

**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

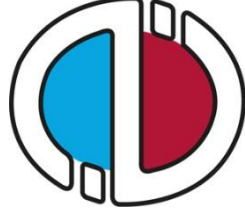
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**CFRP ŞERİTLER İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME
KOLONLARIN EKSENEL YÜK ETKİSİ ALTINDAKİ
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Güven KANDEMİR
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN**

**BİLECİK, 2018
Ref. No.: 10226407**



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

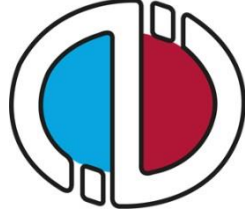
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**CFRP ŞERİTLER İLE GÜÇLENDİRİLEN BETONARME
KOLONLARIN EKSENEL YÜK ETKİSİ ALTINDAKİ
DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**Güven KANDEMİR
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN**

**BİLECİK, 2018
Ref. No.: 10226407**



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Graduate School of Sciences
Civil Engineering**

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR
OF THE CONCRETE COLUMNS STRENGTHENED BY
CFRP STRIPS UNDER THE AXIAL LOAD EFFECT**

**Güven KANDEMİR
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. Özlem ÇALIŞKAN**

**BİLECİK, 2018
Ref. No.:1022640**



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 05/12/2018 tarih ve 71 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24/12/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Güven KANDEMİR'in "CFRP Şeritler ile Güçlendirilen Betonarme Kolonların Eksenel Yük Etkisi Altındaki Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI): Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN

ÜYE : Prof. Dr. Nevzat KIRAÇ

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANI:
Doç. Dr. Nazile URAL**

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.....tarih ve sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgisini ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, yol gösterici, teşvik edici ve öğretici değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN'a öncelikle teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışmalarında büyük yardımları bulunan Arş. Gör. Murat ARAS'a, destek ve imkanlarını esirgemeyen Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Özgür ANIL'a ve öğrencilerine, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi 2016-01-BŞEÜ.03-07 "kolon onarım/güçlendirme yöntemleri" isimli Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında yapılmıştır. Katkılarından dolayı BAP'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her türlü desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyerek yanımda olan çok kıymetli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Güven KANDEMİR

ÖZET

Bu çalışma kapsamında Karbon Takviyeli Elyaf Kumaş (CFRP) şeritler ile değişik şekillerde geliştirilen detaylar kullanılarak kare kesitli betonarme kolonların eksenel yük kapasitelerinin artırılması üzerine deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Geliştirilen güçlendirme detaylarında betonarme kolonların eksenel yük düzeylerinde artış meydana getirirken deprem performansları üzerinde de olumsuz etkiler yaratmamak için deplasman süneklik kapasitelerinde ve enerji tüketim kapasitelerinde artış meydana getirebilecek, bu özellikleri olumsuz etkilemeyecek özellikte güçlendirme detaylarının geliştirilmesi çalışmanın temel amacıdır. Geliştirilen güçlendirme detayları düşük beton basınç dayanımına sahip, yeterli düzeyde sargılama donatısı olmayan, yönetmeliklere uygun olarak tasarlanmamış, eksenel yük düzeyi düşük kare kesitli bir betonarme kolona uygulanmıştır. Bu yetersiz eksenel yük düzeyi olan kolonun Karbon Takviyeli Elyaf Kumaş (CFRP) şeritler ile değişik düzenlerde sargılanarak eksenel yük taşıma gücünün arttırılması hedeflenmiştir. Çalışmada incelenen temel değişkenler sargılamada kullanılan CFRP şerit genişliği, CFRP şeritlerin aralığı, CFRP şeritlerde sargılama bindirme bölgesinde ankraj kullanılıp kullanılmaması ve güçlendirme detayında CFRP şeritlerin kolon eksenine yatay veya dik olarak yerleştirilmesidir. Deneysel çalışmada 150x150x500 mm boyutlarında biri güçlendirilmemiş referans olmak üzere toplamda 11 adet betonarme kolon deney elemanı üretilmiş ve göçene kadar monotonik eksenel yükleme etkisi altında test edilmiştir. Deney elemanlarının eksenel yük-deplasman grafikleri çizilerek, taşıma güçleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanarak deneysel çalışma kapsamında incelenen değişkenlerin betonarme kolonların eksenel yükleme etkisi altındaki davranışlarını ne düzeyde etkiledikleri ve güçlendirme için geliştirilen detayların performansları incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Kolon, CFRP, Güçlendirme, Eksenel Yükleme.

ABSTRACT

In this study, it was aimed to increase the axial load capacities of square cross-section reinforced concrete columns by using differently shaped details with carbon fiber textile composite (CFRP) strips and an experimental study was carried out. The main purpose of the study is to develop strengthening details that will not adversely affect properties such as displacement ductility capacities and energy consumption capacities to avoid adverse effects on earthquake performances. Improved strengthening details have been applied to a square cross section reinforced concrete column with low axial load capacity, low compressive strength of concrete and inadequate amount of stirrups, which is not designed according to regulations. It is aimed to increase the axial load carrying capacity of column by wrapping column with carbon fiber textile composite (CFRP) strips. The main variables examined in the study are the CFRP strip width, the spacing of CFRP strips, the use of anchorage in the overlap zone in CFRP strips, and the placement of CFRP strips horizontally or vertically on the column axis. In the experimental study, eleven reinforced concrete column specimens with dimensions of 150x150x500 mm were produced, one specimen being nonstrengthened reference specimen. These specimens were exposed to monotonic loading until collapse. Axial load-displacement graphs of the test elements are drawn. The ultimate axial load capacity, initial stiffness, displacement ductility ratios and energy dissipation capacities of the test specimens were calculated. It was investigated how the variables in the experiments affected the behavior of the columns. The performances of the details developed for strengthening have been examined and interpreted.

Keywords: RC column; CFRP, Strengthened, Aial Load.

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa No |
|---|-----------|
| TEŞEKKÜR | |
| ÖZET..... | I |
| ABSTRACT | II |
| İÇİNDEKİLER | III |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | V |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | VI |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | IX |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. LİTERATÜR ÖZETİ | 3 |
| 3. MATERYAL VE METOT | 10 |
| 3.1. Deney Elemanlarının Özellikleri..... | 10 |
| 3.1.1. Genel özellikler..... | 11 |
| 3.1.2. Deney elemanı-2'nin özellikleri | 12 |
| 3.1.3. Deney elemanı-3'ün özellikleri | 13 |
| 3.1.4. Deney elemanı-4'ün özellikleri | 14 |
| 3.1.5. Deney elemanı-5'in özellikleri | 15 |
| 3.1.6. Deney elemanı-6'nın özellikleri | 16 |
| 3.1.7. Deney elemanı-7'nin özellikleri | 17 |
| 3.1.8. Deney elemanı-8'in özellikleri | 18 |
| 3.1.9. Deney elemanı-9'un özellikleri | 19 |
| 3.1.10. Deney elemanı-10'un özellikleri | 20 |
| 3.1.11. Deney elemanı-11'in özellikleri | 21 |
| 3.2. Malzeme | 22 |
| 3.2.1. Beton..... | 22 |
| 3.2.2. Donatı | 22 |
| 3.2.3. CFRP ve kimyasal yapıştırıcı | 23 |
| 3.3. Numune hazırlığı..... | 26 |
| 3.4. Deney Düzenegi | 31 |
| 4. DENEY SONUÇLARI..... | 33 |
| 4.1. Deney Elemanı-1 | 33 |

| | |
|---|--------------|
| 4.2. Deney Elemanı-2..... | 35 |
| 4.3. Deney Elemanı-3..... | 37 |
| 4.4. Deney Elemanı-4..... | 39 |
| 4.5. Deney Elemanı-5..... | 41 |
| 4.6. Deney Elemanı-6..... | 43 |
| 4.7. Deney Elemanı-7..... | 45 |
| 4.8. Deney Elemanı-8..... | 47 |
| 4.9. Deney Elemanı-9..... | 49 |
| 4.10. Deney Elemanı-10..... | 51 |
| 4.11. Deney Elemanı-11..... | 53 |
| 5. DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE YORUMLANMASI | 55 |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 61 |
| 7. KAYNAKLAR | 64 |
| 8. ÖZGEÇMİŞ..... | |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | Sayfa No |
|--|-----------------|
| Çizelge 3.1. Deney elemanlarının özellikleri..... | 11 |
| Çizelge 3.2. 1 m ³ beton için gerekli malzeme miktarları. | 22 |
| Çizelge 3.3. Donatıların mekanik özellikleri. | 23 |
| Çizelge 3.4. Kullanılan CFRP'nin özellikleri. | 24 |
| Çizelge 3.5. Kullanılan yapıştırıcının özellikleri. | 25 |
| Çizelge 5.1. Deney Sonuçları. | 55 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa No |
|---|-----------------|
| Şekil 3.1. Deney elemanlarının geometrik boyutları ve donatı detayı (mm). | 10 |
| Şekil 3.2. Deney elemanı-2'ye uygulanan güçlendirme detayı. | 12 |
| Şekil 3.3. Deney elemanı-3'e uygulanan güçlendirme detayı. | 13 |
| Şekil 3.4. Deney Elemanı-4'e uygulanan güçlendirme detayı. | 14 |
| Şekil 3.5. Deney Elemanı-5'e uygulanan güçlendirme detayı. | 15 |
| Şekil 3.6. Deney Elemanı-6'ya uygulanan güçlendirme detayı. | 16 |
| Şekil 3.7. Deney elemanı-7'ye uygulanan güçlendirme detayı. | 17 |
| Şekil 3.8. Deney elemanı-8'e uygulanan güçlendirme detayı. | 18 |
| Şekil 3.9. Deney elemanı 9'a uygulanan güçlendirme detayı. | 19 |
| Şekil 3.10. Deney elemanı-10'a uygulanan güçlendirme detayı. | 20 |
| Şekil 3.11. Deney elemanı-11'e uygulanan güçlendirme detayı. | 21 |
| Şekil 3.12. Deney elemanlarında kullanılan CFRP fan tipi ankraj detayı (mm). | 26 |
| Şekil 3.13. Deney elemanlarının dökülmesinden kullanılan kalıp sistemi. | 27 |
| Şekil 3.14. Kalıpların yağlanması. | 27 |
| Şekil 3.15. Deney elemanlarının donatı kafesleri. | 28 |
| Şekil 3.16. Deney elemanlarının beton dökümü ve sıkıştırılması. | 28 |
| Şekil 3.17. Deney elemanlarının beton dökümü sonrası korunması. | 29 |
| Şekil 3.18. Deney elemanlarına kalıptan çıkarıldıktan sonra kür uygulanması. | 29 |
| Şekil 3.19. CFRP yapışma yüzeylerinin taşlanması. | 30 |
| Şekil 3.20. CFRP yapışma yüzeylerinin temizlenmesi ve işaretlenerek hazırlanması. | 30 |
| Şekil 3.21. CFRP yapıştırma işlemi tamamlanmış deney elemanları. | 31 |
| Şekil 3.22. Deney Düzenegi. | 32 |
| Şekil 4.1. Deney elemanı-1 yük-deplasman grafiği. | 34 |
| Şekil 4.2. Deney elemanı-1 kabuk betonun ezilmesi. | 34 |
| Şekil 4.3. Deney elemanı-1 boyuna donatılarının burkulması ve göçmesi. | 34 |
| Şekil 4.4. Deney elemanı-2 yük-deplasman grafiği. | 35 |
| Şekil 4.5. Deney elemanı -2 alt ucunda betonda ezilme. | 36 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.6. Deney elemanı-2 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 36 |
| Şekil 4.7. Deney elemanı-3 yük-deplasman grafiği. | 37 |
| Şekil 4.8. Deney elemanı -3 üst ucunda betonda ezilme..... | 38 |
| Şekil 4.9. Deney elemanı-3 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 38 |
| Şekil 4.10. Deney elemanı-4 yük-deplasman grafiği. | 39 |
| Şekil 4.11. Deney elemanı -4 alt ucunda betonda ezilme..... | 40 |
| Şekil 4.12. Deney elemanı-4 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 40 |
| Şekil 4.13. Deney elemanı-5 yük-deplasman grafiği. | 41 |
| Şekil 4.14. Deney elemanı -5 alt ucunda betonda ezilme..... | 42 |
| Şekil 4.15. Deney elemanı-5 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 42 |
| Şekil 4.16. Deney elemanı-6 yük-deplasman grafiği. | 43 |
| Şekil 4.17. Deney elemanı -6 üst ucunda betonda ezilmesi. | 44 |
| Şekil 4.18. Deney elemanı-6 CFRP şeridin yüzeyden soyulması sonucunda göçmesi..... | 44 |
| Şekil 4.19. Deney elemanı-7 yük-deplasman grafiği. | 45 |
| Şekil 4.20. Deney elemanı-7 alt ucunda betonda ezilme..... | 46 |
| Şekil 4.21. Deney elemanı-7 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 46 |
| Şekil 4.22. Deney elemanı-8 yük-deplasman grafiği. | 47 |
| Şekil 4.23. Deney elemanı-8 üst ucunda betonda ezilme..... | 48 |
| Şekil 4.24. Deney elemanı-8 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 48 |
| Şekil 4.25. Deney elemanı-9 yük-deplasman grafiği. | 49 |
| Şekil 4.26. Deney elemanı -9 üst ucunda betonda ezilmesi. | 50 |
| Şekil 4.27. Deney elemanı-9 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 50 |
| Şekil 4.28. Deney elemanı-10 yük-deplasman grafiği. | 51 |

| | |
|---|----|
| Şekil 4.29. Deney elemanı -10 üst ucunda betonda ezilmesi. | 52 |
| Şekil 4.30. Deney elemanı-10 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi..... | 52 |
| Şekil 4.31. Deney elemanı-11 yük-deplasman grafiği. | 53 |
| Şekil 4.32. Deney elemanı -11 üst ucunda betonda ezilmesi. | 54 |
| Şekil 4.33. Deney elemanı-11 CFRP şeridin yüzeyden soyulması sonucunda göçmesi..... | 54 |
| Şekil 5.1. Başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesinin hesaplanması için kullanılan yaklaşım. | 56 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|-----------------|---|
| CFRP | : Karbon Takviyeli Elyaf Kumaş |
| sf | : CFRP Şeritlerin Eksenden Eksene Aralığı |
| TS | : Türk Standartları |
| wf | : CFRP Şerit Aralığı |

1. GİRİŞ

Betonarme yapılarda yatay deprem yükleri ve düşey statik yükler etkisi altında yapının önemli taşıyıcı elemanları olan kolonların aksel yük düzeylerinde çeşitli nedenlerden dolayı artış meydana gelebilmekte ve güçlendirilmeleri gereklilikleri ortaya çıkabilmektedir. Betonarme yapılarda veya köprülerde tasarım aşamasında ön görüldenden daha büyük düzeyde deprem yüklerinin yapıya etkimesi, yapının kullanım amacının değişmesi ya da zamanla artan trafik gibi etkilerden dolayı yapılardaki düşey taşıyıcı elemanların aksel yük düzeylerinin artması, yapılarda meydana gelebilecek üretim hataları veya çevresel etkilerden dolayı herhangi bir kolonun hasar alması ile diğer kolonlara gelen aksel yük düzeylerinin artması vb. birçok nedenden dolayı düşey taşıyıcı betonarme kolonların aksel yük düzeylerinde artışlar meydana gelebilmekte ve güçlendirilmesi ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir.

Betonarme kolonların güçlendirilmesinde betonarme donatılı yeni bir katman eklenmesi ile mantaloma tekniği, çelik elemanlar ile betonarme kolonların sargılanması gibi birçok teknik kullanılmış ve bu konuda oldukça geniş kapsamlı çalışmalar literatürde yer almıştır. Bu teknikler güçlendirme amacıyla yapıya eklenen yeni yapısal elemanların betonarme yapının mevcut ağırlığını önemli oranda artırması, yapıda yapılması gereken üretim işleminin oldukça uzun zaman alması ve yapı içerisinde yaşayanları uzun süre rahatsız ederek yapı kullanımını geciktirmesi, tekniklerin uygulanması için çok hassas düzeyde işçilik ve uygulama becerisinin gerekliliği, uygulandıkları yapı elemanının mimari boyutlarını değiştirmeleri nedeniyle yapı kullanım alanını küçültmeleri, yağmur gibi çevresel etkilerden etkilenerek korozyona uğramamaları için özel önlemlerin gerekliliği, yangın gibi durumlarda önemli düzeyde hasar almaları gibi birçok nedenden dolayı terkedilmiş ve Karbon Takviyeli Elyaf Kumaşlar (CFRP) ile güçlendirme son 15 yıl içerisinde giderek inşaat mühendisliği uygulamalarına giriş yapan yenilikçi bir yöntem olmuştur. CFRP malzemesi, kullanımı ve yerleştirilmesinin kolay olması, son derece hafif ve ince yapılı bir malzeme olması nedeniyle, uygulandıkları yapı elemanının boyutlarını değiştirmemesi, ağırlığının azlığı nedeniyle kolay uygulanarak yapı ağırlığını değiştirmemesi, su gibi çevresel etkilerden etkilenmemesi gibi olumlu yönleriyle özellikle güçlendirme çalışmaları ve detaylarının geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. CFRP malzemesinin güçlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılması bu konuda yapılan araştırma

çalışmalarını da arttırmıştır. Betonarme kolonlar üzerinde CFRP malzemesi kullanılarak yürütülen çalışmalar da artış göstermiştir. Bu çalışma kapsamında da yetersiz sargılama donatısına sahip, düşük beton dayanımlı, kare kesitli betonarme kolonların eksenel yük taşıma gücü kapasitesini artırmak için CFRP şeritler kullanılarak geliştirilen güçlendirme detaylarının performanslarının incelenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada amaçlanan temel tasarım yaklaşımı; düşük beton basınç dayanımlı ve sargılama donatısı yetersiz olan betonarme kolonların eksenel yük taşıma gücünü arttırırken aynı zaman deplasman, süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi gibi önemli özelliklerini de mümkün oldukça olumsuz etkilemeyecek bir güçlendirme detayının geliştirilmesidir.

Çalışma kapsamında bir tanesi güçlendirilmemiş referans elemanı olmak üzere toplam 11 adet 150x150x500 mm boyutlarında kare kesitli betonarme kolon deney elemanı üretilmiş ve monotonik artan eksenel yük altında göçene kadar yüklenerek test edilmiştir. Deneysel çalışmada araştırılan değişkenler kolonda güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şeritlerin kolon eksenine dik veya paralel olarak konumlandırılması, kolon eksenine dik sargılama etkisi yaratacak şekilde yerleştirilen CFRP şeritlerin genişlikleri ve şerit aralıkları ile CFRP şeritlerde üst üste bindirme bölgesinde ankraj kullanılıp kullanılmamasıdır. Deneysel çalışma sonucunda betonarme kolonların eksenel yük-deplasman grafikleri çizilerek, taşıma güçleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanarak, kolonların güçlendirilmesi için kullanılan detayların performansları yorumlanmış ve karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Giriş bölümünde de ifade edildiği gibi betonarme kolonların güçlendirilmesinde kullanılan betonarme mantolama veya çelik elemanlar ile sargılama teknikleri üzerinde çok sayıda araştırmanın yapıldığı deneysel, analitik ve nümerik çalışmalar mevcuttur. Ancak inşaat mühendisliği uygulamalarına son 15 yıldır yeni yeni giren CFRP malzemesinin kullanıldığı ve araştırıldığı çalışmalar çok daha sınırlı sayıdadır. Bu çalışma kapsamında yenilikçi olarak geliştirilen güçlendirme detaylarının araştırıldığı, özellikle CFRP şeritlerin bindirme bölgesinde kullanılan yüzeyden soyulmayı geciktirmek amacıyla kullanılan ankrajlı güçlendirme detaylarının incelendiği herhangi bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Ancak konu ile bire bir ilgili olmasa da betonarme kolonların güçlendirilmesi için CFRP malzemesinin kullanıldığı önemli ve çalışmaya yakın konuda araştırmalardan seçilen bazı örnekler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Higashi vd., (1980) laboratuvar koşullarında 13 adet tek katlı ve tek açıklıklı, çeşitli dolgu tipleriyle güçlendirilmiş betonarme çerçeveleri test etmiştir. Çalışmada betonarme binaların güçlendirilmesinde iki temel husus üzerinde durulmuştur. Betonarme binaların dayanımlarının artırılması ve plastik deformasyonlarla deprem enerjisinin yutulması için sünekliğinin artırılması. Güçlendirme metotları için yerinde dökme betonarme dolgular, kapı boşluklu ön dökümlü beton bölmeler, çelik çaprazlar, çelik çerçeve ve çelik kafes yaklaşımları uygulanmıştır. Bütün düzenekler yinelenen tersinir yükleme altında test edilmiştir. Genel olarak güçlendirilen bütün düzeneklerin yatay yük taşıma kapasitesinin güçlendirilmemiş çerçeveninkinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Ön döküm beton panelli ve yerinde döküm betonarme dolgulu düzeneklerin dayanımları güçlendirilmemiş çerçeveye göre 3-4 kat daha fazla olmuştur. Çelik çerçeve ve çelik çaprazlarla güçlendirilen düzeneklerin, ön döküm beton panel uygulanan düzenekler kadar sünek olduğu görülmüştür.

Kawamata ve Ohnuma (1980) çalışmalarında Sendai'de bulunan Tohoku Teknoloji Enstitüsü bünyesindeki mevcut bir binayı ele almışlardır. Bu bina 1978 Miyagi-ken-Oki depreminden sonra hasar görmüştür. Sekiz katlı, betonarme çerçeveli bu bina düşey yönde dış merkezli olmak üzere dış yüzünden çelik çaprazlar ile giydirilmiştir. Yazarlar çalışmalarında dışmerkez çaprazların davranışını, çapraz-çerçeve birleşimlerinin dayanımlarını ve derin dış kirişler üzerindeki etkilerini

araştırmışlardır. Bahsi geçen 8 katlı betonarme bina onarılmış, güçlendirilmiş ve depremden sonraki 10 ay içinde hizmete açılmıştır. Binanın hasar görmesinin sebebi kuzey yönde kesme ve eğilme göçmesine maruz kalmasıdır. Bunun sebebi ise çerçevelerin bu yönde yetersiz dayanıma sahip olması ve perde duvarının bulunmamasıdır. İlave edilen çaprazlar ile binanın rijitliği yeterli derecede artırılmıştır.

Endo vd., (1984) Japonya'daki mevcut binaların depreme karşı onarım ve güçlendirilmelerinin uygulamalarını araştırmışlardır. 157 farklı uygulamanın onarım ve güçlendirme tekniği hakkında genel veriler toplamışlardır. Verilere göre bina kolonlarının çoğu kesme etkisinden dolayı hasar görmüştür. Hasarlı binaların çoğu, kolonların onarımı ve perde duvarları ekleyerek güçlendirilmiştir. Söz konusu çalışmada binaların deprem performansının geliştirilmesi için yatay yüke karşı yapının gücünün artırılması, elemanların kesmeden dolayı hasar görmelerinden kaçınarak yapının sünekliğinin artırılması, bina ağırlığındaki artışın minimize edilmesi hedeflenmiştir. Araştırmacılar Japonya'da yapılan 157 uygulamanın güçlendirme tekniklerini gösteren bir grafik hazırlamışlardır. Buna göre onarıp sağlamlaştırılan binaların % 85'inde deprem perdeleri kullanılmıştır. Binaların % 33'ü kolon mantolaması, % 27'si kanat duvarların eklenmesi ile güçlendirilmiştir. Binaların sadece % 2'si çelik çapraz elemanlarla güçlendirilmiştir.

Chronopulos (1986), çalışmasında onarılmış/güçlendirilmiş betonarme kolonların tersinir yük altındaki davranışını incelemiştir. Çalışmada üç değişik teknik kullanmıştır. Eşit kesit metodu ile güçlendirme (aynı dayanımı sağlayabilmesi için lokal hasar görmüş çeliğin ve betonun yenilenmesi), sarmalama ile güçlendirme (ısıtılmış ve gerilmiş bilezik kullanımı) ve mantolama ile güçlendirme (yerinde döküm veya püskürtme beton ile). Yapılan deneylerin sonuçlarını hasar öncesi ve sonrası dayanımı, rijitlik ve düktilite oranlarını şekillendirerek ifade etmiştir. Bu çalışma sonucunda güçlendirilen kolonların mekanik karakterlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Suleyman (1991), çalışmasında mantolanarak güçlendirilen betonarme kolonların aksenal yük ve tek eğrilikli eğilme altındaki davranışı ve dayanımını deneysel olarak incelemiştir. Beş deney elemanından üçü tersinir yük altında denenmiş ve sonra bu elemanlar mantolanarak tekrar deneye tabi tutulmuştur. Oluşan hasarlara göre onarım ya da güçlendirme adı verilmiştir. Bu elemanlara ek olarak iki adet hasarsız referans elemanı daha denenmiştir. Deney elemanları dayanım, süneklik, enerji tüketimi

ve rijitlik bakımından incelenmiştir. Sonuçta; mantolama yöntemiyle güçlendirilen elemanlar hem monotik hem de tersinir yük altında referans alınan hasarsız elemanlar kadar iyi davranmıştır. Onarılan elemanlarda ise rijitlik ve dayanım azalması görülmüştür.

Chajes vd., (1995), çalışmalarında betonarme kirişlerin kesme kuvvetine karşı güçlendirilmesi için dıştan uygulanan kompozit yapıları incelemiştir. Çalışmada 12 adet T kirişten oluşan betonarme eleman incelenmiştir. Kullanılan kompozit yapılar aramid, cam yünü ve fiber grafittir. Bu üç malzeme T kirişlerin etrafına sarılarak uygulanmıştır. Seçilen üç malzemenin de rijitlik ve dayanımları farklıdır. Yapılan deney sonucunda 12 kirişin 8'inde bir dayanım artışı olmazken aramid ile güçlendirilen 4 ünde % 60 ila 150 arasında değişen bir dayanım artışı ile karşılaşmıştır.

Ziraba ve Baluch (1995), çalışmalarında betonarme kirişlerin güçlendirilmesi için epoksi yardımıyla çelik levha yapıştırma yöntemini benimsemiştir. Çalışmada güçlendirilen betonarme kirişlerin kesme kuvveti etkisindeki davranışı sonlu elemanlar yardımıyla irdelenmiştir. Modellerde özel bir ara yüzey elemanı rolü oynayan ince tabaka halindeki epoksi yapıştırıcısı yardımıyla plakanın başkalaşması sağlanarak plakanın dayanımı artırılmıştır.

Pincheria ve Jirsa (1995) çalışmalarında sünek olmayan betonarme çerçeveler için değişik güçlendirme tekniklerinin performanslarını üç prototip binanın inelastik, statik ve dinamik analizlerini kullanarak araştırmışlardır. Bu binalar tipik donatı detaylarına sahip eski binalar olup, düşük ve orta yükseklikteki binalardır. Amerika'nın deprem kuşağında bulunan bu binalarda güçlendirme metotları olarak öngermeli gergiler, yapısal çelik çaprazlar ve betonarme dolgu duvarlar kullanılmıştır. Dinamik analizler, etkili depremlerin zemin hareketleri kullanılarak zayıf ve sağlam zemin koşulları altında yapılmıştır. Orijinal binaların ve güçlendirilmiş binaların deprem davranışlarını, maksimum deplasmanlarını, kat ötelemelerini ve eleman davranışlarını göz önüne alarak değerlendirmişlerdir. Yazarların neticede vardıkları sonuç ise binaların depreme karşı davranışlarını iyileştirmek için tek bir çözüm olmadığıdır. Bununla beraber yeterli performansın, düşey yükleri taşıyan elemanlara önemli hasar vermeyecek yatay ötelemelerin limitlendirilmiş seviyeler için elde edildiğini göstermişlerdir.

Stonehouse vd., (1999), yayınladıkları makalelerinde, betonarme perdeli sistemlerin sismik etkilere dayanımını inceleyen araştırmalarının sonuçlarını ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada yatay kuvvete maruz perdeli ve perdesiz yapılarda oluşabilecek hasarların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Örneklerden birinde burulma etkisi dikkate alınmış, diğerlerinde ise dikkate alınmamıştır.

Adhikary vd., (2000), yaptıkları çalışmada betonarme taşıyıcı sistemde, kirişlere dış yüzeylerinden yapıştırılan sürekli çelik lamaların, kesme gerilmesi mukavemetini önemli ölçüde arttırdığını görmüşlerdir. Elde edilen bu mukavemet artışının, çelik lamaların kalınlık ve genişliğinin artırılması ile orantılı olduğu deneysel olarak gösterilmiştir. Bu çalışmalar sonucu, çelik lama boyutları her defasında artırılarak güçlendirilen ve mukavemet artışları tespit edilen kirişlerin, normal kirişlere göre kesme mukavemetlerinde en fazla % 84 oranında artış sağlanabilmiştir.

Ghobarah vd., (2000), çalışmasında mevcut bir betonarme ofis binasının deprem performansını, yanal deplasman, hasar seviyeleri cinsinden ve aynı zamanda lineer olmayan itme analiziyle performans eğrisini elde ederek değerlendirilmiştir. Bina kolonları için kolon dayanımını, düktilitesini ve rijitliğini artıran farklı güçlendirme stratejileri geliştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçları betonarme kolonların dayanımının veya rijitlikle beraber dayanımının artırılmasının gerek yanal deplasman ve hasar seviyelerinin azaltılması gerekse statik itme analizinin performansının iyileştirilmesi açısından en uygun teknik olduğunu göstermiştir.

Hueste ve Bai (2007), çalışmalarında 1980' li yıllarda Amerika' da inşaa edilmiş beş katlı betonarme bir ofis binasının deprem performansını değerlendirmiştir. Gerekli performans kriterlerini sağlamayan binanın deprem performansını değerlendirmiştir. Binanın deprem performansını artırmak için deprem perdeleri ilavesi, kolon mantolama ve kolon plastik mafsal bölgelerinin çelik levhalarla sarılması şeklinde üç farklı güçlendirme yöntemi kullanılmış ve sonuçlar mevcut binaya ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre binaya perde ilavesinin deprem performansını en fazla artıran güçlendirme yöntemi olduğu tespit edilmiştir.

Parlakoğlu (2010), güçlendirme amacıyla mevcut taşıyıcı sistemlere iki doğrultuda uygun yerlere Karbon Takviyeli Elyaf (CFRP) ile güçlendirilmiş dolgu duvarlar eklenmiş ve aynı yöntemle itme analizleri tekrar yapılmıştır. Sap2000 de bu duvarlar iki ucu mafsalı çekme gerilmesi almayan basınç çubuğu olarak şekildeki gibi

girilmiştir. Uygulanan CFRP ile dolgu duvarların güçlendirilmesinin, yeniden yapım maliyeti & hasır donatı ekleme ile güçlendirme maliyetlerinin karşılaştırılması yapılmış sonuçlar tartışılmıştır.

Uzunhasanoğlu (2012), betonarme kolonların aramid lifli polimer şeritler kullanarak eğilme dayanımlarının arttırılması bugün itibariyle dünya üzerinde hiç bir ulusal/uluslararası yönetmelikte yer almamaktadır. Beton örtüsü kaldırılan numunelerin üzerine, boyuna doğrultuda aramid lifli polimer şerit yapıştırılmış, daha sonra boyuna doğrultuda güçlendirilen üç adet betonarme kolon numunesinin üzerine iki kat karbon lifli polimer kumaş sargı yapılmıştır. Deney değişkeninin aramid lifli polimer şeritlerin temele ankrajı olduğu bu çalışmada sonuçlar dayanım, süneklik, enerji yutma kapasitesi, rijitlik, kalıcı deformasyonlar ve göçme modları bakımından değerlendirilmiştir.

Şik (2014), tez çalışmasında, deprem güvenliği yetersiz bir bina için farklı güçlendirme önerileri sunulmuş ve her öneri için maliyet analizi yapılmıştır. Bu önerilerden elde edilen analiz sonuçları mevcut binadan elde edilen analiz sonuçlarıyla ve birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda; hem bina dış akslarına hem de iç akslarına perdelerin yerleştirildiği çözüm önerisi rijitlik ve maliyet açısından daha uygun sonuçlar vermiştir.

Sanrı (2015), Türk Deprem Yönetmeliği-1975 (TDY-1975) koşullarına göre projelendirilmiş, kullanım amaçları konut olan, aynı mimariye sahip değişik yüksekliklerde üç ayrı bina ele alınmıştır. Güçlendirme tekniklerinin birbirleri ile olan fiyat karşılaştırmaları ve binaların yeniden yapım maliyetleri ayrı ayrı ele alınmış ve durum değerlendirmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar gözden geçirildiğinde, betonarme çerçeve taşıyıcı sistemlerin, deprem perdeleri ilave edilerek güçlendirilmesinin, mantolama tekniğine göre, rijitlik ve maliyet açısından daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Khoshkholghi (2015), çalışmasının ana amacı cam lifli püskürtme beton (GFRC) ve tekstil takviyeli cam lifli püskürtme beton olarak iki kompozit malzemenin, dıştan sargılama ile güçlendirme yönteminde etkinliğinin incelenmesidir. GFRC ilk kez bu çalışma kapsamında düşük dayanımlı betonun sargılanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca yöntemin öne çıkan diğer bir orjinal özelliği ise püskürtme olarak uygulanması sonucunda ulaşılması güç bölgelerin de güçlendirilebilirliği ve diğer yöntemlere göre daha hızlı olarak uygulanabilmesidir. Tekstil takviyeli cam lifli püskürtme beton ile

yetersiz betonarme elemanların güçlendirilmesinin dayanım ve süneklik özelliklerinin artışı açısından önemli bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Ajoudani (2015), tez çalışmasında mevcut betonarme yapıları lifli polimer malzemeleri ile güçlendirme konusu araştırılmıştır. Bu tez çalışmasında lifli polimer levhaları ile sargılanmış bir betonarme kolon örneğinin düşey ve yanal yükler altındaki davranışını incelemek için sayısal bir model oluşturulmuştur. Bu amaç için sonlu elemanlar yöntemi kapsamında, ANSYS 14.0 programı kullanılarak modelleme yapılmış ve model üzerinde nonlinear statik itme analizi (pushover) uygulanmıştır. Sonuçlara göre, lifli polimerler ile güçlendirilmiş olan betonarme kolonların dayanım ve süneklik değerlerinde önemli derecede artışlar ve gelişmeler meydana gelmiştir.

Göçüncü (2016), tez çalışmasında mevcut 7 katlı binanın Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle gerçekleştirilen performans analizi sonucunda, binanın Can Güvenliği performans seviyesini sağlayamadığı anlaşılmıştır ve mevcut bina için ekonomik bir güçlendirme önerisi yapılmıştır. Bu mevcut binaya çeşitli güçlendirme yöntemleri uygulanmış ve yöntemler arasında maliyet/performans karşılaştırılması yapılarak ekonomik olan güçlendirme önerisinin seçilmesi sağlanmıştır (Perde ekleme, BA manto, Perde ekleme + BA manto, Perde ekleme + Son kat iptali). Bu çalışmada perde ekleme ekonomik çözüm olmuştur.

Chellapandian ve arkadaşları (2017a) yürüttükleri deneysel çalışmada CFRP şeritler ve yüzey yakın yerleştirilen karbon çubukları bir arada kullanarak betonarme kolonları güçlendirmek amacıyla bir detay geliştirmişler ve test etmişlerdir. Kare kesitli kısa kolonlara uyguladıkları güçlendirme detayında hem taşıma gücünü hem de süneklik değerlerini aynı anda iyileştirmesi hedeflenmiştir. Toplam 10 adet betonarme kolonu test ederek deneysel sonuçları yorumlamışlardır.

Chellapandian ve arkadaşları (2017b) bir diğer çalışmalarında konsantrik ve ekzantrik olarak yüklenen aksenal yüklü kare kesitli betonarme kısa kolonların davranışları ile ilgili analitik ve nümerik bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma kapsamında ABAQUS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak toplam 20 adet kolonun bilgisayar simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Lineer olmayan bir analiz yapılarak kare kesitli CFRP şeritler ile güçlendirilmiş kısa kolonların davranışlarının gerçekçi bir şekilde deneysel sonuçlar ile uyumlu elde edilip edilmediği ile ilgili bir araştırma yapılmıştır.

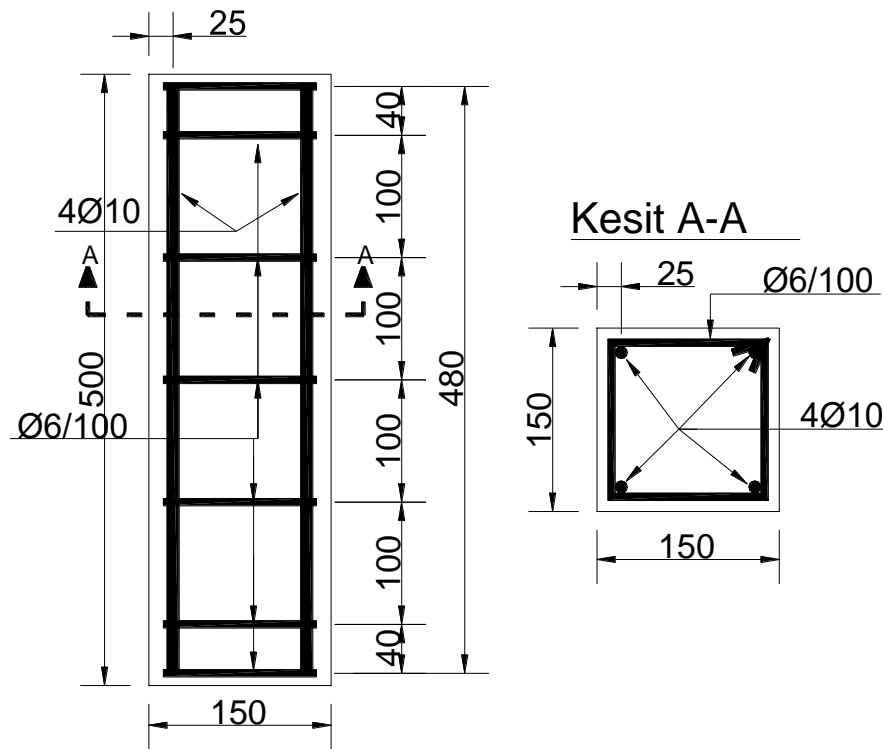
Jain ve arkadaşları (2017) belirli bir düzeye kadar hasar verilmiş kare kesitli betonarme kısa kolonları CFP şeritler ve yüzeye yakın karbon çubuklar ile onarımını gerçekleştirerek, uyguladıkları onarım tekniğinin ne ölçüde başarılı sonuçlar verdiğini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında toplam 11 deney elemanı üretilmiş ve eksenel konsantrik yükleme etkisinde göçene kadar yüklenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılan hibrit CFRP şerit ve karbon takviyeli çubukların yer aldığı onarım detayının kolonların onarılması için başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Yukarıda verilen literatür taramasından da görülebildiği gibi kare kesitli kısa betonarme kolonların taşıma gücü, deplasman, süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitelerinin hepsinin birden artmasını sağlayabilecek bir güçlendirme detayının geliştirilmesi ve incelenmesine yönelik son derece sınırlı sayıda çalışma literatürde yer almaktadır. Ayrıca bu çalışmada CFRP şeritlerin ek yerlerinde başka yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan CFRP'den üretilen fan tipi ankraj uygulamasının yapılması bu çalışma kapsamında incelenen çalışmanın yenilikçi bir yönünü oluşturmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Deney Elemanlarının Özellikleri

Yürütülen deneysel çalışma kapsamında 150x150x500 mm boyutlarında, kare kesitli kısa betonarme kolon deney elemanları tasarlanmış ve üretilmiştir. Betonarme kolon deney elemanları eski ve taşıma gücü düşük olan yetersiz bir kolonun modellenmesi için düşük beton basınç dayanımına sahip ve yetersiz sargı donatılı olarak tasarlanmışlardır. Deney elemanlarının geometrik boyutları ve donatı detayı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney elemanlarının geometrik boyutları ve donatı detayı (mm).

Deneyisel çalışma kapsamında 1 adedi güçlendirilmemiş olmak üzere toplamda 11 adet 150x150x500 mm boyutlarında kare kesitli betonarme kısa kolon deney elemanı üretilmiş ve monotonik artan konsantrik aksenal yükleme etkisi altında göçene kadar test edilmiştir. Deneyisel çalışmada incelenen değişkenler güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şeritlerin kolon eksenine dik veya paralel yerleştirilmesi, dik yerleştirilen CFRP şeritlerde şerit genişliği ve şerit aralığı ile şerit bindirme bölgelerinde

CFRP fan tip ankraj kullanılıp kullanılmamasıdır. Deney elemanlarının özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney elemanlarının özellikleri.

| Deney Elemanı No | Açıklama | Ankraj Durumu | Güçlendirme Malzemesi |
|------------------|--|---------------|---------------------------|
| 1 | Referans | ---- | ---- |
| 2 | CFRP şerit sargılama ile güçlendirme | Ankrajlı | CFRP (sf=50 mm wf=25 mm) |
| 3 | | | CFRP (sf=75 mm wf=25 mm) |
| 4 | | | CFRP (sf=75 mm wf=50 mm) |
| 5 | | | CFRP (sf=100 mm wf=50 mm) |
| 6 | CFRP şerit ile boyuna doğrultuda güçlendirme | | CFRP (her yüzde 1 adet) |
| 7 | CFRP şerit sargılama ile güçlendirme | Ankrajlı | CFRP (sf=50 mm wf=25 mm) |
| 8 | | | CFRP (sf=75 mm wf=25 mm) |
| 9 | | | CFRP (sf=75 mm wf=50 mm) |
| 10 | | | CFRP (sf=100 mm wf=50 mm) |
| 11 | CFRP şerit ile boyuna doğrultuda güçlendirme | | CFRP (her yüzde 1 adet) |

sf: CFRP şeritlerin eksenden eksene aralığı, wf: CFRP şerit genişliği

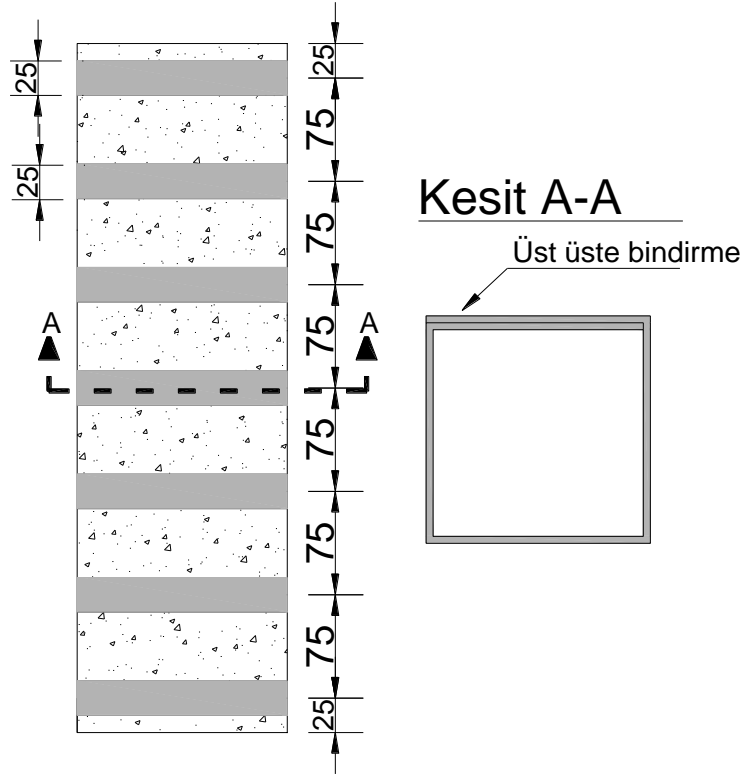
3.1.1. Genel özellikler

Deneyel çalışmada incelenen değişkenlerden biri CFRP şeritlerin kolon eksenine dik ve paralel olarak uygulanmasıdır. Deney elemanı-6 ve 11’de CFRP şeritler kolon eksenine paralel yerleştirilmiş diğer deney elemanlarında ise dik konumlandırılmıştır. Deney elemanlarında kullanılan CFRP şerit aralığı ve genişliği ise diğer incelenen değişkenlerdir. Deney elemanı-2, 3, 7, ve 8’de CFRP şerit genişliği 25 mm, 4, 5, 9 ve 10 nolu deney elemanlarında ise 50 mm olarak uygulanmıştır. 25 mm genişliğinde CFRP şerit uygulanan deney elemanlarında şeritlerin aralıkları 50 ve 75 mm, 50 mm şerit genişlik deney elemanlarında ise şerit aralıkları 75 ve 100 mm olarak seçilmiştir.

Deney elemanlarında CFRP şeritlerin kolon etrafında sargılması yapılarak şeritler kolon genişliği boyunca 150 mm üst üste bindirmeli ek yapılmıştır. Deney elemanı 2-6’da bu bindirme bölgesine herhangi bir ankraj yerleştirilmemiş, 7-11 nolu

3.1.3. Deney elemanı-3'ün özellikleri

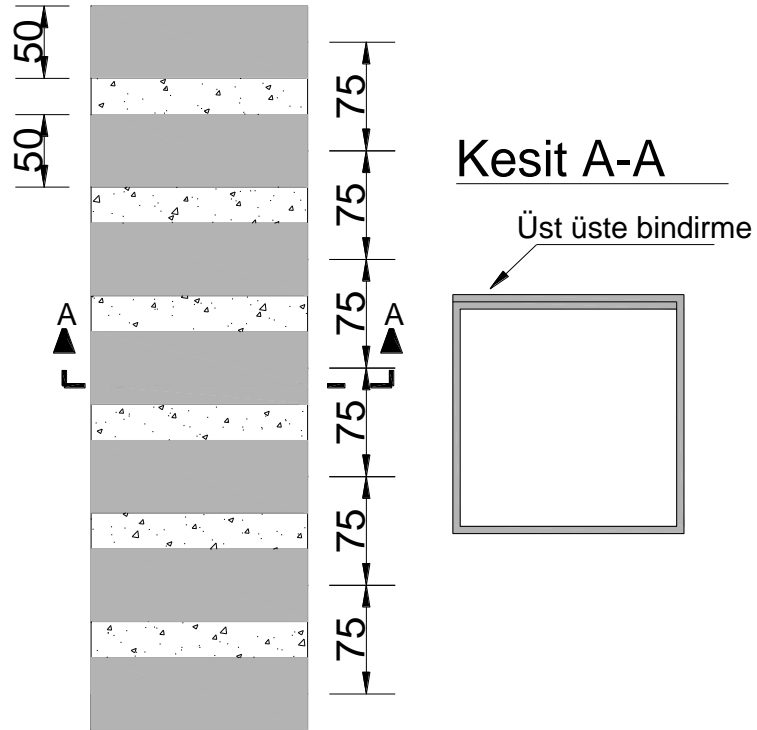
Deney elemanı-3, CFRP şeritlerin kolon eksenine dik uygulandığı bir numunedir. Şerit genişliği 25 mm, şerit aralığı ise 75 mm'dir. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Deney elemanı-3'e uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.4. Deney elemanı-4'ün özellikleri

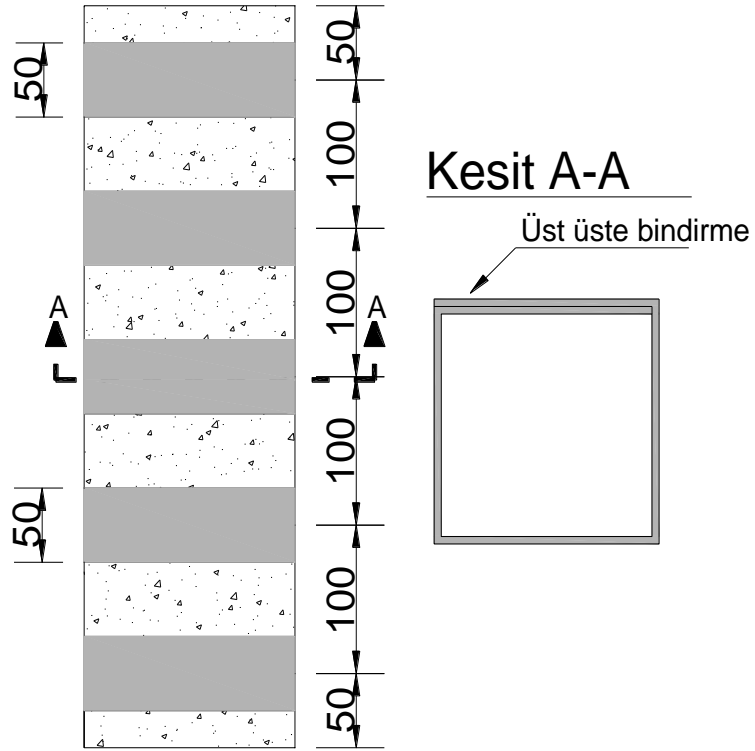
Deney elemanı-4, CFRP şeritlerin kolon eksenine dik uygulandığı bir numunedir. Şerit genişliği 50 mm, şerit aralığı ise 75 mm'dir. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.4'te verilmiştir



Şekil 3.4. Deney Elemanı-4'e uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.5. Deney elemanı-5'in özellikleri

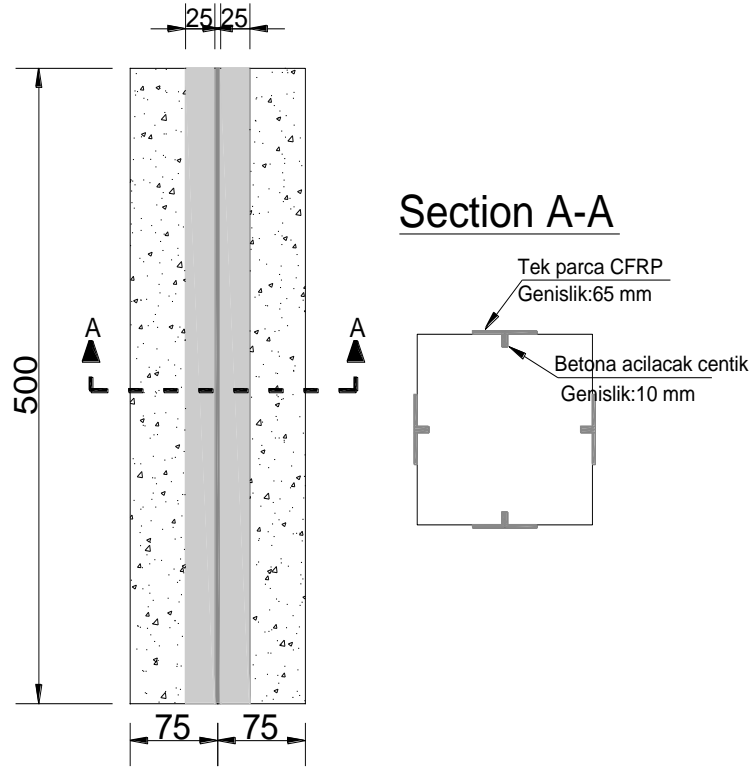
Deney elemanı-5, CFRP şeritlerin kolon eksenine dik uygulandığı bir numunedir. Şerit genişliği 50 mm, şerit aralığı ise 100 mm'dir. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Deney Elemanı-5'e uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.6. Deney elemanı-6'nın özellikleri

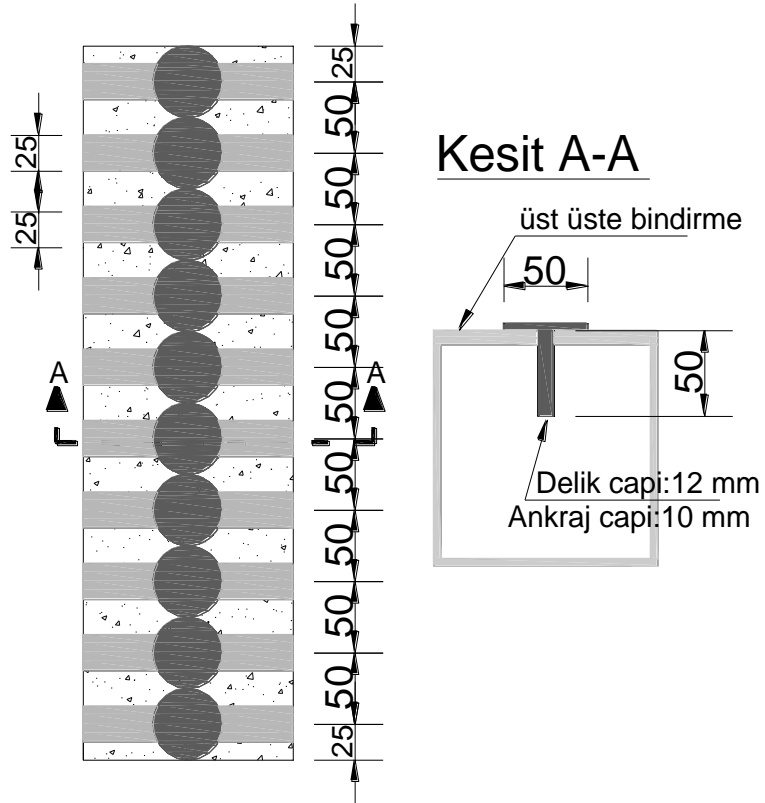
Deney elemanı-6, CFRP şeritlerin kolon eksenine paralel uygulandığı bir numunedir. Her yüzde bir adet olacak şekilde şeritler yerleştirilmiştir. Bu numuneye uygulanan güçlendirme detayları Şekil 3.6'da verilmiştir



Şekil 3.6. Deney Elemanı-6'ya uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.7. Deney elemanı-7'nin özellikleri

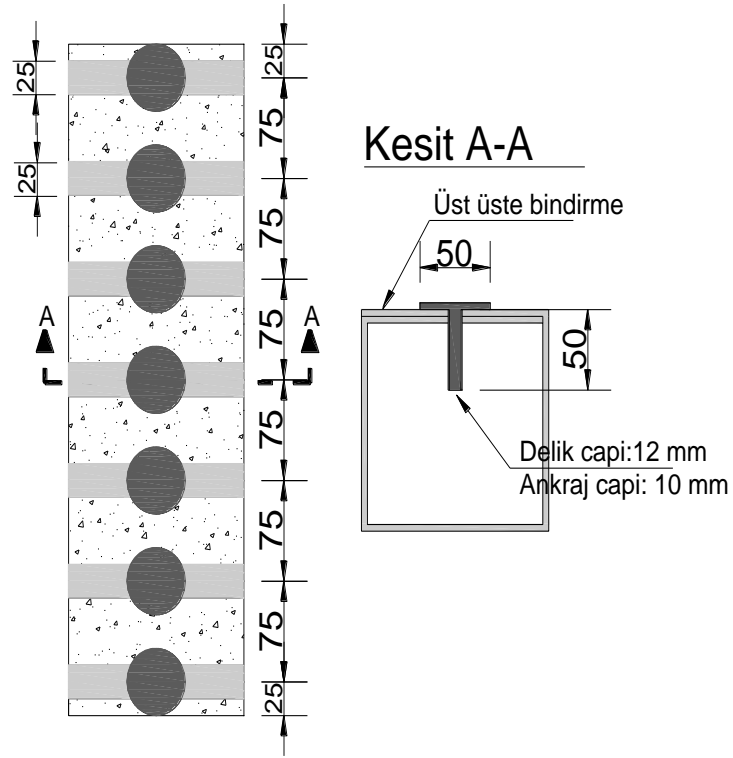
Deney elemanı-7, CFRP şeritlerin kolon eksenine dik uygulandığı ve fan tipi ankraja sahip olan bir numunedir. Şerit genişliği 25 mm, şerit aralığı ise 50 mm'dir. Her şeridin bindirme bölgesindeki kolon yüzünde fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Bu ankrajları yerleştirebilmek için çapı 12 mm olan delikler açılmış ve 10 mm çapa sahip ankrajların 50 mm uzunluğundaki soket kısmı tozdan arındırılmış epoksi enjeksiyonlu deliklere yerleştirilip, dışarıda kalan 50 mm uzunluğundaki dışarıda kalan uçları fan şeklinde yapıştırılmıştır. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Deney elemanı-7'ye uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.8. Deney elemanı-8'in özellikleri

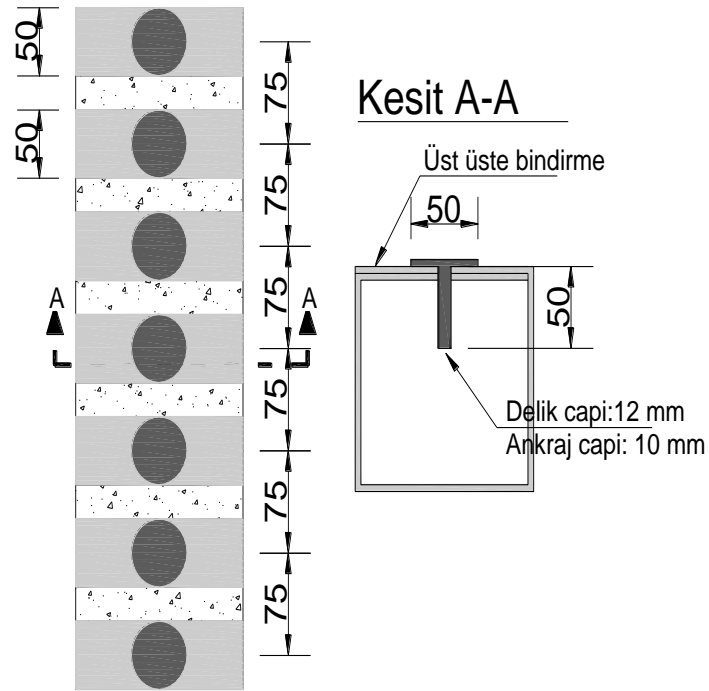
Deney elemanı-8, CFRP şeritlerin kolon eksenine dik uygulandığı ve fan tipi ankraja sahip olan bir numunedir. Şerit genişliği 25 mm, şerit aralığı ise 75 mm'dir. Her şeridin üzerine fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Bu ankrajları yerleştirebilmek için çapı 12 mm olan delikler açılmış ve 10 mm çapa sahip ankrajlar bu deliklere yerleştirilmiştir. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Deney elemanı-8'e uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.9. Deney elemanı-9'un özellikleri

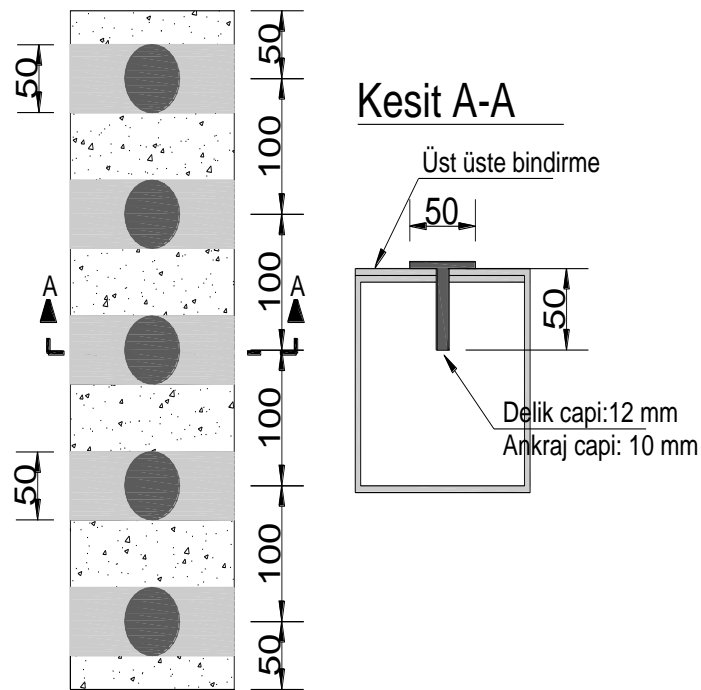
Deney elemanı-9, CFRP şeritlerin kolon eksenine dik uygulandığı ve fan tipi ankraja sahip olan bir numunedir. Şerit genişliği 50 mm, şerit aralığı ise 75 mm'dir. Her şeridin üzerine fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Bu ankrajları yerleştirebilmek için çapı 12 mm olan delikler açılmış ve 10 mm çapa sahip ankrajlar bu deliklere yerleştirilmiştir. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Deney elemanı 9'a uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.10. Deney elemanı-10'un özellikleri

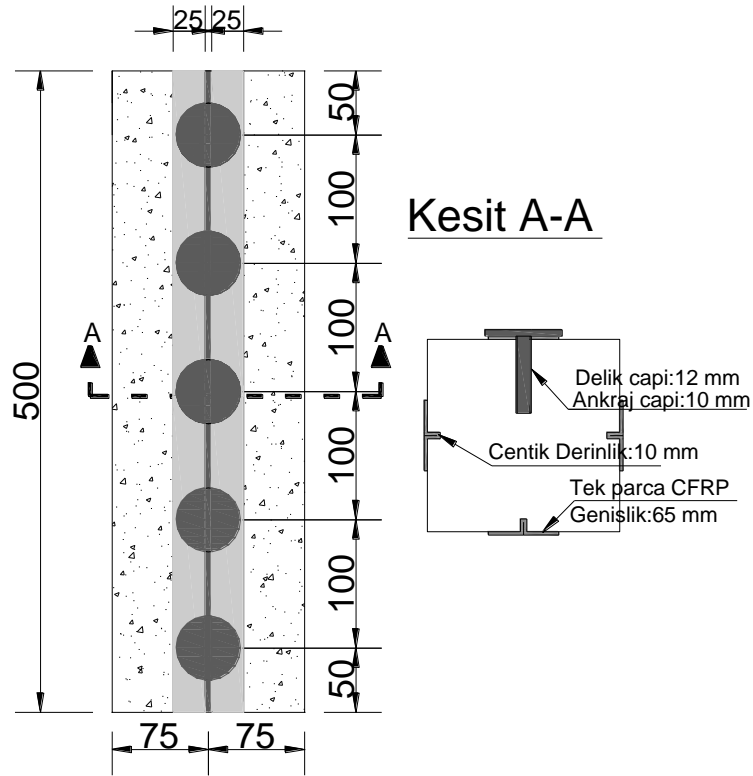
Deney elemanı-10, CFRP şeritlerin kolon eksenine dik uygulandığı ve fan tipi ankraja sahip olan bir numunedir. Şerit genişliği 50 mm, şerit aralığı ise 100 mm'dir. Her şeridin üzerine fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Bu ankrajları yerleştirebilmek için çapı 12 mm olan delikler açılmış ve 10 mm çapa sahip ankrajlar bu deliklere yerleştirilmiştir. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Deney elemanı-10'a uygulanan güçlendirme detayı.

3.1.11. Deney elemanı-11'in özellikleri

Deney elemanı-11, CFRP şeritlerin kolon eksenine boyunca boyuna uygulandığı ve fan tipi ankraja sahip olan bir numunedir. Şeritler kolon eksenini boyunca her yüzde bir adet olacak şekilde ve fan tipi ankrajlar da 10 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu numuneye ait güçlendirme detayları Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Deney elemanı-11'e uygulanan güçlendirme detayı.

3.2. Malzeme

Bu çalışma kapsamında kullanılan beton, donatı, CFRP malzemesi ve yapıştırıcı olarak kullanılan malzemeye ait özellikler aşağıda sıralanmıştır.

3.2.1. Beton

Deneyel çalışma kapsamında üretilmesi hedeflenen betonarme kolonlarda eski ve yetersiz kolonların modellenmesi amacıyla düşük beton basınç dayanımlı bir üretim gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 16 MPa beton basınç dayanımı hedeflenmiş ve üretimde C16 beton sınıfının kullanılması planlanmıştır.

Beton karışım hesabı için TS802 (2009) “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları” standartı kullanılmıştır. Ancak C16 beton sınıfı TS802’ de yer almamaktadır. Bununla birlikte tablolardan okunacak bazı değerler ve geçmişe yönelik tecrübelerle beton karışım hesabı yapılmıştır.

Standartta verilen işlemler takip edilip yapılan işlemler sonucunda 1 m³ beton üretimi için kullanılacak malzeme miktarları belirlenmiştir (Çizelge 3.2). Beton dökümünde 150x150*150 mm standart küp numuneleri alınmıştır. Alınan numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı 15.9 MPa olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.2. 1 m³ beton için gerekli malzeme miktarları.

| Agrega Miktarı (kg) | | Su Miktarı (kg) | Çimento Miktarı (kg) |
|---------------------|------|-----------------|----------------------|
| 0/4 | 4/16 | | |
| 1475 | 370 | 205 | 250 |

3.2.2. Donatı

Betonarme kolon deney elemanlarında boyuna donatı olarak 10 mm çapında nervürlü inşaat demiri kullanılmıştır. Kare kesitli betonarme kolonda 4 adet boyuna donatı kullanılmış olup, sargılama donatısı olarak 6 mm çapında düz inşaat demir kullanılmıştır. Deney elemanlarında sargılama donatısı olarak kullanılan tek bacaklı standart etriye donatısı aralığı 100 mm’dir.

Deney elemanlarının üretilmesinde kullanılan 10 mm çapında nervürlü donatı ve 6 mm çapındaki düz inşaat demiri tüm deney elemanlarının üretilmesi için özdeş özellikte olacak şekilde tek seferde temin edilmiştir. Deney elemanlarının üretilmesinde kullanılan donatıların mekanik özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Donatıların mekanik özellikleri.

| Çap (mm) | Akma Mukavemeti (MPa) | Kopma Mukavemet (MPa) |
|----------|--------------------------|--------------------------|
| 6 | 285 | 409 |
| 10 | 395 | 475 |

3.2.3. CFRP ve kimyasal yapıştırıcı

Betonarme kısa kolon deney elemanları karbon takviyeli elyaf kumaş (CFRP) malzemesi ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme için kullanılan malzeme Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen SikaWrap -230 C/45 yapısal güçlendirme için örgülü karbon lifli elyaftır.

Bu malzeme, kuru uygulama yöntemiyle uygulama için tek doğrultulu karbon lif donatılı polimerdir. Kullanım alanı çok geniş olup özellikle son yıllarda betonarme elemanlarının güçlendirme ve rehabilitasyonlarda yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Betonarme yapılarda tasarım ve imalat hatalarının giderilmesinde, kusurlu donatılı elemanları güçlendirmede, yapı elemanlarının yük taşıma kapasitelerini arttırmada gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. SikaWrap-230 C/45 birim ağırlığının çok küçük olması nedeniyle yapıya ek yük getirmemektedir. Ayrıca kopma dayanımının donatıya göre çok fazla oluşu, korozyon riskinin bulunmaması nedenleriyle betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesi için elverişli bir malzemedir. Uygulaması kolay ve oldukça pratiktir. Çalışmada kullanılan CFRP’nin özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kullanılan CFRP'nin özellikleri.

| | |
|-------------------|---|
| Ağırlık | 230 gr/m ² |
| Kalınlık | 0.131 mm |
| Çekme Dayanımı | 4300 MPa |
| Elastisite Modülü | 234000 MPa |
| Kopmadaki Uzama | %1.8 |
| Lif Yapısı | %99 ana doğrultuda, %1 destekleyici doğrultuda lif |

Karbon lifleri dünyada bilinen en sağlam malzemelerden biridir. Kumaş görünüş ve inceliğinde olan karbon lifleri gerilmeye karşı çelikten 14 kat daha yüksek mukavemetli olmasına rağmen ağırlığı çeliğin beşte biri civarındadır. Bu olağanüstü sağlamlığı nedeni ile karbon lifleri ve karbon liflerinden dokunmuş kumaşlar endüstrinin çeşitli kademelerinde kullanılmaktadır. Normalde iplik yumuşaklığında olan lifler kolayca istenilen şekle getirilmekte ve özel epoksi reçinesi ile muamele edilince sertleşmektedir.

Karbon takviyeli elyaf kumaşlar, son zamanlarda inşaat mühendisliği alanında yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Güçlendirmede karbon liflerin kullanımı özellikle deprem ve korozyon hasarlı binaların ekonomik ve hızlı onarımlarında iyi sonuçlar vererek inşaat sektöründe yaygın şekilde kullanılabilir hale gelmiştir. Kullanımındaki pratiklik, binaya ekstra yük getirmemesi ve çelikten daha güçlü olmasının verdiği olağanüstü sağlamlık bu malzemenin en belirgin üstünlükleridir.

Bugün inşaat sektöründe karbon liflerin belli başlı kullanım alanlarını şöyle sıralanabilir;

- Binaların taşıyıcı sistem elemanlarının (kolon, kiriş) taşıma kapasitelerinin artırılmasında
- Yapı kullanım amacının değişmesi ya da servis özellikleri ve süresinin artırılmasında
- Yığma yapıların güçlendirilmesinde

- Betonarme yapılarda dolgu duvarların güçlendirilmesinde
- Tarihi eser, camii kubbe ve minarelerinin tamirâtı
- Köprü, viyadük, apartman kolon-kiriş ve duvarların tamirâtı
- Ahşap yapıların restorasyonu ve güçlendirilmesi

Karbon lifleri ile güçlendirme ve onarım metodunun en önemli avantajı yapının içerisinde ancak birkaç milimetrelik bir kalınlık eklemesine rağmen klasik metotlarla elde edilecek sağlamlığın kat kat fazlasını elde edebilmesidir.

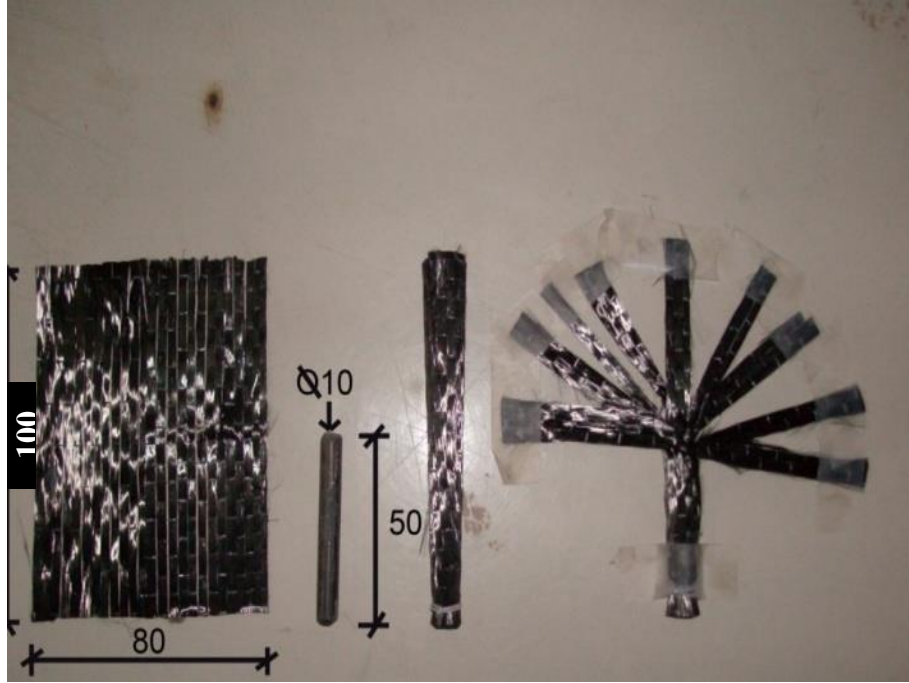
SikaWrap-230 C/45 malzemesinin kiriş yüzeyine yapıştırılması için kullanılan yapıştırıcı Sikadur 330 epoksi esaslı doyurma reçinesidir. Bu yapıştırıcı iki bileşenden oluşmaktadır (A: Ana reçine, B: Sertleştirici). Epoksidede karışım oranları (A:B) 4:1 dir. Sikadur 330 malzemesi bütün yüzeylere kolayca uygulanabilir olması, iyi aderans sağlaması, kimyasallardan etkilenmemesi bu sayede uzun bir süreç içinde özelliklerini koruması güçlendirme amaçlı kullanımda önemli avantajlar sağlamaktadır. Sikadur-330 yapıştırıcısının özellikleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Epoksi kompozit malzemelerin yapılarında kullanılan ana malzemelerden biridir. Karbon lifle güçlendirme yapılacak olan yapılarda kullanılması öncelikli olan bir malzemedir. Karbon liflerle uygulanan yüklerin oluşturduğu gerilmeleri transferinin sağlanmasında önemli rol oynar. Yükler epoksi reçine yapıştırıcısı vasıtasıyla kompozite aktarılır. Çevresel etkilere karşı lifleri ve liflerin yüzeylerini mekanik aşınmalara karşı korur. Deney elemanlarının hazırlanmasında Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen Sikadur-330 2- bileşenli epoksi esaslı doyurma (laminasyon) reçinesi kullanılmıştır. Sikadur-330 iki bileşenli, solventsiz, tiksotropik özellikli epoksi esaslı doyurma reçinesi ve yapıştırıcıdır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Kullanılan yapıştırıcının özellikleri.

| | |
|----------------------------|---|
| Yoğunluk | 1.30 kg/lt |
| Karışım Oranı | Beyaz Reçine/Gri Reçine = 4/1 |
| Uygulama Sıcaklığı | min +10°C, max +35°C |
| Çekme Dayanımı | 30 MPa (+23°C de 7 günlük kürden sonra) |
| Eğilmede Elastisite Modülü | 3800 MPa (+23°C de 7 günlük kürden sonra) |

Deneyel çalışmada incelenen bir diğerk değışken ise fan tipi CFRP ankraj kullanımımıdır. Deney elemanı 2-6'da ankraj kullanılmamış, 7-11 nolu deney elemanlarında ise CFRP fan tipi ankraj kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ankraj CFRP'den imal edilmiş olup, kullanılan ankrajın detayı Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Deney elemanlarında kullanılan CFRP fan tipi ankraj detayı (mm).

3.3. Numune hazırlığı

Deney elemanlarının beton dökümü için playwood ahşap kullanılarak bir kalıp üretilmiş ve deney elemanları tek seferde dökülmüştür. Deney elemanlarının beton dökümünde kullanılan kalıp sistemi Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Deney elemanlarının dökülmesinden kullanılan kalıp sistemi.

Beton dökümünden önce kalıplar yağlanarak deney elemanlarının üretimi için hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Kalıpların yağlanması.

Hazırlanarak beton dökümüne hazır hale getirilen kalıpların içerisinde tek seferde temin edilen donatılar kullanılarak detayları Şekil 3.1’de verilen projesine göre deney elemanlarının donatı kafesleri tek seferde hazırlanarak yerleştirilmiştir. Deney elemanlarının donatı kafesleri Şekil 3.15’te görülmektedir. Daha sonra donatılar kalıplara yerleştirilerek laboratuvar ortamında beton mikseri ile hazırlanan beton

kalıplara vibratör yardımıyla yerleştirilmiştir (Şekil 3.16). Deney elemanlarının beton dökümü sırasında 150x150 mm'lik standart beton küp numuneleri de alınarak beton basınç dayanımının tespit edilmesi için deney elemanları ile aynı ortamda saklanmıştır.



Şekil 3.15. Deney elemanlarının donatı kafesleri.



Şekil 3.16. Deney elemanlarının beton dökümü ve sıkıştırılması.

Deney elemanlarının beton dökümünden sonra ıslak telisler ile nemli bir ortamda bırakılmıştır. 2 gün sonra kalıpları çıkartılan deney elemanları ilk haftanın kalan 5 günü kür havuzunda saklanmıştır. Kür süresinin son 3 haftalık bölümünde ise

deney elemanları ve küp beton numuneleri laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).



Şekil 3.17. Deney elemanlarının beton dökümü sonrası korunması.



Şekil 3.18. Deney elemanlarına kalıptan çıkarıldıktan sonra kür uygulanması.

Numune üzerinde CFRP'nin yapıştırılacağı yüzey hazırlığı yapılmıştır. Öncelikle el taşlama aletine takılan zımpara taşı yardımıyla elemanın üzerindeki yapıştırma yüzeyi pürüzsüz bir hale getirilmiş ve çimento şerbeti yüzeyden kaldırılmıştır (Şekil 3.19). Yüzeye komprasör yardımıyla basınçlı hava püskürtülerek yüzeyde bulunan küçük gözeneklere dolmuş olan tozlar ve gevşek partiküller

uzaklaştırılmıştır. Bundan sonra hafif nemli bir bezle yüzey silinmiş ve yüzeye yapışan tozlarda temizlenmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.19. CFRP yapışma yüzeylerinin taşlanması.



Şekil 3.20. CFRP yapışma yüzeylerinin temizlenmesi ve işaretlenerek hazırlanması.

CFRP'yi yüzeye yapıştırmada kullanılacak olan ve iki bileşenden oluşan epoksi temiz bir kap içerisinde karıştırma talimatına uygun şekilde karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım ıspatula vasıtası ile hazırlanmış yüzeye uygulanmıştır. Daha önce kesip hazırladığımız CFRP parçaları uygulama doğrultusunda yüzeye yerleştirilmiştir. Bundan sonra ıspatula, yüzeyde lif doğrultusuna paralel olarak ileri geri hareket

ettirilerek epoksinin lifler arasından çıkması sağlanmıştır. Ayrıca yüzeyde kalan hava kabarcıkları da uzaklaştırılması sağlanmıştır. CFRP'nin tüm üst yüzeyine epoksi çıktıktan sonra ince tesviye yapılarak yüzey düzlenmiştir. Böylelikle beton ile CFRP arasında iyi bir bağ oluşturulması sağlanmıştır. Tüm deney elemanları aynı şekilde hazırlanmıştır. Yapıştırma işlemi tamamlanan elemanlar oda sıcaklığında temiz bir ortamda kurumaya bırakılmıştır (Şekil 3.21). Deney elemanları yapıştırma işlemi tamamlandıktan 7 gün sonra deneyler yapılmaya başlanmıştır.



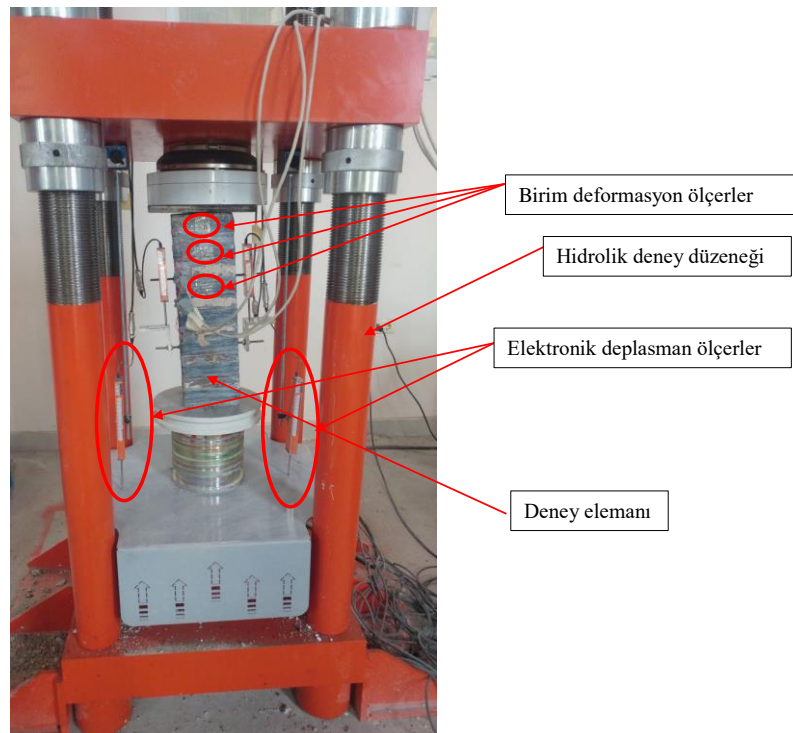
Şekil 3.21. CFRP yapıştırma işlemi tamamlanmış deney elemanları.

3.4. Deney Düzeneği

Deney elemanlarının testleri 3000 kN kapasiteli bir eksenel yük uygulama kolon test düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği motor kontrollü ve yükleme hız ayarlanabilen, ayrıca sabit yükleme hızında test uygulayabilen bir hidrolik yükleme sistemine sahiptir. Deney elemanlarından hem kolon üzerinden hem de deney düzeneği üzerinden ikişer adet olmak üzere toplam 4 adet kolon eksenel deformasyon ölçümü değerleri elektronik deplasman ölçerler (LVDT) aracılığı ile alınmıştır. Hidrolik sistemin uyguladığı yük ve deplasman ölçerlerden okunan deplasman değerleri bilgisayara bir veri toplama sistemi aracılığı ile aktarılarak deneyler yük-deplasman grafikleri çizilerek takip edilmiştir. Ayrıca daha sonra gerekli yorumlar ve hesaplamalar deney elemanları için çizilen eksenel yük-deplasman grafikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında deney düzeneği üzerinden alınan kolonun sol ve

sağ taraflarından simetrik olarak okunan iki deplasman değerinin ortalaması alınarak kolonun aksenal deplasman değeri hesaplanmış ve yük-deplasman grafikleri bu değer kullanılarak çizilmiştir.

CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarından deplasman ve yük değerlerine ek olarak 3 noktadan CFRP şeritler üzerinden ana taşıyıcı lifler doğrultusunda maksimum birim deformasyon değerleri birim deformasyon ölçerler kullanılarak ölçülmüştür. Test düzeneğine yerleştirilmiş ve deneye hazırlanmış bir test elemanından alınan görünüş Şekil 3.22’de verilmiştir.



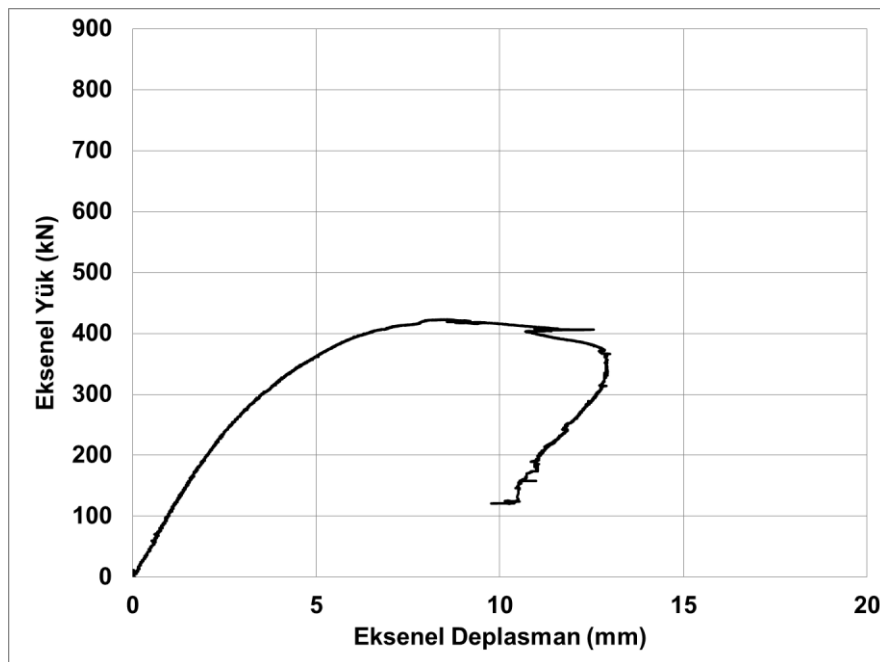
Şekil 3.22. Deney Düzeneği.

4. DENEY SONUÇLARI

Deneyel programda bir adet güçlendirilmemiş ve 10 adet farklı yerleşim desenlerinde, ankrajsız ve ankrajsız toplam 11 adet kısa betonarme kolon deney elemanı üretilmiş ve test edilmiştir. Bu bölümde deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ve grafikler sunulacaktır.

4.1. Deney Elemanı-1

1 nolu deney elemanı deney serisinde yer alan güçlendirilmemiş referans test elemanıdır. Bu test elemanı geliştirilen güçlendirme detaylarının performansını gösterebilmek için karşılaştırma amacıyla test edilmiştir. 1 nolu güçlendirilmemiş, sargı donatısı yetersiz, düşük beton basınç dayanımlı deney elemanı sınırlı miktarda süneklik göstererek ve enerji tüketerek 423.06 kN taşıma gücü sergileyerek göçmüştür. Deney elemanında ilk olarak aksenal yüklemdeki artış ile kabuk betonunda ezilmeler ve dökülmeler kolon üst ucunda meydana gelmiş ve kolonun üst bölgesinde hasar yoğunlaşmıştır. Artan aksenal yüklemenin etkisi ile deney elemanı boyuna donatıları kabuk betonun döküldüğü üst bölümde burkularak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney eleman-1'in yük- deplasman grafiği Şekil 4.1'de ve testler esnasında alınmış hasar dağılımından bazı görüntüleri ise Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deney elemanı-1 yük-deplasman grafiği.



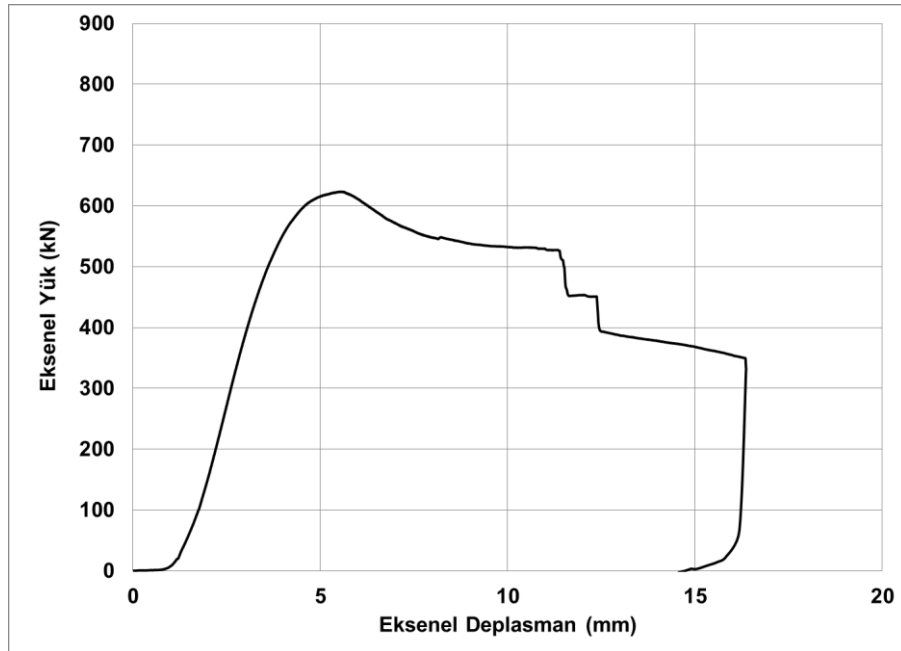
Şekil 4.2. Deney elemanı-1 kabuk betonun ezilmesi.



Şekil 4.3. Deney elemanı-1 boyuna donatılarının burkulması ve göçmesi.

4.2. Deney Elemanı-2

Deney elemanı-2, 25 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 50 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-2’de sargılamanın bindirme bölgesinde CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmamıştır. Deney elemanı-2 testinde eksenel yükün artış göstermesi ile kolon alt ucunda beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda alt uça yer alan iki şeridin beton yüzeyinden beton kabuğu ile birlikte soyuldukları gözlenmiştir. Daha sonra deney elemanı 623.27 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon alt bölgesindeki beton kabuğundaki ezilme bölgesi genişlemiş ve o bölgedeki CFRP şeritler beton kabuğu ile birlikte soyularak kopmuşlardır. Deney elemanı kolon alt ucundaki iki adet CFRP şeridin kopması ile göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen eksenel yük-deplasman grafiği Şekil 4.4’de ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.4. Deney elemanı-2 yük-deplasman grafiği.



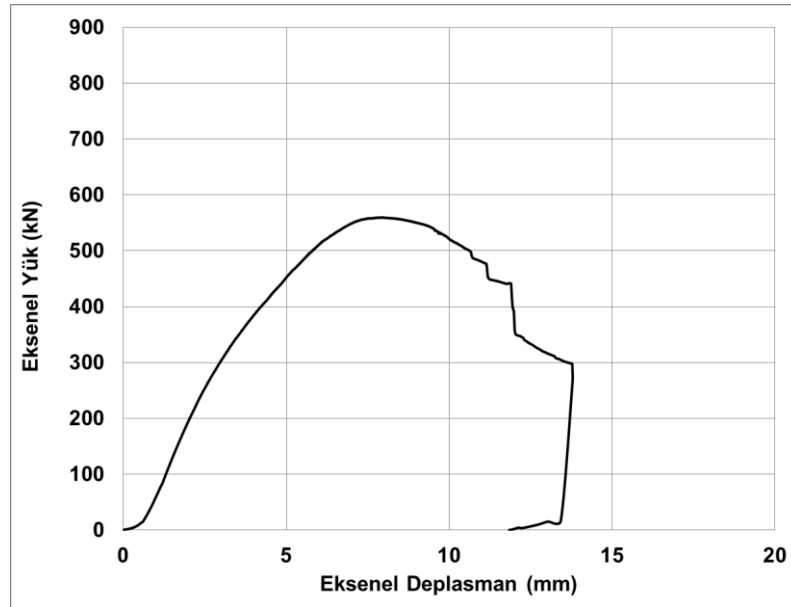
Şekil 4.5. Deney elemanı -2 alt ucunda betonda ezilme.



Şekil 4.6. Deney elemanı-2 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.3. Deney Elemanı-3

Deney elemanı -3 25 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 75 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-3’de sargılamanın bindirme bölgesinde CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmamıştır. Deney elemanı-3 testinde aksenal yükün artış göstermesi ile kolon üst ucunda CFRP şerit yapıştırılmayan aralıkta beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda hasar aldığı gözlenmiştir. Daha sonra deney elemanı 559.71 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon üst ucunda meydana gelen beton ezilme bölgesi genişleme göstermiş ve kolonun üst ucundan 2. ve 3. sırada yer alan CFRP şeritlerin beton yüzeyden ayrılmalarına neden olmuştur. Bu aşamadan sonra yüzeyden ayrılan CFRP şeritler koparak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen aksenal yük-deplasman grafiği Şekil 4.7’de ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7. Deney elemanı-3 yük-deplasman grafiği.



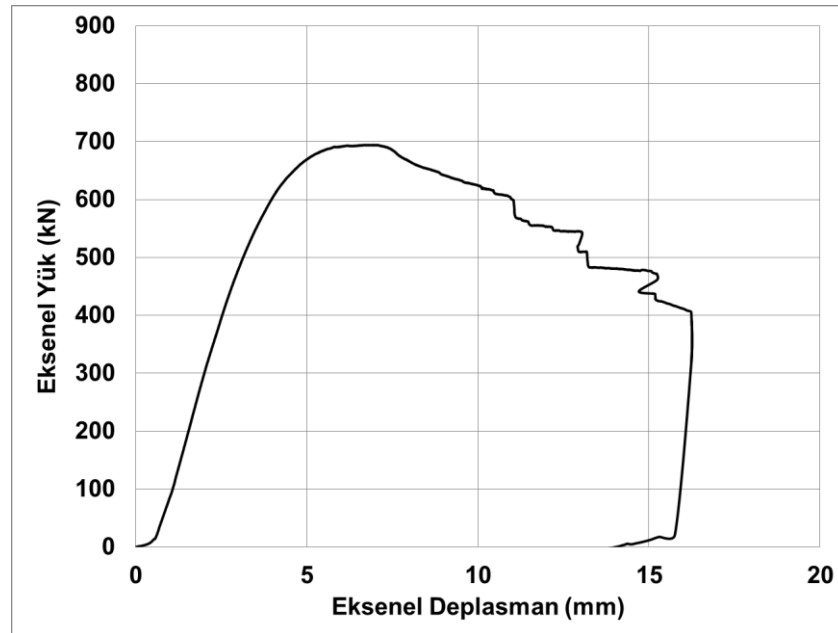
Şekil 4.8. Deney elemanı -3 üst ucunda betonda ezilme.



Şekil 4.9. Deney elemanı-3 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.4. Deney Elemanı-4

Deney elemanı-4, 50 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 75 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-4’de sargılamanın bindirme bölgesinde CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmamıştır. Deney elemanı-4 testinde eksenel yükün artış göstermesi ile kolon alt ucunda alttan 2. sırada yer alan CFRP şerit beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda kabuk ile birlikte yüzeyden ayrılmış ve daha sonra da kopmuştur. Daha sonra deney elemanı 694.40 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon alt ucunda meydana gelen beton ezilme bölgesi genişleme göstermiş ve kolonun alt ucundan 1. ve 2. sırada yer alan CFRP şeritlerin beton yüzeyden ayrılmalarına neden olmuştur. Bu aşamadan sonra yüzeyden ayrılan CFRP şeritler koparak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen eksenel yük-deplasman grafiği Şekil 4.10’de ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.10. Deney elemanı-4 yük-deplasman grafiği.



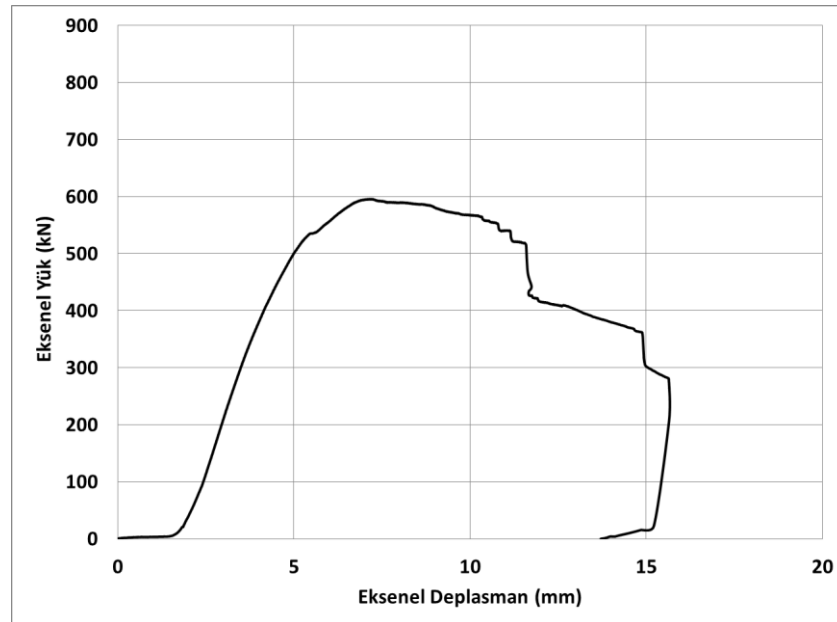
Şekil 4.11. Deney elemanı -4 alt ucunda betonda ezilme.



Şekil 4.12. Deney elemanı-4 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.5. Deney Elemanı-5

Deney elemanı-5, 50 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 100 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-5’de sargılamanın bindirme bölgesinde CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmamıştır. Deney elemanı-5 testinde aksel yükün artış göstermesi ile kolon alt ucunda alttan 1. ve 2. sırada yer alan CFRP şeritlerin arasında kalan sargılanmamış beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda hasar meydana gelmiştir. Daha sonra deney elemanı 595.69 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon alt ucunda meydana gelen beton ezilme bölgesi genişleme göstermiş ve kolonun alt ucundan 1. ve 2. sırada yer alan CFRP şeritlerin beton yüzeyden ayrılmalarına neden olmuştur. Bu aşamadan sonra yüzeyden ayrılan CFRP şeritler koparak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen aksel yük-deplasman grafiği Şekil 4.13’te ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de verilmiştir.



Şekil 4.13. Deney elemanı-5 yük-deplasman grafiği.



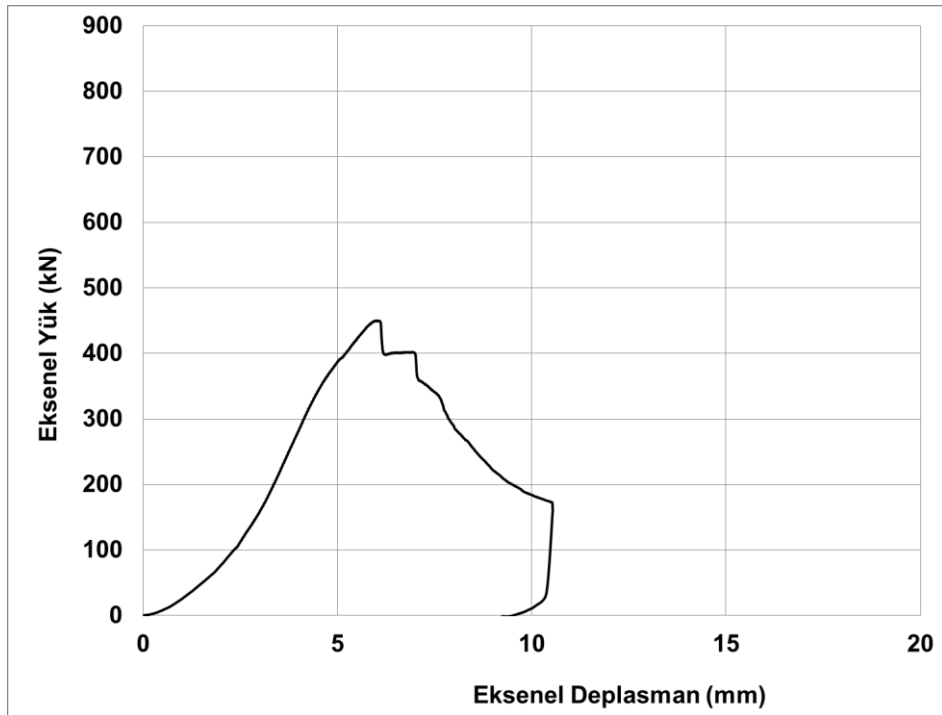
Şekil 4.14. Deney elemanı -5 alt ucunda betonda ezilme.



Şekil 4.15. Deney elemanı-5 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.6. Deney Elemanı-6

Deney elemanı-6, 65 mm genişliğindeki CFRP şeritin kolon eksenine paralel olarak, her kolon yüzeyine bir adet açılan 10 mm derinliğindeki çentiğin içerisine sokularak, yapıştırılması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-6'da kolon eksenini boyunca yapıştırılan CFRP şerit üzerinde CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmamıştır. Deney elemanı-6'da test başında kolon üst ucunda beton kabuğunda ezilme meydana geldikten sonra artan yükleme etkisiyle kolon eksenine paralel olarak yapıştırılan CFRP şerit ile aynı yönde çatlaklar meydana gelmiştir. Daha sonra deney elemanı 450.25 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra deney elemanı CFRP şeritin yerleştirilmesi için açılan 10 mm derinliğindeki çentik yönünde oluşan çatlakların genişlemesi ve CFRP şeritin yüzeyden kolon boyunca ayrılması sonucunda göçmüştür. Deney sonucunda elde edilen aksenal yük-deplasman grafiği Şekil 4.16'da ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından soyulan CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Deney elemanı-6 yük-deplasman grafiği.



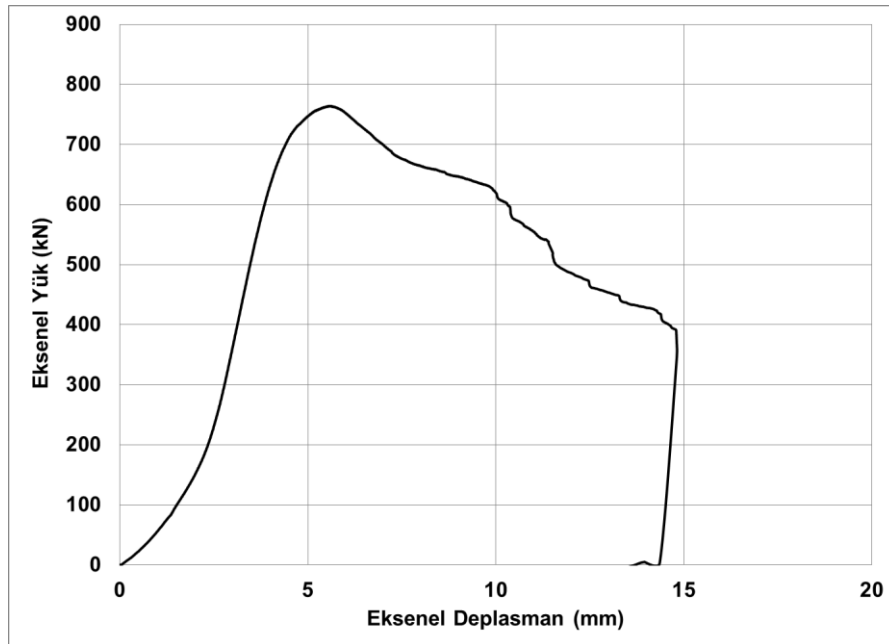
Şekil 4.17. Deney elemanı -6 üst ucunda betonda ezilmesi.



Şekil 4.18. Deney elemanı-6 CFRP şeridin yüzeyden soyulması sonucunda göçmesi.

4.7. Deney Elemanı-7

Deney elemanı-7, 25 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 50 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-7'de sargılamanın bindirme bölgesinde 2 nolu deney elemanından farklı olarak her şeritte bir adet CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Deney elemanı-7 testinde eksenel yükün artış göstermesi ile kolon alt ucunda beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda alt uçta yer alan iki şeridin beton yüzeyinden beton kabuğu ile birlikte soyuldukları gözlenmiştir. Daha sonra deney elemanı 764.09 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon alt bölgesindeki beton kabuğundaki ezilme bölgesi genişlemiş ve o bölgedeki CFRP şeritler beton kabuğu ile birlikte soyularak kopmuşlardır. Deney elemanı kolon alt ucundaki iki adet CFRP şeridin kopması ile göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen eksenel yük-deplasman grafiği Şekil 4.19'da ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.19. Deney elemanı-7 yük-deplasman grafiği.



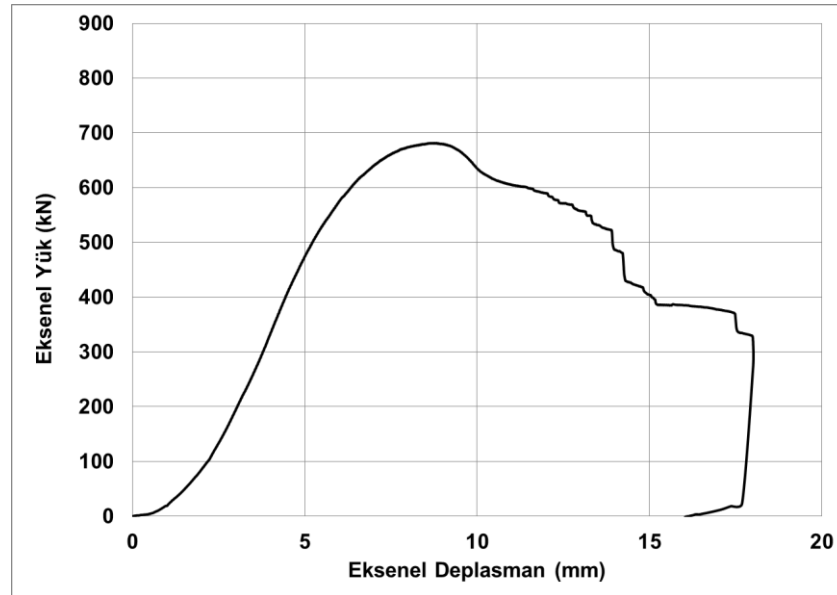
Şekil 4.20. Deney elemanı-7 alt ucunda betonda ezilme.



Şekil 4.21. Deney elemanı-7 alt ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.8. Deney Elemanı-8

Deney elemanı-8, 25 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 75 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-8'de sargılamanın bindirme bölgesinde 3 nolu deney elemanından farklı olarak her şeritte bir adet CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Deney elemanı-8 testinde aksel yükün artış göstermesi ile kolon üst ucunda CFRP şerit yapıştırılmayan aralıkta beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda hasar aldığı gözlenmiştir. Daha sonra deney elemanı 681.44 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon üst ucunda meydana gelen beton ezilme bölgesi genişleme göstermiş ve kolonun üst ucundan 1. ve 2. sırada yer alan CFRP şeritlerin beton yüzeyden ayrılmalarına neden olmuştur. Bu aşamadan sonra yüzeyden ayrılan CFRP şeritler koparak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen aksel yük-deplasman grafiği Şekil 4.22'de ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.22. Deney elemanı-8 yük-deplasman grafiği.



Şekil 4.23. Deney elemanı-8 üst ucunda betonda ezilme.

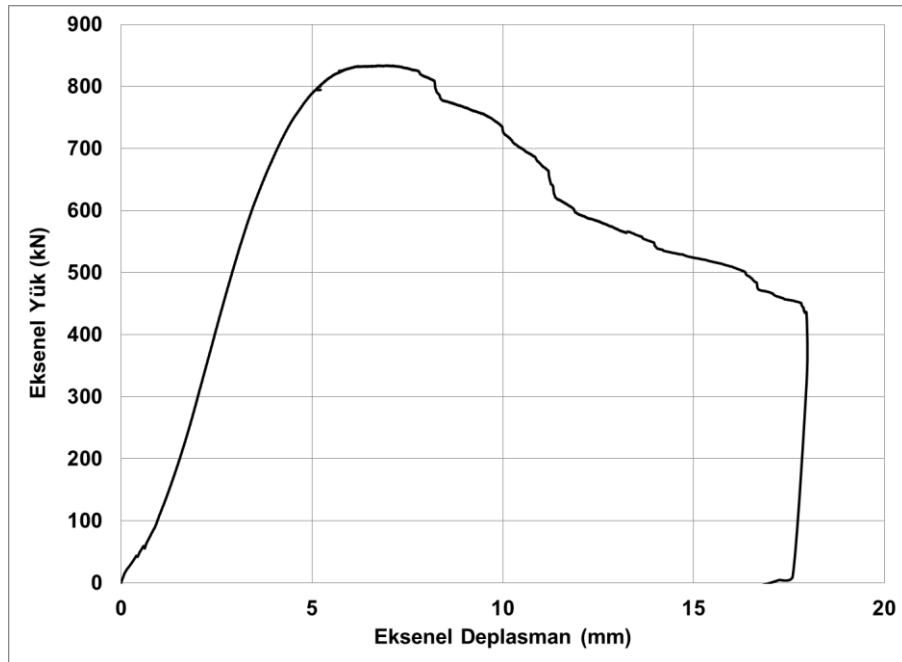


5

Şekil 4.24. Deney elemanı-8 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.9. Deney Elemanı-9

Deney elemanı-9, 50 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 75 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-9'da sargılamanın bindirme bölgesinde 4 nolu deney elemanından farklı olarak her şeritte bir adet CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Deney elemanı-9 testinde aksenal yükün artış göstermesi ile kolon üst ucunda 2. sırada yer alan CFRP şerit beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda kabuk ile birlikte yüzeyden ayrılmış ve daha sonra da kopmuştur. Daha sonra deney elemanı 833.82 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon üst ucunda meydana gelen beton ezilme bölgesi genişleme göstermiş ve kolonun üst ucundan 2. ve 3. sırada yer alan CFRP şeritlerin beton yüzeyden ayrılmasına neden olmuştur. Bu aşamadan sonra yüzeyden ayrılan CFRP şeritler koparak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen aksenal yük-deplasman grafiği Şekil 4.25'de ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.25. Deney elemanı-9 yük-deplasman grafiği.



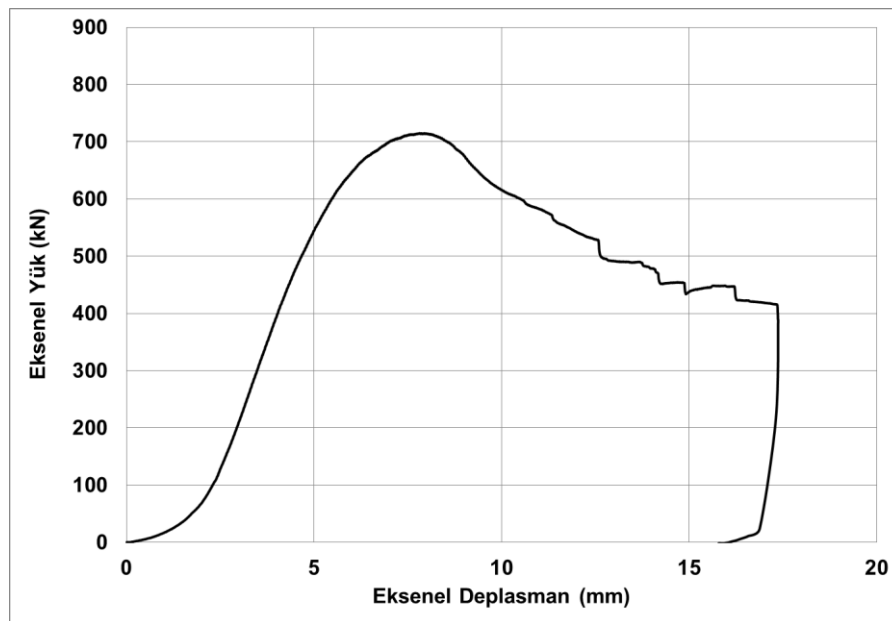
Şekil 4.26. Deney elemanı -9 üst ucunda betonda ezilmesi.



Şekil 4.27. Deney elemanı-9 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.10. Deney Elemanı-10

Deney elemanı-10, 50 mm genişliğinde CFRP şeritlerin 100 mm aralıkla kolon eksenine dik olarak sargılanması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-10'da sargılamanın bindirme bölgesinde 5 nolu deney elemanından farklı olarak her şeritte bir adet CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Deney elemanı-10 testinde eksenel yükün artış göstermesi ile kolon üst ucunda 1. ve 2. sırada yer alan CFRP şeritlerin beton kabuğunda meydana gelen ezilme sonucunda yüzeyden soyulma belirtileri göstermiş hasar meydana gelmiştir. Daha sonra deney elemanı 714.93 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra kolon üst ucunda meydana gelen beton ezilme bölgesi genişleme göstermiş ve kolonun üst ucundan 1. ve 2. sırada yer alan CFRP şeritlerin beton yüzeyinden ayrılmasına neden olmuştur. Bu aşamadan sonra yüzeyden ayrılan CFRP şeritler koparak deney elemanı göçmeye ulaşmıştır. Deney sonucunda elde edilen eksenel yük-deplasman grafiği Şekil 4.28'de ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından kopan iki CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.28. Deney elemanı-10 yük-deplasman grafiği.



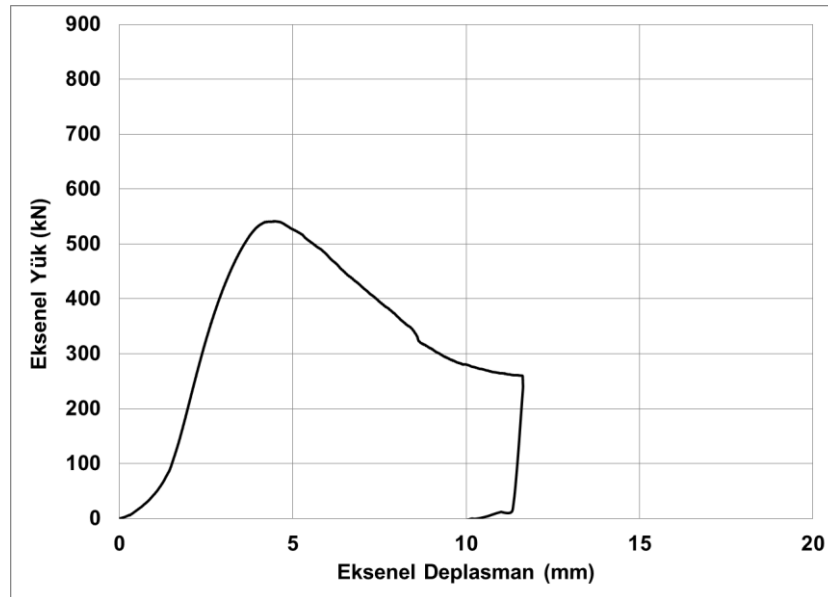
Şekil 4.29. Deney elemanı -10 üst ucunda betonda ezilmesi.



Şekil 4.30. Deney elemanı-10 üst ucundaki CFRP şeritlerin kopması sonucunda göçmesi.

4.11. Deney Elemanı-11

Deney elemanı-11, 65 mm genişliğindeki CFRP şeridin kolon eksenine paralel olarak, her kolon yüzeyine bir adet açılan 10 mm derinliğindeki çentiğin içerisine sokularak, yapıştırılması ile güçlendirilen deney elemanıdır. Deney elemanı-11'de 6 nolu deney elemanından farklı olarak kolon eksenini boyunca yapıştırılan CFRP şerit üzerinde CFRP fan tipi ankraj uygulaması yapılmıştır. Deney elemanı-11'de test başında kolon üst ucunda beton kabuğunda ezilme meydana geldikten sonra artan yükleme etkisiyle kolon eksenine paralel olarak yapıştırılan CFRP şerit ile aynı yönde çatlaklar meydana gelmiştir. Daha sonra deney elemanı 541.52 kN maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra deney elemanı CFRP şeridin yerleştirilmesi için açılan 10 mm derinliğindeki çentik yönünde oluşan çatlakların genişlemesi ve CFRP şeridin yüzeyden kolon boyunca ayrılması sonucunda göçmüştür. Deney sonucunda elde edilen aksel yük-deplasman grafiği Şekil 4.31'de ve deney başlangıcında meydana gelen beton kabuğundaki ezilme ve deney sonunda deney elemanından soyulan CFRP şeridin görüldüğü fotoğraflar ise sırasıyla Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Deney elemanı-11 yük-deplasman grafiği.



Şekil 4.32. Deney elemanı -11 üst ucunda betonda ezilmesi.



Şekil 4.33. Deney elemanı-11 CFRP şeridin yüzeyden soyulması sonucunda göçmesi.

5. DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI VE YORUMLANMASI

Deney elemanlarının testlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda eksenel yük-eksenel deplasman grafikleri elde edilmiştir. Eksenel yük-deplasman grafikleri kullanılarak deney elemanlarının maksimum taşıma güçleri, başlangıç rijitlikleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri gibi yapısal performans ve davranış için önemli olan parametreleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak deneysel çalışmada incelenen değişkenler ve geliştirilen güçlendirme detaylarının yapısal davranış ve performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. Deney Sonuçları.

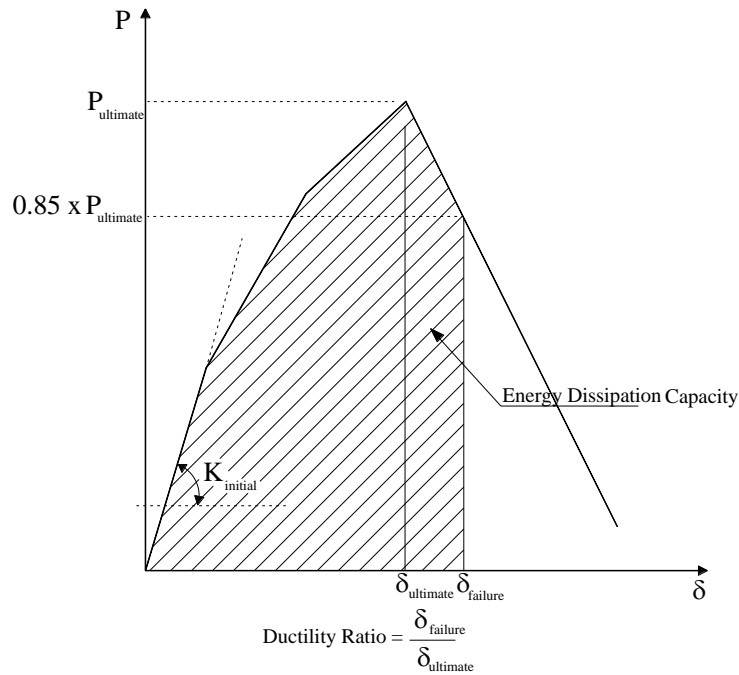
| Deney El. No | Maksimum taşıma gücü (kN) | Maksimum Taşıma Gücünde Deplasman (mm) | Başlangıç Rijitliği (kN/mm) | Deplasman Süneklik Oranı | Enerji Tüketim Kapasitesi (kN-mm) |
|--------------|---------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 423.06 | 7.13 | 72.67 | 1.51 | 3749.58 |
| 2 | 623.27 | 5.50 | 138.97 | 2.07 | 5095.45 |
| 3 | 559.71 | 7.91 | 90.72 | 1.51 | 4254.54 |
| 4 | 694.40 | 6.77 | 159.97 | 1.64 | 6703.25 |
| 5 | 595.69 | 7.24 | 100.07 | 1.60 | 4700.05 |
| 6 | 450.25 | 5.98 | 77.48 | 1.18 | 1568.06 |
| 7 | 764.09 | 5.62 | 159.73 | 1.57 | 5132.04 |
| 8 | 681.44 | 8.74 | 96.35 | 1.40 | 4882.60 |
| 9 | 833.82 | 7.02 | 175.70 | 1.49 | 6929.67 |
| 10 | 714.93 | 7.89 | 109.72 | 1.30 | 4962.69 |
| 11 | 541.52 | 4.49 | 140.91 | 1.40 | 2201.60 |

Deney elemanlarının maksimum taşıma gücü değerleri yük-deplasman grafiklerinde maksimum yük değerine ulaşılan nokta kullanılarak elde edilmiştir. Maksimum taşıma gücüne ulaşılan noktanın deplasman değeri de akma deplasmanı olarak alınmıştır. Bu değer daha sonra deplasman süneklik oranının hesaplanmasında kullanılmıştır. Deplasman süneklik oranı göçme noktasının deplasman değerinin, akma noktası deplasman değerine oranlanması ile hesaplanmıştır. Deney elemanlarının göçme noktası olarak maksimum taşıma gücü değerine ulaştıktan sonra deney elemanlarının taşıma gücünde % 15’lik bir kayıp olarak taşıma gücü değerinin % 85’ine düştüğü nokta

göçme noktası olarak belirlenmiştir. Bu noktanın deplasman değeri de akma noktası deplasman değerine oranlanarak deplasman süneklik oranı değeri hesaplanmıştır.

Deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri eksenel yük-deplasman grafiklerinde başlangıç bölümünü eğimi kullanılarak hesaplanmıştır. Deneylere başlandığı anda deney elemanlarında herhangi bir hasar meydana gelmeden yük-deplasman grafiklerini sabit eğimli ve lineer bölümleri kullanılarak deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri tespit edilmiştir.

Deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri eksenel yük-deplasman grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak elde edilmiştir. Eksenel yük-deplasman grafiklerinin göçme noktasına kadar olan bölümleri kullanılarak deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri hesaplanmıştır. Bu noktadan sonraki bölümler hesaplama dahil edilmemiştir. Göçme noktası deplasman süneklik oranlarının hesaplanmasında kullanılan nokta ile özdeşdir. Yukarıda özetlenen hesaplamalarda kullanılan noktalar ve yaklaşım tarzı Şekil 5.1'de tipik bir eksenel yük-deplasman grafiği üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Başlangıç rijitliği, deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesinin hesaplanması için kullanılan yaklaşım.

Deneysel çalışma kapsamında CFRP şeritlerin kısa betonarme kolon eksenine paralel ve dik uygulanması şeklinde geliştirilen güçlendirme detaylarının hepsi betonarme kolon eksenel taşıma gücünü önemli oranda artırmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının herhangi bir güçlendirme uygulanmayan Deney elemanı-1'e göre maksimum taşıma gücü değerleri % 6 ile % 97 gibi değişen oranlarda artış göstermiştir. Güçlendirilen deney elemanlarının maksimum taşıma gücü değerleri güçlendirilmemiş referans deney elemanından ortalama %53 gibi önemli bir miktarda artmıştır. Betonarme kolon deney elemanlarında güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şeritlerin genişliklerinin artması betonarme kolon deney elemanlarının eksenel taşıma gücü değerlerini de artırmıştır. CFRP şerit genişliğinin 25 mm'den 50 mm'ye artış göstermesi betonarme kolon taşıma gücü değerlerini ortalama %8 oranında artırmıştır. Güçlendirme için kullanılan CFRP şerit aralıklarının artması, betonarme kolonların eksenel taşıma gücünü ortalama %14 oranında azalmasına neden olmuştur. 25 mm genişliğindeki CFRP şeritlerde şerit aralığının 50 mm'den 75 mm'ye, 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerde ise 75 mm'den 100 mm'ye artması deney elemanlarının taşıma gücünü azaltmıştır. 50 mm genişliğindeki azalım oranı daha yüksek olmuştur. Güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şeritlerde ayrıca sargılama bindirme bölgesinde ve dik şeritlerde şerit ortasında CFRP fan tipi ankraj kullanımı betonarme kolonların taşıma gücü değerlerinin ortalama % 21 oranında artmasına neden olmuştur. Deneysel çalışma kapsamında geliştirilen güçlendirme detaylarında CFRP şeritler kolon eksenine dik olarak sargılama şeklinde ve kolon eksenine paralel olarak çentik içerisine iki şekilde konumlandırılmıştır. Geliştirilen güçlendirme detayları içerisinde şeritlerin kolon eksenine dik sargılama şeklinde yerleştirilmesi durumunda taşıma gücü değerleri şeritlerin paralel yerleştirildiği durumlara göre daha fazla taşıma gücü değerlerini artırmış olup, bu artış oranı ankrajsız seride ortalama % 37, ankrajlı seride ise ortalama % 38 olarak hesaplanmıştır.

Deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri de uygulanan güçlendirme tekniklerinden olumlu olarak etkilenmiş ve önemli oranda artış göstermiştir. CFRP şeritler ile uygulanan güçlendirme şekilleri sonucunda başlangıç rijitliği değerleri, güçlendirilmemiş deney elemanı-1 referans elemanından ortalama % 70 gibi önemli oranda artış sergilemiştir. Güçlendirme tekniği olarak kolon eksenine dik şekilde sargılama elemanı gibi yerleştirilen CFRP şeritlerde kullanılan aralığın artması,

başlangıç rijitliği değerlerini önemli oranda ortalama % 60 azaltmıştır. 25 mm genişliğindeki CFRP şeritlerde aralığın 50 mm'den 75 mm'ye artması ve 50 mm genişliğinde CFRP şeritlerde ise aralık değerini 75 mm'den 100 mm'ye artış göstermesi deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerlerini önemli oranda azaltmıştır. Deney elemanlarında güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şerit genişliğinin artması, başlangıç rijitliği değerinin de artmasına neden olmuştur. CFRP şerit genişliğinin 25 mm'den 50 mm'ye artış göstermesi, başlangıç rijitliği değerlerini ortalama % 12 oranında artmasına neden olmuştur. Deney elemanlarında sargılama bindirme bölgesinde ve kolon ekseni boyunca yerleştirilen şeritlerde CFRP fan tipi ankraj kullanılması deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerlerini ortalama % 24 oranında artmasına neden olmuştur. CFRP fan tipi ankraj uygulaması CFRP şeritlerin kolon ekseni boyunca yerleştirildiği deney elemanlarında daha büyük etki göstermiş ve başlangıç rijitliği değerlerini ortalama % 82 oranında artırmıştır. Artış oranı CFRP şeritlerin sargılama şeklinde kolon eksenine dik yerleştirildiği durumda ortalama % 10 olmuştur. Güçlendirme amacıyla kullanılan CFRP şeritlerin uygulama şekli betonarme kolonların başlangıç rijitliği değerleri üzerinde son derece etkili olmuştur. CFRP şeritlerin kolon eksenine dik olarak sargılama elemanı şeklinde yerleştirildiği deney elemanları, CFRP şeridin kolon eksenine paralel olarak çentik içerisine yerleştirildiği deney elemanından, CFRP fan tipi ankrajın kullanılmadığı durumda, ortalama % 58 daha fazla başlangıç rijitliği değeri sergilemişlerdir. CFRP fan tipi ankrajın kullanıldığı seride CFRP şeridin kolon eksenine paralel olarak çentik içerisine yerleştirilen deney elemanın başlangıç rijitliği çok daha büyük oranda artış göstermiş ve CFRP şeritlerin deney elemanı eksenine dik olarak yerleştirildiği bazı deney elemanlarını bile geçmiştir. CFRP fan tipi ankrajlı şeritlerin kolon eksenine dik yerleştirildiği deney elemanlarının başlangıç rijitliği değerleri, paralel yerleştirilen deney elemanından ortalama sadece % 4 oranında daha büyük hesaplanmıştır.

Betonarme kısa kolon deney elemanlarına uygulanan güçlendirme yöntemleri kolonların maksimum taşıma gücü değerlerini ve başlangıç rijitliği değerlerini önemli oranlarda artırırken, deplasman süneklik oranları üzerinde de önemli sayılabilecek bir değişim yada azalmaya neden olmamıştır. Bu uygulanan güçlendirme detayları açısından ele alındığında son derece önemli bir başarıdır. Maksimum taşıma gücü ve başlangıç rijitliği değerlerindeki önemli oranlarda artışa rağmen güçlendirilmiş deney

elemanlarının ortalama deplasman süneklik oranı değeri 1.52 olarak hesaplanmış olup, bu değer güçlendirilmemiş deney elemanı-1'in 1.51 olan süneklik oranı değerine çok yakındır. Ankrajsız CFRP şeritler ile sargılama şeklinde güçlendirilen deney elemanlarının hepsinin deplasman süneklik oranları güçlendirilmemiş deney elemanı-1'den daha fazla elde edilmiştir. Ankrajlı CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarında hesaplanan deplasman süneklik oranları ankrajsız seriye göre biraz daha düşük değerlerde olup, sadece deney elemanı-7'nin deplasman süneklik oranı referans deney elemanı-1'de daha büyük hesaplanmıştır. CFRP şeritlerin kolon eksenine dik yerleştirildiği ve sargılama elemanı olarak kullanıldığı güçlendirme uygulamalarında, CFRP şeritlerin kolon eksenine boyunca kullanıldığı duruma göre deplasman süneklik oranları çok daha büyük elde edilmiş olup, sargılama tekniği daha başarılı olmuştur. Ancak CFRP fan tipi ankraj uygulaması CFRP şeritlerin sargılama elemanı şeklinde kolon eksenine dik yerleştirildiği durumda deplasman süneklik oranlarının azalmasına neden olurken, CFRP şeritlerin kolon eksenine paralel olarak yerleştirildiği güçlendirme detayında CFRP fan tipi ankraj uygulama deplasman süneklik oranının önemli oranda artmasını sağlamıştır.

Deney elemanlarına uygulanan güçlendirme teknikleri maksimum taşıma gücü değerlerinin ve başlangıç rijitliği değerlerinin önemli oranlarda artmasını sağlarken, enerji tktim kapasitesi üzerinde de etkili olmuş ve CFRP şeritlerin sargılama elemanı olarak kullanıldığı durumda enerji tktim kapasitesinin önemli oranda artmasını sağlamıştır. CFRP şeritlerin sargılama elemanı olarak kolon eksenine dik olarak yerleştirildiği deney elemanlarının enerji tktim kapasiteleri, güçlendirilmemiş deney elemanı-1'den ortalama % 42 oranında büyük elde edilmiştir. CFRP şeritlerin kolon eksenine paralel olarak yerleştirilmesi durumunda ise enerji tktim kapasiteleri, referans deney elemanı-1'den ortalama % 50 daha küçük hesaplanmıştır. CFRP şeritlerin sargılama elemanı olarak kullanıldığı güçlendirme tekniğinde CFRP şerit aralığının büyümesi enerji tktim kapasitesi değerlerini ortalama % 27 oranında azaltmıştır. Enerji tktim kapasitesindeki azalım oranı 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerde çok daha büyük oranda olmuş, 50 mm genişliğindeki CFRP şeritlerde, şerit aralığının 75 mm'den 100 mm'ye artması, enerji tktim kapasitesini çok daha büyük oranda düşmesine neden olmuştur. Sargılama elemanı olarak kullanılan güçlendirme tekniğinde CFRP şerit genişliğinin artması kolonlar tarafından tktilen enerji

miktarının artmasına neden olmuştur. 50 mm genişliğindeki CFRP şeritler ile güçlendirilen deney elemanları 25 mm genişliğindeki şeritler ile güçlendirilen deney elemanlarından ortalama % 20 daha fazla enerji tüketim kapasitesi sergilemiştir. Betonarme kolonlarda CFRP fan tipi ankraj uygulaması deney elemanları tarafından tüketilen enerji miktarının artmasını sağlamıştır. Ankrajlı deney elemanları ankrajsız olanlardan ortalama % 13 daha fazla enerji tüketim kapasitesi sergilemişlerdir. CFRP fan tipi ankraj uygulaması en büyük enerji tüketim kapasitesi artışına CFRP şeritlerin kolon eksenine paralel yerleştirildiği güçlendirme tekniğinde neden olduğu görülmüştür. Bu teknikte enerji tüketim kapasitesi referans elemandan daha düşük olmasına rağmen, ankraj uygulaması çok daha büyük oranda olumlu bir etki yaparak enerji tüketim kapasitesinin % 40 oranında artmasını sağlamıştır. Betonarme kolonlarda uygulanan güçlendirme tekniğinde şeritlerin yerleşimi enerji tüketim kapasitesi üzerinde en büyük etkiyi yaratan parametredir. CFRP şeritlerin sargılama eleman olarak yerleştirildiği deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri, CFRP şeritlerin kolon eksenine paralel olarak yerleştirildiği deney elemanlarından CFRP fan tipi ankrajın kullanılmadığı seride ortalama % 231, ankrajın kullanıldığı seride ise ortalama % 149 daha büyük hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yürütülen deneysel çalışmada değişik şekilde yerleşimi yapılan CFRP şeritler ile güçlendirilmiş kısa betonarme kolonların aksenal yükleme etkisi altındaki performanslarının artırılması amaçlanmıştır. Çalışmada güçlendirme için karbon takviyeli elyaf kumaş (CFRP) şeritlerin kullanılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler güçlendirme amacıyla geliştirilen detaylarda kullanılan CFRP şeritlerin yerleşim şekli, sargılama elemanı şeklinde kolon aksenine dik yerleştirilen CFRP şeritlerde şerit genişliği ve aralığı ile CFRP fan tipi ankrajın güçlendirme detaylarında kullanılıp kullanılmamasıdır. Geliştirilen güçlendirme detayları ile betonarme kısa kolon deney elemanlarının aksenal yük taşıma gücü ve başlangıç rijitlik oranlarının ne ölçüde artırılabilceğinin araştırılmasının yanı sıra, hedeflenen bir diğer önemli konu ise kolonların maksimum aksenal kuvvet taşıma gücü ve başlangıç rijitliği değerleri arttırılırken, aynı zamanda deplasman süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitesi gibi önemli yapısal davranış parametrelerinin nasıl bir değişim gösterdiklerinin incelenmesidir. Geliştirilen güçlendirme detayları ile taşıma gücü ve rijitlikte önemli oranlarda artış sağlanırken süneklik oranı ve enerji tüketim kapasitelerinde de düşüş olmasına yol açmayacak, hatta bir miktar artış sağlayabilecek bir güçlendirme tekniğinin oluşturulması yürütülen deneysel çalışmanın önemli hedeflerinden biridir.

Deneysel çalışma sonucunda bir adedi güçlendirilmemiş referans ve 10 adedi ise geliştirilen güçlendirme detayları ile güçlendirilmiş betonarme kısa kolon deney elemanı olmak üzere, toplam 11 adet kolon, monotonik artan aksenal yük etkisi altında göçene kadar test edilmiştir. Deneyler sonunda elde edilen aksenal yük-deplasman grafikleri kullanılarak betonarme kısa kolon deney elemanlarının maksimum aksenal yük taşıma güçleri, başlangıç rijitliği değerleri, deplasman süneklik oranları ve enerji tüketim kapasiteleri hesaplanarak yorumlanmış, güçlendirilmemiş referans elemanı ile karşılaştırılarak güçlendirme tekniklerinin performansları incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Betonarme kısa kolonlara CFRP şeritler ile uygulanan güçlendirme teknikleri kolonların aksenal taşıma gücü değerlerini ve başlangıç rijitliği değerlerini sırasıyla ortalama % 53 ve % 70 oranlarında önemli sayılabilecek bir büyüklükte artmıştır.

- Taşıma gücünün artırılmasında CFRP şeritleri sargılama elemanı olarak kolon eksenine dik olarak konumlandırıldığı güçlendirme tekniği, CFRP şeritlerin kolon eksenine paralel olarak çentik içerisinde yerleştirildiği güçlendirme tekniğine göre daha başarılı olmuştur.
- Sargılama elemanı olarak CFRP şeritlerin yerleştirildiği güçlendirme tekniğinde CFRP şerit genişliğinin artırılması ve CFRP şerit aralığının azaltılması hem taşıma gücü hem de başlangıç rijitliği değerlerini artırmıştır.
- CFRP şeritlere ek olarak sargılama bindirme bölgesinde veya kolon eksenini boyunca dik olarak yapıştırılan CFRP şeritlerde CFRP fan tipi ankraj kullanımı hem taşıma gücünü hem de başlangıç rijitliği değerlerinin artmasını sağlamıştır.
- Deneysel çalışmada hedeflendiği gibi uygulanan her iki güçlendirme tekniği de betonarme kolonların taşıma gücü ve başlangıç rijitliği değerlerini arttırmalarına rağmen, deplasman süneklik oranları üzerinde çok büyük oranda olumsuz bir etki yaratmamışlardır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ortalama deplasman süneklik oranı değeri 1.52 olarak, güçlendirilmemiş referans deney elemanına çok yakın bir değerde hesaplanmıştır.
- Özellikle CFRP şeritlerin sargılama elemanı olarak kolon eksenine dik olarak yerleştirildiği ve ankraj kullanılmayan deney elemanlarının hepsinin deplasman süneklik oranları, güçlendirilmemiş referans deney elemanından daha yüksek hesaplanmıştır.
- Betonarme kolon deney elemanlarına güçlendirme amacıyla uygulanan CFRP şerit yerleşimlerinden kolon eksenine dik olarak konumlandırılan deney elemanlarının enerji tüketim kapasiteleri güçlendirilmemiş referans deney elemanında ortalama % 42 oranında büyük elde edilmiş olup, bu oldukça başarılı bir sonuçtur. Başlangıç rijitliği ve maksimum taşıma gücü değerlerinde önemli oranlarda artış meydana gelmesinin yanı sıra bu teknikte güçlendirilen deney elemanlarında deplasman süneklik oranında önemli bir düşüş olmamış ve ek olarak enerji tüketim kapasitelerinde önemli oranda bir artış sağlanmıştır. Bu sonuçlar geliştirilen güçlendirme detayının son derece başarılı bir performans sergilediğini göstermektedir.
- CFRP şeritlerin kolon eksenine dik olarak yerleştirildiği güçlendirme tekniğinde CFRP şerit genişliğinin artması ve şerit aralıklarının azalması enerji tüketim

kapasitesinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca CFRP sargılama bindirme bölgesinde CFRP fan tipi ankraj kullanımı enerji tüketim kapasitelerinin artmasını sağlamıştır.

- CFRP şeritlerin kolon eksenine paralel yerleştirildiği güçlendirme detayında enerji tüketim kapasiteleri referans kolon deney elemanına göre düşük kalmasına rağmen, CFRP şeride ek olarak CFRP fan tipi ankraj kullanımı enerji tüketimini ankrajsız elemanan göre % 40 oranında artmasını sağlayarak enerji tüketim kapasitesinin referans betonarme kolon deney elemanına daha fazla yaklaşmasına neden olmuştur.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında yapılabilecek ileriye yönelik araştırma önerileri aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Yürütülen çalışmada geliştirilen güçlendirme detayları geliştirilerek her iki güçlendirme tekniğinin bir arada kullanıldığı hibrit bir güçlendirme detayı tasarımının deneysel olarak incelenmesi gerçekleştirilebilir. CFRP şeritlerin hem kolon eksenine paralel hem de dik olarak konumlandırıldığı yeni bir güçlendirme detayı tasarımının deneysel olarak incelenmesi yapılabilir.
- Bu çalışmada betonarme kısa kolonların güçlendirilmesi üzerinde bir araştırma yürütülmüştür. Benzer olarak geliştirilen güçlendirme detaylarının belirli düzeyde hasarlı betonarme kolonlarda onarım amacıyla kullanılmasına yönelik olarak deneysel bir araştırma yürütülebilir.

Deneysel sonuçlar ışığında güçlendirilmiş betonarme kolonların taşıma gücü değerlerinin gerçekçi olarak hesaplanabilmesi ve yük-deplasman davranışlarının simülasyonunun yapılabilmesi için ANSYS veya ABAQUS gibi sonlu elemanlar yazılımları ile deneyleri gerçekleştirilen kolonların sonlu eleman analizleri yapılabilir. Bu şekilde deneysel veriler ile doğrulanmış bir sonlu elemanlar modeli kullanılarak deney yapılmadan CFRP şeritler ile güçlendirilmiş betonarme kolonların taşıma güçlerinin bilgisayar simülasyonu ile tahmin edilmesi mümkün olabilecektir.

7. KAYNAKLAR

- Adhikary, B.B., Mutsuyoshi H. and Sano M. "Shear strengthening of reinforced concrete beams using steel plates bonded on beam web: experiments and analysis." *Construction and Building materials* 14(5): 237-244 (2000).
- Ajoudani N., "Mevcut betonarme yapıları lifli polimerler ile güçlendirme konusu üzerinde bir araştırma ve ANSYS programı kullanarak, karbon lifli polimer ile güçlendirilmiş olan bir kolonun davranışının analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum (2015).
- Chajes, M. J., Januszka, T. F., Mertz, D. R., Thomson, T. A., and Finch, W. W. Shear strengthening of reinforced concrete beams using externally applied composite fabrics. *Structural Journal*, 92(3), 295-303 (1995).
- Chronopoulos, M. P. "Response of repaired/strengthened reinforced concrete columns under cyclic actions." *Proceedings of the 8th European Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal*. Vol. 5. (1986).
- Endo, T., Okifuji, A., Sugano, S., Ayashi, T., Shimizu, T., Takahara, K., ... and Yoneyama, Y. Practices of seismic retrofit of existing concrete structures in Japan. *In Proc. of 8th world conference on earthquake engineering* (Vol. 1, pp. 469-76) (1984).
- Deifalla, A., and Ghobarah, A. Strengthening RC T-beams subjected to combined torsion and shear using FRP fabrics: Experimental study. *Journal of composites for construction*, 14(3), 301-311 (2010).
- Göçgenci A., "Mevcut bir yapının 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'ne göre performansının belirlenmesi ve ekonomik bir güçlendirme önerisi", Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla (2016).
- Higashi, Y., Endo, T., and Shimizu, Y. Experimental studies on retrofitting of reinforced concrete building frames. *In Proceedings of the eight world conference on earthquake engineering* (Vol. 1, pp. 477-484) (1984).
- Hueste, M. B. D., and Bai, J. W. Seismic retrofit of a reinforced concrete flat-slab structure: Part II—Seismic fragility analysis. *Engineering Structures*, 29(6), 1178-1188 (2007).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Kawamata, S. and Ohnuma, M., “Strengthening Effect Of Eccentric Steel Braces To Existing Reinforced Concrete Frames”, *Proceedings Of The 7th World Conference On Earthquake Engineering*, Istanbul, Structural Aspects, 1:513-520 pp. (1980).
- Khoshkholghi S., “Püskürtme bazalt tekstil takviyeli GFRC ile düşük dayanımlı kolonların güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2015).
- Parlakoğlu, H., “3-6 katlı betonarme çerçevesel binaların karbon takviyeli elyaflar ile güçlendirilmesi ve diğer güçlendirme yöntemleri ile maliyetlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
- Pincheria, J. A. and Jirsa, J. O., , “Seismic Response Of RC Frames Retrofitted With Steel Braces Or Walls”, *Journal Of Structural Engineering*, ASCE, 121 (8): 1225-1236 pp. (1995).
- Sanrı M., “Farklı tekniklerle güçlendirilen betonarme yapıların güçlendirme maliyetlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2015).
- Saumitra Jain, M. Chellapandian, S. Suriya Prakash, Emergency repair of severely damaged reinforced concrete column elements under axial compression: An experimental study”, *Construction and Building Materials* 155, 751–761 (2017)
- Suleyman, R., “Repair and strengthening of reinforced concrete columns”, Ph. D. *Thesis in Middle East Technical University*, Ankara January, (1991).
- Şik H., “Deprem güvenliği yetersiz betonarme bir bina için farklı güçlendirme önerilerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır (2014).
- Uzunhasanoğlu A., “Betonarme kolonların depreme karşı güçlendirilmesinde aramid lifli polimer güçlendirme donatılarının kolon temeline ankrajı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2012).
- Ziraba, Y., N. and Baluch, M., H., “Computational model for reinforced concrete beams strengthened by epoxy bonded steel plates”, *Finite Elements in Analysis and Design* 20, (1995).

8. ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Güven KANDEMİR
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir, 17/05/1988



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü (2013)
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Stajlar : Türkerler İnşaat (2010)
Can İnşaat (2011)
İpek İnşaat (2012)

Projeler :
Çalıştığı Kurumlar : Eskişehir Işık Yapı Denetim (2013-2014)
Eskişehir Ünlü İnşaat (2014-2017)

İletişim

Adres : ESKİŞEHİR
E-Posta Adresi : guvenkandemir@hotmail.com.tr

Tarih:24/12/2018