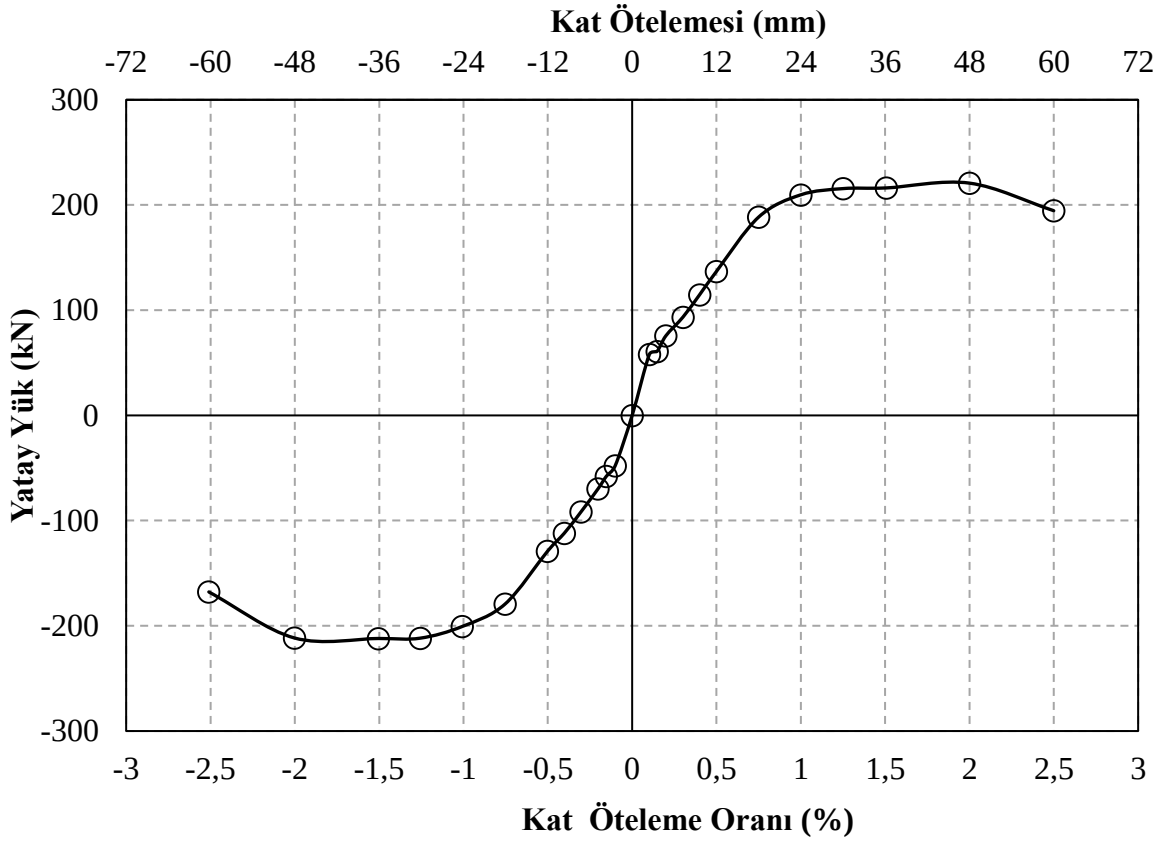
Resim 4.30. P-OH-K deney elemanı maksimum moment bölgesinde oluşan hasarlar



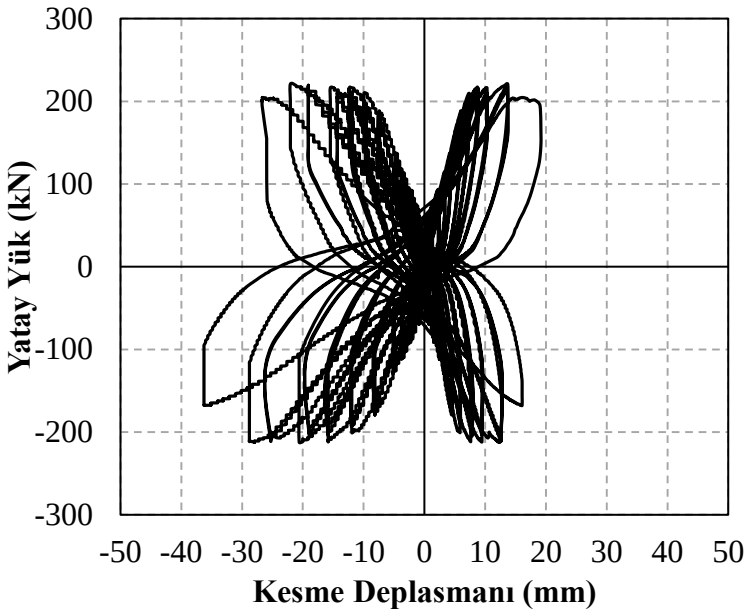
Resim 4.31. Deney elemanı pencere üst köşelerindeki düşey CFRP şeritin kopması



Şekil 4.31. P-OH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.32. P-OH-K deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.33. P-OH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.11. P-OH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	57,96	2,43	47,95	2,42
2	0,15	60,93	3,54	57,80	3,65
3	0,20	75,73	4,77	69,68	4,82
4	0,30	93,45	7,20	91,61	7,25
5	0,40	114,76	9,57	112,06	9,62
6	0,50	136,96	11,95	129,10	11,99
7	0,75	188,55	17,92	179,37	18,02
8	1,00	209,70	23,90	200,57	24,07
9	1,25	215,60	29,90	211,72	30,03
10	1,50	216,23	36,01	212,04	35,97
11	2,00	220,76	47,82	211,56	47,86
12	2,50	194,58	59,74	167,79	59,99

4.12. K-OH-K Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen K-OH-K deney elemanı; orta hasarlı kapı boşluklu CFRP onarımlı betonarme perde duvardır. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.32'de ve K-AH-K deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.33-4.34'de verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiş, gerilme birikimlerinin olduğu kapı üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları ve kapı kanatlarında eğilme çatlakları oluşmuştur. Ancak bu çatlakların genişlikleri sınırlı bir şekilde kılcal düzeyde kalmıştır. Artan yükleme ile %0,75 kat ötelemesi düzeyinde, kapı kenarlarındaki düşey CFRP şeritler, kapı üst köşelerinden aşağı ve yukarı doğrultuda ayrılmaya başlamıştır. Bu çevrimden sonra, deney elemanının rijitliğinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. %1,00 kat öteleme yükleme çevrimi esnasında kapı boşluğu alt iç kenarları ve dış kenarlardaki, temel kirişi üzerindeki fan tipi CFRP ankrajlar da sıyrılma gözlemlenmiştir. Bu kat öteleme oranı ile deney elemanının yatay öteleme yapmaya başladığı tespit edilmiştir. %1,00 kat öteleme oranının, ileri yükleme doğrultusunda 115,60 kN yük ve 23,94 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 108,00 kN yük ve 23,94 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat öteleme oranı çevriminin ilk geri yarı çevriminde, deney elemanı maksimum taşıma gücü olan 112,37 kN yük seviyesine ulaşmıştır. Bu yükleme seviyesinde deney elemanının rijitliğinde düşüş meydana gelmiştir. %1,50 kat öteleme oranı çevriminde ileri doğrultuda 123,46 kN yük ve 35,93 mm kat ötelemesi ve geri doğrultuda 112,30 kN yük ve 35,97 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Bu kat öteleme oranında temel kirişi – perde duvar birleşim bölgesindeki düşey ve yatay CFRP şeritlerde kopma görülmüştür. Ayrıca kapı üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli oluşan kesme çatlakları, kapı dış kenarlarına doğru ilerlemiştir. %2,00 kat öteleme oranında boyuna donatılardaki pekleşme etkisiyle ileri doğrultuda 128,39 kN yük ve 47,90 mm kat ötelemesi ve geri doğrultuda yük kaybederek 104,00 kN yük ve 47,91 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Bu yükleme düzeyinin ileri yarı çevriminde taşıma gücü kapasitesine ulaşılmıştır. Bu kat öteleme oranında temel kirişi – perde duvar birleşim bölgesindeki düşey ve yatay CFRP şeritler tamamen kopmuş ve bu bölgedeki ankrajlar da sıyrılma gözlemlenmiştir. Buna ek olarak kapı boşluğu etrafındaki CFRP şeritler tamamen ayrılmıştır. %2,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanın üzerinde oluşan çatlakların

genişlikleri ve sayısı sınırlı kalmıştır. Bu kat öteleme oranı çevriminin ilk ileri yarı çevrimi esnasında sol dış kenardaki boyuna donatıda kopma meydana gelmiştir. İleri yarı çevrim yüklemeye devam edilerek tamamlanmıştır. Bu doğrultuda deney elemanının taşıma gücünde %24,89 oranında kayıp meydana gelmiştir. %2,50 kat öteleme oranının ilk geri yarı çevrimi esnasında, %2,10 kat öteleme oranında sağ en dış kenardaki boyuna donatı kopmuştur. Geri yarı çevrimin tamamlanması için yüklemeye devam edilirken %2,41 kat öteleme oranı seviyesinde kapı sağ kesiti temel kirişi birleşim bölgesinden tamamen koparak deney elemanı stabilitesini kaybetmiştir. Bu nedenle deney elemanı göçmeye uğramış ve deney sonlandırılmıştır. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.34'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.35'de verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.36'da sunulmuştur. Çizelge 4.12'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



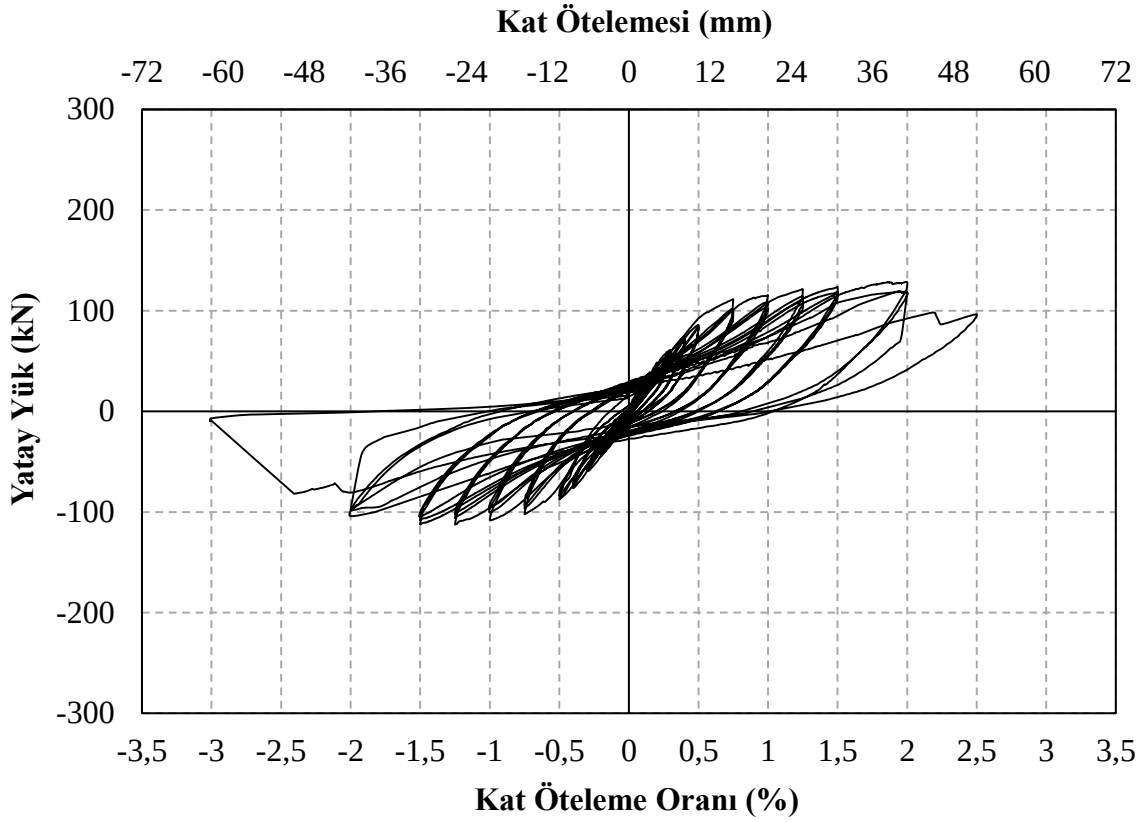
Resim 4.32. Deney sonrası K-OH-K deney elemanının görünümü



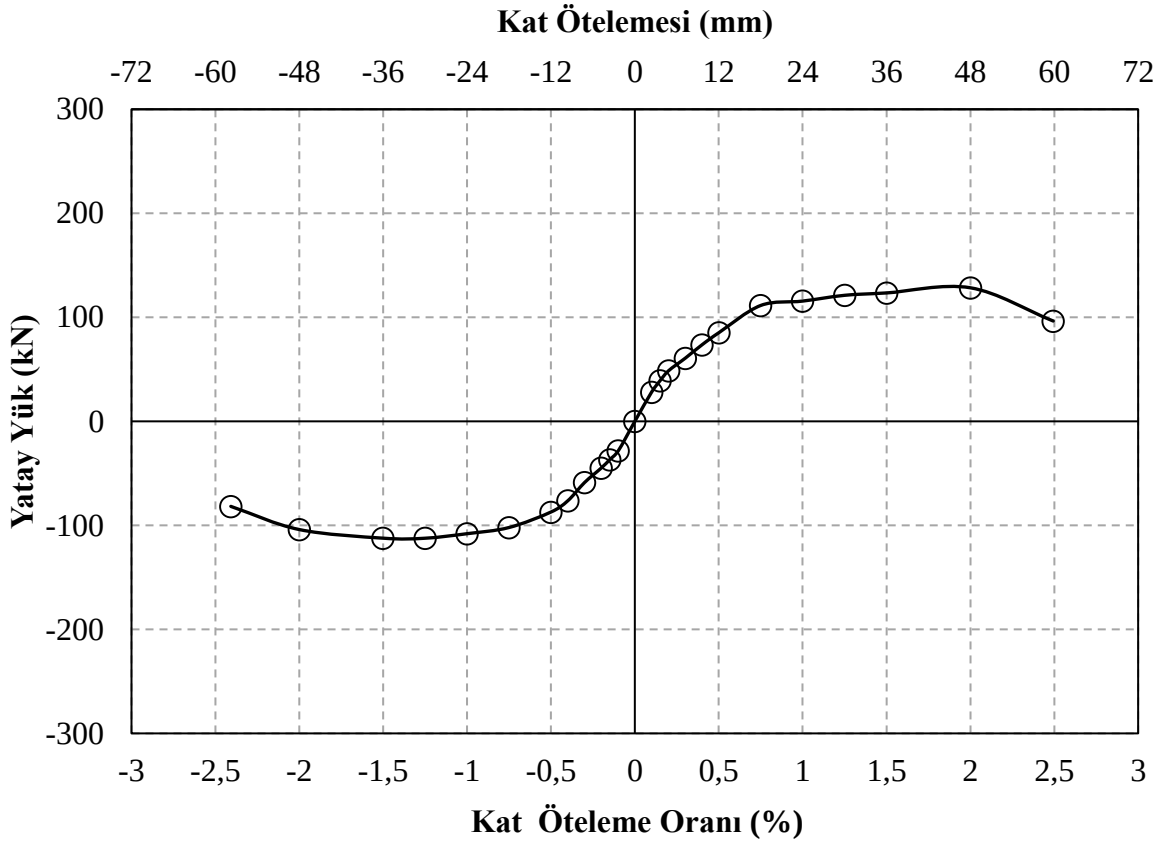
Resim 4.33. Deney elemanının temel kirişi birleşim bölgesinden tamamen kopması



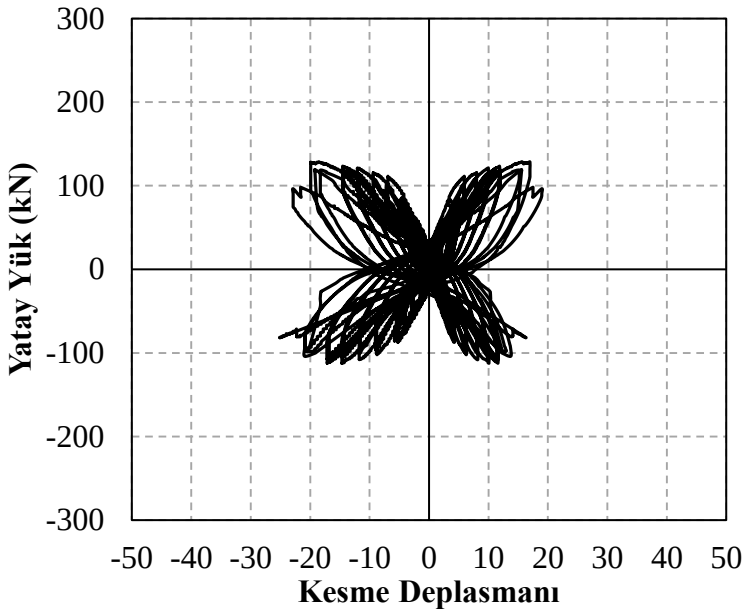
Resim 4.34. P-OH-K deney elemanı kapı alt ve üst iç köşelerinde oluşan hasarlar



Şekil 4.34. P-OH-K deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.35. P-OH-K deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.36. K-OH-K deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.12. K-OH-K çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

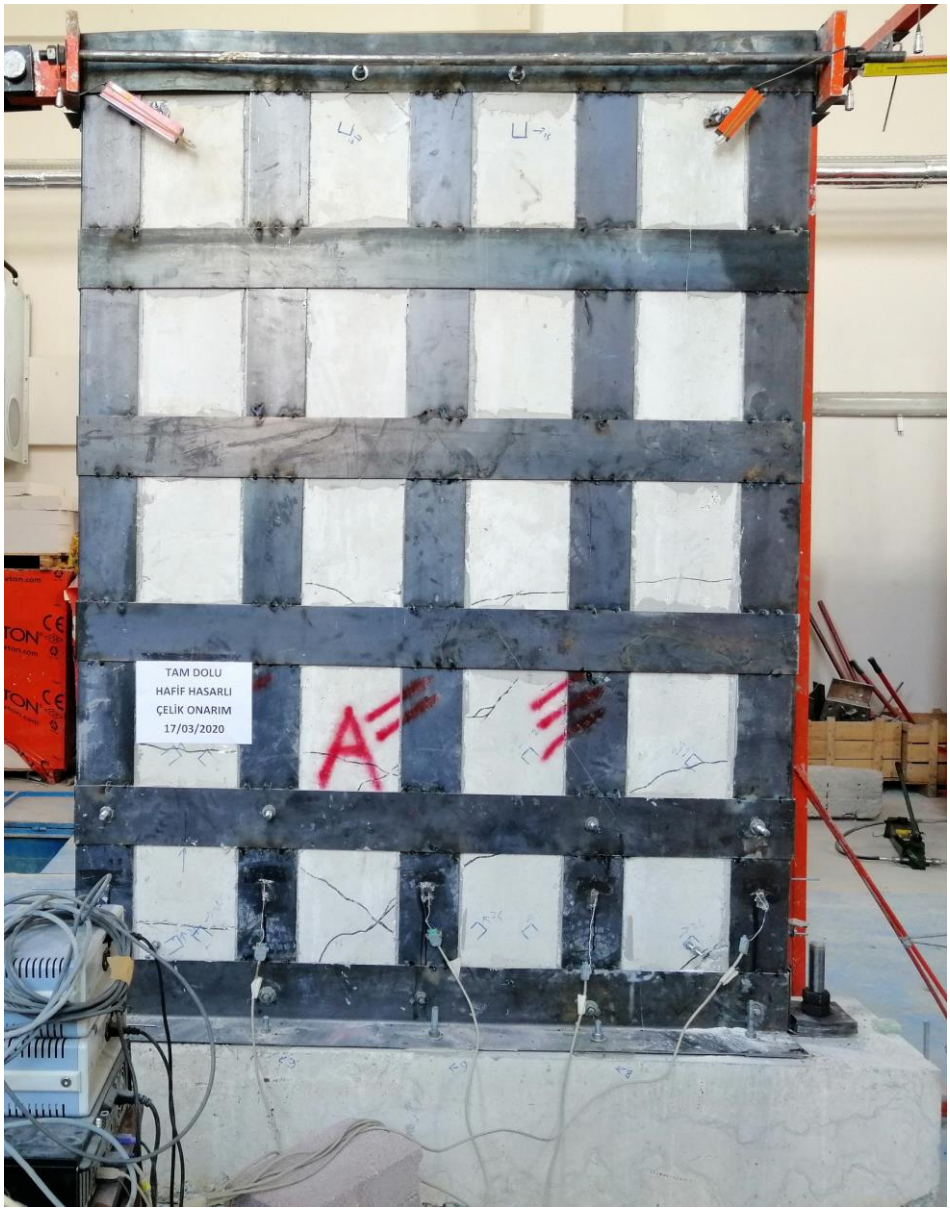
Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	28,10	2,39	28,37	2,38
2	0,15	39,00	3,59	36,86	3,60
3	0,20	48,64	4,92	44,84	4,85
4	0,30	60,79	7,20	58,89	7,19
5	0,40	73,69	9,61	76,42	9,59
6	0,50	85,36	12,03	87,27	12,01
7	0,75	111,39	17,97	102,12	17,99
8	1,00	115,60	23,94	108,00	23,94
9	1,25	121,17	29,95	112,37	29,94
10	1,50	123,46	35,93	112,30	35,97
11	2,00	128,39	47,90	104,00	47,91
12	2,50	96,44	59,72	81,76	57,69

4.13. D-OH-Ç Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen D-OH-Ç deney elemanı; orta hasarlı boşluksuz çelik şerit onarımlı betonarme perde duvardır. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir. Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.35'de ve D-OH-Ç deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.36-4.37'de verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanının rijitliğinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. %0,75 kat öteleme oranından itibaren deney elemanının rijitliğinde düşüş gözlenmiştir. Artan yükleme ile perde duvar üzerindeki en üst yatay çelik şerit dış kenarlardan başlayarak sol ve sağ ankrajlara kadar ayrılmaya başlamıştır. Deney elemanı hem ileri doğrultuda hem de geri doğrultuda taşıma gücü kapasitesine %1,25 kat öteleme oranında ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 354,14 kN yük ve 30,40 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 354,95 kN yük ve 30,27 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat öteleme oranında, perde duvar sağ ve sol dış kenarlarındaki düşey çelik şeritler yükleme noktasından başlamak üzere temel kirişi ne doğru ayrılmaya başlamıştır. Ayrıca bu yük çeviriminde temel kirişi üzerindeki ankrajlar sıyrılmaya başlamıştır. %1,50 kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 341,71 kN yük ve 36,42 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 351,40 kN yük ve 36,33 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Bu çevrimde, perde duvarın basınç ve çekme bölgesindeki dış liflerde ezilmenin oluştuğu görülmüştür. Buna ek olarak, perde duvar yüzeyine yapıştırılan düşey ve yatay çelik şeritler tamamen beton yüzeyinden ayrılmış ancak perde duvar gövdesindeki ankrajlar ile tutulmaya devam edildiği gözlemlenmiştir. %2,00 kat öteleme oranı ilk geri yarı çevrimi yüklemesi esnasında %1,42 kat öteleme oranında temel kirişi üzerindeki ikinci yatay çelik şeritin bindirme bölgesindeki kaynakları kırılarak ani bir şekilde kuşaklar açılmıştır. Bu nedenle taşıma gücünde düşüş görülmüştür. Bu çevrim de artan yükleme etkisi ile temel kirişi - perde birleşim bölgesindeki sargılamayı sağlayan yatay çelik şeritin köşesinde kopmaya başlamıştır. %2,00 kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 323,07 kN yük ve 47,82 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 299,39 kN yük ve 48,28 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Deney elemanı bu kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %8,77 ve %15,65 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Daha önce oluşan maksimum moment bölgesindeki çatlakların genişlediği, perde duvar gövdesi üzerinde temel kirişi üzerindeki yatay çelik

şeritin hemen üzerinde yatay çatlakların oluştuğu, perde duvar kesitinin bu çatlak üzerinde hareket ederek kaydığı, temel kirişi üzerindeki ankrajların sıyrıldığı böylece deney elemanın taşıma kapasitesinde düşüş gözlendiği tespit edilmiş ve deney elemanı göçmüştür. Bu nedenle deney elemanı göçmeye uğramış ve deney sonlandırılmıştır.



Resim 4.35. Deney sonrası D-OH-Ç deney elemanının görünümü

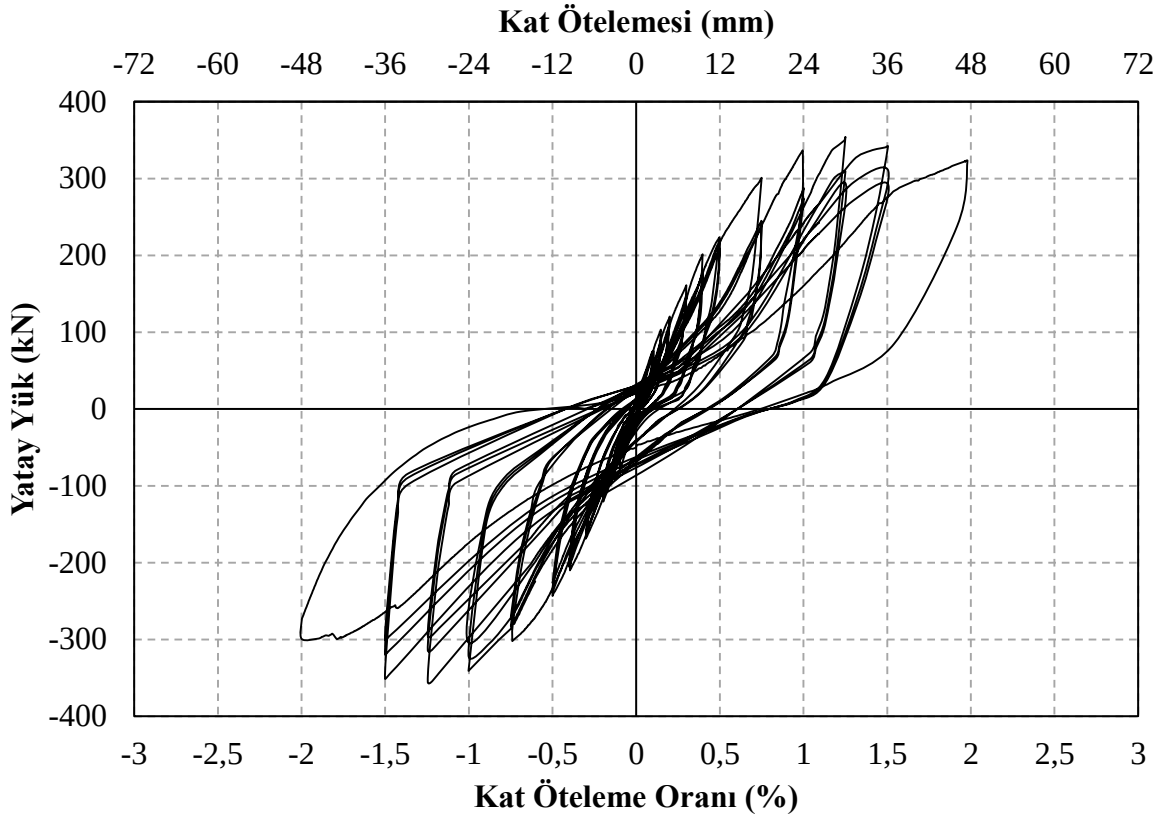
Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.37'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.38'de verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.39'da sunulmuştur. Çizelge 4.13'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



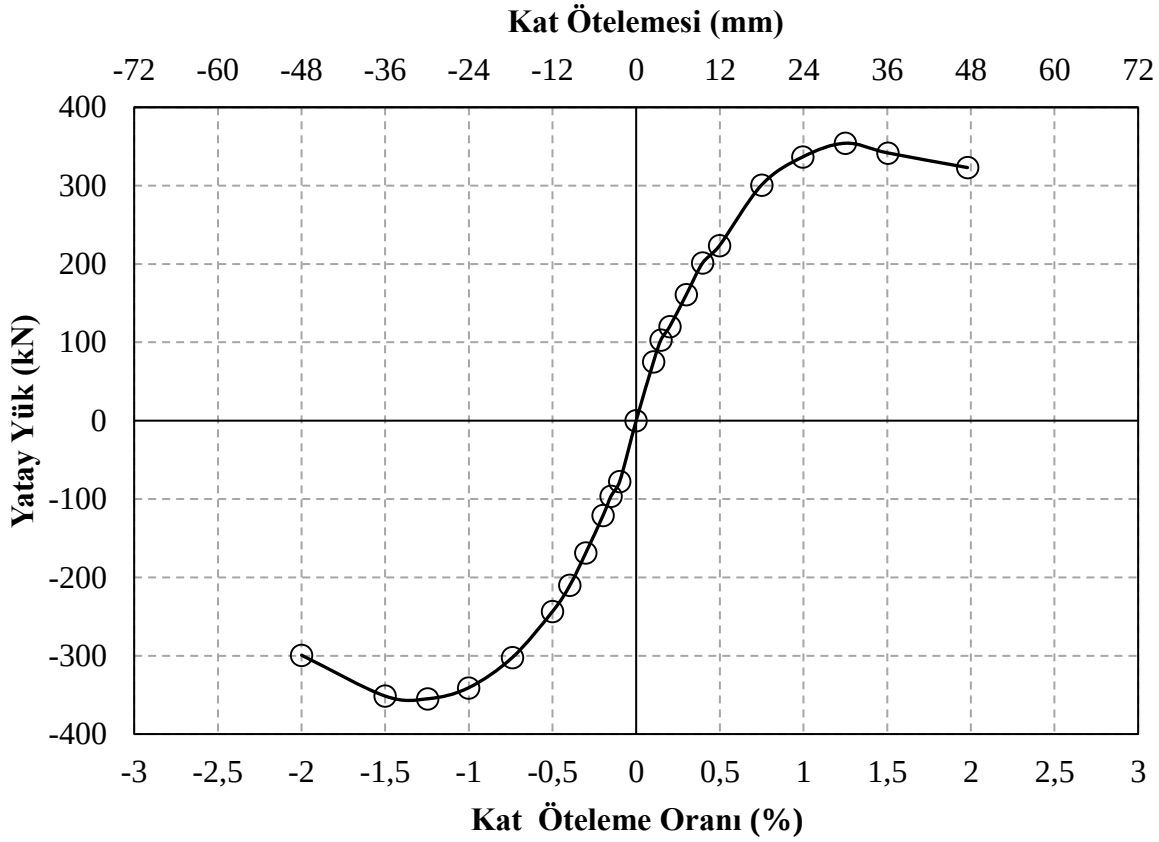
Resim 4.36. Deney elemanı perde gövdesi düşey ve yatay çelik şeritlerin ayrılması



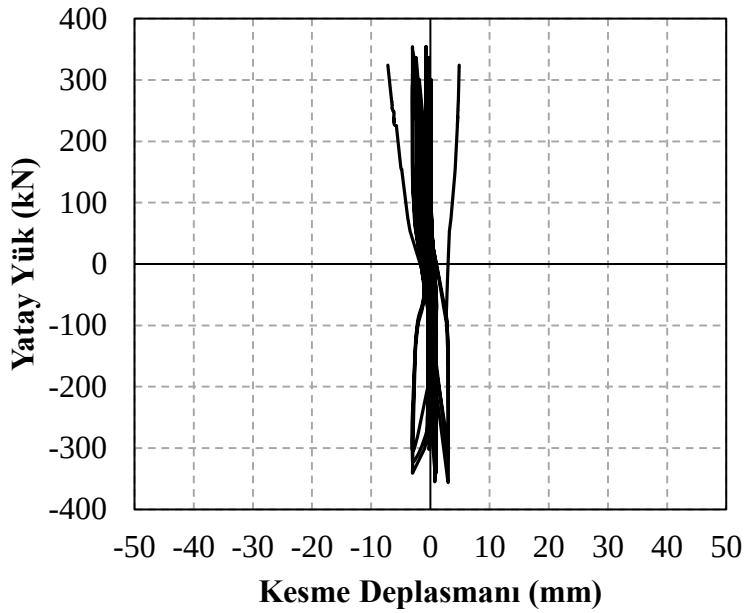
Resim 4.37. D-OH-Ç en alt yatay çelik şeritin kopması ve ankrajların sıyrılması



Şekil 4.37. D-OH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.38. D-OH-Ç deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.39. D-OH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.13. D-OH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	75,45	2,53	77,36	2,35
2	0,15	103,21	3,59	96,11	3,63
3	0,20	120,32	4,89	120,63	4,79
4	0,30	161,01	7,30	168,74	7,32
5	0,40	201,35	9,66	210,09	9,63
6	0,50	223,45	12,10	243,48	12,14
7	0,75	300,93	18,23	302,27	17,97
8	1,00	336,72	24,20	340,97	24,59
9	1,25	354,14	30,40	354,95	30,27
10	1,50	341,71	36,42	351,40	36,33
11	2,00	323,07	47,82	299,39	48,28

4.14. P-OH-Ç Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında test edilen P-OH-Ç deney elemanı; orta hasarlı pencere boşluklu çelik şerit onarımlı betonarme perde duvardır. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiştir. %0,50 kat öteleme oranında perde duvar üzerindeki en üst yatay çelik şerit dış kenarlardan başlayarak sol ve sağ ankrajlara doğru ayrılmaya başlamıştır. %0,75 kat öteleme oranında, gerilme birikimlerinin olduğu pencere üst sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları meydana gelmiştir. Buna ek olarak pencere boşluğu sol ve sağ kesitlerinde kenarlardan başlayan yeni kesme ve eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu yükleme çevriminde deney elemanının rijitliğinde bir miktar düşüş görülmüştür. Artan yükleme ile %1,00 kat ötelemesi düzeyinde, pencere boşluğu üzerindeki yatay çelik şerit perde dış kenarlarından başlayarak pencere köşelerindeki ankrajlara kadar ayrılmaya başlamıştır. Bu yükleme seviyesinde, ileri yükleme doğrultusunda 276,63 kN yük ve 24,32 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 229,14 kN yük ve 24,34 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat öteleme oranında, pencere alt sağ ve sol iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları genişlemiş ve bu çatlaklar çelik şerit altından yatay olarak perde duvar dış kenarlarına doğru ilerlemiştir. Ayrıca pencere boşluğunun üst ve alt köşelerindeki ankrajların olduğu bölgelerde düşey ve yatay çelik şeritler burkulmaya ve beton yüzeyden ayrılmaya başlamıştır. %1,50 kat öteleme oranından sonra deney elemanının rijitliğinde önemli düşüş yaşanmıştır. Bu kat öteleme oranında; ileri yükleme doğrultusunda 292,10 kN yük ve 36,29 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 247,06 kN yük ve 36,44 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Artan yükleme ile pencere boşluğu üzerindeki yatay çelik şerit iki ankraj arasından tamamen ayrılmış ve bu bölgedeki paspayı yapıştırıcı arayüzeyin etkisiyle dökülmüştür. %2,00 kat öteleme oranında, pencere boşluğu kenarlarındaki düşey/yatay şeritlerin ve perde dış kenarlarındaki düşey çelik şeritlerin tamamen ayrıldığı görülmüştür. Bu çevrimde, ileri yükleme doğrultusunda 301,82 kN yük ve 49,01 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 263,68 kN yük ve 48,78 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Deney elemanı hem ileri doğrultuda hem de geri doğrultuda taşıma gücü kapasitesine %2,50 kat öteleme oranında ulaşmıştır. Bu kat öteleme oranının ileri yükleme doğrultusunda 310,79 kN yük ve 58,69 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 273,03 kN yük ve 60,05 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Artan yükleme etkisiyle perde dış

kenarlarındaki düşey çelik şeritler, pencere boşluğu alt ve üst yatay çelik şeritler hizasından burkulmaya başlamıştır. Ayrıca temel kirişi üzerindeki ankrajların sıyrıldığı tespit edilmiştir. %3,00 kat öteleme oranında; ileri yükleme doğrultusunda 246,62 kN yük ve 73,38 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 234,82 kN yük ve 73,31 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. Deney elemanı %3,00 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %20,65 ve %13,99 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Pencere boşluğu alt ve üst iç köşelerdeki kesme çatlaklarının aşırı genişlemesi, pencere köşelerinde ankraj bölgelerinde düşey/yatay çelik şeritlerin ve perde dış kenarlarındaki düşey çelik şeritlerin burkulması ve perde duvar üzerindeki tüm çelik şeritlerin ayrılmasından dolayı deney elemanı göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.



Resim 4.38. Deney sonrası P-OH-Ç deney elemanının görünümü

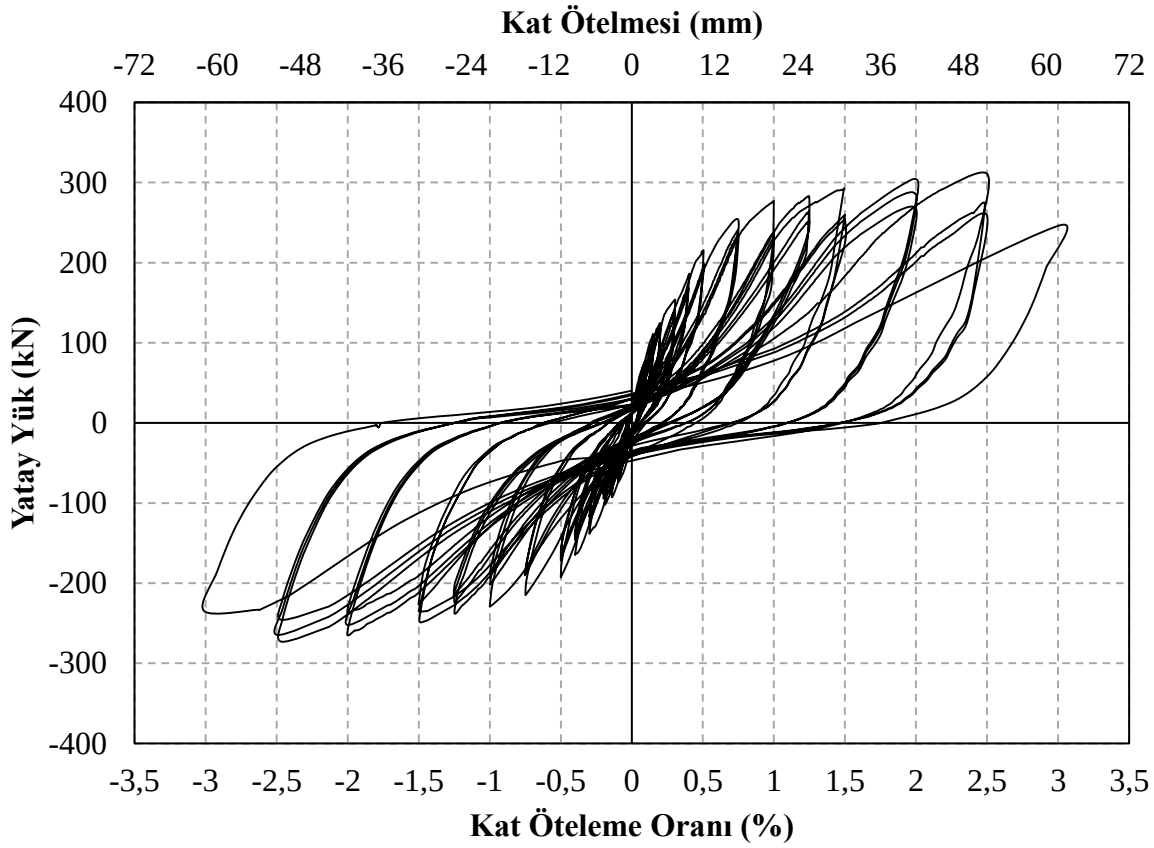
Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.38'de verilmiştir. P-OH-Ç deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.39-4.40'da verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.40'da ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.41'de verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.42'de sunulmuştur. Çizelge 4.14'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.



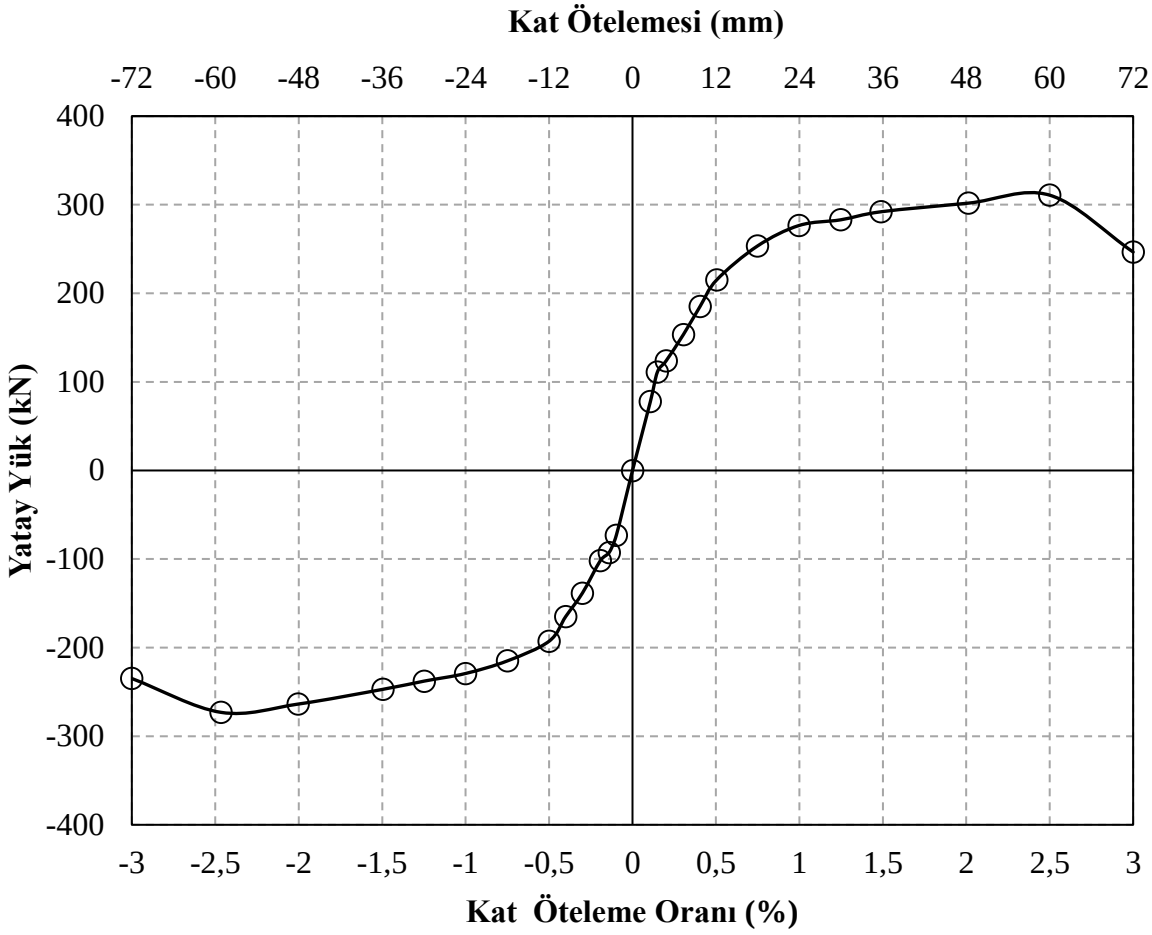
Resim 4.39. P-OH-Ç pencere boşluğu alt ve üst iç köşelerinde oluşan kesme çatlakları



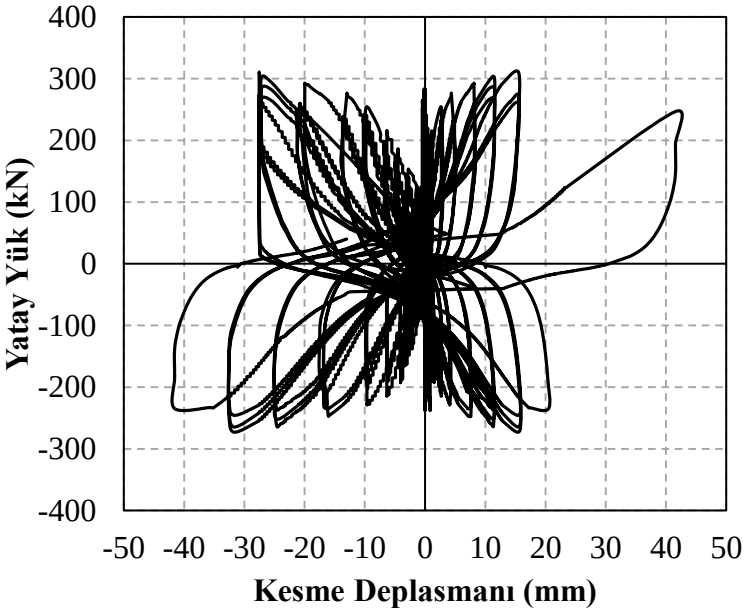
Resim 4.40.P-OH-Ç düşey şeritlerin burkulması ve ankrajların sıyrılması



Şekil 4.40. P-OH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.41. P-OH-Ç deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.42. P-OH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.14. P-OH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	77,74	2,60	73,17	2,36
2	0,15	111,03	3,63	92,65	3,42
3	0,20	123,95	4,92	101,81	4,70
4	0,30	153,47	7,44	138,37	7,30
5	0,40	185,24	9,85	164,80	9,73
6	0,50	215,27	12,29	192,78	12,18
7	0,75	253,44	18,23	214,89	18,23
8	1,00	276,63	24,32	229,14	24,34
9	1,25	283,00	30,13	237,75	30,13
10	1,50	292,10	36,29	247,06	36,44
11	2,00	301,82	49,02	263,68	48,78
12	2,50	310,79	58,69	273,03	60,05
13	3,00	246,62	73,38	234,82	73,31

4.15. K-OH-Ç Deney Elemanı

Onarılmış elemanların deneysel programında son test edilen K-OH-Ç deney elemanı; orta hasarlı kapı boşluklu çelik şerit onarımlı betonarme perde duvardır. Deney esnasında gözlemlenen önemli çevrimler aşağıda verilmiştir.

Deney elemanına uygulanan %0,50 kat öteleme oranına kadar deney elemanı rijit davranış göstermiştir. %0,50 kat öteleme oranında en üst yatay çelik şerit dış kenarlardan başlayarak ankraja kadar olan bölgede ayrılmaya başlamıştır. Artan yükleme ile %0,75 kat ötelemesi düzeyinde, perde duvar sol ve sağ dış kenarındaki düşey çelik şeritler ve kapı boşluğu kenarındaki düşey ve yatay şeritlerde ayrılma başlamıştır. Buna ek olarak kapı boşluğunun üst iç köşelerinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Bu çevrimden sonra, deney elemanının rijitliğinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. %1,00 kat öteleme oranında kapı boşluğu

üzerindeki yatay çelik şeritin iki ankraj arasındaki bölgede tamamen ayrıldığı gözlemlenmiş ve bu bölgedeki betonun yapışma arayüzeyinin etkisiyle döküldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca kapı boşluğunun sol ve sağ üst köşesindeki ankrajın olduğu bölgede yatay ve düşey çelik şeritlerde burkulma gözlemlenmiştir. Bu kat öteleme oranında, ileri yükleme doğrultusunda 147,99 kN yük ve 24,27 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 148,56 kN yük ve 24,07 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %1,25 kat ötelemesi düzeyinde, gerilme birikimlerinin olduğu kapı boşluğu üst sağ ve sol iç köşelerinde yükleme plakalarına doğru ilerleyen yaklaşık 45° eğimli kesme çatlakları meydana gelmiştir. Buna ek olarak kapı boşluğu üzerindeki yatay çelik şerit iki ankraj arasından tamamen ayrılmış ve bu bölgedeki beton örtüsü yapıştırıcı arayüzeyin etkisiyle dökülmüştür. Deney elemanı %1,25 kat öteleme oranı geri yarı çevriminde pekleşmenin etkisiyle 151,54 kN taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrim itibariyle deney elemanının rijitliğinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir. %1,50 kat öteleme oranında kapı boşluğu kenarlarına yapıştırılan düşey ve yatay çelik şeritler tamamen beton yüzeyinden ayrıldığı ancak ankrajlar ile tutulmaya devam edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca kapı boşluğu sol ve sağ kesitlerinde kenarlardan başlayan yeni kesme ve eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu kat öteleme oranında, ileri yükleme doğrultusunda 169,87 kN yük ve 36,79 mm kat ötelemesi ve geri yükleme doğrultusunda 150,01 kN yük ve 36,25 mm kat ötelemesi ölçülmüştür. %2,00 kat öteleme oranı ilk geri yarı çevrimi yüklemesi esnasında %1,71 kat öteleme oranında kapı boşluğu üzerindeki yatay çelik şeritin bindirme bölgesindeki kaynakları kırılarak ani bir şekilde kuşaklar açılmıştır. Bu nedenle taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş meydana gelmiştir. Bu yükleme çevriminin geri yarı çevriminde taşıma gücü kapasitesi olan 152,29 kN yük seviyesine ulaşılmıştır. Deney elemanı %2,50 kat öteleme oranı ileri yarı çevriminde pekleşmenin etkisiyle taşıma gücü kapasitesi olan 188,50 kN yük seviyesine ve 61,13 mm kat ötelemesine ulaşmıştır. Bu çevrim de artan yükleme etkisi ile temel kirişi üzerin bulunan kapı iç köşelerindeki ankrajların sıyrıldığı ve temel kirişi - perde birleşim bölgesindeki sargılamayı sağlayan yatay çelik şeritin köşesinde kopma başlangıcı tespit edilmiştir. Deney elemanı %3,00 kat öteleme oranında, ilk ileri ve geri yarı çevriminde sırasıyla %9,70 ve %14,28 oranında taşıma gücünde kayıp meydana gelmiştir. Deney elemanı kapı boşluğu üst sol ve sağ iç köşelerinde yaklaşık 45° eğimli oluşan kesme çatlakları genişlemesi, temel kirişi üzerindeki ankrajların tamamen sıyrılması ve kapı boşluğu sol ve sağ beton kesitlerin temel kirişi üzerinden tamamen kesilmesi sonucunda deney elemanı yük taşıyamaz hale gelmiş ve göçmüştür. Bu çevrimde deney sonlandırılmıştır.

Depremi benzeştiren yükleme sonrası deney elemanının görünümü Resim 4.41'de ve K-OH-Ç deney elemanında oluşan hasarlar Resim 4.42-4.43'de verilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.43'de ve elde edilen yük-deplasman grafiği kullanılarak çizilen zarf eğrisi Şekil 4.44'de verilmiştir. Perde duvar üzerinden alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği Şekil 4.45'de sunulmuştur. Çizelge 4.15'de zarf eğrisinin oluşturulmasında kullanılan, her bir çevrime ait maksimum yüke karşılık gelen kat öteleme değerleri sunulmuştur.



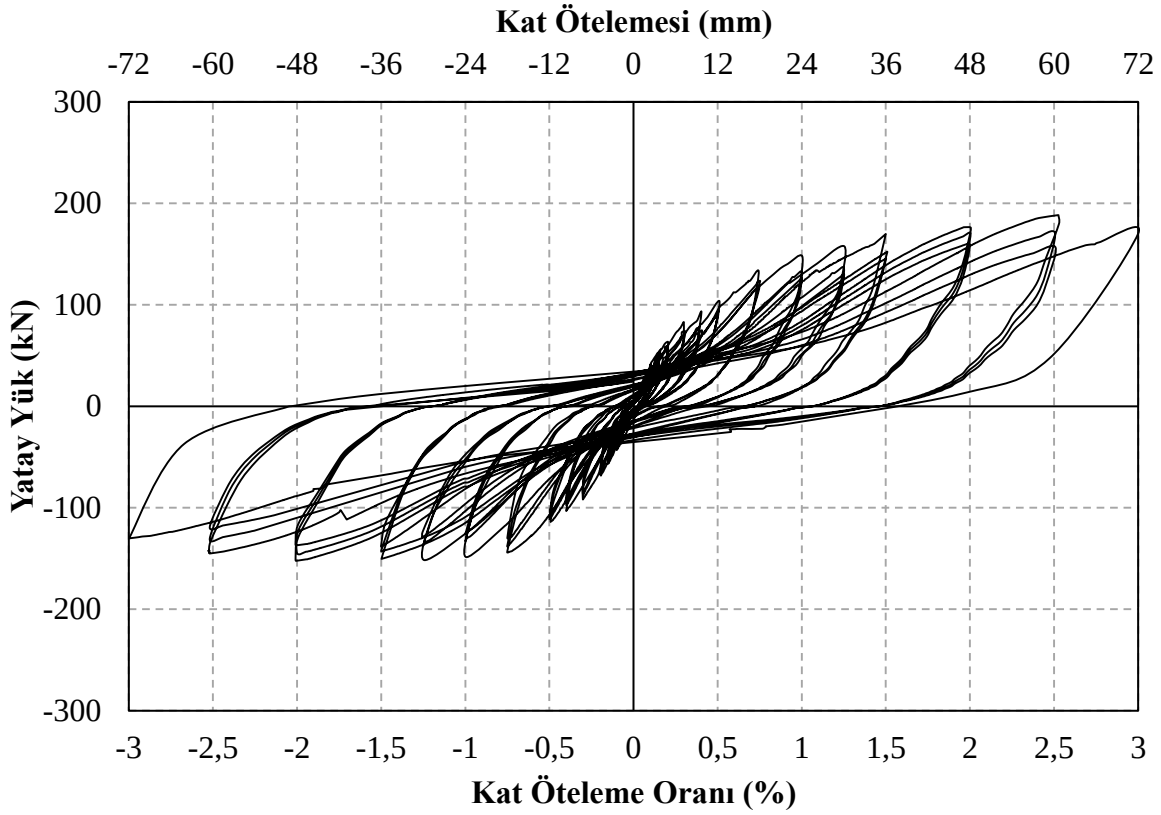
Resim 4.41. Deney sonrası K-OH-Ç deney elemanının görünümü



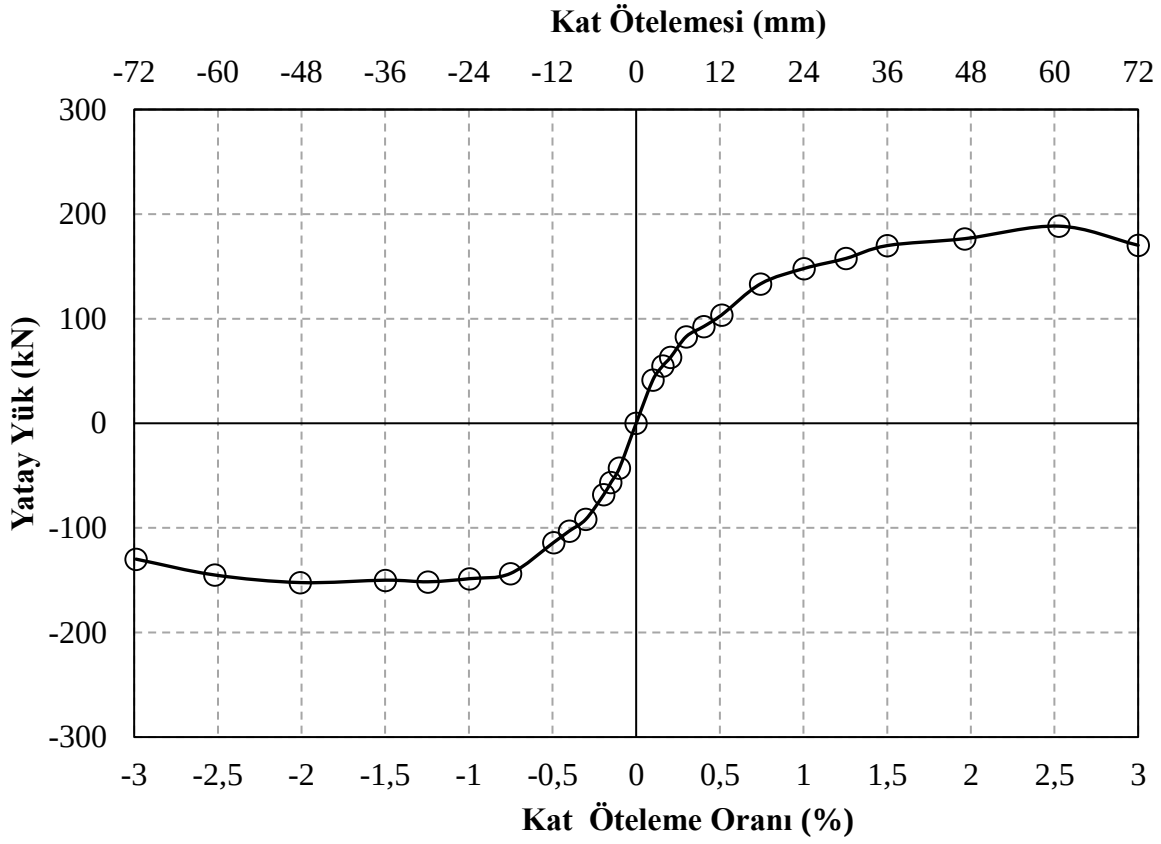
Resim 4.42. K-OH-Ç deney elemanı kapı boşluğu üst köşelerinde oluşan hasarlar



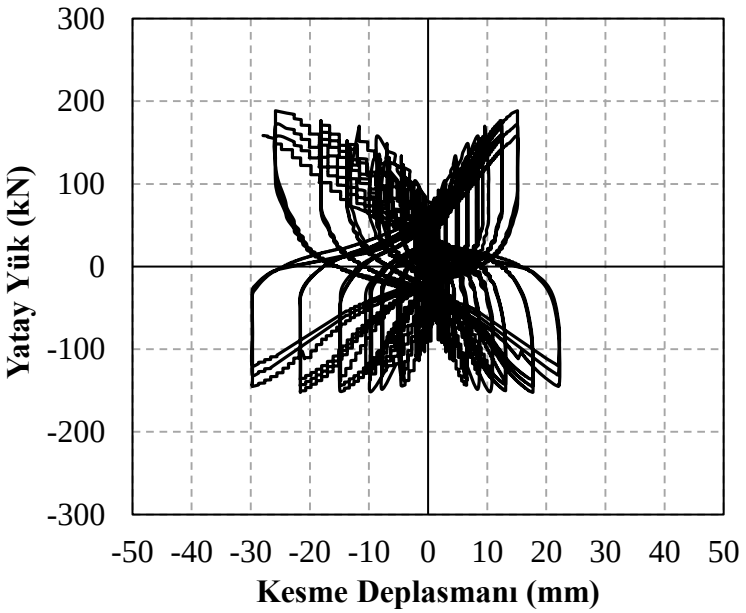
Resim 4.43. K-OH-Ç Yatay çelik şeritin kuşaklarının açılması ve ankrajların sıyrılması



Şekil 4.43. K-OH-Ç deney elemanına ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.44. K-OH-Ç deney elemanı zarf eğrisi



Şekil 4.45. K-OH-Ç deney elemanından alınan yatay yük-kesme deplasmanı grafiği

Çizelge 4.15. K-OH-Ç çevrimlerine ait yatay yük-kat öteleme değerleri

Çevrim	Kat Öteleme Oranı (%)	İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)	
		Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)	Yatay Yük (kN)	Kat Ötelemesi (mm)
1	0,10	41,53	2,41	42,84	2,43
2	0,15	54,96	3,86	56,63	3,66
3	0,20	63,20	4,98	68,25	4,70
4	0,30	82,88	7,23	91,82	7,29
5	0,40	92,56	9,77	102,91	9,66
6	0,50	103,62	12,38	113,91	11,92
7	0,75	133,37	18,00	143,57	18,17
8	1,00	147,99	24,27	148,56	24,07
9	1,25	157,63	30,34	151,54	30,09
10	1,50	169,87	36,79	150,01	36,25
11	2,00	176,51	47,51	152,29	48,56
12	2,50	188,50	61,13	145,04	60,97
13	3,00	170,20	72,11	129,89	72,34

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney elemanlarının dayanım, davranış, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik gibi performans parametreleri irdelenmiştir. Buna ek olarak farklı boşluk oranı/şekle sahip ve ağır/orta hasar seviyesindeki betonarme perde duvarlar üzerinde farklı onarım tekniklerinin, enerji tüketim kapasitesine ve yük-deplasman davranışlarına olan etkisi referans deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deney elemanları;

- Boşluksuz referans ve onarılmış deney elemanları (REF-D, D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K, D-OH-Ç),
- Pencere boşluklu referans ve onarılmış deney elemanları (REF-P, P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K, P-OH-Ç),
- Kapı boşluklu referans ve onarılmış deney elemanları (REF-K, K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K, K-OH-Ç),

üç ana grup altında değerlendirilmiştir.

5.1. Dayanım ve Davranış

Düzlem içi dayanım, uygulanan onarım yöntemi ile elde edilen katkının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Deneysel çalışma kapsamında testleri tamamlanan deney elemanlarının zarf eğrileri, uygulanan her bir çevrimdeki yük-kat öteleme oranına denk gelen tepe noktasının birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Deney elemanlarının üretiminde, tamiratında ve onarımında kullanılan malzemelerin dayanımları birbirlerine oldukça benzerlik göstermektedir. Bu nedenle deney elemanlarının dayanımlarının karşılaştırılması yapılırken normalizasyona ihtiyaç duyulmamıştır. Deneysel çalışma kapsamında testleri tamamlanan deney elemanlarının taşıma gücü kapasitesine karşılık gelen kat öteleme oranı değerleri Çizelge 5.1'de derlenmiştir.

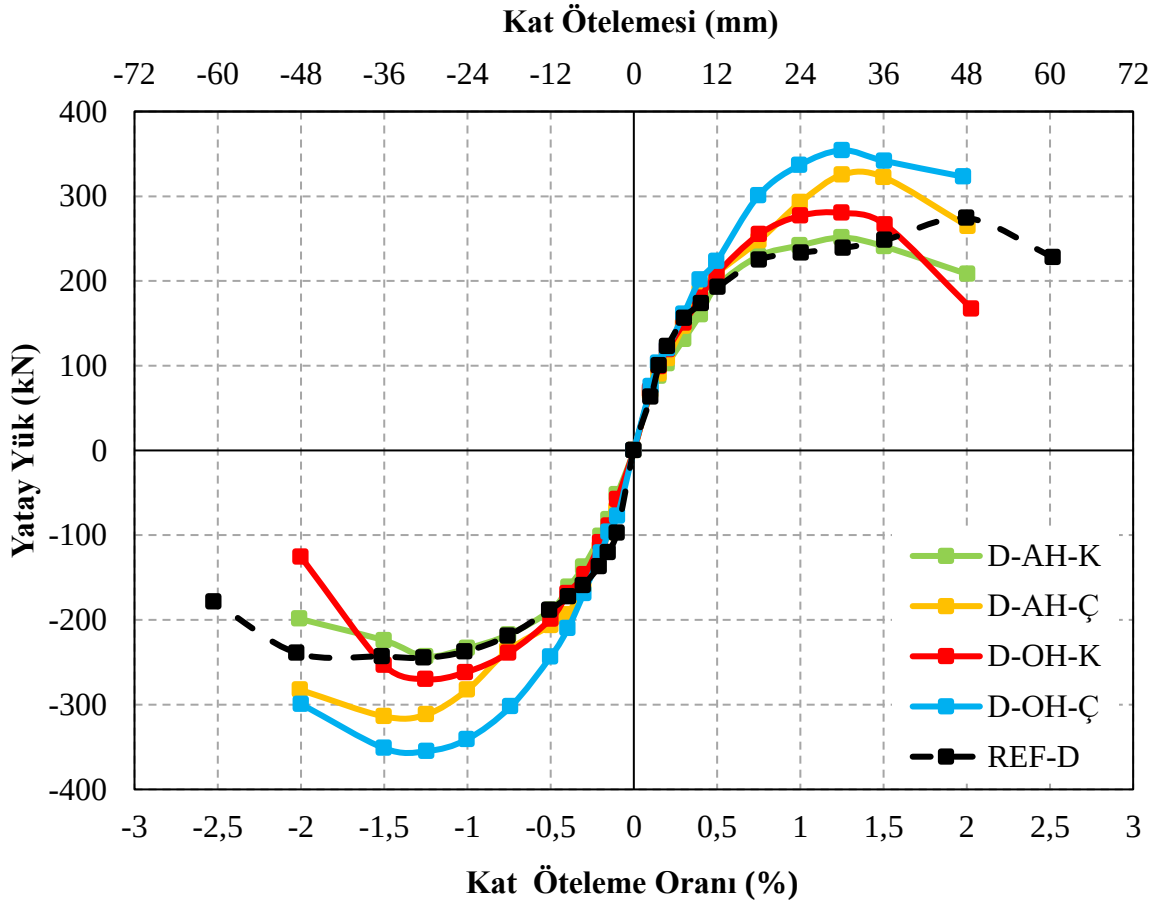
Çizelge 5.1'de belirtilen yatay yük taşıma oranları incelendiğinde; çelik şerit ile onarılan orta hasarlı boşluksuz, pencere boşluklu ve kapı boşluklu deney elemanlarının incelenen grup içerisinde en yüksek düzlem içi dayanımı sergilediği görülmektedir. Referans deney elemanlarına göre sırasıyla, D-OH-Ç 1,29 kat, P-OH-Ç 2,18 kat ve K-OH-Ç 1,79 kat daha fazla dayanım göstermiştir.

Çizelge 5.1. Taşıma gücü kapasitesine karşılık gelen kat öteleme oranı değerleri

Perde Tipi	Deney Elemanı	Taşıma Gücü Kapasitesi (V_u)				$\frac{V_{u\text{-onarım}}}{V_{u\text{-referans}}}$
		İleri Doğrultuda (+)		Geri Doğrultuda (-)		
		Yük (kN)	Kat Öteleme Oranı (%)	Yük (kN)	Kat Öteleme Oranı (%)	
Boşluksuz	REF-D	274,24	2,00	244,72	1,25	-
	D-AH-K	251,10	1,25	243,15	1,25	0,92
	D-AH-Ç	325,37	1,25	313,84	1,50	1,19
	D-OH-K	280,32	1,25	269,98	1,25	1,02
	D-OH-Ç	354,14	1,25	354,95	1,25	1,29
Pencere Boşluklu	REF-P	142,79	1,50	142,80	1,50	-
	P-AH-K	182,31	2,00	160,85	2,00	1,28
	P-AH-Ç	253,39	1,25	229,04	1,25	1,77
	P-OH-K	220,76	2,00	212,04	1,50	1,55
	P-OH-Ç	310,79	2,50	273,03	2,50	2,18
Kapı Boşluklu	REF-K	105,04	2,00	104,99	2,00	-
	K-AH-K	101,96	2,00	105,21	1,50	1,00
	K-AH-Ç	155,38	2,50	145,59	2,00	1,48
	K-OH-K	128,39	2,00	112,36	1,25	1,22
	K-OH-Ç	188,50	2,50	152,29	2,00	1,79

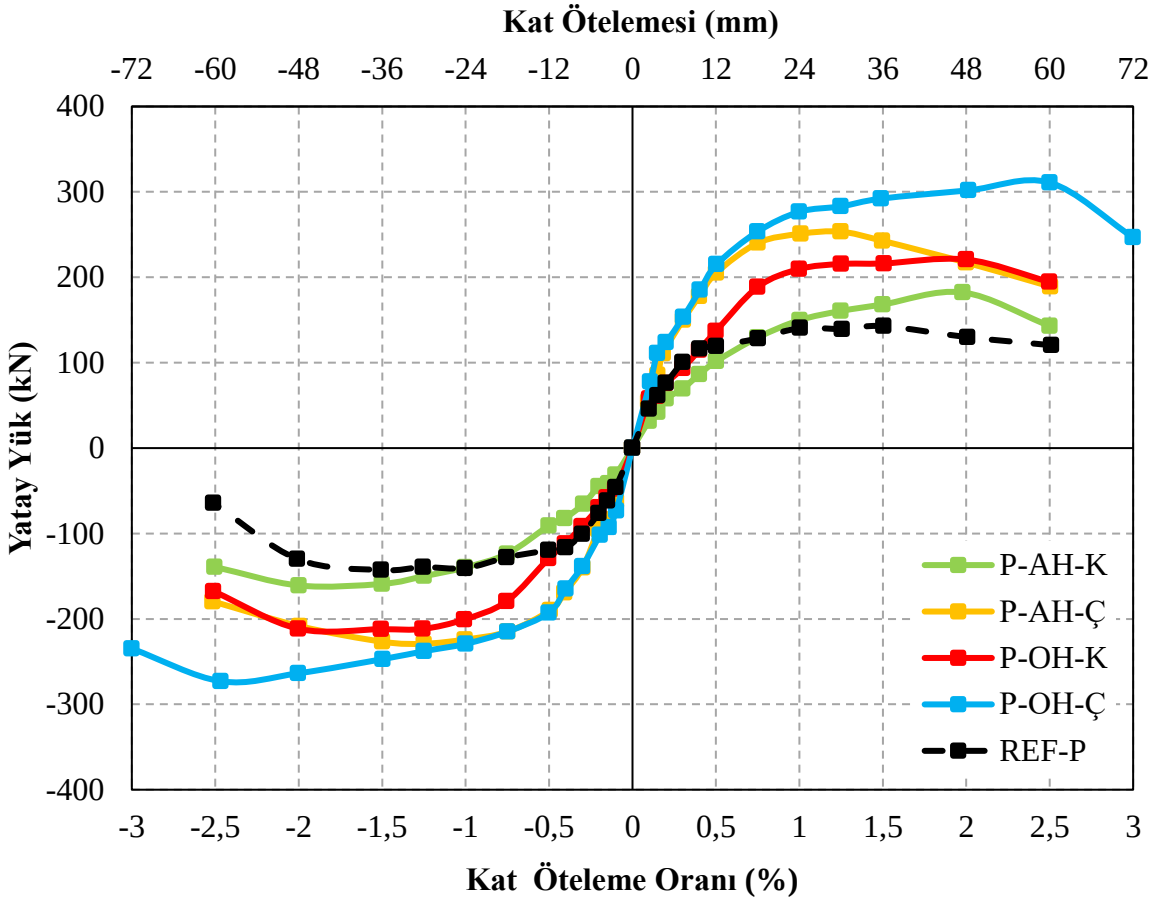
Onarılan boşluksuz orta hasarlı D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanlarının, ağır hasarlı D-AH-K ve D-AH-Ç deney elemanlarına göre 1,10 kat daha fazla yatay düzlem içi dayanım göstermiştir. Ayrıca onarımı çelik şeritler ile yapılan D-AH-Ç ve D-OH-Ç deney elemanlarının, CFRP şeritler ile onarılan D-AH-K ve D-OH-K deney elemanlarına göre 1,28 kat daha fazla dayanım göstermiştir. Bu bakımdan, boşluksuz deney elemanlarının çelik şeritler ile onarımı daha başarılı bulunmuştur. Boşluksuz deney elemanlarının CFRP şeritler ile onarılmasında referans deney elemanına göre, ağır hasarlı numunelerde dayanım artışının

sağlanamadığı ancak orta hasarlı deney elemanlarında ise kısmi bir artış meydana gelmiştir. Bu deney elemanlarının dayanımında artış sağlanamamasının nedeni olarak, CFRP şeritler ile betonarme perde gövdesinin temel kirişi üzerinde kaymasının engellenememesi olduğu düşünülmektedir. CFRP şeritler ile onarılan D-OH-K deney elemanında D-AH-K deney elemanına göre dayanımda 1,12 kat kazanım sağlanabilmiştir. Çelik şeritler ile onarılan D-OH-Ç deney elemanının D-AH-Ç deney elemanına göre dayanımda 1,09 kat daha fazla dayanım görülmüştür. Deney elemanlarının onarımın özdeş yapıldığı kabulü ile boşluksuz deney elemanlarının hasar düzeyine göre onarım etkinliğinde ortalama 1,11 kat daha fazla dayanım artışı sağlandığı görülmüştür. Onarımı yapılan boşluksuz deney elemanlarının dayanımının daha yüksek seviyelere aktarılamamasının nedeni olarak ise temel kirişi üzerindeki fan tipi CFRP ve çelik ankrajların sıyrılması, CFRP/çelik şeritlerin perde gövdesi üzerinden ayrılması ve betonarme perde gövdesinin temel kirişi üzerinde kaymasının engellenememesi olduğu düşünülmektedir. Boşluksuz betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yük doğrultusunun etkisini gösteren REF-D, D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanlarına ait zarf eğrileri Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1. REF-D, D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç'ye ait zarf eğrileri

Onarımı yapılan pencere boşluklu orta hasarlı P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanları, ağır hasarlı P-AH-K ve P-AH-Ç deney elemanlarına göre 1,22 kat daha fazla dayanım göstermiştir. Ayrıca onarımı çelik şeritler ile yapılan P-AH-Ç ve P-OH-Ç deney elemanları, CFRP şeritler ile onarılan P-AH-K ve P-OH-K deney elemanlarına göre 1,40 kat daha fazla dayanım göstermiştir. Pencere boşluklu deney elemanlarının çelik şeritler ile onarımı daha başarılı bulunmuştur. Pencere boşluklu deney elemanlarının CFRP şeritler ile onarılmasında referans deney elemanına göre ortalama 1,41 kat, çelik şeritler ile onarılmasında referans deney elemanına göre ortalama 1,98 kat dayanımda artış sağlanmıştır. CFRP şeritler ile onarımda, pencere boşluğu alt ve üst iç köşelerinden başlayarak yaklaşık 45° açı ile ilerleyen kesme çatlaklarının genişlemesi sınırlandırılmıştır. Pencere boşluğu altında ve üstünde uygulanan yatay CFRP şeritler ve bu şeritlerin üzerinde kullanılan fan tipi CFRP ankrajlar ile yaklaşık 45° diyagonal kesme çatlaklarının yönü değiştirilmiştir. Bu çatlakların CFRP şerit boyunca pencere boşluğu alt ve üst iç köşelerinden başlayarak yaklaşık düşey doğrultuda ilerlediği, daha sonra CFRP şeritlerden başlayarak yaklaşık 45° açı ile dış köşelere doğru ilerlediği görülmüştür. Ayrıca bu deney elemanlarında pencere alt ve üst köşelerinde bulunan ankrajlar sayesinde CFRP şeritler kopma dayanımına kadar yük taşınabilmiş ve böylece deney elemanının taşıma gücü kapasitesi artırılmıştır. CFRP şeritler ile onarılan P-OH-K deney elemanının P-AH-K deney elemanına göre dayanımda 1,21 kat kazanım sağlanabilmiştir. Çelik şeritler ile onarılan P-OH-Ç deney elemanında P-AH-Ç deney elemanına göre dayanımda 1,23 kat daha fazla dayanım görülmüştür. Deney elemanlarının özdeş onarımı yapıldığı kabulü ile pencere boşluklu deney elemanlarının hasar düzeyine göre onarım etkinliğinde ortalama 1,22 kat daha fazla dayanım artışı sağlandığı görülmüştür. Onarımı yapılan pencere boşluklu deney elemanlarının dayanımının daha yüksek seviyelere aktarılamamasının nedeni olarak; pencere boşluğu alt ve üst köşelerindeki fan tipi CFRP/çelik ankrajların sıyrılması, CFRP/çelik şeritlerin perde gövdesi üzerinden sıyrılması, yaklaşık 45° eğimli kesme çatlaklarının maksimum moment bölgesi olan perde dış kenarlarına ulaşması, bu bölgedeki betonun ezilmesi ve boyuna donatının burkulması olduğu düşünülmektedir. Pencere boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yük doğrultusunun etkisini gösteren REF-P, P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanlarına ait zarf eğrileri Şekil 5.2'de sunulmuştur.

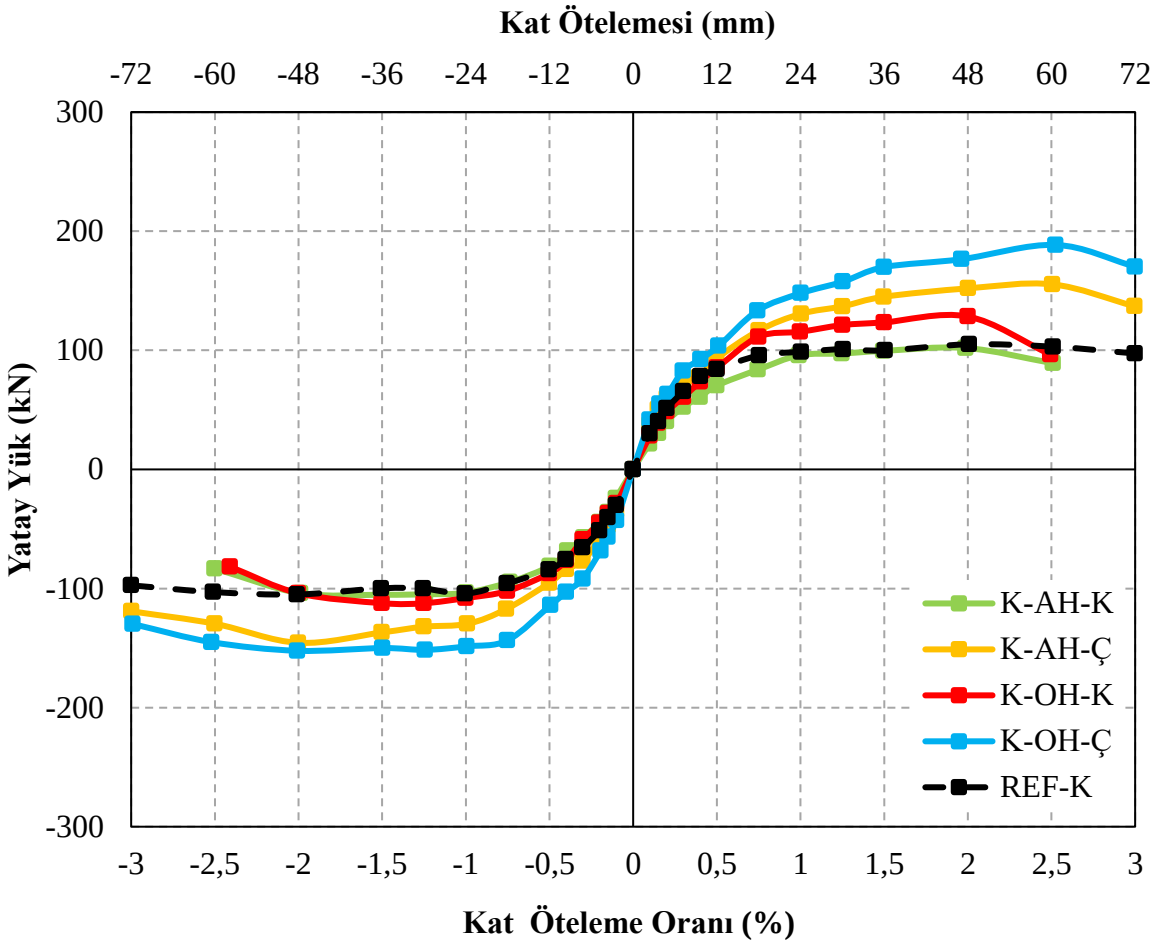


Şekil 5.2. REF-P, P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç'ye ait zarf eğrileri

Onarımı yapılan kapı boşluklu orta hasarlı K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanları, ağır hasarlı K-AH-K ve K-AH-Ç deney elemanlarına göre 1,22 kat daha fazla dayanım göstermiştir. Ayrıca onarımı çelik şeritler ile yapılan K-AH-Ç ve K-OH-Ç deney elemanları, CFRP şeritler ile onarılan K-AH-K ve K-OH-K deney elemanlarına göre 1,47 kat daha fazla dayanım göstermiştir. Kapı boşluklu deney elemanlarının çelik şeritler ile onarımı daha başarılı bulunmuştur. Kapı boşluklu deney elemanlarının CFRP şeritler ile onarılmasında referans deney elemanına göre ortalama 1,11 kat, çelik şeritler ile onarılmasında referans deney elemanına göre ortalama 1,64 kat dayanım kazancı sağlanmıştır. CFRP şeritler ile onarımda, kapı boşluğu üst iç köşelerinden başlayan ve yaklaşık 45° açı ile ilerleyen kesme çatlaklarının genişlemesi sınırlandırılmıştır. Kapı boşluklu ağır hasarlı CFRP şeritler ile onarılan deney elemanının referans deney elemanına göre dayanım artışının sağlanamadığı ancak aynı dayanımın tekrarlandığı görülmüştür. K-AH-K deney elemanında dayanım artışının sağlanamamasının sebebi olarak; maksimum moment bölgesindeki düşey CFRP şeritlerin beton yüzeyinden ayrılması/kopması, kapı boşluğu üst köşelerindeki ve temel kirişi üzerindeki fan tipi CFRP ankrajların sıyrılması, kapı boşluğu kenarlarındaki CFRP şeritlerin

beton yüzeyinden ayrılmasının olduğu düşünülmektedir. CFRP şeritler ile onarılan K-OH-K deney elemanının, K-AH-K deney elemanına göre dayanımda 1,22 kat kazanım sağlanmıştır. K-OH-K deney elemanın, K-AH-K deney elemanına göre farklı davranışının hasar seviyesinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Orta hasar gören deney elemanın kapı boşluğu sağ kanadında bulunan tüm donatıların kopması, düşey CFRP şeritlerin tamamının kopması ve beton kesitin tamamının kırılması, taşıma gücü kapasitesine ulaşıldığını göstermektedir. Bu göçme biçimi, deney elemanına uygulanan şerit tasarımının etkinliğini göstermiştir. Çelik şeritler ile onarılan K-OH-Ç deney elemanında K-AH-Ç deney elemanına göre 1,21 kat daha fazla dayanım görülmüştür. Çelik şeritler ile onarılan deney elemanlarında göçme biçimi benzerlik göstermiştir. Deney elemanlarının onarımın özdeş yapıldığı kabulü ile kapı boşluklu deney elemanlarının hasar seviyesine göre onarım etkinliğinde ortalama 1,22 kat daha fazla dayanım artışı sağlandığı görülmüştür. Onarımı yapılan kapı boşluklu deney elemanlarının dayanımının daha yüksek seviyelerde aktarılamamasının nedeni olarak; CFRP/çelik şeritlerin perde gövdesi üzerinden ayrılması ile kapı boşluğu üst köşelerindeki ve temel kirişi üzerindeki fan tipi CFRP/çelik ankrajların sıyrılması olduğu düşünülmektedir. Kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yük doğrultusunun etkisini gösteren REF-K, K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç elemanlarına ait zarf eğrileri Şekil 5.3'te sunulmuştur.

Deneysel çalışma kapsamında çelik şerit ile onarımı yapılan ve dayanım artışı olarak en başarılı P-OH-Ç ve K-OH-Ç deney elemanlarıdır. Belirtilen deney elemanlarının maksimum taşıyabildikleri yatay yükler sırasıyla 310,79 kN ve 188,50 kN'dur. Maksimum yatay yük taşıma düzeyinde P-OH-Ç ve K-OH-Ç deney elemanları %2,50 kat öteleme oranına sahiptir. Pencere boşluklu referans deney elemanın maksimum yatay yük taşıma kapasitesine %1,50 ve kapı boşluklu referans deney elemanın ise %2,00 kat öteleme oranında ulaştığı tespit edilmiştir. P-OH-Ç ve K-OH-Ç deney elemanlarının referans deney elemanına göre maksimum taşıyabildikleri yatay yüke karşılık gelen kat ötelemelerinin sırasıyla 1,62 kat ve 1,27 kat daha fazla kat ötelemesine ulaştığı anlaşılmıştır. CFRP şeritler ile özdeş onarımı yapılan deney elemanlarının bu kat öteleme oranlarına ulaşamadığı görülmüştür. Bu deney elemanlarının onarımında kullanılan CFRP şeritlerin erken yüklemelerde ayrılmaya ve kopmaya başlaması nedeniyle bu kat öteleme oranlarına ulaşılamadığı düşünülmektedir. Çelik şeritlerin perde duvar yüzeyinden ayrılmasının daha yüksek kat öteleme oranlarında başladığı tespit edilmiştir.



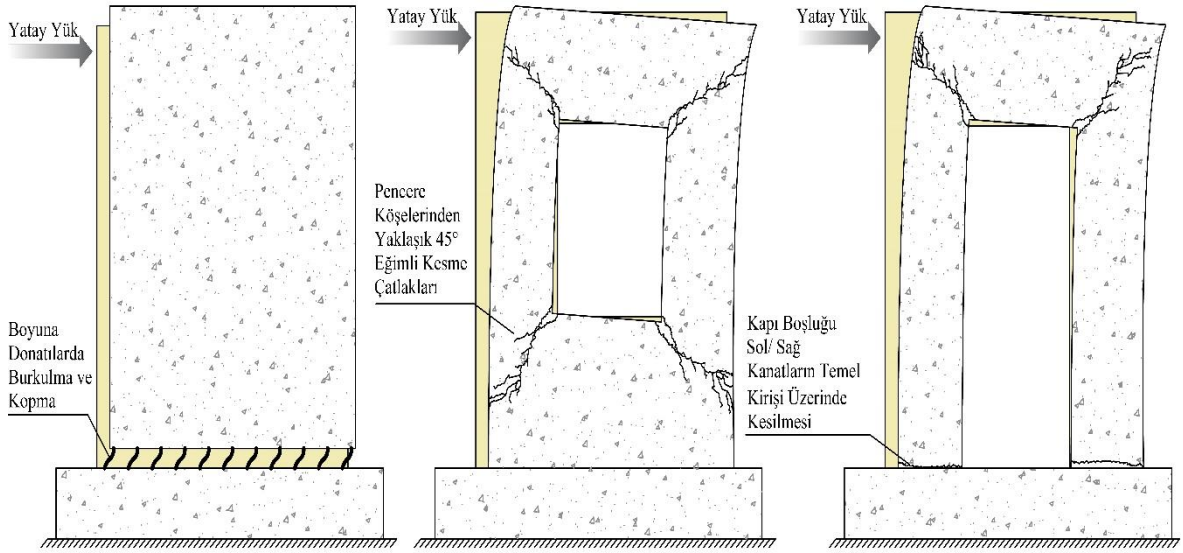
Şekil 5.3. REF-K, K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç'ye ait zarf eğrileri

Betonarme perde duvar gövdesinde iki farklı ankraj türü uygulanmıştır. CFRP şerit ile onarımı yapılan deney elemanlarında fan tipi CFRP ankraj ve çelik şerit ile onarımı yapılan deney elemanlarında çelik ankrajlar kullanılmıştır. Boşluksuz perde duvar deney elemanlarının gövdesinde kullanılan iki farklı ankrajın da benzer davranış sergilediği görülmüş ve ankrajlar da sıyrılma gözlemlenmemiştir. Bu deney elemanlarında temel kirişi üzerindeki ankrajların sıyrıldığı ve sıyrılırken bu bölgedeki beton ile beraber hareket ettiği görülmüştür. Pencere ve kapı boşluklu perde duvar deney elemanlarının gövdesinde kullanılan iki farklı ankrajın da benzer davranış sergilediği görülmüştür. Özellikle perde duvar gövdesinde açılan boşlukların köşelerinde bulunan ankrajların tamamen sıyrıldığı görülmüştür. Bu ankrajların tuttuğu düşey ve yatay çelik şeritlerin açılarak ankraj üzerine doğru burkulduğu gözlemlenmiştir. Pencere boşluklu perde duvar deney elemanlarında farklı olarak temel kirişi üzerindeki ankrajlarda herhangi bir sıyrılma gözlemlenmemiştir. Kapı boşluklu perde duvar deney elemanlarında ise, temel kirişi üzerinde bulunan iç köşelerdeki ankrajların tamamen sıyrıldığı görülmüştür. Pencere ve kapı boşluğu bırakılan

betonarme perde duvarların sol ve sağ kanatlarında kullanılan, CFRP ve çelik şerit sargılamasını tutan ankrajlar da herhangi bir hasar veya sıyrılma gözlemlenmemiştir.

Onarımı tamamlanan boşluksuz perde duvar deney elemanlarının tamamının perde gövdesinin temel kirişi üzerinden kesilerek, perde gövdesinin kaymasıyla göçtüğü gözlemlenmiştir. Ancak onarımdan göçme anına kadar perde duvar gövdesinde yeni birkaç kılcal eğilme ve kesme çatlağı haricinde hasar meydana gelmemiştir. Boşluksuz referans deney elemanında gözlemlenen; perde duvarın basınç ve çekme bölgesindeki dış liflerde ezilme/kırılma, aynı bölgedeki boyuna donatıların burkulması ve gövde üzerinde baskın olarak oluşan eğilme çatlakları nedeniyle oluşan göçme biçiminin, onarım sonrası deney elemanlarında değiştiği anlaşılmıştır. Onarımı tamamlanan pencere boşluklu deney elemanlarının tamamında, pencere boşluğu alt ve üst iç köşelerinden başlayan yaklaşık 45° eğimli kesme çatlaklarının maksimum moment bölgesi olan perde dış kenarlarına ulaşması ile göçmeye ulaştığı görülmüştür. Özellikle ağır hasarlı çelik onarımlı pencere boşluklu P-AH-Ç deney elemanında pencere boşluğu alt iç köşesinde oluşan yaklaşık 45° eğimli kesme çatlağının aşırı genişlediği ve perde kanadındaki beton kesitinin kırıldığı/döküldüğü görülmüştür. CFRP ve çelik şeritler ile onarımı yapılan pencere boşluklu deney elemanlarının boşluk kenarlarındaki sol ve sağ kanatlarında yeni kesme ve eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Pencere boşluğu altında ve üstünde uygulanan yatay CFRP şeritler ve bu şeritlerin üzerinde kullanılan fan tipi CFRP ankrajlar ile yaklaşık 45° diyagonal kesme çatlaklarının yönü değiştirilerek, deney elemanlarının maksimum yatay yük taşıma kapasitesi ve bu yatay yük düzeyinde daha yüksek kat ötelemesine ulaşılmıştır. Onarımı tamamlanan kapı boşluklu deney elemanlarının tamamında, kapı boşluğu üst iç köşelerinden başlayan yaklaşık 45° eğimli kesme çatlaklarının yükleme plakalarına doğru ilerlediği ve perde dış kenarlarına ulaşmasıyla ve boşluk kenarlarındaki sol ve sağ kanatların temel kirişi üzerinden sıyrılması/kopması ile göçmeye ulaştığı görülmüştür. Özellikle CFRP şerit ile onarılan K-OH-K deney elemanı, kapı boşluğu sağ kanadında bulunan tüm donatıların kopması, düşey CFRP şeritlerin tamamının kopması ve beton kesitin tamamının kırılması ile ani bir şekilde göçmeye ulaşmıştır. Çelik şerit ile onarılan K-AH-Ç ve K-OH-Ç deney elemanlarının temel kirişi üzerindeki çelik ankrajların sıyrılması ve bu bölgedeki kesitin kırılarak göçtüğü görülmüştür. Özellikle çelik şeritler ile onarımı yapılan pencere boşluklu P-AH-Ç deney elemanında pencere boşluğu alt iç köşesinde oluşan yaklaşık 45° eğimli kesme çatlağının aşırı genişlediği ve perde kanadındaki beton kesitinin kırıldığı/döküldüğü görülmüştür. CFRP ve çelik şeritler ile onarımı yapılan pencere boşluklu

deney elemanlarının boşluk kenarlarındaki sol ve sağ kanatlarında yeni kesme ve eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir. Kapı boşluklu referans deney elemanında gözlemlenen; boşluk köşelerinde meydana gelen kesme çatlaklarının genişlemesi, kapı boşluğu kenarlarındaki kanatların dış köşelerinde betonun ezilerek ve perde duvar en dış boyuna donatılarının burkulması sonucunda göçmeye ulaştığı, ancak onarım sonrası deney elemanlarının göçme biçiminin değiştiği gözlenen hasar biçimi farklılığı göz önüne alındığında anlaşılmıştır. Onarılan betonarme perde duvar deney elemanlarının göçme biçimleri Şekil 5.4'te görselleştirilmiştir.



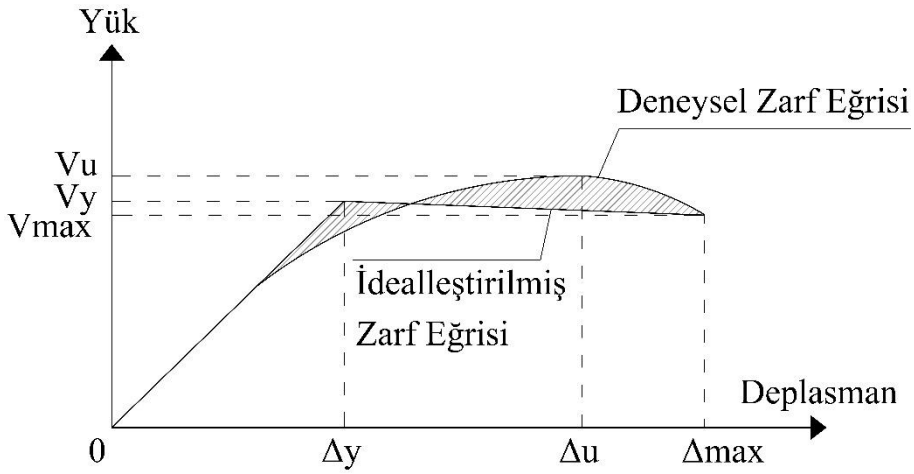
(a) Boşluksuz (b) Pencere Boşluklu (c) Kapı Boşluklu

Şekil 5.4. Onarılan betonarme perde duvar deney elemanların göçme biçimleri

5.2. Süneklik

Süneklik; deprem, trafik, ani yükler, titreşimli makine yükleri ve rüzgar gibi dinamik etkiler altında yapının taşıma gücünde önemli bir kayıp olmadan, yapının öteleme yapabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır [108]. Maheri ve ark. (2003), tarafından deney elemanında akmanın yaşandığı deplasman Δ_y olarak ve deney esnasında gözlemlenen maksimum yatay yük taşıma kapasitesine karşılık gelen deplasman ise Δ_u olarak tanımlanmıştır [109]. Literatürdeki çalışmalarda Δ_{max} olarak tanımlanan deney elemanının göçtüğü varsayılan aşama için ATC 40 (1996) ve Sözen (1987) kriterleri benimsenmiştir. ATC 40 (1996), betonarme çerçeve türü yapının göçmenin yaşandığı nokta için kat ötelenme oranının %1,50 değerine ulaşıldığı çevrim olarak tanımlamıştır [110]. Sözen (1987) yapıda göçmenin gerçekleştiği noktayı, birbirini takip eden çevrimlerde görülen maksimum yatay yük taşıma

kapasitesi üzerinde meydana gelen %15'lik düşüşün yaşandığı nokta olarak tanımlanmaktadır [111]. Deney elemanlarının süneklik oranlarının hesaplamasında kullanılan idealleştirilmiş yük-deplasman eğrisinin oluşturulması ve hesaplamalarda kullanılan parametrelere ait detaylar Şekil 5.5'te sunulmuştur.



Şekil 5.5. İdealleştirilmiş zarf eğrisi ve kullanılan parametreler [108]

Betonarme perde duvar deney elemanlarının göçme noktası %1,50 kat öteleme oranından sonraki çevrimlerde oluştuğundan dolayı, göçme noktası tanımı için Sözen (1987) kriteri benimsenmiştir. Birbirini takip eden çevrimlerde görülen maksimum yatay yük taşıma kapasitesinde meydana gelen %15'lik düşüşün görüldüğü andaki deplasman değeri Δ_{max} olarak alınmıştır. Süneklik oranı μ, deney elemanın göçme anındaki kat ötelemesinin (Δ_{max}) idealleştirilmiş yük deplasman eğrisi üzerindeki akmanın yaşandığı deplasmana (Δ_y) oranı olarak hesaplanmaktadır. Tersinir tekrarlanır yük etkisindeki elemana uygulanan yük geçmişi daha önceki bölümde verilmiştir. Buna göre, ilk yükleme doğrultusunun sonraki yükleme doğrultusuna göre daha az hasardan etkilenmiş değerlerin oluşacağı bilinmektedir. Dolayısıyla süneklik oranları hesaplanırken sadece ileri yarı çevrimlerine ait verilerin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Deney elemanlarının ileri yarı çevrimleri kullanılarak hesaplanan süneklik oranları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deney elemanlarının süneklik oranları

Perde Tipi	Deney Elemanı	V_y (kN)	Δ_y (mm)	V_u (kN)	Δ_u (mm)	Δ_{max} (mm)	μ
Boşluksuz	REF-D	235,61	9,02	274,24	48,01	53,04	5,88
	D-AH-K	235,38	9,98	251,10	29,74	46,53	4,66
	D-AH-Ç	289,63	13,24	325,37	30,32	45,98	3,47
	D-OH-K	261,39	10,10	280,32	30,25	40,08	3,96
	D-OH-Ç	334,64	13,88	354,14	30,40	47,82	3,45
Pencere Boşluklu	REF-P	139,59	7,89	142,79	36,15	59,11	7,49
	P-AH-K	156,51	14,72	182,31	47,82	56,67	3,85
	P-AH-Ç	247,07	10,24	253,39	30,13	49,43	4,83
	P-OH-K	217,44	14,54	220,76	47,82	59,74	4,11
	P-OH-Ç	288,81	10,50	310,79	58,69	69,39	6,61
Kapı Boşluklu	REF-K	95,84	8,65	105,04	48,20	72,30	8,36
	K-AH-K	97,70	11,58	101,96	48,02	60,60	5,23
	K-AH-Ç	138,02	9,36	155,38	60,63	72,44	7,74
	K-OH-K	119,73	11,44	128,39	47,90	55,02	4,81
	K-OH-Ç	161,92	12,92	188,50	61,13	68,56	5,31

REF-D, REF-P ve REF-K referans deney elemanlarının süneklik oranları μ sırasıyla; 5,88, 7,49 ve 8,36 olarak hesaplanmıştır. Kapı boşluklu referans deney elemanının diğer referans deney elemanlarına kıyasla daha sünek davranış gösterdiği görülmüştür. Perde duvar alanın %19,5 oranında boşluk açılarak testleri tamamlanan pencere boşluklu REF-P deney elemanı boşluksuz referans REF-D deney elemanına göre %27 oranında daha sünek davranış sergilemiştir. Perde duvar alanının %33,7 oranında boşluk açılarak testleri tamamlanan kapı boşluklu REF-K deney elemanı boşluksuz referans REF-D deney elemanına göre %42 oranında daha sünek davranış sergilemiştir. Betonarme perde duvar gövdesinde açılan boşluk oranı arttıkça süneklikte de artış yaşandığı düşünülmektedir.

CFRP ve çelik şerit ile onarılmış ağır/orta hasarlı boşluksuz deney elemanlarının tamamının sünekliğinde, referans boşluksuz deney elemanına göre azalma meydana gelmiştir.

D-AH-Ç ve D-OH-Ç deney elemanlarının onarım sonrasında sünekliğin birbirine oldukça yakın olduğu ve hasar seviyesinin bu deney elemanlarının sünekliğinde herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür. Ayrıca D-AH-Ç ve D-OH-Ç deney elemanlarının; maksimum yatay yük taşıma kapasitesinde meydana gelen %15'lik düşüşün görüldüğü andaki deplasman, göçme anındaki kat ötelemesi ve akmanın yaşandığı deplasman değerlerinin birbirine yakınsadığı görülmüştür. Ağır hasarlı D-AH-K deney elemanın, onarılmış diğer deney elemanlarına göre daha sünek davrandığı hesaplanmıştır. Orta hasarlı D-OH-K deney elemanının D-AH-K deney elemanına göre %15 oranında sünekliğinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Süneklikte meydana gelen bu düşüşün hasar seviyesindeki farklılık olduğu anlaşılmaktadır. CFRP şerit ile onarılan boşluksuz perde duvarların sünekliğinde, referans deney elemanına göre ortalama %27 oranında ve çelik şerit ile onarılan boşluksuz perde duvarların sünekliğinde, referans deney elemanına göre ortalama %41 oranında azalma meydana gelmiştir. CFRP şerit ile onarılmış D-AH-K ve D-OH-K deney elemanlarının, çelik şeritler ile onarılmış D-AH-Ç ve D-OH-Ç deney elemanlarına kıyasla ortalama 1,25 kat daha sünek davranış sergilediği görülmüştür.

Pencere boşluklu ağır/orta hasarlı CFRP ve çelik şerit ile onarılmış deney elemanlarının tamamının sünekliğinde, referans pencere boşluklu REF-P deney elemanına göre azalma meydana gelmiştir. Orta hasarlı P-OH-Ç deney elemanın, onarılmış diğer deney elemanlarına göre daha sünek davranış sergilediği hesaplanmıştır. Orta hasarlı P-OH-K deney elemanının, ağır hasarlı P-AH-K deney elemanına göre %7 oranında sünekliğinde artış meydana geldiği görülmüştür. Orta hasarlı P-OH-Ç deney elemanı, ağır hasarlı P-AH-Ç deney elemanına kıyasla %37 oranında daha sünek davranış göstermiştir. Süneklikte meydana gelen bu artışların hasar seviyesindeki farklılık olduğu anlaşılmaktadır. CFRP şerit ile onarılan pencere boşluklu perde duvarların sünekliğinde, referans deney elemanına göre ortalama %47 oranında ve çelik şerit ile onarılan boşluksuz perde duvarların sünekliğinde, referans deney elemanına göre ortalama %24 oranında azalma meydana gelmiştir. Çelik şerit ile onarılmış P-AH-Ç ve P-OH-Ç deney elemanlarının, CFRP şerit ile onarılmış P-AH-K ve P-OH-K deney elemanlarına kıyasla ortalama 1,44 kat daha sünek davranış sergilediği görülmüştür. Pencere boşluklu deney elemanlarının süneklikleri karşılaştırıldığında, çelik şerit ile onarımın diğer onarım yöntemine göre daha başarılı olduğu düşünülmektedir.

%33,7 oranında kapı boşluğu açılan ve CFRP ve çelik şerit ile onarılmış betonarme perde duvar deney elemanlarının tamamının sünekliğinde, referans kapı boşluklu REF-K deney

elemanına göre azalma meydana gelmiştir. Ağır hasarlı K-AH-Ç deney elemanın, onarılmış diğer deney elemanlarına göre daha sünek davrandığı hesaplanmıştır. Orta hasarlı K-OH-K deney elemanının K-AH-K deney elemanına göre %8 oranında sünekliğinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca orta hasarlı K-OH-Ç deney elemanının sünekliğinde K-AH-Ç deney elemanına göre %31 oranında azalma meydana geldiği görülmüştür. Süneklikte meydana gelen bu düşüşün hasar seviyesindeki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. CFRP şerit ile onarılan kapı boşluklu perde duvarların sünekliğinde, referans deney elemanına göre ortalama %40 oranında ve çelik şerit ile onarılan boşluksuz perde duvarların sünekliğinde, referans deney elemanına göre ortalama %22 oranında azalma meydana gelmiştir. Çelik şerit ile onarılmış K-AH-Ç ve K-OH-Ç deney elemanlarının, CFRP şerit ile onarılmış K-AH-K ve K-OH-K deney elemanlarına kıyasla ortalama 1,30 kat daha sünek davranış sergilediği görülmüştür.

Deney elemanlarının süneklik oranlarının hesaplandığı Çizelge 5.2'ye göre CFRP ve çelik şerit ile onarımı yapılan orta ve ağır düzeyde hasar görmüş boşluksuz ve kapı boşluklu deney elemanlarının benzer davranış sergilediği görülmüştür. Buna göre; hasar düzeyi azaldıkça deney elemanlarının sünekliğinde artış meydana geldiği, benzer hasar oluşumunun, boşluk oranının ve uygulanan onarım tekniğinin etkinliğine göre sünekliğin değiştiği tespit edilmiştir. CFRP ve çelik şerit ile onarımı yapılan ağır düzeyde hasar görmüş pencere boşluklu deney elemanlarının onarımında, pencere boşluğu alt ve üst kenarlarındaki düşey şeritler ile sargılama etkinliğinin süneklik oranına da yansıdığı düşünülmektedir.

5.3. Rijitlik

Rijitlik, bir yapının/elemanın yük etkisi altında şekil değiştirmeden veya deplasman yapmadan kararlı bir şekilde kalabilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Deney elemanlarının rijitlik değerleri başlangıç rijitliği ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlikler olarak hesaplanarak Çizelge 5.3'de sunulmuştur. Buna ek olarak Çizelge 5.3'de onarımı yapılan deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerin, referans deney elemanlarının rijitlikleriyle kıyaslanabilmesi için değerler sunulmuştur. Rijitlik değerleri yatay yük-kat öteleme oranı grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Deney elemanına uygulanan ileri ve geri doğrultudaki çevrimlerinden elde edilen rijitlik değerlerinin ortalaması alınarak başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlik değerleri bulunmuştur. Başlangıç rijitliği değeri, ilk %0,10 kat ötelenme oranı çevrimi

için ileri ve geri doğrultuda görülen maksimum yüke karşı yapmış olduğu deplasmanın gerçekleştiği noktanın orijin ile birleştiren doğrunun eğimidir. Benzer şekilde maksimum yatay yük noktasındaki rijitlik değeri, ileri ve geri doğrultuda görülen maksimum yüke karşı yapmış olduğu deplasmanın gerçekleştiği noktanın orijin ile birleştiren doğrunun eğimidir.

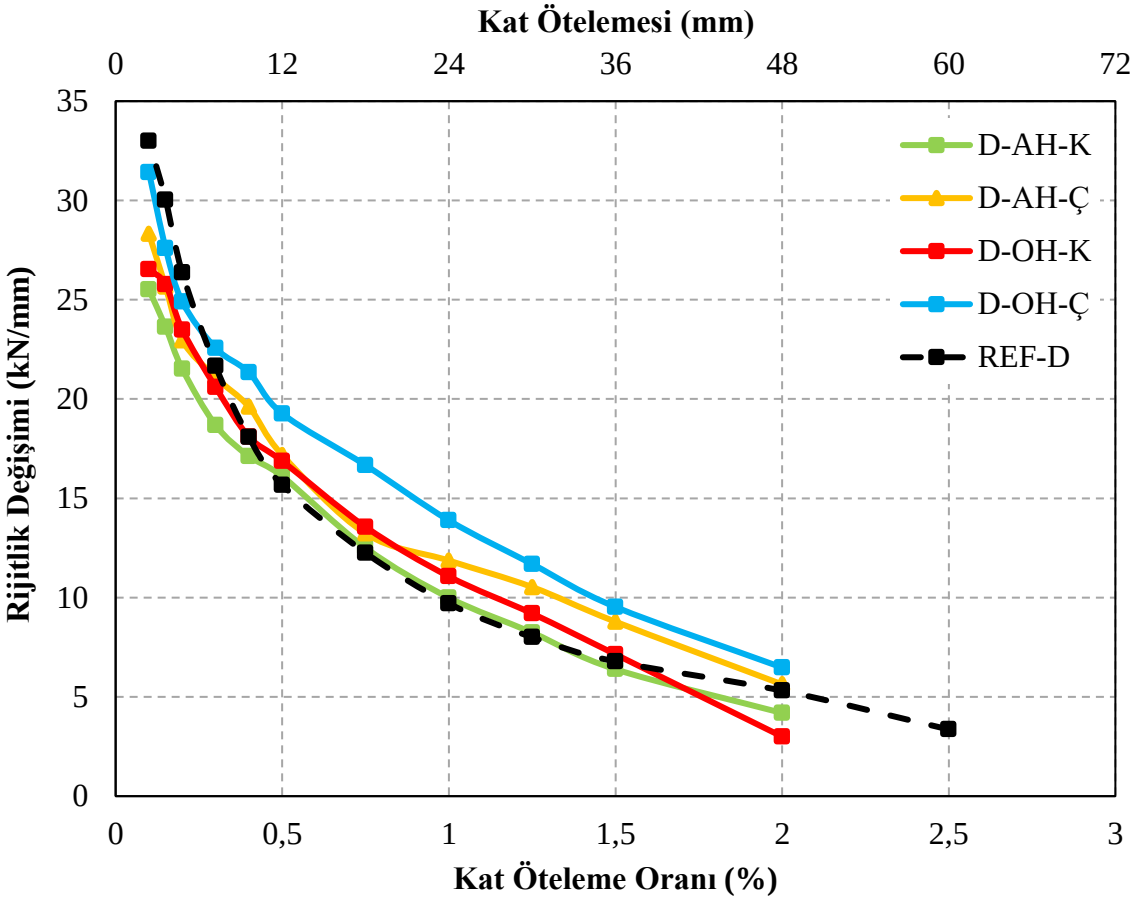
Çizelge 5.3. Deney elemanlarının rijitlikleri

Perde Tipi	Deney Elemanı	Ortalama Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Ortalama Maksimum Yatay Yük Noktasında Rijitlik (kN/mm)	$\left(\frac{K_{Onarım}}{K_{Referans}}\right)$	
				Başlangıç	Maksimum Yatay Yük
Boşluksuz	REF-D	33,00	5,31	-	-
	D-AH-K	25,50	8,24	0,77	1,55
	D-AH-Ç	28,32	9,59	0,86	1,81
	D-OH-K	26,53	9,20	0,80	1,73
	D-OH-Ç	31,42	11,69	0,95	2,20
Pencere Boşluklu	REF-P	19,10	3,95	-	-
	P-AH-K	13,07	3,57	0,68	0,90
	P-AH-Ç	25,00	8,01	1,31	2,03
	P-OH-K	21,80	5,17	1,14	1,31
	P-OH-Ç	30,48	4,92	1,60	1,24
Kapı Boşluklu	REF-K	12,53	2,18	-	-
	K-AH-K	9,45	2,46	0,75	1,13
	K-AH-Ç	15,18	2,77	1,21	1,27
	K-OH-K	11,83	3,09	0,94	1,42
	K-OH-Ç	17,42	3,11	1,39	1,43

REF-D, REF-P ve REF-K referans deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri sırasıyla; 33,00, 19,10 ve 12,53 kN/mm olarak hesaplanmıştır. Boşluksuz betonarme perde duvar referans deney elemanının diğer referans deney elemanlarına kıyasla daha yüksek başlangıç rijitliğine sahip olduğu görülmüştür. Perde duvar alanının %19,5 oranında boşluk açılarak testleri

tamamlanan pencere boşluklu REF-P deney elemanın boşluksuz referans REF-D deney elemanına göre %42 oranında başlangıç rijitliğinde eksilme meydana gelmiştir. Perde duvar alanının %33,7 oranında boşluk açılarak testleri tamamlanan kapı boşluklu REF-K deney elemanın boşluksuz referans REF-D deney elemanına göre %62 oranında başlangıç rijitliğinde eksilme meydana gelmiştir. Betonarme perde duvar gövdesinde açılan boşluk oranı arttıkça başlangıç rijitliğinin önemli ölçüde düştüğü görülmüştür.

Boşluksuz betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yükleme çevrimlerine ait rijitlikler hesaplanmıştır. REF-D, D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanların rijitliğinin kat öteleme oranına göre değişimini gösteren eğriler kıyaslamaların yapılması için Şekil 5.6'da sunulmuştur.

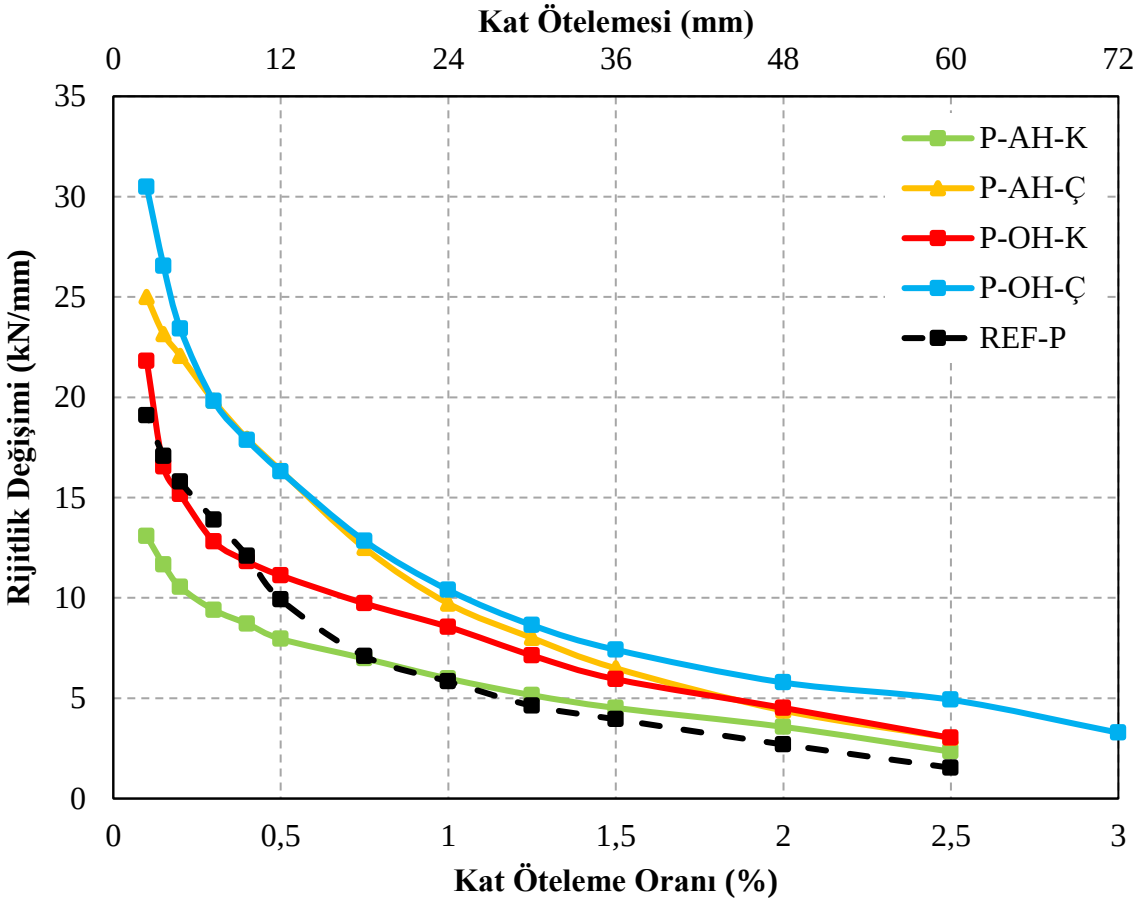


Şekil 5.6. Boşluksuz deney elemanların kat öteleme oranına göre rijitlik değişimi

D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri, REF-D deney elemanına göre sırasıyla 0,77, 0,86, 0,80 ve 0,95 olarak hesaplanmıştır. CFRP ve çelik şerit ile onarılmış ağır/orta düzeyde hasarlı boşluksuz deney elemanların tamamının

başlangıç rijitliğinde, referans boşluksuz deney elemanına göre eksilme meydana gelmiştir. Ancak referans boşluksuz deney elemanına göre, ağır ve orta düzeyde hasarlı boşluksuz deney elemanların tamamının maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanlarının maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri, REF-D deney elemanına göre 1,55, 1,81, 1,73 ve 2,20 kat fark bulunmaktadır. Hasarlı boşluksuz deney elemanlarının başlangıç rijitliğinde artışın sağlanamamasının nedeni olarak, deney elemanlarında daha önce oluşan çatlakların açılıp kapanmasının ilk çevrimlerde engellenemediği düşünülmektedir. Çelik şerit ile onarımı yapılan ağır hasarlı D-AH-Ç ve orta hasarlı D-OH-Ç deney elemanlarının hem başlangıç rijitliği hem de maksimum yatay yük değerindeki rijitlikler bakımından CFRP şerit ile onarılan D-AH-K ve D-OH-K deney elemanlarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerine göre sırasıyla %15 ve %22 oranında daha yüksek hesaplanmıştır. Orta hasar görmüş D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanları ile ağır hasar görmüş D-AH-K ve D-AH-Ç deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerine göre sırasıyla %8 ve %17 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Oluşan bu farklılıkların ortaya çıkmasında, deney elemanlarına uygulanan onarım tekniği ve hasar düzeyinin etkili olduğu düşünülmektedir. Boşluksuz deney elemanlarının test süresince değişen rijitlikleri Şekil 5.6'ya göre kıyaslandığında; D-OH-Ç deney elemanının diğer deney elemanlarına göre ayrıştığı ve deney süresince daha rijit kaldığı görülmüştür. Ayrıca CFRP şerit ile onarılan D-AH-K ve D-OH-K deney elemanlarının rijitliğinin deney süresince REF-D deney elemanın rijitliğine yakınsadığı tespit edilmiştir.

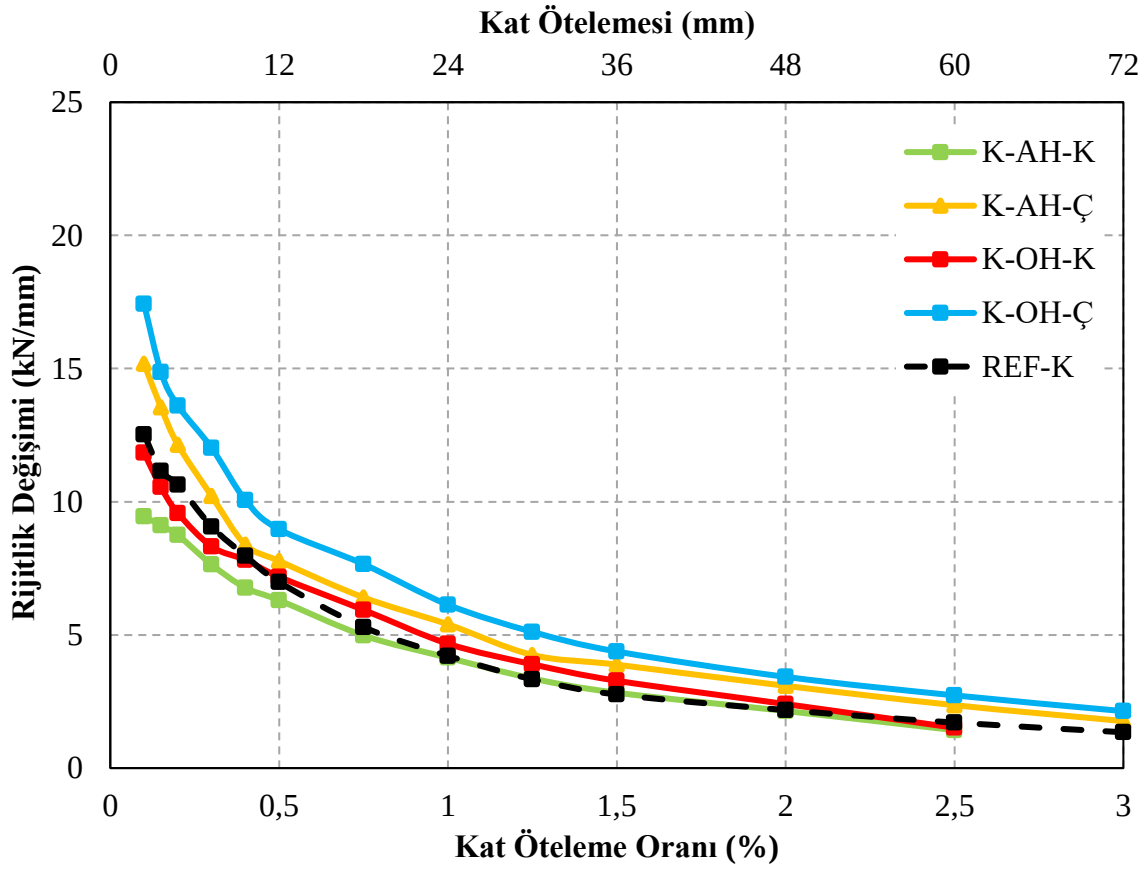
Pencere boşluklu ve kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yükleme çevrimlerine ait rijitlikler hesaplanmıştır. REF-P, P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanların rijitliğinin kat öteleme oranına göre değişimi kıyaslamaların yapılması için Şekil 5.7'de sunulmuştur. REF-K, K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanların rijitliğinin kat öteleme oranına göre değişimini karşılaştırmaların yapılması için Şekil 5.8'de sunulmuştur.



Şekil 5.7. Pencere boşluklu deney elemanların kat öteleme oranına göre rijitlik değişimi

P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri, REF-P deney elemanına göre sırasıyla 0,68, 1,31, 1,14 ve 1,60 olarak hesaplanmıştır. P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanların, referans pencere boşluklu deney elemanına göre başlangıç rijitliğinde artış meydana gelmiştir. Ağır hasarlı ve CFRP onarımlı P-AH-K deney elemanın başlangıç rijitliğinde azalma tespit edilmiştir. Benzer şekilde P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanların maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Sırasıyla bu deney elemanlarının, REF-P deney elemanına göre maksimum yatay yük değerindeki rijitlikler arasında 2,03, 1,31 ve 1,24 kat fark bulunmaktadır. Ağır hasarlı ve CFRP onarımlı P-AH-K deney elemanın maksimum yatay yük değerindeki rijitlik değerinin referans deney elemanına yakınsadığı görülmüştür. P-AH-K deney elemanının başlangıç rijitliği ve maksimum yatay yük değerindeki rijitliğinin artırılamamasının nedeni olarak; deney elemanında daha önce oluşan yüksek seviyedeki hasar ve uygulanan onarım tekniğinin etkin olarak çalışmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çelik şerit ile onarımı yapılan ağır hasarlı P-AH-Ç ve orta hasarlı P-OH-Ç deney elemanlarının hem başlangıç rijitliği hem de maksimum yatay yük değerindeki

rijitlikler bakımından CFRP şerit ile onarılan P-AH-K ve P-OH-K deney elemanlarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri sırasıyla %59 ve %48 oranında daha yüksek hesaplanmıştır. Orta hasar görmüş P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanları ile ağır hasar görmüş P-AH-K ve P-AH-Ç deney elemanlarının başlangıç rijitliğine göre %37 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Orta hasarlı P-OH-K deney elemanı ile ağır hasarlı P-AH-K deney elemanın başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri karşılaştırıldığında sırasıyla 1,67 ve 1,45 kat daha fazla rijit davranış sergilediği görülmüştür. Oluşan bu farklılıkların ortaya çıkmasında, deney elemanlarına uygulanan onarım tekniği ve hasar düzeyinin etkili olduğu düşünülmektedir. Pencere boşluklu deney elemanlarının test süresince değişen rijitlikleri Şekil 5.7'ye göre kıyaslandığında; P-OH-Ç ve P-AH-Ç deney elemanının diğer deney elemanlarına göre ayrıştığı ve deney süresince daha rijit kaldığı görülmüştür. Ayrıca CFRP şerit ile onarılan P-AH-K ve P-OH-K deney elemanlarının rijitliğinin deney süresince REF-P deney elemanın rijitliğine yakınsadığı tespit edilmiştir. %0,50 kat öteleme oranından sonraki çevrimlerde P-OH-K deney elemanı referans deney elemanına göre bir miktar ayrışarak rijit kaldığı görülmüştür.



Şekil 5.8. Kapı boşluklu deney elemanların kat öteleme oranına göre rijitlik değişimi

K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri, kapı boşluklu referans deney elemanına göre sırasıyla 0,75, 1,21, 0,94 ve 1,39 olarak hesaplanmıştır. CFRP şerit ile onarılmış ağır hasarlı K-AH-K deney elemanın başlangıç rijitliğinde, referans deney elemanına göre eksilme meydana gelmiştir. K-OH-K deney elemanın başlangıç rijitliği değerinin referans deney elemanına yakınsadığı görülmüştür. Ancak referans deney elemanına göre, ağır ve orta düzeyde hasarlı kapı boşluklu deney elemanların tamamının maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanlarının maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri, REF-K deney elemanına göre sırasıyla 1,13, 1,27, 1,42 ve 1,43 kat fark bulunmaktadır. K-AH-K deney elemanının başlangıç rijitliğinde artışın sağlanamamasının nedeni olarak, deney elemanlarında daha önce oluşan çatlakların açılıp kapanmasının ilk çevrimlerde engellenemediği düşünülmektedir. CFRP şerit ile onarılan K-OH-K deney elemanının orta düzeyde hasar görmesine rağmen deney süresince referans deney elemanına oldukça yakın rijitlik değerlerinde olduğu görülmüştür. Çelik şerit ile onarımı yapılan ağır hasarlı K-AH-Ç ve orta hasarlı K-OH-Ç deney elemanlarının hem başlangıç rijitliği hem de maksimum yatay yük değerindeki rijitlikler bakımından CFRP şerit ile onarılan K-AH-K ve K-OH-K deney elemanlarına göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Bu deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerine göre sırasıyla %51 ve %6 oranında daha yüksek hesaplanmıştır. K-AH-Ç ve K-OH-Ç deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri karşılaştırıldığında ise sırasıyla %19 ve %12 oranında orta hasarlı elemanda daha yüksek rijitliğin elde edildiği görülmüştür. K-AH-K ve K-OH-K deney elemanlarının başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri karşılaştırıldığında ise sırasıyla %25 ve %26 oranında orta hasarlı elemanda daha yüksek rijitliğin elde edildiği görülmüştür. Farklı teknikler ile onarılan ağır hasarlı kapı boşluklu deney elemanların başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri karşılaştırıldığında sırasıyla %55 ve %13 oranında çelik şerit ile onarımda daha yüksek rijitliğin elde edildiği hesaplanmıştır. Benzer şekilde orta hasarlı kapı boşluklu deney elemanların başlangıç rijitliğine göre %47 oranında çelik şerit ile onarımda daha yüksek rijitliğin elde edildiği hesaplanmıştır. Bu deney elemanların maksimum yatay yük değerindeki rijitliğine göre ise birebir benzer değer elde dilmiştir.

Boşluksuz deney elemanlarının test süresince değişen rijitlikleri Şekil 5.8'e göre kıyaslandığında; K-OH-Ç deney elemanının diğer deney elemanlarından ayrıştığı ve deney süresince daha rijit kaldığı görülmüştür. Ayrıca CFRP şerit ile onarılan K-AH-K ve K-OH-

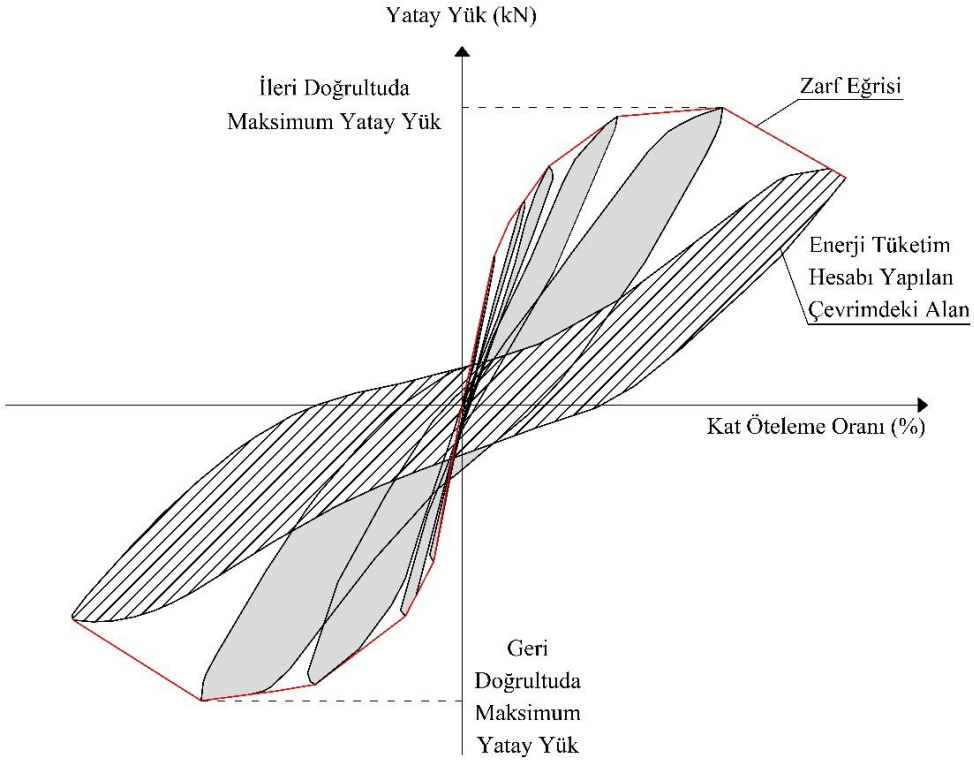
K deney elemanlarının rijitliğinin deney süresince REF-K deney elemanın rijitliğine yakınsadığı tespit edilmiştir.

Hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarların CFRP ve çelik şerit ile onarılmasına rağmen, test edilen boşluksuz deney elemanların referans deney elemanın başlangıç rijitliğine ulaşamadığı tespit edilmiştir. Ancak belirtilen deney elemanların maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde 1,55 ile 2,20 kat arasında değişen artışlar yakalanmıştır. Boşluksuz deney elemanların onarımında kullanılan çelik şerit tekniği ile deney elemanlarının daha rijit davrandığı görülmüştür. CFRP şerit ile onarılan deney elemanların da ise, ağır hasarlı deney elemanın rijitliğinin referans deney elemanına göre bir miktar altında kaldığı ve orta hasarlı deney elemanının rijitliğinin referans deney elemanına göre benzer davranış gösterdiği görülmüştür. Pencere boşluklu betonarme perde duvarların çelik şerit ile onarılmasıyla, referans deney elemanın başlangıç rijitliğine göre 1,31 ile 1,60 kat artışlar meydana gelmiştir. Buna ek olarak belirtilen deney elemanların maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde 1,24 ile 2,03 kat artışlar sağlanmıştır. Pencere boşluğu açılan betonarme perde duvarların çelik şerit ile onarımı sayesinde, bu deney elemanların başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitlikleri, boşluksuz betonarme perde duvar rijitliklerine oldukça yaklaştığı tespit edilmiştir. Ancak ağır hasarlı CFRP şerit ile onarılan pencere boşluklu deney elemanın başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde yeterli artışın sağlanamadığı görülmüştür. Orta hasarlı CFRP şerit ile onarılan pencere boşluklu deney elemanın başlangıç ve maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde sırasıyla 1,14 ile 1,31 kat artışlar meydana gelmiştir. CFRP şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanının rijitliğinin referans deney elemanına göre daha rijit davranış gösterdiği görülmüştür. Kapı boşluklu betonarme perde duvarların çelik şerit ile onarılmasıyla, referans deney elemanın başlangıç rijitliğine göre 1,21 ile 1,39 kat artışlar meydana gelmiştir. Hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarların CFRP şerit ile onarılmasına rağmen, referans deney elemanın başlangıç rijitliğine ulaşamadığı tespit edilmiştir. Ancak CFRP ve çelik şerit ile onarılan deney elemanların maksimum yatay yük değerindeki rijitliklerinde 1,13 ile 1,43 kat arasında değişen artışlar yakalanmıştır. Pencere boşluklu deney elemanların onarımında kullanılan çelik şerit tekniği ile deney elemanlarının daha rijit davrandığı görülmüştür. CFRP şerit ile onarılan ağır hasarlı deney elemanın rijitliğinin referans deney elemanına göre bir miktar altında kaldığı ve orta hasarlı deney elemanının rijitliğinin referans deney elemanına göre benzer davranış gösterdiği görülmüştür.

5.4. Enerji Tüketimi

Deprem, trafik, ani yükler, titreşimli makine yükleri ve rüzgar gibi dinamik etkiler yapı elemanlarına titreşim enerjisi aktarmaktadır. Bu etkilere maruz kalan yapı elemanları titreşim enerjisini genel olarak içsel sürtünme ve/veya plastik deformasyonlar ile sönümlemektedir. Bir yapı/yapı elemanının enerji tüketme kapasitesi ne kadar büyük ise titreşimin genliği de o kadar küçük olmaktadır. Bu nedenle yapı/yapı elemanlarının enerji tüketim kapasitesinin artırılması büyük önem arz etmektedir.

Deney elemanlarının enerji tüketim kapasitelerinin hesaplamasında, deney elemanlarına uygulanan ileri ve geri doğrultudaki her çevrimin sonucunda çizilen yatay yük-kat öteleme oranı eğrisinin altında kalan alanlar hesaplanmıştır. Deney elemanlarının her bir çevrimde hesaplanan enerji tüketiminin hesaplanmasında kullanılan parametrelere ait detaylar Şekil 5.9'da verilmiştir. Her ilk çevrim için hesaplanan bu alanlar daha sonra toplanarak deney elemanlarının birikimli enerji tüketim kapasiteleri (E_C) hesaplanmıştır. Bu hesaplamada yatay yük-kat öteleme oranı grafiklerinin göçme noktası olan maksimum yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde meydana gelen %15'lik düşüşün yaşandığı noktaya kadar olan bölümleri kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Enerji tüketim hesabı yapılan çevrimlerdeki alanlar

Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri hesaplanarak Çizelge 5.4'te sunulmuştur. Buna ek olarak Çizelge 5.4'te onarımı yapılan deney elemanlarının; referans deney elemanı ve onarım yöntemleri arasında kıyaslamaların yapılabilmesi için değerler sunulmuştur. Deney elemanlarının birikimli enerji tüketimlerinin karşılaştırılabilmesi için gruplandırılan deney elemanlarının aynı kat öteleme oranları dikkate alınarak hesaplamalar yapılarak Çizelge 5.4'te verilmiştir. Bu kabule göre; boşluksuz deney elemanları %2,00, pencere boşluklu deney elemanları %2,50 ve kapı boşluklu deney elemanları %2,50 kat öteleme oranına kadar olan birikimli enerji tüketim değerleri paylaşılmıştır.

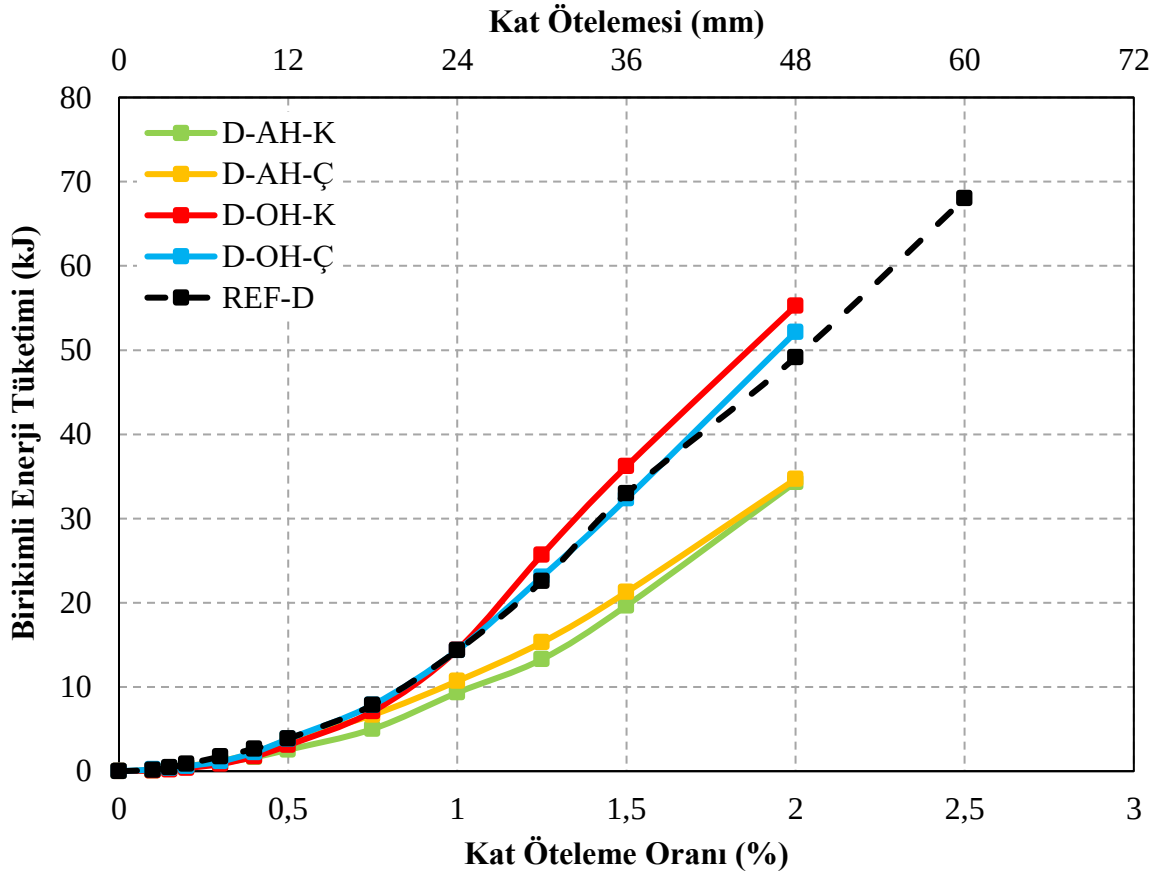
Çizelge 5.4. Deney elemanlarının birikimli enerji tüketim kapasiteleri

Perde Tipi	Deney Elemanı	Birikimli Enerji Tüketimi (E_C) (kJ)	$\frac{E_{C\ Onarım}}{E_{C\ Referans}}$	$\frac{E_{C\ Çelik\ Onarım}}{E_{C\ CFRP\ Onarım}}$
Boşluksuz	REF-D	49,13	-	-
	D-AH-K	34,32	0,70	1,01
	D-AH-Ç	34,69	0,71	
	D-OH-K	55,24	1,12	0,94
	D-OH-Ç	52,13	1,06	
Pencere Boşluklu	REF-P	32,69	-	-
	P-AH-K	22,33	0,68	1,61
	P-AH-Ç	36,05	1,10	
	P-OH-K	82,65	2,53	0,74
	P-OH-Ç	60,97	1,87	
Kapı Boşluklu	REF-K	23,45	-	-
	K-AH-K	13,85	0,59	1,99
	K-AH-Ç	27,61	1,18	
	K-OH-K	44,06	1,88	0,75
	K-OH-Ç	32,95	1,41	

REF-D, REF-P ve REF-K referans deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri %2,50 kat öteleme oranı için sırasıyla; 68,00, 32,69 ve 23,45 kJ olarak hesaplanmıştır. Boşluksuz betonarme perde duvar referans deney elemanının diğer referans deney elemanlarına kıyasla daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu görülmüştür. Perde duvar alanının %19,5 oranında boşluk açılarak testleri tamamlanan pencere boşluklu REF-P deney

elemanın boşluksuz referans REF-D deney elemanına göre %52 oranında birikimli enerji tüketiminde eksilme meydana gelmiştir. Perde duvar alanının %33,7 oranında boşluk açılarak testleri tamamlanan kapı boşluklu REF-K deney elemanın boşluksuz referans REF-D deney elemanına göre %65 oranında birikimli enerji tüketiminde azalma meydana gelmiştir. Betonarme perde duvar gövdesinde açılan boşluk oranı arttıkça birikimli enerji tüketiminin önemli ölçüde düştüğü görülmüştür.

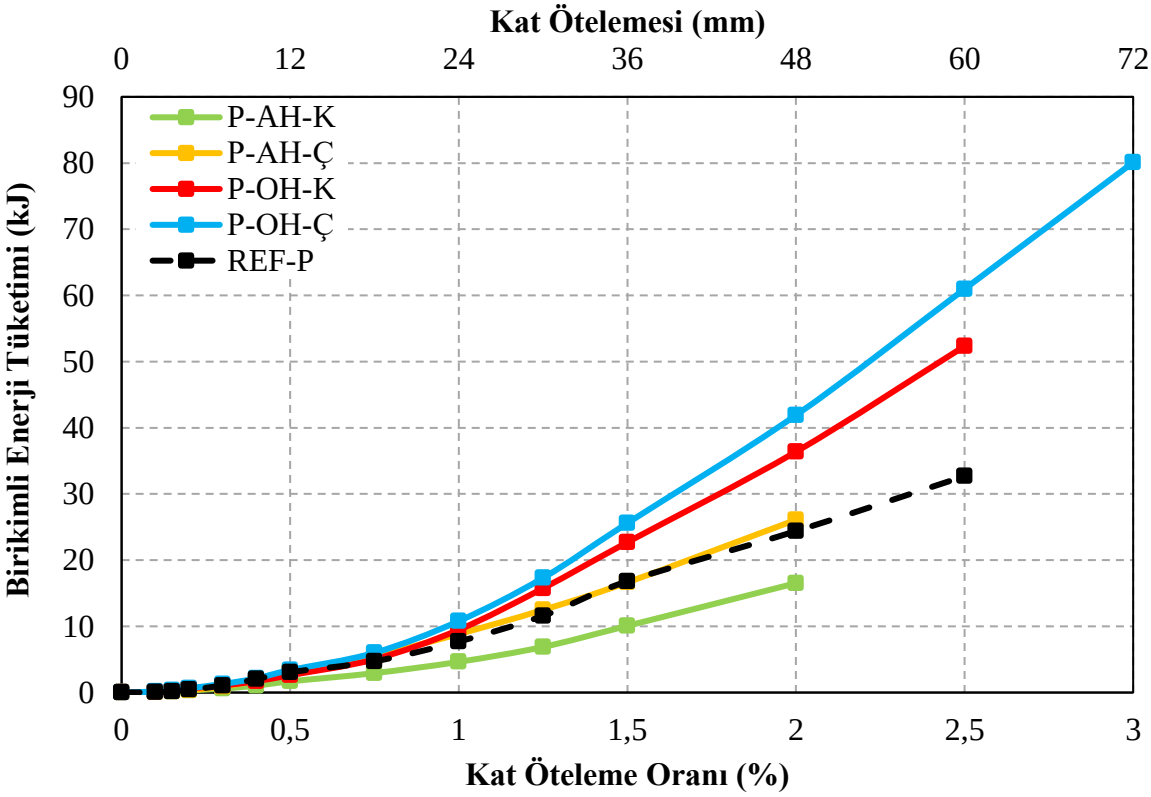
Boşluksuz betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yükleme çevrimlerine ait birikimli enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. REF-D, D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanların enerji tüketiminin kat öteleme oranına göre değişimi kıyaslamaların yapılması için Şekil 5.10'da sunulmuştur.



Şekil 5.10. Boşluksuz elemanların birikimli enerji tüketimi-kat öteleme oranı grafiği

D-AH-K, D-AH-Ç, D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri, REF-D deney elemanına göre sırasıyla 0,70, 0,71, 1,12 ve 1,06 olarak hesaplanmıştır. Orta hasarlı D-OH-K ve D-OH-Ç deney elemanların, referans boşluksuz deney elemanına göre birikimli enerji tüketiminde sırasıyla %12 ve %6 artış meydana gelmiştir. Orta hasarlı D-

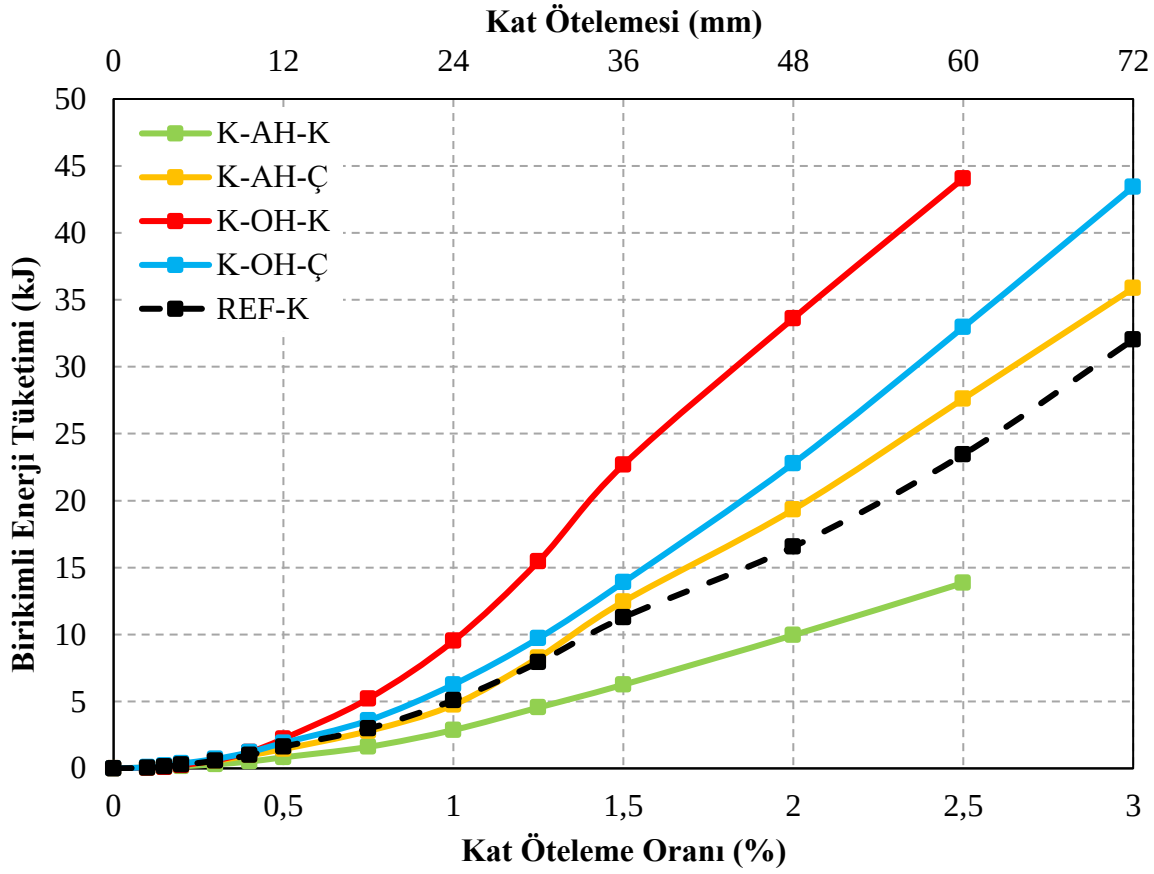
OH-K ve D-OH-Ç deney elemanları deney süresince REF-D deney elemanın birikimli enerji tüketimi ile benzeştiği ve bir miktar üzerinde kaldığı görülmüştür. Ancak ağır hasarlı D-AH-K ve D-AH-Ç deney elemanları deney süresince REF-D deney elemanın birikimli enerji tüketiminin altında kaldığı ve enerji tüketim kapasitesinin artırılamadığı tespit edilmiştir. Bu deney elemanların yüksek düzeyde hasar görmesinin birikimli enerji tüketime etki ettiği düşünülmektedir. Ağır ve orta hasarlı boşluksuz deney elemanlarına uygulanan farklı onarım tekniklerinin enerji tüketimine etkisinin neredeyse benzer olduğu anlaşılmıştır. CFRP şerit ile onarılan D-OH-K ve D-AH-K deney elemanlarının hasar seviyesine göre onarım performansı birikimli enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında; CFRP şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre 1,61 kat daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Çelik şerit ile onarılan D-OH-Ç ve D-AH-Ç deney elemanlarının hasar seviyesine göre onarım performansı birikimli enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında; çelik şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre 1,50 kat daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.11. Pencere boşluklu elemanların birikimli enerji tüketimi-kat öteleme oranı grafiği

Pencere boşluklu ve kapı boşluklu betonarme perde duvar deney elemanlarına uygulanan yükleme çevrimlerine ait birikimli enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. REF-P, P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanların enerji tüketiminin kat öteleme oranına göre değişimi kıyaslamaların yapılması için Şekil 5.11'de sunulmuştur. REF-K, K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanların enerji tüketiminin kat öteleme oranına göre değişimi karşılaştırmaların yapılması için Şekil 5.12'de sunulmuştur.

P-AH-K, P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri, REF-P deney elemanına göre sırasıyla 0,68, 1,10, 2,53 ve 1,87 olarak hesaplanmıştır. P-AH-Ç, P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanların, referans pencere boşluklu deney elemanına göre birikimli enerji tüketiminde artış meydana gelmiştir. Özellikle orta hasarlı P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanlarının birikimli enerji tüketiminde REF-P deney elemanına göre önemli oranda arttığı ve deney süresince referans deney elemanın üzerinde kaldığı görülmüştür. Deney süresince P-AH-Ç deney elemanın birikimli enerji tüketimi REF-P deney elemanına yakınsadığı ve bir miktar artış görülmüştür. Ancak ağır hasarlı P-AH-K deney elemanı deney süresince REF-D deney elemanın birikimli enerji tüketiminin altında kaldığı ve enerji tüketim kapasitesinin artırılamadığı tespit edilmiştir. Ağır hasarlı pencere boşluklu deney elemanı için seçilen bu onarım yönteminin etkin olmadığı düşünülmektedir. Hasarlı pencere boşluklu deney elemanlarına uygulanan farklı onarım tekniklerinin enerji tüketim kapasitesine etkisi Çizelge 5.4'te görülmektedir. Ağır hasara uğrayan ve farklı onarım teknikleri uygulanan P-AH-K ve P-AH-Ç deney elemanları karşılaştırıldığında; çelik onarımlı P-AH-Ç deney elemanın 1,61 kat daha fazla enerji tüketim kapasitesine ulaştığı hesaplanmıştır. Ancak orta hasara uğrayan P-OH-K ve P-OH-Ç deney elemanları karşılaştırıldığında; CFRP onarımlı P-AH-K deney elemanın daha başarılı olduğu ve daha yüksek enerji tüketim kapasitesine ulaştığı hesaplanmıştır. CFRP şerit ile onarılan P-OH-K ve P-AH-K deney elemanlarının hasar seviyesine göre onarım performansı birikimli enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında; orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre 3,70 kat daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buna ek olarak çelik şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanı P-OH-Ç'nin, ağır hasarlı P-AH-Ç deney elemanına göre 1,69 kat daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 5.12. Kapı boşluklu elemanların birikimli enerji tüketimi-kat öteleme oranı grafiği

K-AH-K, K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanlarının birikimli enerji tüketimleri, REF-K deney elemanına göre sırasıyla 0,59, 1,18, 1,88 ve 1,41 olarak hesaplanmıştır. K-AH-Ç, K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanların, referans kapı boşluklu deney elemanına göre birikimli enerji tüketiminde %18 ile %88 arasında değişen artışlar meydana gelmiştir. Özellikle orta hasarlı K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanlarının birikimli enerji tüketiminde REF-K deney elemanına göre önemli oranda arttığı ve deney süresince referans deney elemanın üzerinde kaldığı görülmüştür. Deney süresince K-AH-Ç deney elemanın birikimli enerji tüketimi, ilk çevrimlerde REF-K deney elemanına yakınsadığı ancak %1,50 kat öteleme oranından sonra artış yaşandığı görülmüştür. Ayrıca ağır hasarlı K-AH-K deney elemanı deney süresince REF-K deney elemanın birikimli enerji tüketiminin altında kaldığı ve enerji tüketim kapasitesinin artırılamadığı tespit edilmiştir. Ağır hasarlı kapı boşluklu deney elemanı için seçilen bu onarım yönteminin etkin olmadığı düşünülmektedir. Hasarlı kapı boşluklu deney elemanlarına uygulanan farklı onarım tekniklerinin enerji tüketim kapasitesine etkisi Çizelge 5.4'te sunulmuştur. Ağır hasara uğrayan ve farklı onarım teknikleri uygulanan K-AH-K ve K-AH-Ç deney elemanları karşılaştırıldığında; çelik onarımlı K-AH-Ç deney elemanın 1,99 kat daha fazla enerji tüketim kapasitesine ulaştığı

hesaplanmıştır. Ancak orta hasara uğrayan K-OH-K ve K-OH-Ç deney elemanları karşılaştırıldığında; CFRP onarımlı K-AH-K deney elemanın daha başarılı olduğu ve daha yüksek enerji tüketim kapasitesine ulaştığı hesaplanmıştır. CFRP şerit ile onarılan K-OH-K ve K-AH-K deney elemanlarının hasar seviyesine göre onarım performansı birikimli enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında; orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre 3,18 kat daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buna ek olarak çelik şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanı K-OH-Ç, ağır hasarlı K-AH-Ç deney elemanına göre 1,19 kat daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu hesaplanmıştır.

Ağır hasarlı boşluksuz betonarme perde duvarların CFRP ve çelik şerit ile onarılmasına rağmen, test edilen boşluksuz deney elemanların referans deney elemanın birikimli enerji tüketime ulaşamadığı ve oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu deney elemanların yüksek düzeyde hasar görmesinin birikimli enerji tüketime etki ettiği ve uygulanan onarım tekniklerinin etkin olmadığı düşünülmektedir. Ancak orta hasarlı deney elemanların birikimli enerji tüketimlerinde %12 ile %6 arasında değişen artışlar yakalanmış ve referans deney elemanına benzer davranış sergilediği görülmüştür. Aynı hasar düzeyindeki boşluksuz deney elemanlarına uygulanan farklı onarım tekniklerinin enerji tüketimine etkisinin neredeyse benzer olduğu anlaşılmıştır. Boşluksuz deney elemanların onarılmasında hasar seviyesinin büyük öneme sahip olduğu düşünülmektedir. Orta düzeyde hasar görmüş pencere boşluklu betonarme perde duvarların onarılmasıyla, birikimli enerji tüketimlerinin önemli oranda arttığı ve deney süresince referans deney elemanın üzerinde kaldığı görülmüştür. Pencere boşluğu alt ve üst kenarlarına uygulanan yatay CFRP ve çelik şerit ile sargılama etkinliği artırılmıştır. Sargılama etkinliğinin artırılmasıyla oluşan kesme çatlağının yönü değiştirilmiş, böylece bu deney elemanlarının enerji tüketim kapasitesinde 2,53 ve 1,87 kat oranında artış yaşandığı düşünülmektedir. Ayrıca belirtilen deney elemanlarından CFRP şerit ile onarımı yapılan deney elemanın daha başarılı olduğu görülmüştür. Ağır hasarlı pencere boşluklu betonarme perde duvarın CFRP şerit ile onarılmasına rağmen referans deney elemanın birikimli enerji tüketime ulaşamadığı ve oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu deney elemanın yüksek düzeyde hasar görmesinin birikimli enerji tüketime etki ettiği ve uygulanan onarım tekniğinin etkin olmadığı düşünülmektedir. Aynı onarım tekniği uygulanan farklı hasar düzeyindeki deney elemanların birikimli enerji tüketimlerinde 3,70 kata varan artışlar meydana gelmiştir. Pencere boşluklu deney elemanların onarılmasında hasar seviyesinin büyük öneme sahip

olduğu düşünülmektedir. Pencere boşluklu perde duvar deney elemanlarına benzer şekilde, orta düzeyde hasar görmüş kapı boşluklu perde duvarların onarılmasıyla, birikimli enerji tüketimlerin önemli oranda arttığı ve deney süresince referans deney elemanın üzerinde kaldığı görülmüştür. Bu deney elemanların göçme biçiminin değişmesiyle enerji tüketiminde 1,88 ve 1,41 kat oranında artış yaşandığı düşünülmektedir. Buna ek olarak belirtilen deney elemanlarından CFRP şerit ile onarımı yapılan deney elemanın daha başarılı olduğu görülmüştür. Ağır hasarlı kapı boşluklu betonarme perde duvarın CFRP şerit ile onarılmasına rağmen referans deney elemanın birikimli enerji tüketime ulaşamadığı ve oldukça altında kaldığı tespit edilmiştir. Bu deney elemanın yüksek düzeyde hasar görmesinin birikimli enerji tüketime etki ettiği ve uygulanan onarım tekniğinin etkin olmadığı düşünülmektedir. Aynı onarım tekniği uygulanan farklı hasar düzeyindeki deney elemanların birikimli enerji tüketimlerinde 3,18 kata varan artışlar meydana gelmiştir. Kapı boşluklu deney elemanların onarılmasında hasar seviyesinin büyük öneme sahip olduğu düşünülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Betonarme perde duvar, yapıya yatay rijitlik ve dayanım sağlayan taşıyıcı bir elemandır. Betonarme perde duvarlar yatay yükleri etkin bir biçimde karşıladıkları için çerçeve türü yapılar yerine, yaygın olarak karma taşıyıcı sisteme sahip yapıların inşaa edilmesi güncel deprem yönetmeliğimiz tarafından tavsiye edilmektedir. Deprem esnasında yapının salınımıyla yapı üzerinde ortaya çıkan enerjinin perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlar ile tüketilmesi gerekmektedir. Bu enerji tüketimi sonucunda betonarme perde duvarlar da hasar meydana gelmektedir. Betonarme perde duvarlarda bırakılan ya da mimari sebeplerle açılan boşlukların maksimum yük taşıma kapasitesini düşürdüğü deneysel çalışmalar ile raporlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, boşluklu betonarme perde elemanlarda, farklı boşluk oranı/şeklin düzlem içi eleman davranışı üzerine etkileri ve boşluklu perde elemanların hasar durumuna bağlı olarak farklı yöntemlerle onarılma potansiyeli incelenmiştir. Bu kapsamda orta ölçekli bir betonarme yapının bodrum kat perde duvarı olarak tasarlanan 1/1 gerçek ölçekli 12 adet betonarme perde duvar üretilmiştir. Perde duvarların 4 adedi pencere, 4 adedi kapı boşluklu olacak şekilde imal edilmiştir. Kalan 4 adedinde ise boşluk bulunmamaktadır. 6 adedi ağır ve 6 adedi ise orta düzeyde hasar gören toplam 12 deney elemanı, CFRP ve çelik şerit kullanılarak onarılmıştır. Bu deney elemanları deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme etkisi altında laboratuvar ortamında test edilmiştir. Deney elemanlarının test edilmesi sonucunda elde edilen veriler bir önceki bölümde detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu bölüm altında; çalışma kapsamında incelenen parametreler göz önünde bulundurularak, sonuç ve önerilerde bulunulmuştur.

6.1. Sonuçlar

6 adedi ağır ve 6 adedi ise orta düzeyde hasar gören toplam 12 deney elemanı, CFRP ve çelik şerit kullanılarak onarılmıştır. Deney elemanlarından elde edilen deneysel veriler sonucunda şu sonuçlar elde edilmiştir.

Deney verileri referans alınan boşluksuz, pencere ve kapı boşluklu deney elemanlarının literatürde belirtilen hasar şekilleri ve açılan boşluğun dayanıma, sünekliğe, rijitliğe ve enerji tüketimine etkisinin benzer olduğu görülmüştür. REF-D, REF-P ve REF-K referans

deney elemanlarının taşıma gücü kapasitesi sırasıyla; 274,24 kN, 142,79 kN ve 105,04 kN olarak tespit edilmiştir. Perde duvar alanının %19,5 oranında boşluk açılarak testleri tamamlanan pencere boşluklu elemanın boşluksuz referans deney elemanına göre sırasıyla; taşıma gücü kapasitesinde %48, başlangıç rijitliğinde %34, birikimli enerji tüketimde %52 oranında eksilme meydana gelmiştir. Perde duvar alanının %33,7 oranında boşluk açılarak testleri tamamlanan kapı boşluklu elemanın boşluksuz referans deney elemanına göre sırasıyla; taşıma gücü kapasitesi ve başlangıç rijitliğinde %62, birikimli enerji tüketimde %65 oranında azalma meydana gelmiştir. Betonarme perde duvar gövdesinde açılan boşluk oranı arttıkça taşıma gücü kapasitesinin, başlangıç rijitliğinin ve enerji tüketme kapasitesinin düştüğü görülmüştür.

Boşluksuz deney elemanlarına farklı düzeylerde hasar verilmiş ve onarımı yapılmıştır. Onarılan boşluksuz deney elemanlarının göçme biçimi aynı olmakla beraber göçme biçimi referans deney elemanına göre değişmiştir. Orta hasar uygulanan deney elemanların onarımının ağır hasar düzeyindeki deney elemanlarına göre daha etkili olduğu görülmüştür. Ağır hasarlı CFRP şerit onarımlı deney elemanının dayanım ve rijitliği referans deney elemanına benzer olsa da enerji tüketimi bakımından %30 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Onarılan boşluksuz deney elemanların tamamının başlangıç rijitliği referans deney elemanın altına kaldığı anlaşılmaktadır. Deney elemanlarına uygulanan iki onarım tekniğinin de başlangıç rijitliğine olan etkisi sınırlı kalmıştır. Ancak, bu deney elemanlarının maksimum taşıma gücündeki rijitlikte %55 ile %120 arasında değişen oranlarda artışlar sağlanmıştır. Onarılan deney elemanlarının dayanım, süneklik, rijitlik ve enerji tüketim kapasiteleri incelendiğinde elde edilen verilerin birbirine yakın olduğu, deney elemanlarında oluşan farklılıkların hasar seviyesinden kaynakladığı anlaşılmaktadır. Ağır düzeyde hasar gören deney elemanların taşıma gücü kapasitesi ve bu yük seviyesindeki rijitliği orta düzeyde hasar gören deney elemanlarına göre yaklaşık %11 daha düşük hesaplanmıştır. CFRP şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre %61 oranında ve çelik şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre %50 oranında daha yüksek enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Pencere boşluklu deney elemanları perde duvar alanının %19,5 oranında boşluk bırakılarak üretilmiştir. Bu deney elemanlarına farklı düzeylerde hasar verilmiş ve farklı tekniklerle onarımı yapılmıştır. Onarılan pencere boşluklu deney elemanlarının göçme biçimi değişmemiştir. Ancak, pencere boşluğunun alt ve üst kenarlarında uygulanan sargılama ile

çatlak oluşumu şerit genişliği boyunca değiştirilmiştir. Pencere boşluklu deney elemanlarının CFRP şeritler ile onarılmasında referans deney elemanına göre ortalama %41 ve çelik şeritler ile onarılmasında referans deney elemanına göre ortalama %98 oranında dayanım artışı sağlanmıştır. Deney elemanlarının özdeş onarımı yapıldığı kabulü ile pencere boşluklu deney elemanlarının hasar düzeyine göre onarım etkinliğinde ortalama %22 oranında daha fazla dayanım artışı sağlandığı görülmüştür. Ağır hasarlı ve CFRP onarımlı deney elemanın referans deney elemanına göre başlangıç rijitliğinin eksildiği ve maksimum yük noktasındaki rijitliğinin ise yakınsadığı görülmüştür. Diğer onarımı yapılan pencere boşluklu deney elemanlarının başlangıç rijitliği %14 ile %60, maksimum yatay yük değerindeki rijitlikler de ise %24 ile %103 arasında değişen oranlarda artış görülmüştür. Ağır hasara uğrayan ve farklı onarım teknikleri uygulanan deney elemanları karşılaştırıldığında; çelik onarımlı deney elemanın %61 oranında daha fazla enerji tüketim kapasitesine ulaştığı hesaplanmıştır. Ancak orta hasara uğrayan deney elemanları karşılaştırıldığında; CFRP onarımlı deney elemanın daha başarılı olduğu ve daha yüksek enerji tüketim kapasitesine ulaştığı hesaplanmıştır. CFRP şerit ile onarılan deney elemanlarının hasar seviyesine göre onarım performansı birikimli enerji tüketimi açısından karşılaştırıldığında; orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre %270 oranında daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Buna ek olarak çelik şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanı, ağır hasarlı deney elemanına göre %69 oranında daha yüksek birikimli enerji tüketimine sahip olduğu hesaplanmıştır. Orta hasar gören deney elemanlarında sargılamanın etkisiyle CFRP şerit ile onarım tekniği ve ağır hasarlı deney elemanlarda çelik şerit ile onarım tekniğinin daha etkin olduğu görülmüştür. Ağır hasarlı CFRP onarım tekniği uygulanan deney elemanının başlangıç rijitliği, maksimum yatay yük değerindeki rijitliği ve enerji tüketiminin arttırılamadığı görülmüştür. Deney elemanında daha önce oluşan yüksek seviyedeki hasar ve uygulanan onarım tekniğinin etkin olarak çalışmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kapı boşluklu deney elemanları perde duvar alanının %33,7 oranında boşluk bırakılarak üretilmiştir. Bu deney elemanlarına farklı düzeylerde hasar verilmiş ve farklı tekniklerle onarımı yapılmıştır. Onarılan kapı boşluklu deney elemanlarının göçme biçimi aynı olmakla beraber göçme biçimi referans deney elemanına göre değişmiştir. Ağır hasarlı CFRP şerit ile onarılan kapı boşluklu deney elemanı referans deney elemanının taşıma gücü kapasitesine ulaşmıştır. Onarılan diğer deney elemanları ise referans deney elemanının taşıma gücü kapasitesine göre %22 ile %79 arasında değişen oranlarda artış meydana

gelmiştir. Onarımı çelik şeritler ile yapılan deney elemanlarının, CFRP şeritler ile onarılan deney elemanlarına göre %47 oranında daha yüksek dayanım göstermiştir. Deney elemanlarının özdeş onarımı yapıldığı kabulü ile kapı boşluklu deney elemanlarının hasar seviyesine göre onarım etkinliğinde ortalama 1,22 kat daha fazla dayanım artışı sağlandığı görülmüştür. Referans deney elemanına göre ağır hasarlı CFRP şerit onarımlı deney elemanının başlangıç rijitliği %25 ve enerji tüketimi bakımından %41 oranında düşük olduğu tespit edilmiştir. CFRP şerit ile onarılan farklı hasar düzeyindeki kapı boşluklu deney elemanlarının başlangıç rijitliği referans deney elemanın altına kaldığı anlaşılmaktadır. Çelik şerit ile onarılan deney elemanlarının başlangıç rijitliğinde ise %21 ile %31 oranında artış meydana gelmiştir. Ancak, kapı boşluklu deney elemanlarının tamamında, maksimum taşıma gücündeki rijitlik de %13 ile %43 arasında değişen oranlarda artışlar sağlanmıştır. CFRP şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre %218 oranında ve çelik şerit ile onarılan orta hasarlı deney elemanın ağır hasarlı deney elemanına göre %19 oranında daha yüksek enerji tüketme kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Orta hasar gören deney elemanlarında CFRP şerit ile onarım tekniği ve ağır hasarlı deney elemanlarda çelik şerit ile onarım tekniğinin daha etkin olduğu görülmüştür.

Hasarlı deney elemanların onarılmasıyla, elde edilen dayanım değerinin referans deney elemanlarının dayanımına ulaştığı veya %118 kadar değişen oranlarda artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ağır düzeyde hasar görmüş deney elemanların onarımında, çelik şerit kullanımının CFRP şerit ile onarıma göre dayanım, rijitlik ve enerji tüketimi açısından daha etkin olduğu görülmüştür. Deney elemanlarının sol ve sağ dış kenarlarında kullanılan düşey çelik şeritlerin uç eleman olarak perde duvar gövdesini desteklemesi ve CFRP şeride göre çelik şeridin basınç altında da çalışması bu parametrelerde iyileşmenin oluşmasında etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, elemanların başlangıç rijitliğinin artırılmasında çelik şerit ile onarım tekniğinin kullanılmasının daha etkin olacağı düşünülmektedir. Ağır hasarlı deney elemanların CFRP şerit ile onarılmasıyla, rijitlik ve enerji tüketimi parametrelerinde referans deney elemanına göre artış görülememiştir. Orta düzeyde hasar gören deney elemanlarında ise CFRP ve çelik şerit ile onarılan deney elemanları karşılaştırıldığında; CFRP şerit ile onarılan deney elemanlarının sargılama etkisiyle daha yüksek enerji tüketimine ulaştığı görülmüştür. Ağır hasarlı boşluklu/boşluksuz perde duvarların çelik şerit ile ve orta hasarlı boşluklu/boşluksuz perde duvarların çelik şerit veya CFRP ile onarılması ile daha etkin bir davranış elde edileceği düşünülmektedir.

6.2. Öneriler

- Çalışma kapsamında kullanılan deney elemanlarının sayısının artırılması ile elde edilen verilerin doğrulamasının yapılması ve sonlu elemanlar modeli ile analiz edilerek boşluklu betonarme perde duvarların davranışı belirlenmelidir.

- Boşluksuz perde duvarlarda sadece pencere ve kapı boşlukları bırakılarak deney elemanları üretilmiştir. Sonraki çalışmalarda perde duvarlarda pencere-pencere, pencere-kapı ve kapı-kapı boşluğunun birlikte bulunduğu deney elemanların testlerinin yapılması önem arz etmektedir.

- Deney elemanlarında bırakılan boşluk ölçülerinin değiştirilmesi veya boşluğun bırakıldığı bölgenin perde duvar bölgesinde farklı konumlandırılarak testlerinin yapılması literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

- Deney elemanlarına uygulanan onarım tekniklerinin sayısı artırılarak farklı onarım tekniklerinin deney elemanın performansına etkisi ve onarım performansına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

- Deneysel çalışma kapsamında uygulanan CFRP ve çelik şerit tasarımının farklılaştırılması veya onarımda kullanılan CFRP, çelik şerit ve yapıştırıcı reçine gibi malzemelerin değiştirilerek deneylerin yapılması literatüre katkı sağlayacaktır.

- Deney elemanlarının onarımında fan tipi CFRP ankraj ve çelik ankrajlar kullanılmıştır. Daha önceki bölümlerde onarım/güçlendirme için kullanılan ankraj çeşitleri belirtilmiştir. Sonraki çalışmalarda kullanılan ankraj türü değiştirilerek; uygulanan ankrajların deney elemanın performansına olan üzerine etkisi incelenmelidir.

- Mimari nedenlerle perde duvar gövdesinde bırakılan veya açılan boşlukların yapı elemanlarında rijitlik ve enerji tüketimi bakımından azalma meydana geldiği literatürde belirtilmektedir. Bir sonraki deneysel çalışma kapsamında hasar görmeyen deney elemanların aynı teknikler ile güçlendirilmesi ve elde edilen veriler ile onarım arasındaki performans farkının ortaya çıkarılması literatüre büyük katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Murlidharan, T. L. (2003). *Economic consequences of catastrophes triggered by natural hazards*. PhD thesis, Stanford University The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford.

2. Demarchi, A. (2014). The seismic risk in Istanbul: an innovative assessment method. *A|Z ITU Journal of Faculty of Architecture,* 11(1), 76–98.

3. Kundak, S. (2011). Evaluation of Istanbul confronting with hazards. *Ensure Final Workshop.* Orleans Paris, France.

4. Köktürk, E., Köktürk, E., Özlüdemir, M. T., Çelik, R. N. (2008). An Investigation on to 'Squat and the Exemption of Unauthorized Buildings-Gecekondu' in Turkey. *Technology Chronicle SCI Journal,* 1(2), 81–85.

5. Parsons, T. (2004). Recalculated probability of M≥7 earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey. *Journal of Geophysical Research*, 109, 1-21.

6. Kalkan, E., Gülkan, P., Yılmaz Öztürk, N., Çelebi, M. (2008). Seismic hazard in the Istanbul Metropolitan Area: A preliminary re-evaluation. *Journal of Earthquake Engineering*, 12, 151-164.

7. Birinci, F. (2013). Türkiye'nin depremselliği ve yapı stoku yönünden mevzuat ve mali politikaların kentsel dönüşümünü zorlaştıran unsurları. *2th National conference on earthquake engineering and seismology*, Hatay.

8. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. (2019). *26 Eylül 2019 Silivri açıkları-İstanbul (Marmara Denizi) depremi basın bülteni*, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.

9. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. (2020). *24 Ocak Sivrice-Elazığ depremi basın bülteni*, İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.

10. Çakmak, C. (2018). *Modern ve geleneksel bölme duvarların deprem performansının deneysel olarak araştırılması.* Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

11. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (2007). *Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik (DBYBHY)*. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

12. Türkiye Cumhuriyeti Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY – 2018).* Ankara: AFAD.

13. Özdemir, A. (2015). *Hasarlı betonarme kolonların mantolama yöntemiyle güçlendirilmesi ve akustik emisyon yöntemiyle deneysel analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

14. Kalkan, E., Gülkan, P., Yılmaz Öztürk, N., Çelebi, M. (2013). Cyclic behavior of thin RC Peruvian shear walls: Full-scale experimental investigation and numerical simulation. *Engineering Structures*, 52, 153-167.

15. Wyllie, L. A., Abrahamson, N., Bolt, B., Castro, G., Durkin, M. E. (1986). The Chile Earthquake of March 3, 1985. *Performance of Structures*, Earthquake Spectra 2 (2), 293-371.

16. Kuang, J. S., Ho, Y. B. (2007). Enhancing ductility of non-seismically designed RC shear walls. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures & Buildings*, 160 (3), 139-149.

17. Greifenhagen, C., Papas, D., Lestuzzi, P. (2005). Static-cyclic tests on reinforced concrete shear walls with low reinforcement ratios, *Technical Report No. N4*, School of Architecture,Civil and Environmental Engineering, Ecole Polytechnique Federale De Lausanne, Lausanne.

18. Demeter, I. (2011). *Seismic retrofit of precast RC walls by externally bonded CFRP composites*. PhD Thesis, Politehnica University of Timisoara, Timisoara.

19. Centeno, J., Ventura, C., Brzev, S., Anderson, D., (2015). *Estimating sliding shear displacements in reinforced masonry shear walls*. The 11th Canadian conference on earthquake engineering, Victoria.

20. Salonikios, T. N., Kappos, A. J., Tegos, I. A. and Penelis, G. G. (1999). Cyclic load behavior of lowslenderness R/C walls: Design basis and test results. *ACI Structural Journal*, 96 (4), 649-660.

21. Irwin, C. A. K., (1975). Strengthening of concrete beams by bonded steel plates. *TRRL Supplementary Report 160 UC*, Bridge Design Divisio, Structural Dept., Crowthorne, Berkshire.

22. Jones, R., Swamy, R. N., Charif, A., (1988). Plate separation and anchorage of reinforced concrete beams strengthened by epoxy-bonded steel plates. *The Structure Engineering*, 66(5), 85-94.

23. Harries, K. A., Cook, W. D., Mitchell, D., (1996). Seismic retrofit of reinforced concrete coupling beams using steel plates. *ACI SP-160*, 6 (1), 93-114.

24. Sharpe, R., Ugrte, E. (1988). *Seismic strengthening of PALO ALTO Civic Centre*. Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Maruzen Co., Tokyo, 445–450.

25. Saheb, S. M., Desayi, P. (1990). Ultimate strength of RC wall panels with openings. *Journal of Structural Engineering*, 116, 1565-1578.

26. Elnashai, A. S., Salama A. I., (1992). Selective repair and retrofitting techniques for RC structures in seismic regions. *Engineering Seismology and Earthquake Engineering Section*, Imperial College, London.

27. McKenna, J. K., Erki, M. A. (1994). Strengthening of reinforced concrete flexural members using externally applied steel plates and fiber composite sheets-a survey. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21, 16-24.

28. Sharif, A., Hussain, M., Basunbul, I. A., Baluch, M. H., Al-Sulaimani, G. J. (1995). *Steel plate bonding as an external reinforcement to damaged R/C beams*. The Fourth Saudi Engineering Conference, Jeddah, 65–73.

29. Subedi, N. K., Baglin, P. S. (1998). External plate reinforcement for concrete beams. *Structural Engineering*, 124 (12),1490-1495.

30. Taghdi, M., Bruneau, M., Saatcioglu, M. (2000). Seismic retrofitting of low rise masonry and concrete walls using steel strip. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 126, 1017-1025.

31. CEN. (2005). Eurocode 8: Design of Structures For Earthquake Resistance—Part 3: Strengthening and Repair of Buildings. *European Committee for Standardisation*, Brussels.

32. ACI Committee 318-95. (1995). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (318R-95). *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan.

33. Salonikios, T. N., Kappos, A. J., Tegos, I. A., Penelis, G. G. (1999). Cyclic load behavior of low-slenderness RC walls: design basis and test results. *ACI Structural Journal*, 96, 649-660.

34. Riva, P., Meda, A., Giuriani, E. (2003). Cyclic behaviour of a full scale RC structural wall. *Engineering Structures*, 25, 835-845.

35. Marini, A., Meda, A. (2009). Cyclic behaviour of a full scale RC structural wall. *Engineering Structures*, 31, 3059-3064.

36. Lee, D. J. (2008). *Experimental and theoretical study of normal and high strength concrete wall panels with openings*. PhD Thesis, Griffith University, Queensland.

37. ABAQUS Inc. (2007). *ABAQUS/theory user manual*, Version 6.7.

38. Perry, A., Ahmed, M. M., Bryson, M. (2007). Test of high-rise core wall: effective stiffness for seismic analysis. *ACI Structural Journal*, 104 (5), 549-559.

39. Mostofinejad, D., Anaei, M. M. (2012). Effect of confining of boundary elements of slender RC shear wall by FRP composites and stirrups. *Engineering Structures*, 41, 1-13.

40. Altin, S., Kopraman, Y., Baran, M. (2013). Strengthening of RC walls using externally bonding of steel strips. *Engineering Structures*, 49, 686-695.

41. Mohammed, B. S., Ean, L. W., Malek, M. A. (2013). One way RC wall panels with openings strengthened with CFRP. *Construction and Building Materials*, 40, 575-583.

42. Mosoarca, M. (2014). Failure analysis of RC shear walls with staggered openings under seismic loads. *Engineering Failure Analysis*, 41, 48-64.

43. Husain, M., Eisa, A. S., Hegazy, M. M. (2019). Strengthening of reinforced concrete shear walls with openings using carbon fiber-reinforced polymers. *International Journal of Advanced Structural Engineering*, 11, 129-150.

44. Altin, S., Anil, Ö., Kopraman, Y., Kara, M. E. (2013). Hysteretic behavior of RC shear walls strengthened with CFRP strips. *Composites: Part-B*, 44, 321-329.

45. Zhang, H. M., Lu, X. L., Duan, Y. F., Zhu, Y. (2014). Experimental study failure mechanism of RC walls with different boundary elements under vertical and lateral loads. *Advances in Structural Engineering*, 17, 361-379.

46. Alarcon, C., Hube, M. A., Llera, J. C. (2014). Effect of axial loads in the seismic behavior of reinforced concrete walls with unconfined wall boundaries. *Engineering Structures*, 73, 13-23.

47. 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*. MS Thesis, Carleton University, Ottawa.

48. Lombard, J. C. (1991). *Seismic strengthening and repair of reinforced concrete shear walls using externally bonded carbon fiber tow sheets*. MS Thesis, Carleton University, Ottawa.

49. Cruz-Noguez, C., Lau, D., Sherwood, E. (2014). Seismic behavior of RC shear walls with externally bonded FRP sheets: Analytical studies. *Journal of Composites for Construction*, 18 (5), 04014011.

50. Bekő, A., Rosko, P., Wenzel, H., Pegon, P., Markovic, D., Molina, F. J. (2015). RC shear walls: Full-scale cyclic test, insights and derived analytical model. *Engineering Structures*, 102, 120-131.

51. Qazi, S., Michel, L., Ferrier, E., Limam, A. (2015). Strut-and-tie model for a reinforced concrete wall strengthened with carbon fibre-reinforced polymers. *Composite Structures*, 128, 87-99.

52. Todut, C., Dan, D., Stoian, V. (2015). Numerical and experimental investigation on seismically damaged reinforced concrete wall panels retrofitted with FRP composites. *Composite Structures*, 119, 648-665.

53. ACI Committee 318-14. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (318R-14). *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan.

54. İnceoğlu, Ç. (2016). *Betonarme perdelerin kesme dayanımının incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

55. 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*, 04016052.

56. Hung, C. C., Li, H., Chen, H. C. (2017). High-strength steel reinforced squat UHPFRC shear walls: Cyclic behavior and design implications. *Engineering Structures*, 141, 59-74.

57. Christidis, K. I., Trezos, K. G. (2017). Experimental investigation of existing non-conforming RC shear walls. *Engineering Structures*, 140, 26-38.

58. Popescu, C., Schmidt, J. W., Goltermann, P., Sas, G. (2017). Assessment of RC walls with cut-out openings strengthened by FRP composites using a rigid-plastic approach. *Engineering Structures*, 150, 585-598.

59. Woods, J. E., Lau, D. T., Bao, X., Li, W. (2017). Measuring strain fields in FRP strengthened RC shear walls using a distributed fiber optic sensor. *Engineering Structures*, 152, 359-369.

60. Mosallam, A. S., Nasr, A. (2017). Structural performance of RC shear walls with post-construction openings strengthened with FRP composite laminates. *Composite Structures*, 115, 488-504.

61. Behfarnia, K., Shirneshan, A. (2017). A numerical study on behavior of CFRP strengthened shear wall with opening. *Computers and Concrete*, 19-2, 179-189.

62. TS EN 206:2013+A1. (2017). Beton-Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

63. TS 13515. (2019). TS EN 206'nın Uygulanmasına Yönelik Tamamlayıcı Standart. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

64. ACI Committee 318-02. (2002). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-02). *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan.

65. TS 500. (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

66. ASTM E8/E8M-13a. (2013). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. *American Society for Testing and Materials*, Pennsylvania.

67. TS 708. (2016). Çelik - Betonarme İçin - Donatı Çeliği. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

68. İnternet: BASF. *MasterEmaco S 488 - Yapısal Tamir Harcı*. URL: https://assets.master-builders-solutions.com/tr-tr/masteremaco%C2%AE%20s%20488%20(eski%20ad%C4%B1%20emaco%C2%AE%20s88c)%20.pdf, Son Erişim Tarihi: 19.10.2020

69. İnternet: Sika. *SikaWrap -300 C – Ürün Teknik Bilgi Föyü*. URL: https://tur.sika.com/dms/getdocument.get/17a0e0ce-d173-3bc8-8caf-49157b8b72d0/Sika%20Wrap_300c_60%20TR%2020090824%20Rev%201.pdf, Son Erişim Tarihi: 19.10.2020

70. İnternet: Sika. *Sikadur -330 – Ürün Teknik Bilgi Föyü*. URL: https://tur.sika.com/dms/getdocument.get/07abc4e7-1f75-30c9-9d03-ce50aa044a81/dur_330_TR_23082006.pdf, Son Erişim Tarihi: 19.10.2020

71. İnternet: Sika. *Sikadur 31 – 2-bileşenli tiksotropik epoksi yapıştırıcı*. URL: http://www.heris.com.tr/Resimler/054f49a52eSikadur%2031%20TR%2020100308%20Rev02.pdf, Son Erişim Tarihi: 19.10.2020

72. Terzioğlu, T. (2008). *Experimental evaluation of the lateral load behavior of squat structural walls.* MS Thesis, Boğaziçi University Institute for Graduate Studies in Science and Engineering, İstanbul.

73. Tran, A. T., Wallace, J. W. (2012). *Experimental study of nonlinear flexural and shear deformations of reinforced concrete structural walls*. 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon.

74. Güllü, M. F., Horoz, B., Orakçal, K. (2015). *Betonarme perde duvarlarda bileşik eğilme ve kesme davranışının modellenmesi*. Sekizinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

75. Issa, C. A., Debs, P. (2007). Experimental study of epoxy repairing of cracks in concrete. *Construction and Building Materials*, 21, 157-163.

76. Topçu İ. B., Gürer, C. (2005). *Hasarlı betonarme kirişlerin epoksi ile onarılması*. Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

77. Kurt, E. G. (2010). *Investigation of strengthening techniques using pseudo-dynamic testing.* MS Thesis, Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.

78. Raofe, A. A. (2019). *Deprem etkisi altında mevcut betonarme binaların değerlendirilmesi ve güçlendirme teknikleri maliyet analizlerinin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

79. Rodriguez, M., Park, R. (1991). Repair and strengthening of reinforced concrete buildings for earthquake resistance. *Earthquake Spectra*, 7-3, 439-459.

80. Delatte, N. (2009). *Failure, distress and repair of concrete structures*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

81. Trinatafillou, T. C. (1998). Strengthening of structures with advanced FRPs. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 1-2, 126-134.

82. Priestley, M. J. N., Seible, F., Calvi, G-M. (1996). *Seismic design and retrofit of bridges*, John Wiley and Sons, New York.

83. Ehsani, M. R., Saadatmanesh, H. (1997). Fiber composites: An economical alternative for retrofitting earthquake-damaged precast-concrete walls. *Earthquake Spectra*, 13-2, 225-241.

84. ACI Committee 440.2R-02. (2002). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan.

85. Belarbi, A., Acun, B. (2013). FRP systems in shear strengthening of reinforced concrete structures. *Procedia Engineering*, 57, 2-8.

86. Lima, M. M., Doh, J-H., Miller, D. (2014). Experimental study of RC walls with opening strengthened by CFRP. *23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*, Byron Bay.

87. Risan, H. K., Harba, I. S. I., Abdulridha, A. J. (2017). Numerical analysis of RC wall with opening strengthened by CFRP subjected to eccentric loads. *Građevinar*, 69, 573-580.

88. Shen, D., Yang, Q., Jiao, Y., Cui, Z., Zhang, J. (2017). Experimental investigations on reinforced concrete shear walls strengthened with basalt fiber-reinforced polymers under cyclic load. *Construction and Building Materials*, 136, 217-229.

89. Antoniades, K. K., Salonikios, T. N., Kappos, A. J. (2005). Tests on seismically damaged reinforced concrete walls repaired and strengthened using fiber-reinforced polymers. *Journal of Composites for Construction*, 9, 236-246.

90. Antoniades, K. K., Salonikios, T. N., Kappos, A. J. (2007). Evaluation of hysteretic response and strength of repaired R/C walls strengthened with FRPs. *Engineering Structures*, 29, 2158-2171.

91. Lau, D. T., Woods, J. E., Hassan, A., Erochko, J., Cruz-Nuguez, C., Shaheen, I. (2019). Understanding the Seismic Behaviour of FRP Retrofitted RC ShearWalls: Past and Present. *In Concrete Structures in Earthquake-Springer*, Berlin, 151–165.

92. Woods, J. E. (2014). *Seismic retrofit of deficient reinforced concrete shear walls using fibre-reinforced polymer sheets: experimental study and anchor design.* MS Thesis, Ottawa-Carleton Institute of Civil and Environmental Engineering, Ottawa.

93. Wu, Z. M., Hu, C. H., Wu, Y. F., Zheng, J. J. (2011). Application of improved hybrid bonded FRP technique to FRP debonding prevention. *Construction and Building Materials*, 25, 2898-2905.

94. İnternet: Sika. *SikaWrap manual dry application – Method statement*. URL: https://lva.sika.com/dms/getdocument.get/a205dc60-33fb-3d87-991a-bbecacf102b1/MS_Sika Wrap_dry_app.pdf, Son Erişim Tarihi: 19.10.2020

95. Ashrafuddin, M., Baluch, M. H., Sharif, A., Al-Sulaimani, G. J., Azad, A. K., Khan, A. R. (1999). Peeling and diagonal tension failures in steel plated R/C beams. *Construction and Building Materials*, 13, 459-467.

96. Adhikary, B. B., Mutsuyoshi, H., Sano, M. (2000). Shear strengthening of reinforced concrete beams using steel plates bonded on beam web: experiments and analysis. *Construction and Building Materials*, 14, 237-244.

97. Altin, S., Anil, Ö., Kara, M. E. (2005). Improving shear capacity of existing RC beams using external bonding of steel plates. *Engineering Structures*, 27, 781-791.

98. Barnes, R. A., Mays, G. C. (2001). The transfer of stress through a steel to concrete adhesive bond. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 21, 495-502.

99. Köse, M., Özgen, K. (2003). Betonarme elemanların çelik lamalarla güçlendirilmesi. *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 2/1, 41-50.

100. Oh, B. H., Cho, J. Y., Park, D. G. (2003). Failure behaviour and separation criterion for strengthened concrete members with steel plates. *Journal of Structural Engineering ASCE*, 129 (9), 1191-1198.

101. Luo, Y., Li, A., Kang, Z. (2012). Parametric study of bonded steel–concrete composite beams by using finite element analysis. *Engineering Structures*, 34, 40-51.

102. Yuan, C., Chen, W., Pham, T. M., Hao, H., Chen, L., Zhang, M. (2020). New epoxy anchor for better bonding between FRP sheets and concrete, *Construction and Building Materials*, 248, 118628.

103. TS EN ISO 898-1. (2013). Bağlama Elemanlarının Mekanik Özellikleri - Karbon Çeliği ve Alaşımlı Çelikten İmal Edilmiş - Bölüm 1: Belirtilen Mukavemet Sınıfına Sahip Cıvatalar, Vidalar ve Saplamalar - Normal Diş ve İnce Adımlı Diş. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

104. DIN 976-1. (2016). Fasteners – Stud bolts – Part 1: Metric thread. *Deutsches Institut für Normung*, Berlin.

105. TS EN ISO 8502-4. (2017). Çelik Yüzeylerin Hazırlanması - Boya Ve İlgili Malzemelerin Uygulanmasından Önce – Yüzey Temizliği Değerlendirme Deneyleri - Bölüm 4: Boyanın Uygulanmasından Önce Yoğunlaşma Olasılığı Tayini İle İlgili Kılavuz. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

106. AS/NZS1170.0. (2002). Structural Design Actions – Part 0: General Principles. *Australian/New Zealand Standard*.

107. ACI Committee 374.1-05. (2005). Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary. *American Concrete Institute*, Farmington Hills, Michigan.

108. Kopraman, Y. (2010). *Tuğla dolgulu sünek olmayan betonarme çerçevelerin çelik şeritlerle güçlendirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

109. Maheri, M. R., Kousari, R., Razazan, M. (2003). Pushover tests on steel X-braced and knee-braced RC frames. *Engineering Structures*, 25, 1697-1705.

110. C. D. Comartin. (1996). ATC 40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. Technical Report SSC 96-01, *Applied Technology Council (ATC)*, California.

111. Sözen, M. A. (1987). *Towards A Behaviour Based Design of Reinforced Concrete Frames to Resist Earthquake*. 9th Technical Conference of Turkish Society of Civil Engineering, Ankara, 1-47.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : ÖZDEMİR, Anıl

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 06.07.1989, Altındağ

Medeni hali : Evli

Telefon : 0 (312) 202 89 95

Faks : 0 (312) 202 88 63

e-mail : anilozdemir@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2020
Yüksek lisans	Ege Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2015
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İktisat	2014
Lisans	Kocaeli Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2012
Lise	Mobil Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-Halen	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

A. Uluslararası/Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

1. Şermet, F., Özdemir, A. (2016). Investigation of punching behaviour of steel and polypropylene fibre reinforced concrete slabs under normal load. *Procedia Engineering*, 161, 458-465.

2. Özdemir, A., Ercan, E. (2017). Mantolama yöntemiyle güçlendirilmiş betonarme kolonların akustik emisyon yöntemiyle analizi. *Politeknik Dergisi*, 20(1),17-23.

3. Özdemir, A., Pınarlık, M., Ercan, E. (2017). Sürdürülebilir binalar için dünyada uygulanan devlet teşvikleri ve uygulamaların incelenmesi. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 10, 52-60.

4. Yiğit, M. E., Özdemir, A., Şermet, F., Pınarlık, M. (2018). Analysis of offshore wind turbine towers with different designs by finite elements method. *International Journal of Advanced Research in Engineering*, 4(3).

5. Kopraman, Y., Özmen, R. E., Özdemir, A., Özgedik, A. (2018). Çelik elemanlar ile güçlendirilen tuğla duvarların kayma davranışının araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(2), 471-476.

6. Çakmak, C., Kopraman, Y., Özdemir, A., Anıl, Ö., Gökdemir, A. (2020). Experimental investigation of hystretic behavior of non-structural dry gypsum infill walls. *Structures & Buildings*, 1-16.

7. Ghoroubi, R., Mercimek, Ö., Özdemir, A., Anıl, Ö. (2020). Experimental investigation of damaged square short RC columns with low slenderness retrofitted by CFRP strips under axial load. *Structures*, 28, 170-180.

8. Mercimek, Ö., Ghoroubi, R., Anıl, Ö., Çakmak, C., Özdemir, A., Kopraman, Y. (2020). Strength, ductility and energy dissipation capacity of RC column strengthened with CFRP strip under axial load. *Mechanics Based Design of Structures and Machines*.

B. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

1. Kopraman, Y., Özdemir, A. (2016). *Boşluk barındıran taşıyıcı ve dolgu duvarların düzlem içi davranışının irdelenmesi*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana.

2. Kardoğan, P. S. Ö., Pınarlık, M., Özdemir, A., Demircan, R. K. (2016). *Sismik yükler altında kazıklı ve blok tipi rıhtım yapısının davranışının irdelenmesi*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana.

3. Demircan, R. K., Özdemir, A., Kardoğan, P. S. Ö., Pınarlık, M. (2016). *Tarihi yapıların sürdürülebilirliği kapsamında taşıma yöntemlerinin irdelenmesi*. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress, Adana.

4. Ercan, E., Hökelekli, E., Özdemir, A. (2017). *Dynamic analysis of a reinforced-concrete post tensioned wind turbine tower*. 3rd International Sustainable Buildings Symposium, Dubai.

5. Ercan, E., Arısoy, B., Demir, A., Özdemir, A. (2017). *Analysis of strengthened composite beams under flexural stress*. 3rd International Sustainable Buildings Symposium, Dubai.

6. Kopraman, Y., Özdemir, A., Çakmak, C. (2017). *Kuru alçı duvar sistemlerinin ulusal ve uluslararası standart ve yönetmelikler kapsamında irdelenmesi*. 1st International Turkish World Engineering and Science Congress, Antalya.

7. Kopraman, Y., Özdemir, A., Çakmak, C. (2017). *Taşıyıcı olmayan kuru alçı duvar sistemlerinin deprem performanslarının deneysel olarak incelenmesi*. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir.

8. Özdemir, A., Şermet, F., Yiğit, M. E., Arısoy, B., Ercan, E. (2017). *Static analysis of different type of wind turbine towers*. The international conference on wind energy harvesting, Coimbra.

9. Kopraman, Y., Çakmak, C., Özdemir, A. (2019). *Evaluation of tensile strength of different mortar and adhesive specimens used in masonry wall construction*. 4th International Sustainable Buildings Symposium, Dallas.

10. Armakan, F,. Özdemir, A., Anıl, Ö., Kopraman, Y. (2019). *Ankrajlı çelik şeritler ile beton yüzey arasındaki kayma gerilmesi-kayma deplasmanı davranışının deneysel olarak incelenmesi*. 2nd International Turkish World Engineering and Science Congress, Antalya.

11. Mercimek, Ö., Ghoroubi, R,. Özdemir, A., Anıl, Ö., (2020). *Strengthening of columns with different innovative composite materials for RC buildings without sufficient earthquake resistance*. International Conference on Advanced Materials Science & Engineering and High Tech Devices Applications; Exhibition, Ankara.

Projeler

1. Araştırmacı, İnşaat Mühendisliğinde Uygulamalı Eğitime Yönelik Altyapı ve Laboratuvar İmkanlarının Geliştirilmesi, *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi,* Altyapı Projesi, (2015-2017).

2. Araştırmacı, Modern ve Geleneksel Bölme Duvar Elemanlarının Malzeme Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi,* Yüksek Lisans Tez Projesi, (2018-2019).

3. Bursiyer, Eş/Dış Merkezli Çekme Etkisindeki Beton-Çelik Yapışma Arayüzeyinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *TÜBİTAK,* 1002 Hızlı Destek Projesi, (2019-2020).

4. Araştırmacı, Hasar Görmüş Boşluklu Perdelerin Onarılma Potansiyelinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi*, Doktora Tez Projesi, (2019-2021).

5. Araştırmacı, Bazalt Esaslı FRP (BFRP) Şeritlerle Onarılan Kesme Yetersiz Betonarme Kirişlerin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi*, Ar-Ge Projesi, (2019-2021).

Ödüller

1. TTO IV. İş Fikri Yarışması Proje Teşvik Ödülü. (2016). *Gazi Teknoloji Transfer Ofisi*, Ekip Lideri.
2. Çalışma Ödülü. (2017). *The British University of Dubai*, Sempozyum Görevlisi.
3. Çalışma Ödülü. (2019). *Texas Tech University*, Sempozyum Görevlisi.

Hobiler

Puzzle yapmak, Yüzme, Bahçe işleri



GAZİ GELECEKTİR...