

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİNDİRME PROBLEMİ OLAN BETONARME KOLONLARIN EĞİLME
DAYANIMININ BOYUNA FRP TAKVİYESİ İLE ARTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Hatice Aybüke YILDIZ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şevket ÖZDEN

KOCAELİ, 2006

**BİNDİRME PROBLEMİ OLAN BETONARME KOLONLARIN EĞİLME
DAYANIMININ BOYUNA FRP TAKVİYESİ İLE ARTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Hatice Aybüke YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 7 Ekim 2006

Tezin Savunulduğu Tarih: 15 Aralık 2006

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Şevket ÖZDEN

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Cem YALÇIN

(.....)

Üye

Yrd. Doç. Dr. Adnan ÖNAR

(.....)

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Betonarme kolonların eğilme dayanımının karbon elyaf takviyesi ile nasıl değiştiğini incelemek için yapılan bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Yapı Laboratuvarında, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Fonu tarafından sağlanan maddi destek ile gerçekleştirilmiştir. Katkılarından dolayı adı geçen kuruluşa teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana olan destek ve deneysel çalışmama olan katkılarından dolayı, tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Şevket ÖZDEN'E içten teşekkürlerimi ve derin saygılarımı sunarım.

Attığım her adımda sevgileriyle beni destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

Deney elemanlarının üretiminde ve deneylerin yürütülmesinde, araştırma görevlileri Sayın Mehmet Özgür, Erkan Akpınar, Abdurrahman Çukdar, Serkan Engin ve Hilal Meydanlı ile adlarını burada saymadığım bazı KOU lisans öğrencilerimiz yardımcı olmuşlardır. Kendilerine deneylerin ilerlemesindeki bu önemli katkılarından dolayı içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | iii |
| TABLolar DİZİNİ | v |
| SEMBOLLER | vi |
| ÖZET | viii |
| İNGİLİZCE ÖZET | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER | 4 |
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMA | 10 |
| 3.1 Malzemeler | 10 |
| 3.1.1 Çimento | 10 |
| 3.1.2 Agregalar | 10 |
| 3.1.3 Donatı çeliği | 11 |
| 3.1.4 Karbon elyaf- cam elyaf | 12 |
| 3.1.5 Epoksi bazlı yapıştırıcı | 13 |
| 3.2 Deney Değişkenleri ve Numunelerin Adlandırılması | 14 |
| 3.3 Deney Numunelerinin Tasarımı | 18 |
| 3.4 Boyuna Donatısı Bindirmeli Ekli Deney Numuneleri İçin Bindirme Boyu Hesabı | 19 |
| 3.5 Beton Karışımları | 21 |
| 3.6 Deney Numunelerinin Üretimi | 21 |
| 3.7 Deney Aşaması | 23 |
| 3.7.1 Beton deneyleri | 23 |
| 3.7.2 Kolon deneyleri | 24 |
| 4.1 Deney Numunelerine Ait Kapasite Zarf Eğrilerinin Değerlendirilmesi | 40 |
| 4.2 Rijitlik | 42 |
| 4.3 Enerji Yutma Kapasiteleri | 44 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 48 |
| KAYNAKLAR | 49 |
| ÖZGEÇMİŞ | 50 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 3.1. Kullanılan Donatıların Nervür Geometrisi | 11 |
| Şekil 3.2. $\Phi 8$ Donatı İçin σ - ϵ Grafiği..... | 11 |
| Şekil 3.3. $\Phi 12$ Donatı İçin σ - ϵ Grafiği..... | 12 |
| Şekil 3.4. Deney Değişkenlerinin Şematik Gösterimi | 16 |
| Şekil 3.5. Numunelerin Genel Görünümü- I..... | 17 |
| Şekil 3.6. Numunelerin Genel Görünümü- II..... | 17 |
| Şekil 3.7. Numune Donatı İskeletinin Şematik Görünümü..... | 20 |
| Şekil 3.8. Boyuna Donatısı Sürekli ve Bindirmeli Ekli Numunenin Donatı İskeleti Gösterimi..... | 20 |
| Şekil 3.9. Numune Kalıbı ve Donatı Yerleşimi..... | 22 |
| Şekil 3.10. Karbon ve Cam Elyaf Sargılama İşlemi..... | 23 |
| Şekil 3.11. Numunelere Yapıştırılan Yer Değiştirme Ölçerlerin Gösterimi | 24 |
| Şekil 3.12. Deney Numunelerinin Güçlendirilmesi..... | 26 |
| Şekil 3.13. AF(C0G0)- Pilot Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 27 |
| Şekil 3.14. AF(C5G3)- S1 Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 27 |
| Şekil 3.15. AF(C1G3)- S2 Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 28 |
| Şekil 3.16. AF(C0G0)- S3 Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 28 |
| Şekil 3.17. AF(C0G0)- B1 Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 29 |
| Şekil 3.18. AF(C0G0)- B2 Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 29 |
| Şekil 3.19. AF(C5G3)- B3 Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 30 |
| Şekil 3.20. AF(C1G3)- B4 Numunesine Ait Moment- Eğrilik Grafiği | 30 |
| Şekil 3.21. AF(C0G0)-Pilot Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği..... | 32 |
| Şekil 3.22. AF(C5G3)-S1 Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği | 33 |
| Şekil 3.23. AF(C1G3)-S2 Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği | 34 |
| Şekil 3.24. AF(C0G0)-S3 Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği | 35 |
| Şekil 3.25. AF(C0G0)-B1 Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği | 36 |
| Şekil 3.26. AF(C0G0)-B2 Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği | 37 |
| Şekil 3.27. AF(C5G3)-B3 Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği | 38 |
| Şekil 3.28. AF(C1G3)-B4 Numunesine Ait Doğrulanmış Kesme Kuvveti- Kat Arası Ötelenme Grafiği | 39 |

| | |
|--|----|
| Şekil 4.1. Deney Numunelerine ait Yatay Yük- Rölâtif Kat Arası Deplasman Zarfları Grafîği | 41 |
| Şekil 4.2. Sekant Rijitlik Tanımı | 43 |
| Şekil 4.3. Deney Numunelerine Ait Ötelenme- Rijitlik Grafîği..... | 43 |
| Şekil 4.4. Enerji Kaybı ve Eş Değer Sönümleme Miktarı | 45 |
| Şekil 4.5. Toplam Enerji Dağılım Eğrisi..... | 46 |
| Şekil 4.6. Eş Değer Sönümleme Etkisi | 46 |

TABLULAR DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Tablo 3.1. Kullanılan Agregaların Elek Analizi Sonuçları | 10 |
| Tablo 3.2. Kullanılan Elyafların Karakteristik Değerleri..... | 13 |
| Tablo 3.3. Kullanılan Epoksinin Özellikleri | 14 |
| Tablo 3.4. Kolon Deneylerinde Kullanılan Beton Karışımları | 21 |
| Tablo 3.5. Kullanılan Yer Değiştirme Ölçerlere Ait Hassasiyet ve Ölçüm boyları ... | 25 |
| Tablo 3.6. Deney Numunelerinin Sayısal Değerleri..... | 31 |
| Tablo 4.1. Deney Numunelerinin Maksimum Yük Deplasman Değerleri | 42 |
| Tablo 4.2. Yutulan Toplam Enerji Miktarı | 44 |

SEMBOLLER

| | |
|--------------------|--|
| A_0 | : Çekme Donatısı Kesit Alanı (mm^2) |
| A_s | : Kolonun Bir Yüzüne Yapıştırılmış Elyafın Toplam Kesit Alanı (mm^2) |
| A_s | : Kesme dayanımına katkı sağlayan etriye kesit alanı toplamı (mm^2) |
| a | : Kesitte Dikdörtgene Dönüştürülmüş Basınç Gerilme Bloğunun Derinliği Kayma Açıklığı (mm) |
| b | : Kolon en kesit genişliği (mm) |
| d | : Kolon En Kesiti Faydalı Derinliği (mm) |
| E | : Donatı çeliği elastisite modülü (MPa) |
| f_c | : Elemanın beton basınç dayanımı (MPa) |
| f_c | : Karakteristik beton basınç dayanımı (MPa) |
| f_{ctd} | : Karakteristik betonun tasarım çekme dayanımı (MPa) |
| f_s | : Donatı çeliği üzerindeki çekme gerilmesi (MPa) |
| f_y | : Donatı çeliği akma dayanımı (MPa) |
| f_s | : Donatının çekme dayanımı (MPa) |
| f_{su} | : Donatının kopma dayanımı (MPa) |
| f_{yd} | : Boyuna donatı tasarım akma dayanımı (MPa) |
| f_{ywd} | : Enine donatı tasarım akma dayanımı (MPa) |
| h | : Kesit yüksekliği (mm) |
| L_b | : Kenetlenme boyu (mm) |
| f_{sp} | : Silindir yarma dayanımı (MPa) |
| f_r | : Betonun eğilmede çekme dayanımı (MPa) |
| L_0 | : Bindirme boyu (mm) |
| M_r | : Eğilme momenti taşıma gücü (kN. m) |
| N | : Eksenel yük (kN) |
| P | : Uygulanan tersinir tekrarlanır yük (kN) |
| r | : Aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranını |
| s | : Enine donatı açıklığı (mm) |
| t | : Kalınlık (mm) |
| u | : Aderans gerilmesi |
| V_r | : Kesitin kesme kuvveti kapasitesi (MPa) |
| ϵ | : Şekil değiştirme |
| ϵ_{su} | : Kopma birim uzaması |
| ϵ_{sunif} | : Düzgün doğrusal uzama |
| ϵ_{smax} | : En büyük uzama ve kısalma |
| ϵ_y | : Donatıda akma birim uzaması ve kısalması |
| ϕ | : Düz yüzeyli donatı |
| Φ | : Nervürlü donatı çapı |
| v | : Eksenel yük oranı |
| a/d | : Kayma açıklığı- faydalı derinlik oranı |
| V_e | : Kesit üzerinde, yüklemelerden doğan kesme zoru (kN) |
| δ | : Yükleme doğrultusundaki yer değiştirme (mm) |
| μ_Δ | : Yer değiştirme süneklik oranı |
| α_i | : Aynı kesite eklenen donatının toplam donatıya oranı |

k_p : Sekant rijitlik
 P_{max}^+ : Herhangi bir yük çevriminde ulaşılan maksimum pozitif yatay yük
 P_{max}^- : Herhangi bir yük çevriminde ulaşılan maksimum negatif yatay yük
 $\Delta_{@P_{max}^+}$: P_{max}^+ yük seviyesine karşılık gelen deplasman
 $\Delta_{@P_{max}^-}$: P_{max}^- yük seviyesine karşılık gelen deplasman

Kısaltmalar

TS : Türk Standartları

BİNDİRME PROBLEMİ OLAN KOLONLARIN EĞİLME DAYANIMININ BOYUNA FRP TAKVİYESİ İLE ARTIRILMASI

Hatice Aybüke YILDIZ

Anahtar Kelimeler: Kolon, Betonarme, Bindirmeli Ek, Karbon Elyaf Takviyeli Polimer, Cam Elyaf Takviyeli Polimer.

Özet: Türkiye’de inşa edilen yapıların bir bölümü deprem yönetmeliklerinin şartlarını sağlamamaktadır ve bunların önemli bir kısmında da yapı elemanlarının kesit kapasiteleri oluşan kesit zorlarını taşıyamayacak durumdadır. Bu yapılar; düşük beton dayanımı, yetersiz enine donatı, yetersiz bindirme boyu ve zayıf donatı detayları gibi kusurlar içermektedir. Deprem etkisine karşı bu tip zayıf yapıların ve yapı elemanlarının davranışlarının iyileştirilmesi gerekir.

Bu çalışmada betonarme kolonların moment kapasitelerinin boyuna Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit (CFRP) yapıştırılarak artırımı incelenmiştir. Ayrıca artan moment kapasitesi neticesinde oluşan kesme kuvvetini taşımak ve bir seviyeye kadar sargılama etkisi oluşturmak amacıyla da enine yapıştırılan Cam Elyaf Takviyeli Kompozit (GFRP) kullanılmıştır. Kolon numuneler sabit eksenel yük etkisinde olup yön değiştiren tekrarlı yatay yüklemeye tabi tutulmuştur.

Deneysel çalışma Kocaeli Üniversitesi Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olup dikdörtgen en kesitli (180x240 mm) 8 adet kolon numune üretilmiştir. Normal dayanımlı betondan üretilen numunelerin yarısı boyuna donatıları sürekli, diğer yarısı ise boyuna donatıları çapının 15 katı uzunluğunda bindirmeli ekli olarak üretilmiştir. Tüm numunelerin donatı detayları kesme geçmesi olmayacak şekilde düzenlenmiştir. Enine donatı aralıkları 20 mm’dir.

Deneysel çalışmada üretilen toplam 8 numune bir tanesi sürekli, bir tanesi bindirmeli ekli olan toplam 4 sete ayrılmış olup bunlardan 2 set üzerinde herhangi bir güçlendirme yapılmaksızın referans numuneler olarak test edilmişlerdir. Diğer 2 numune setinden bir tanesinde yüksek elastisite modüllü CFRP, diğerinde ise normal elastisite modüllü CFRP boy donatı olarak kullanılmış ve güçlendirme yapılmıştır. Güçlendirme yapılan her iki sette de enine etriyeler GFRP’dir. Deney sonuçları dayanım, süneklik, enerji yutma kapasitesi, rijitlik ve hasar oluşumu açısından değerlendirilmiştir.

FLEXURAL STRENGTHENING OF REINFORCED COLUMNS HAVING LAP SPLICE PROBLEM WITH LONGITUDINAL FRP COMPOSITES

Hatice Aybüke YILDIZ

Keywords: Column, Reinforced Concrete, Confinement, Retrofit, Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP).

Abstract: Many existing structures in Turkey were constructed with substandard seismic design details. These structures have vital deficiencies such as like low concrete quality, inadequate transverse reinforcement, inadequate lap splice length and poor reinforcement detailing. It is known that most of these structures can not survive against strong earthquakes. Because of this, many of these existing structures need to be rehabilitated to enhance overall seismic performance. For a realistic determination of the earthquake response of the retrofitted structures, the behavior of retrofitted columns subjected to constant axial and reversed cyclic lateral loads should be investigated.

In this study, the main purpose is to investigate the behavior of reinforced concrete columns subjected to constant axial and reversed cyclic lateral loads before and after retrofitting by GFRP and CFRP composites. Experimental work was conducted at the structures Laboratory of Kocaeli University. The test program consists of 8 specimens with rectangular cross section of 180x240 mm reinforced concrete cantilever columns. All specimens had deficiencies of inadequate transverse reinforcement and low concrete quality. Half of the specimens had continuous reinforcing bars, while the others had lap-splices of 15x diameter of longitudinal bars. All of the specimens were reinforced such that shear failure would be avoided. The spacing of transverse reinforcement in the confining zones of the columns was 120 mm.

Four specimens were tested as reference specimens, two of which had continuous longitudinal bars, while the other two had lap spliced bars. Two specimens with continuous longitudinal bars and two specimens with lap spliced longitudinal bars were retrofitted by different thicknesses of longitudinal CFRP and also GFRP jackets. The test results were evaluated in terms of strength, ductility, energy dissipation, rigidity and damage development. All specimens were tested under the combined action of the axial load and reversed cyclic flexure.

1. GİRİŞ

Ülkemizin önemli bir bölümü birinci derece deprem kuşağında yer almaktadır. Yakın geçmişimiz incelendiğinde, 1939 Erzincan (M=8), 1970 Gediz (M=7,7), 1975 Lice (M=6,7), 1992 Erzincan (M=6,8), 1998 Adana-Ceyhan (M=6,3), 1999 Kocaeli (M=7,4) ve 1999 Düzce (M=7,1) gibi çok büyük oranda can ve mal kaybına sebep olan depremlerle karşılaşmaktadır. Bu depremlerde bu derece can ve mal kaybı yaşanması, depremlerin büyüklüklerinin yanında yapıların yönetmeliklere uygun olmaması, denetimsizlik ve ihmal gibi unsurları da içermektedir. Mevcut yapılarımızın büyük bölümünün deprem etkisinde istenilen performansı gösteremeyeceği bilinmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının deprem etkilerini lineer elastik karşılayacak şekilde yapılmasının ekonomik olmadığı bilinmektedir. Deprem yapının ömrü boyunca karşılaşacağı en ağır yük olabilir, aynı zamanda yapının bu etki altında kalma olasılığı fazla değildir. Bu sebeple özel yapılar dışında toptan göçmeye neden olmayacak şekilde hasar oluşmasına izin veren, optimum bir çözüm bulunmalıdır. Yapının elastik sınırlarının ötesinde plastik şekil değiştirme yapabilmesi betonarme elemanların belirli bir dayanıma sahip olmasının yanında süneklik kapasitesinin de yüksek olmasına bağlıdır. Özellikle taşıyıcı elemanlarda betonun, enine donatılar ile sarılması durumunda bu elemanların dayanım kaybına uğramadan büyük plastik yer değiştirmelere gidebileceği bilinmektedir.

Ülkemizin mevcut yapı durumu incelendiğinde, depreme dayanıklı yapı tasarımının yanında güçlendirme yöntemlerinin de özel olarak ilgilenilmesi gereken konuların başında geldiği anlaşılmaktadır. Günümüzde yeni teknolojiler kullanılarak farklı güçlendirme yöntemleri geliştirilmektedir. Elyaf takviyeli polimerler (CFRP- GFRP), son yıllarda üzerinde en çok durulan ve kullanımı yaygınlaşmaya başlayan malzemelerdendir

Bu malzemeler ile çok sayıda deney yapılmış ve bunların sonucunda, özellikle tasarım ve uygulamasında çok dikkatli olunmasının gerektiği vurgulanarak, yapıda kullanılabilirliği ispatlanmıştır. Elyaf takviyeli polimerler, içinde kullanılan malzeme ile kullanılan tek tip malzemenin değişik doğrultularda yönlendirilmesine göre çeşitlilik göstermektedirler. Yapı elemanlarının dış yüzeyine yapıştırılması ya da kesite dışarıdan sarılarak yapıştırılması en çok rastlanan uygulamalardır. Bu sayede kesitte var olan donatı ile beraber çekme kuvvetlerine karşı kullanılmaktadırlar. Bunlarla birlikte, elyaf takviyeli polimerlerden üretilen donatıların, klasik çelik donatının yerini almaya başladığını, hatta ön gerilmeli betonda da uygulandığı görülmektedir.

Elyaf takviyeli polimerlerin enine doğrultuda sargılaması ile yapılan güçlendirme sargılama etkisini artırmakta, dolayısıyla elemanın basınç dayanımı ve şekil değiştirme kapasitesini geliştirmektedir. Bu yöntem ile gevrek kesme göçmesi ve boyuna donatı burkulması önlenilmekte, bindirme boyu eksikliği ve aderans kaybı problemi bir seviyeye kadar çözülebilmektedir. Kesme göçmesi gibi erken dayanım kayıplarının engellenebildiği polimer sarma tekniğinin sargılama özelliği sayesinde eleman sünekliği de arttırılabilmektedir. Bu durum, özelliği geliştirilen elemanların eğilme etkisinde yüksek deformasyon ve dayanım limitlerine ulaşmalarını sağlamaktadır. Yöntemin kolay ve kısa sürede uygulanabilirliği, korozyona karşı dayanıklılık gibi avantajlarının yanında malzeme özellikleri açısından da hafif ve yüksek dayanımlı olması büyük önem taşır. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak uygulanan elemanın boyutlarında büyük değişimin olmaması nedeni ile dar alanlarda ya da alan kaybına imkân vermeyen yerlerde tercih edilebilir; ayrıca güçlendirilen elemanlarda önemli rijitlik artışına neden olmaması da bazı durumlarda avantaj olabilir. Elyaf takviyeli polimerlerin elastisite modülleri kendi türleri arasında farklı olduğu gibi çeliğin elastisite modülünden de farklıdır. Bu farklılık, oluşturacakları sargılama kuvvetlerini değiştirmektedir. Bununla birlikte elyaf takviyeli polimerlerin çeliğe göre kolay şekil alabilmeleri ve ince olmaları, uygulama katmanlarının arttırılabilmesi avantajını getirmektedir. Uygulanan katman sayısının arttırılması ile oluşan sargılama kuvvetleri de değişmektedir.

Yapıların deprem etkisinde davranışının anlaşılabilmesi için betonarme elemanların tekrarlı ve yön değiştiren yükler altında incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ilk olarak günümüze kadar konu ile ilgili yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Dünyanın deprem bölgelerinde yer alan birçok ülkesinde ilgili yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmeyen yapıların güçlendirilmesini konu alan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmanın deneysel fazında amaç; kolonların eğilme dayanımlarının dışarıdan ve boyuna doğrultuda yapıştırılan karbon elyaf (CFRP) ile artırılmasıdır. Enine doğrultuda kesme dayanımının artırılması ve sargılama oluşturmak amaçlı (GFRP) kullanılmıştır. Numuneler, mevcut yapılarımızda bulunan kusurları yansıtmak üzere beton basınç dayanımı düşük, enine donatısı ve bindirme boyu yetersiz olacak şekilde üretilmiş olup; tersinen tekrarlanan yatay yükler etkisinde test edilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Dünyanın deprem bölgelerinde yer alan birçok ülkesinde ve özellikle de ülkemizde ilgili yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmeyen yapıların deprem etkisinde istenilen performansı gösteremeyeceği bilinmektedir. Bu durum onarım ve güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi, mevcut yetersizlikleri giderecek, kolay uygulanabilir ve ekonomik çözümlerin bulunmasına yönelik deneysel ve analitik çalışmaların artmasına sebep olmuştur. Bu çalışma kapsamında güçlendirilmiş kolon deneylerini içeren bir literatür çalışması yapılmıştır. Ülkemizdeki yapıların kusurlarını yansıtacak, düşük beton dayanımı, yetersiz sargılama donatısı ve yetersiz bindirme boyuna sahip numuneleri içeren çalışmalar üzerinde yoğunlaşılması düşünülmüştür, ancak gelişmiş ülkelerde düşük beton dayanımı olarak alınan seviyenin bize göre normal veya normalin üstünde olması gibi nedenlerle malzeme yönünden benzer çalışmalara fazla rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasından çıkarılan sonuçların önemi Türkiye'deki mevcut yapıların durumunu yansıtmaları açısından büyüktür.

Seible ve diğ. (1997) mevcut köprü kolonları ve bunların CFRP kompozitle güçlendirilmesi ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmadan önce teorik bir çalışma yürüterek güçlendirme için gerekli kompozit kalınlığı üzerine bir takım bağıntılar geliştirmişlerdir. Farklı göçme şekilleri (kesme, eğilme, aderans kaybı) oluşacak şekilde kolonlarda yapılacak güçlendirme işlemi için farklı kalınlıkta kompozite ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Her farklı durum için de uygulanacak kompozit kalınlığı kolon boyunca değişiklik göstermektedir. Gelişen kıstaslara göre güçlendirilen kolonların performansı önemli oranda artmıştır. Teorik olarak hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesinin üzerine çıkılmış, yer değiştirme sünekliği büyük ölçüde artmış ve aderans çözülmesi önlenmiştir.

Xiao ve Ma (1997) bindirme boyu yetersizliği olan daire en kesitli kolonlar üzerinde deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında ½ ölçekli 6 adet konsol kolon numunesi üretilmiştir.

Kolonlardan biri referans numunesini teşkil etmek üzere önceden test edilmiştir. Daha sonra hasarsız iki numune doğrudan, referans numunesi ise onarım sonrası GFRP kompozit ile 3 farklı tipte güçlendirilmiştir. Güçlendirme işlemi, tüm kolonların performansını iyileştirmiş ve gevrek aderans göçmesini geciktirmiştir. Onarılıp güçlendirilen numune, referans numunesi ile karşılaştırıldığında, yer değiştirme kapasitesinin önemli oranda arttığı görülmüştür; ancak bu numunede çevrim sıkışması oluşmuştur. Güçlendirilen diğer iki numuneden sarım sayısı ve sarım bölgesi genişliği fazla olan numunenin davranışı daha fazla gelişmiştir. Boyuna donatılarda bindirme boyunca oluşan donatı kaymasını dikkate alarak geliştirilen modelden elde edilen değerler ile deneysel sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Saadatmanesh ve diğ. (1997a) mevcut yapılarda bulunan kusurları inceleyen bir deneysel çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, yetersiz bindirme boyu ve enine donatı eksikliği bulunan köprü kolonları incelemiştir. 1/5 ölçekli 2 adet daire, 2 adet dikdörtgen en kesitli sağlam temellere mesnetlenmiş kolon numunesi üretmişlerdir. Her iki en kesit türü için bir numunenin boyuna donatılarını sürekli, diğer numunenin boyuna donatılarını ise bindirmeli ekli olarak tasarlamışlardır. Bu kolonlara önceden hasar verilmiş ve sonrasında GFRP kompozit ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda güçlendirme işlemlerinin hem dairesel en kesitli kolonlarda hem de dikdörtgen en kesitli kolonlarda etkili olduğu görülmüştür. Güçlendirilmiş bütün kolonlarda yatay yük taşıma ve süneklik kapasitelerinde artma kaydedilmiştir.

Saadatmanesh ve diğ. (1997b) beş adet dikdörtgen en kesitli köprü kolonu üstünde deneysel bir çalışma yapmışlardır. Numunelerde 1971 öncesi tasarlanmış köprü kolonlarını temsil edecek şekilde bindirme boyu ve enine donatı yetersizliği bulunmaktadır. 2 adet 1/5 ölçekli boyuna donatıları bindirmeli ekli ve 3 adet boyuna donatıları sürekli ve sağlam temellere mesnetlenmiş kolon numunesi üretmişlerdir. GFRP kompozitin sargılama etkisini incelemek üzere boyuna donatıları sürekli olan

bir kolon güçlendirilmeden önce oval hale getirilmiştir. Güçlendirme işlemi enine doğrultuda GFRP kompozit sarılarak yapılmıştır. Orijinal ve güçlendirilmiş kolonların deney sonuçları karşılaştırıldığında güçlendirme işleminin etkili olduğu, bütün kolonların süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinde önemli gelişme sağlanmıştır. Bindirmeli ekli kolonda erken aderans kaybı önlenmiş, daha fazla yük taşıyarak büyük plastik şekil değiştirmelerine gidilmiştir. Dikdörtgen ve oval en kesitli kolonlarda önemli bir fark olmadığı, sonuçların çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Jaradat ve diğ. (1998) 1991 öncesi yapılan köprü kolonlarının davranışını incelemek ve güçlendirme amacı ile deneysel bir çalışma yapmışlardır. Eğilme ve kesme dayanımını artırmak üzere, yetersiz enine donatısı ve bindirme boyu bulunan dairesel en kesitli 8 adet kolon üretmişlerdir. Boyuna donatı oranı, bindirme boyu, a/d (kesme açıklığı/ faydalı derinlik) oranı ve güçlendirme tipi parametre olarak seçilmiştir. Deneyler sonucunda a/d oranının göçme modunu belirlemekle etkili bir parametre olduğu ve beklendiği gibi bu oran küçüldükçe göçmenin eğilmeden çok kesme hâkimiyetinde olduğu anlaşılmıştır. Aynı şekilde a/d oranının küçük olduğu durumlarda boyuna donatı oranının artırılması gevrek kesme göçmesine yol açmıştır. Bindirme boyunun artırılması daha fazla enerji yutulmasını ve daha az çevrim sıkışmasını oluşmasını sağlamış, boyuna donatılarda aderans kaybını geciktirmiş ancak önleyememiştir. Güçlendirme tiplerine göre değerlendirme yapıldığında ise, sargılama etkisi bakımından daha etkili olan yöntem aderans kaybını önlemiş ancak güçlendirme bölgesinin dışında kesme göçmesi oluşmasına sebep olmuştur. İkinci güçlendirme tipi aderans kaybını önleyememiş ancak orijinal kolonlara göre moment veya yatay yük taşıma kapasitesini artırmıştır.

Unjoh ve diğ. (2000) dünyada deprem riskinin en fazla olduğu ülkelerden biri olan Japonya'nın 1923 Hyogo-Ken Nanbu depreminden günümüze kadar deprem şartnamelerindeki değişimi özetlemişlerdir. Depremler sonrası oluşan hasar inceleme kıstaslarını ve öncelikle güçlendirme ihtiyacı olan yapıların sayısını gösteren istatistiksel bir çalışmanın ardından farklı güçlendirme yöntemlerini gösteren deneysel çalışmalarını sunmuşlardır. Kare en kesitli köprü kolonları çelik manto ve CFRP kompozit ile güçlendirilmiştir. Çelik manto ile yapılan güçlendirme sonucu kolonlarda eğilme rijitliği ve dayanım artmış, önemli ölçüde sünek davranış elde

edilmiştir. CFRP kompozit ile yapılan güçlendirme sonucu orijinal numunede boyuna donatıların akma gerilmesine ulaşmadan görülen gevrek kesme göçmesi önlenmiştir. Kompozitin sarım sayısının artmasıyla eğilme etkisindeki davranış iyileşmiş, enerji yutma ve yük taşıma kapasitesi artmıştır.

Saatçioğlu ve Elnabelsy (2001) deprem tasarımı bugünkü koşullarına göre yapılmayan 1970 öncesi inşa edilen köprü kolonlarının GFRP güçlendirilmesiyle ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Mevcut köprü kolonlarının önemli bölümünü temsil eden, yetersiz enine donatısı ve bindirme boyu olan, daire ve kare en kesitli konsol kolon numuneleri üretmişlerdir. Numuneler GFRP ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmişlerdir. Deneyler sonucunda orijinal olarak denenen daire ve kare en kesitli kolonlarda erken safhalarda aderans çözülmesiyle başlayan dayanım kaybı görülmüştür. Dairesel en kesitli kolonlarda yapılan güçlendirme deprem performansını önemli ölçüde artırmıştır. İleri düzeyde yer değiştirmelere gidildiği halde aderans kaybı olmamıştır. Kare en kesitli kolonlarda uygulanan güçlendirme işlemi aderans kaybının önlenmesi bakımından fazla başarılı olmamıştır. Bu kolonlarda sınırlı gelişme elde edilmiştir.

Haroun ve diğ. (2001) köprü kolonlarının güçlendirilmesi ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda kesme dayanımını ve sargılama etkisini artırmak üzere CFRP kompozit ile enine doğrultuda sarılan daire ve dikdörtgen en kesitli kısa konsol kolonlar test edilmiştir. Orijinal numunelerde görülen gevrek kesme göçmesi güçlendirme işlemi sonucu önlenmiş, ileri düzeyde sünek davranışa ulaşıldıktan sonra eğilme göçmesi meydana gelmiştir. İkinci kısımda boyuna donatıları bindirmeli ekli, dairesel ve dikdörtgen en kesitli konsol kolonlar CFRP kompozit ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmiştir. Daire en kesitli kolonlarda aderans çözülmesinden doğan erken göçme, yapılan güçlendirme ile önlenmiş ve performans önemli ölçüde gelişmiştir. Dikdörtgen en kesitli kolonlarda ise ancak sınırlı gelişme sağlanabilmiştir.

Bousias ve diğ. (2002b) yüksek deprem riski taşıyan bölgelerde inşa edilen yapıları incelemişlerdir. Bu amaçla modern bir deprem yönetmeliğine göre tasarlanmamış, beton dayanımı düşük, boyuna donatıları sürekli 10 adet dikdörtgen en kesitli konsol kolon üreterek deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kolon numuneler farklı

kalınlıklarda CFRP ve GFRP ile enine doğrultuda sarılarak güçlü ve zayıf eksenleri doğrultusunda, sabit aksenal yük ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında test edilmiştir. Deneyler sonucunda iki tip güçlendirme malzemesinin de orijinal numunelere göre şekil değiştirme kapasitesini ve dayanımı artırdığı görülmüştür. Ceket rijitliği sabit kalacak şekilde yapılan güçlendirme işlemi (2 kat CFRP ve 5 kat GFRP) sonucunda davranışın çok benzer olduğu, ancak fazla kat sarımının şekil değiştirme kapasitesini biraz daha fazla artırdığı görülmüştür. Güçlü eksen doğrultusunda, beton basınç bölgesinde göçme olmadan boyuna donatılarda kopma oluşması kompozitin sargılanmasının çok etkili olduğunu göstermiştir. Zayıf eksen doğrultusunda yapılan güçlendirmeler sonucunda ise kompozitin sargılama etkisinin genel davranışa katkısının daha az olduğu olmuştur.

Sheikh ve Yau (2002) sağlam temellere mesnetlenmiş konsol kolon numunelerinin güçlendirilmesini konu alan deneysel bir çalışma yapmışlardır. Dairesel en kesitli, enine donatı oranları ve aralıkları farklı 12 adet numune üretmişlerdir. Deneylerde aksenal yük seviyesi, FRP kompozitin (CFRP kompozit ile tek kat sarım, GFRP ile 1 kat veya 2 kat sarım) türü ve kalınlığı değişken olarak kullanılmıştır. Deneyler sonucunda aksenal yük seviyesinin artırılmasının süneklik ve şekil değiştirme kapasitesini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Aksenal yük oranı fazla olan numuneler için GFRP kompozitin sarım sayısının artırılması gerektiği belirtilmiştir. Enine donatı oranının artırılması ve aralığının düşürülmesi sonucu boyuna donatıların stabilitesi artmış, daha sünek bir davranış elde edilmiş ve enerji yutma kapasitesinde önemli gelişme sağlanmıştır. Aksenal yük oranının yüksek olduğu numunelerde tek kat GFRP kompozitin, CFRP kompozit yanında etkili performans gösteremediği görülmüştür. Genel olarak CFRP veya GFRP kompozitler ile yapılan güçlendirme işlemi kolonların dayanım, enerji yutma ve süneklik kapasitelerini geliştirmiştir. ACI 318-99'a göre uygun enine donatıya sahip numuneler, güçlendirilmiş numuneler eşit veya daha iyi performans sergilemiştir.

Lacobucci ve diğ. (2003) 1971 öncesi yapılan yeterli enine donatısı bulunmayan yapıları inceleyen deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında kare en kesitli, boyuna donatıları sürekli, 8 adet konsol kolon numunesi üretmişlerdir. Numuneler önceden farklı oranlarda hasar verilerek ya da doğrudan CFRP kompozit ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmiştir. Numunelerde deneyler sırasında

farklı oranlarda aksel yük uygulanmıştır. Genel olarak güçlendirme işlemi tüm numunelerin süneklik, enerji yutma, kesme ve moment kapasitelerini artırmıştır. Aynı özelliklere sahip numunelerde kompozitin sarım sayısının artmasının davranışı geliştirmede etkili olduğu, enine donatı yetersizliği bulunan numunelerde tek kat sarımın eğilme hâkimiyetinde davranışı yeterince sağlayamadığı belirtilmiştir. Aksel yük oranının ve hasar durumunun fazla olduğu numunelerde kompozitin sarılma sayısının artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda güçlendirilmiş numuneler ile modern bir deprem yönetmeliğine göre yeterli enine donatıya sahip numuneler karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda güçlendirilmiş numunelerin davranışının daha iyi olduğu görülmüştür.

Ye ve diğ. (2003) kare en kesitli 8 adet konsol kolon numunesi üretmişler, kolon numunelerini 3 gruba ayırarak incelemişlerdir. I. Grupta numuneleri tüm kolon boyunca ya da farklı genişlikte CFRP bant kompozit ile enine doğrultuda sararak güçlendirmişlerdir. II. Grupta sabit aksel yük kolonların üzerindeyken CFRP kompozit şerit ile güçlendirme yapılmıştır. III. Grupta ise, kolona önceden hasar verildikten sonra CFRP kompozit şerit ile güçlendirme yapılmıştır. Orijinal kolonda görülen gevrek kesme göçmesi güçlendirilmiş kolonlarda önlenmiştir. I. Grupta CFRP kompozitin hacimsel oranının artmasıyla süneklik artmış ve eğilme etkisinde göçme gözlenmiştir. II. Grupta, aynı oranda CFRP kompozit ile sarılan I.Gruptaki numuneye göre daha az sünek davranış elde edilmiştir. III. Grupta ise başlangıçta oluşan hasardan dolayı kolonun rijitliği azalsa da yer değiştirme kapasitesi artmıştır. Deneyler sonrasında güçlü kesme- zayıf eğilme faktörü hesaplanmış ve CFRP kompozitin hacimsel oranının en az olduğu kolon haricinde istenen sargılama etkisinin sağlandığı görülmüştür.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Malzemeler

3.1.1 Çimento

Bu çalışma için hazırlanan beton karışımlarında, Nuh Çimento Sanayi A.Ş ürünü olan, PÇ 42. 5 Portland Çimentosu kullanılmıştır.

3.1.2 Agregalar

Deney elemanları için hazırlanan beton karışımlarında, ince malzeme olarak doğal kum ve iri malzeme olarak kırma taş No I kullanılmıştır. Doğal kum olarak Sakarya dere kumu kullanılmış, kırma taş No I ise Kocaeli- Suadiye Köyü kırma taş ocağından temin edilmiştir. Bu agregalara ait özellikler Tablo 3. 1 ile verilmiştir.

Tablo 3.1: Kullanılan agregaların elek analizi sonuçları

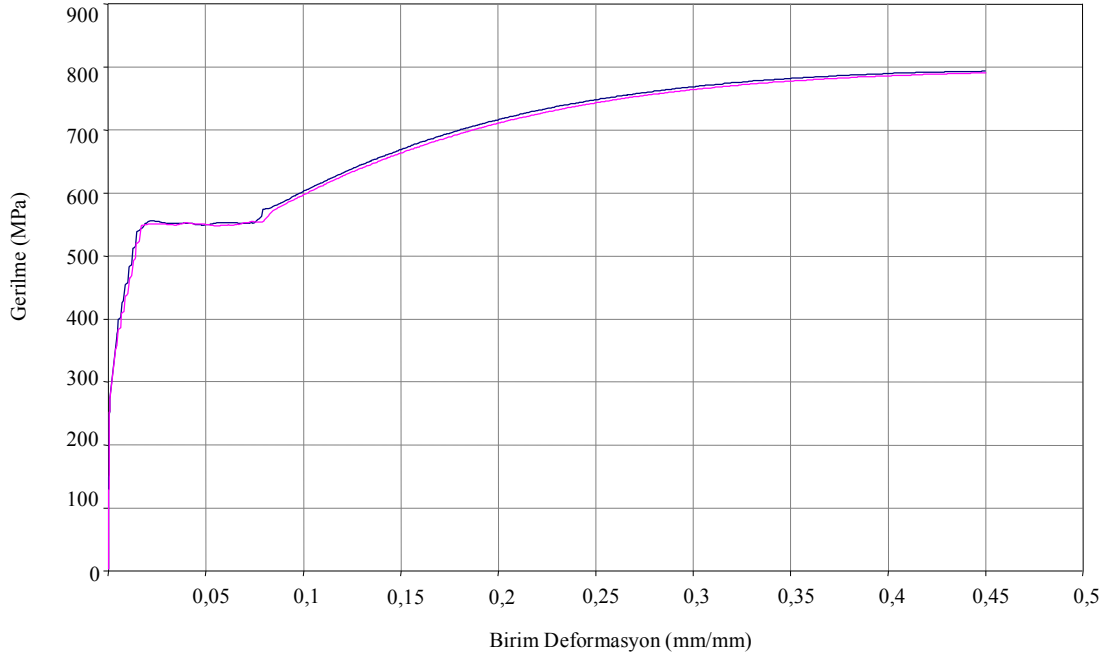
| Elek Analizi Sonuçları | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Elek Boyutu (mm) | Elek Altına Geçen Malzeme (%) | |
| | Doğal Kum | Kırma Taş No I |
| 31,5 | 100,0 | 100,0 |
| 16 | 100,0 | 100,0 |
| 8 | 99,5 | 63,6 |
| 4 | 95,2 | 5,7 |
| 2 | 85,9 | 1,6 |
| 1 | 70,1 | 1,1 |
| 0,5 | 42,7 | 0,9 |
| 0,25 | 10,0 | 0,8 |
| İncelik Modülü | 1,97 | 5,26 |

3.1.3 Donatı çeliği

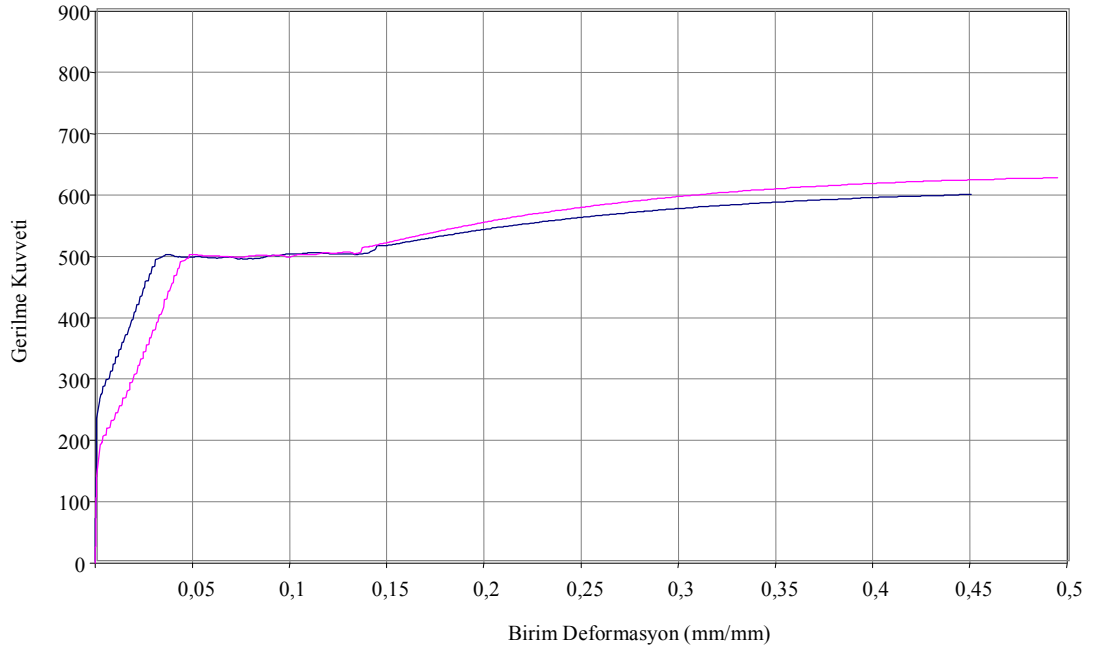
Kolon deneylerinde, $\Phi=12$ mm ve $\Phi=8$ mm çaplarında, BÇ-IIIa kalitesinde nervürlü donatı çelikleri kullanılmıştır (Şekil 3. 1). Deney numuneleri oluşturulurken her bir setten alınan donatı çeliği parçaları çekme deneyleri için ayrılmıştır. Bu parçalar üzerinde 600 kN kapasiteli üniversal deney aletinde çekme deneyleri yapılmıştır. Donatı çeliklerine ait gerilme birim deformasyon eğrileri Şekil 3. 2 ve Şekil 3. 3 ile verilmektedir.



Şekil 3.1: Kullanılan donatıların nervür geometrisi



Şekil 3.2: $\Phi 8$ donatı için σ - ϵ grafiği



Şekil 3.3: Φ12 donatı için σ- ε grafiği

3.1.4 Karbon elyaf- cam elyaf

Bu çalışmada kolon boyuna donatısına ek olarak dışarıdan yapıştırılan karbon elyaf (karbon lifleri ile takviye edilmiş polimer- CFRP) ve pasif sargı malzemesi olarak da cam elyaf (cam lifleri ile takviye edilmiş polimer- GFRP) kullanılmıştır. Malzemelere ait üreticisi tarafından sağlanan teknik özellikler CFRP ve GFRP için Tablo 3. 2 ile verilmiştir. Numunelerin güçlendirilmesi esnasında GFRP şeritler (şerit genişliği= 5 mm) kat halinde ve mm aralıkla enine yapıştırılmıştır. Normal ve yüksek elastisite modüllü olan CFRP şeritler ise temele yüksek elastisite modüllü (SİKAWRAP 300C HiMod) karbon fiber çiviler ile ankrajlanmıştır. Karbon fiber çiviler 6 kat olup, 12 mm çapında ve 120 mm derinliğindeki deliklere epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Temel üzerinde bırakılan en az 60 mm uzunluğundaki kısım ise boy donatı olarak yapıştırılan CFRP şeritlere yapıştırılmış, böylelikle boy donatının temele ankraji sağlanmıştır.

Tablo 3.2: Kullanılan elyafların karakteristik değerleri

| ÖZELLİKLER | SİKA CARBODUR XS1,524 | SİKA WRAP 300CHiMod | GLASS FİBER Fibrotek |
|---|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Kesit Genişliği (mm) | 15 | - | - |
| Kesit Kalınlığı (mm) | 2,4 | - | - |
| Elastisite Modülü (GPa) | 165 | 640 | 73 |
| Çekme Mukavemeti (MPa) | 2500 | 2600 | 3400 |
| Statik Tasarım İçin Epoksi Emdirilmiş Tasarım Mukavemeti (MPa) | 2300 | 2400 | 2400 |
| Kopma Uzaması (mm/mm) | % 1,3 | % 0,4 | % 4,66 |
| Statik Tasarım İçin Kalınlık (ağırlık/yoğunluk) | - | 0,140 | 0,157 |
| Yoğunluk (gr/cm ³) | 1,6 | 2,12 | 2,54 |
| Polimer Tabaka Ağırlığı (gr/m ²) | - | 300 | 400 |

3.1.5 Epoksi bazlı yapıştırıcı

Karbon elyaf (CFRP) ve cam elyafın (GFRP) numunelere yapıştırılmasında sırasıyla epoksi bazlı yapıştırıcı olan Sikadur– 300 ve Sikadur– 330 adlı ürün kullanılmıştır. Ürünler, ana malzeme ve sertleştiriciden oluşmaktadır. Kullanılmadan önce teknik özelliklerinde belirtilen oranlarda karıştırılarak uygulanmaktadır. Sika tarafından hazırlanan, malzemeye ait teknik özellikler Tablo 3. 3 ile sunulmuştur.

Tablo 3.3: Kullanılan epoksinin özellikleri

| ÖZELLİKLER | SİKADUR- 330 | SİKADUR- 300 |
|-----------------------|---|--|
| Cinsi | İki Bileşenli Epoksi Bağlayıcı Likit Yapıştırıcı | İki bileşenli, Solventsiz Epoksi Bağlayıcı Likit Yapıştırıcı |
| Fiziksel Özellikler | Çekme Mukavemeti (30 MPa) Eğilme Modülü (3,800 MPa) Kopma Uzaması %1,5 | Çekme Mukavemeti 45 MPa Çekme Modülü 3500 MPa Eğilme Modülü 3000 MPa Kopma Uzaması %1,5 (23 ° C) |
| Renk | Açık Gri | Şeffaf |
| Uygulama Sıcaklığı | 4 ° C | Yüzey Nemi max %4, Zemin Sıcaklığı Çiğleşme Noktasının En Az 3 ° C Üzerinde Olmalıdır. |
| İnceltme ve Temizlik | Hiçbir Şekilde İnceltilmemelidir. | Hiçbir Şekilde İnceltilmemelidir. |
| Karışım Oranı | Ağırlıkça 4 kısım Ana Malzeme (A) Ağırlıkça 1 Kısım Sertleştirici (B) | Ağırlıkça 100 Kısım Ana Malzeme (A) Ağırlıkça 34,5Kısım Sertleştirici (B) |
| Kürleşme Süresi | 47 °C' de 7 gün. Bu Süre Zarfında Yapıştırıcı Kitle veya Tabakasının Hiçbir Kimyasal ve Mekanik Etkiye Maruz Kalmaması Sağlanmalıdır. | 23 ° C' de 7 gün. Bu süre zarfında Yapıştırıcı kitle veya Tabakasının Hiçbir kimyasal ve Mekanik Etkiye Maruz Kalmaması Sağlanmalıdır. |
| Karışım Ömrü | 30 Dakika | 20 ° C' de 20 Dakika(Karışım Miktarı ve Ortam Sıcaklığı yükseldikçe Karışım Ömrü Kısılır.) |
| Kap Ömrü | 30 Dakika | 15 ° C' de 6 Saat 23 ° C' de 4 Saat |
| Yapıştırılan FRP Tipi | GFRP | CFRP |

3.2 Deney Değişkenleri ve Numunelerin Adlandırılması

Numunelerin tasarlanmasında ülkemizdeki yapılarda yaygın olarak karşılaşılan yetersizlikler, yönetmeliklerde verilen şartlar, yükleme sisteminin kapasitesi, ölçüm aletlerinin kapasite ve hassasiyeti, numunelerin ve diğer imalatların ekonomik olması gibi konulara önem gösterilmiştir.

Numune tasarımı yapılırken, mevcut yapılarda sıkça karşılaşılan beton ve donatı özellikleri dikkate alınmıştır. Tüm numunelerde boy donatısı olarak $\Phi=12$ mm, enine donatı olarak ta $\Phi=8$ mm çapında donatı çelikleri seçilmiştir. Enine donatılar yeterli sargılama etkisini sağlayamayacak aralıklarla yerleştirilmiş olup, etriye uçları 135°

bükülmüştür. Diğer bir deney değişkeni olarak planlanan hedef beton basınç dayanımı ise $f_{ck} = 20$ MPa'dır. Bu değer aynı zamanda mevcut yapılar için yaklaşık bir ortalama değer olarak ta kabul edilebilir. Net beton örtüsü için TS-500'de verilen minimum değerler dikkate alınmış ve ülkemizdeki mevcut yapılarda uygulama hatalarından biri olan yetersiz pas payını temsil etmesi açısından boyuna donatının dış yüzeyinden en dış beton lifine olan uzaklık 18 mm bırakılmıştır. Bindirme boyunun hesabı için TS- 500'den yararlanılmış ve yetersiz bindirme boyu olan 15Φ seçilmiştir. Laboratuarda bulunan yükleme çerçevesi ve hidrolik verenin kapasitesi numunenin boyutlarının belirlenmesinde önemli bir etken olmuştur.

Çalışma kapsamında 1000 mm uzunluğunda ($a = 850$ mm) toplam 8 adet konsol kolon numune üretilmiştir. Üretilen numuneler toplam 1350 mm uzunluğundadır. Dikdörtgen en kesitli sağlam tekil temele mesnetlenmiş bir kolonu temsil eden numunelerde kolonlar, 180 mm genişliğinde ve 240 mm derinliğindedir.

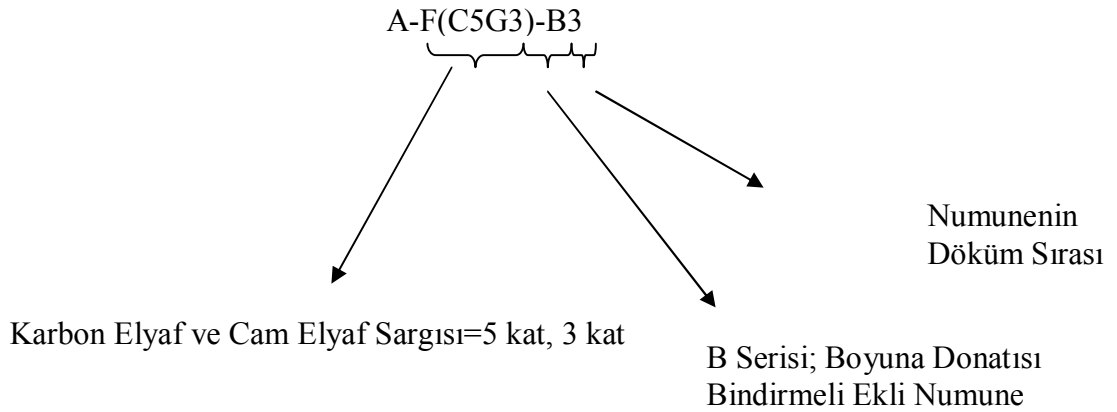
Boy donatı hizasından yapıştırılan karbon elyafın (CFRP) eğilme üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, elastisite modülleri farklı iki ayrı türde karbon elyaf ve güçlendirilen numunenin kesmeden göçmesini önlemek amacıyla da Cam Elyaf (GFRP) kullanılmıştır. Bu malzemelere ait sayısal verilerle yapılan, 1 mm genişlik için basit kuvvet hesabı ile diğer bir değişken olan katman sayıları tasarlanmıştır. Yapıştırmadan dolayı ortaya çıkabilecek değişimi görebilmek için bir adet numune elyaf uygulanmadan şahit numune olarak bırakılmıştır.

Deneysel çalışmada; aynı beton kalitesi, donatı çapları ve pas payına sahip iki adet boyuna donatısı sürekli, iki adet de boyuna donatısı bindirmeli ekli olmak üzere toplam dört adet numune referans numunesi olarak üretilmiştir. Boyuna donatıları sürekli olan bir adet ve boyuna donatısı bindirmeli ekli olan bir adet numune; enine doğrultuda 3 kat, 50 mm genişliğinde ve 120 mm aralıkla cam elyaf (GFRP) ile boyuna doğrultuda ise 5 kat CFRP (SikaWrap 300C- HiMod) ile sarılmışlardır. Diğer bir adet boy donatısı sürekli ve bir adet boy donatısı bindirmeli ekli numune ise enine doğrultuda 3 kat GFRP ve tek kat (SikaCarbodur- XS1.524) ile güçlendirilmiştir. Boy donatı hizasından yapıştırılan CFRP, temel üzerinde açılan 12 mm çapında ve 120 mm derinliğindeki deliklere FRP çiviler ile epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır.

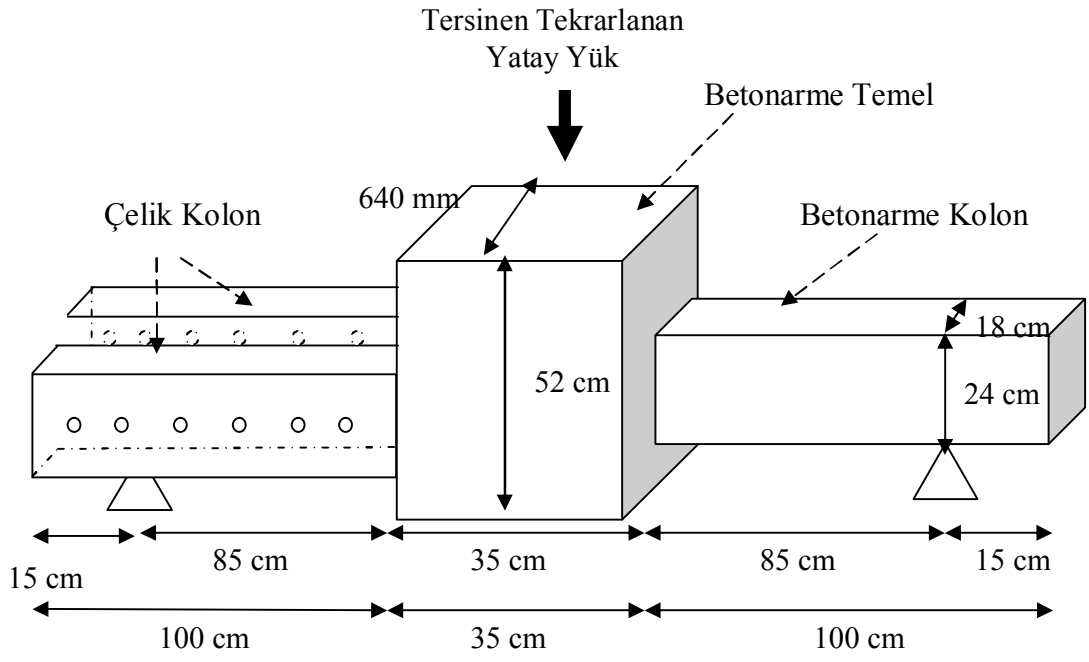
Temel üzerinde bırakılan en az 60 mm uzunluğundaki kısım ise boy donatı olarak yapıştırılan CFRP şeritlere yapıştırılmış, böylelikle boy donatının temele ankrajı sağlanmıştır.

Deney elemanlarının adlandırılmasında kullanılan ilk karakter olan A harfi, tüm numuneler için kullanılmıştır. Kullanılan ayıraçtan sonra, numunedeki elyaf uygulaması ve özellikleri anlatılmaktadır. Bu karakter bloğunun başında F harfi bulunmaktadır. F harfinden sonra gelen karakterler: 0 elyaf yok, C karbon elyaf, G cam elyaf, 1, 3, 5 uygulanan katman (yapıştırma) sayısını belirtmektedir. Sonda bulunan ayırıcı izleyen S ya da B harfi ise boyuna donatıları bindirmeli ekli ve sürekli olan numuneleri ayırt etmek için kullanılmıştır.

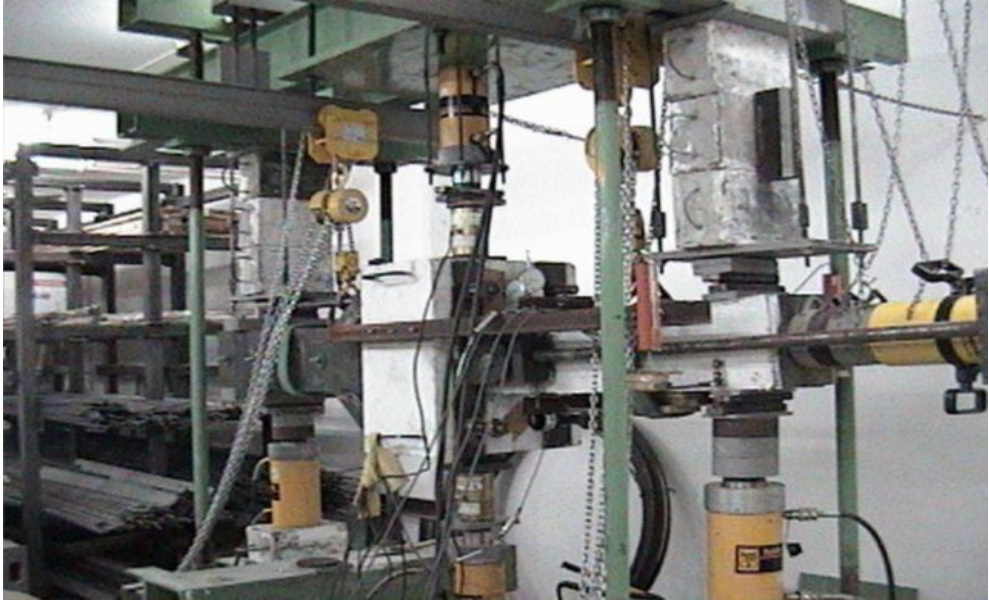
$f_{ck}=20$ MPa beton basınç dayanımına sahip, Φ 12'lik nervürlü donatı ile üretilmiş, 5 kat CFRP, 3 kat GFRP yapıştırılmış, boyuna donatısı bindirmeli ekli numuneyi tanımlayan (B) isimlendirme örneği verilmiştir. Şekil 3. 4. ile deney değişkenlerinin şematik olarak gösterimi sunulmuştur. Numune isminin en sonundaki sayı numunenin döküm sırasının göstermektedir.



Şekil 3.4: Deney değişkenlerinin şematik gösterimi



Şekil 3.5: Numunelerin genel görünümü- I



Şekil 3.6: Numunelerin genel görünümü- II

3.3 Deney Numunelerinin Tasarımı

Deney numunelerinde aksel yük seviyesi, aksel yük kapasitesinin %10'u seviyesinde ve sabit tutulmuştur. Aksel yük seviyesi olan v aşağıdaki 3. 1 numaralı denklemde verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$v = \frac{N}{f_{ck} \times b \times h} \quad (3.1)$$

Bütün numunelerde kayma açıklığının faydalı derinliğe oranı $a/d = 3,83$ 'dür. Eğilme etkisinde davranış incelendiğinden, kesitin kesme dayanımı V_r , moment kapasitesinden doğan kesme zorundan (V_e), büyük olacak şekilde tasarlanmıştır. Kesitte denge denklemleri yardımıyla, kritik kesitin eğilme momenti taşıma gücü kapasitesi $M_r = 33$ kN. m olarak bulunmuştur. Basit mesnet durumunda açıklık ortasında oluşacak düşey yük, kesme zoru (V_e) aşağıdaki gibi hesaplanabilir. (Denklem 3. 2)

$$V_e = \frac{P}{2} = \frac{M_r}{0,85} \quad (3.2)$$

Kesitin kesme kuvveti Denklem 3. 5 ile 87,69 kN olarak bulunur. Kesitin kesme dayanımı ise aşağıdaki 3. 3 numaralı denklem ile hesaplanmıştır.

$$V_r = 0,8 \times 0,65 \times 0,35 \times \sqrt{20} \times b \times d + A_{sw} \cdot f_{vyd} \cdot \frac{d}{s} \quad (3.3)$$

Yukarıda 3. 2 numaralı denklem ile hesaplanan kesme zorunun $V_e = 8,88$ kN, Denklem 3. 3 ile hesaplanan kesme dayanımının ise $V_r = 70,2$ kN olmasından dolayı moment etkisinde göçme ön görülmüştür (etriye $\Phi 8/120$).

3.4 Boyuna Donatısı Bindirmeli Ekli Deney Numuneleri İçin Bindirme Boyu Hesabı

Betonarmede, donatı beton kütle içinde yeterli uzunlukta gömülmüşse, çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütleyle yapışabilir. Betona gömülen çubuk boyu kenetlenme boyu (l_b) olarak adlandırılır. Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine eriştiğinde veya depremde olduğu gibi donatı akma ötesinde belirli bir birim deformasyona ulaştığında çubuk betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır. Kenetlenme boyu, TS- 500'e göre nervürlü çubuklar için Denklem 3. 6 ile hesaplanır.

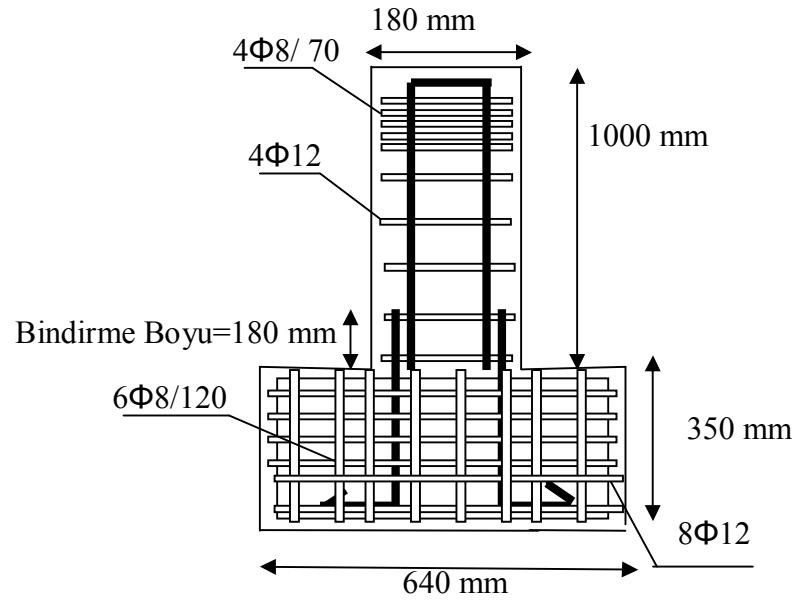
$$l_b = \left(0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \Phi \right) \geq 20\Phi \quad (3. 6)$$

Bindirmeli eklerdeki çubukların uçlarında oluşacak gerilme yığılmaları nedeni ile gerekli bindirme boyunun l_b 'den büyük olması doğaldır. Bu durum dikkate alınarak bindirmeli eklerde bindirme boyu (l_0) Denklem 3. 7 ile hesaplanır.

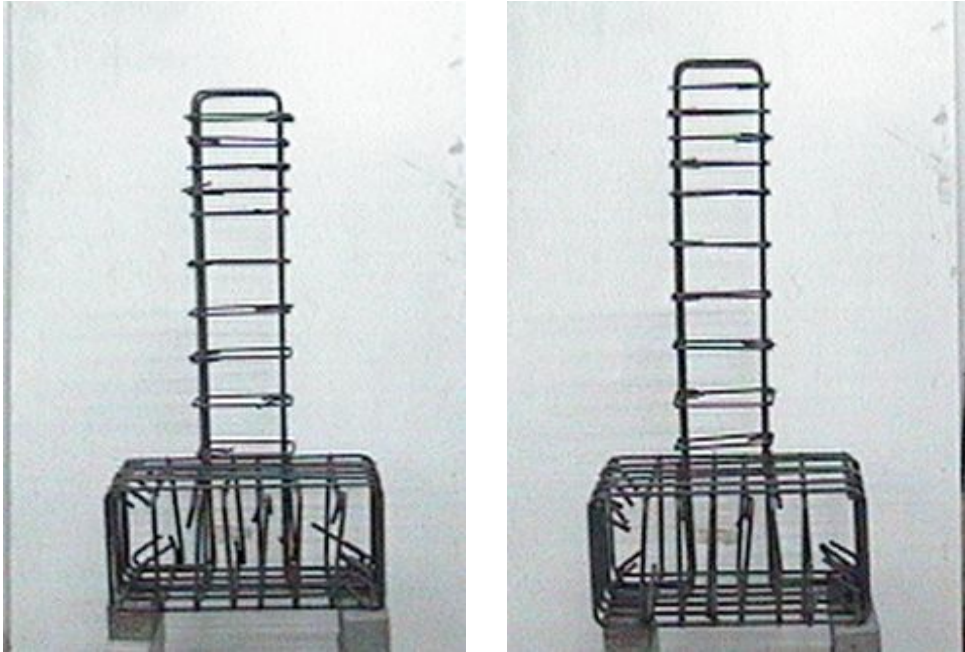
$$l_0 = \alpha_1 l_b \quad \alpha_1 = 1 + 0.5r \quad (3. 7)$$

Denklem 3. 7'deki l_b ; temel kenetlenme boyu, α_1 ise aynı kesite eklenen donatının toplam donatıya oranına bağlı bir sayıdır.

Türkiye şartlarında yapılardaki yetersiz bindirme boyları göz önünde tutularak boyuna donatısı bindirmeli ekli numuneler için bindirme boyu olarak yaklaşık 15 ϕ (180mm) bindirme boyu kullanılmıştır. Şekil 3. 7- 8 ile numune donatı iskeletine ait görünüm verilmektedir.



Şekil 3.7: Numune donatı iskeletinin şematik görünümü



Şekil 3.8: Boyuna donatısı sürekli ve bindirmeli ekli numunenin donatı iskeleti gösterimi

3.5 Beton Karışımları

Bu çalışmada kullanılan beton karışımı, $f_{ck}=20$ MPa hedef mukavemeti amaçlanarak üretilmiştir. Bölüm 3. 1'de detayları verilen malzemeler kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılacak karışımı elde edebilmek için $f_{ck}=20$ MPa hedef dayanımına göre çeşitli beton karışımları tasarlanmış ve denenmiştir. Elemanların üretilmesi için tasarlanan ve kullanılan en uygun beton karışımları, Tablo 3. 4 ile sunulmuştur.

Tablo 3.4: Kolon deneylerinde kullanılan beton karışımları

| Beton Bileşenleri | Hedef Dayanım | 20 MPa |
|------------------------------------|----------------------|---------------|
| Su / Çimento | | 0.8 |
| Su (kg/m^3) | | 250 |
| Çimento (kg/m^3) | | 313 |
| Kırma taş No I (kg/m^3) | | 1020 |
| Kum (kg/m^3) | | 718 |
| Çökme (Slump) (cm) | | 23 |

3.6 Deney Numunelerinin Üretimi

Çalışma kapsamında toplam 8 adet numune üretilmiştir. Üretilen numuneler toplam 1350 mm uzunluğundadır. Dikdörtgen en kesitli sağlam tekil temele mesnetlenmiş bir kolonu temsil eden numunelerde kolonlar 1000 mm boyunda, 180 mm genişliğinde ve 240 mm derinliğindedir. Tekil temelin boyu 350 mm, genişliği 640 mm ve derinliği de 520 mm.

Numunelerin beton dökümü esnasında kullanılmak üzere 0,7 mm kalınlığında saç kalıp hazırlanmıştır. Boyuna donatıları bindirmeli ekli numuneler ve boyuna donatıları sürekli numuneler için aynı kalıp kullanılmıştır (Şekil 3. 9). Donatı iskeleti kalıba yerleştirilmeden önce kalıp özel kalıp yağı ile yağlanmıştır.



Şekil 3.9: Numune kalıbı ve donatı yerleşimi

Beton basınç ve çekme dayanımlarının takibi için 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğindeki çelik silindir kalıplar ile 100x100x500 mm boyutlarındaki çelik prizma kalıplar kullanılarak elemanlar dökülmüştür.

Elyaf takviyeli polimer uygulamalarında, dikdörtgen geometriye sahip elemanların sarılmasında, köşelerin varlığının uygulama sonuçlarına olumsuz etkilerinin olduğu bilinmektedir. Bu sebeple beton döküldükten sonra en az iki hafta beklemiş olan deney numunelerinin köşelerine elyaf uygulaması yapılmadan önce $r = 1,0$ cm yarıçapla yuvarlatma işlemi uygulanmıştır. Kolon yüzeyinde boy donatı hizasından yapıştırılan karbon elyafın temel içine ankre edilebilmesi için kırıcı- delici matkap yardımıyla kolonun her iki yüzünde de kolonun temele mesnetlendiği bölgede boy donatı hizasından $\Phi 12$ çapında, 120 mm derinliğinde 4 tane delik açılmıştır. Köşeleri yuvarlatılmış ve delikleri açılmış numuneler üzerinde gerekli olan mekanik temizleme işlemleri yapıldıktan sonra, alüminyum fırça yardımı ile karbon elyaf ve cam elyaf (CFRP) şeritlerine emprenye işlemi için gerekli miktarda epoksi sürülerek boy donatı hizasından yapıştırma işlemi tamamlanmıştır. Daha sonra epoksi ile iyice ıslatılan 5 kat CFRP bağ teli yardımıyla bu deliklere yerleştirilmiştir. CFRP'nin delik dışında kalan püskül kısmı da (5 cm uzunluğunda) kolon üzerine uygulanan CFRP üzerine yapıştırılmıştır. Bu işlemle kolon yüzeyine boy donatı hizasından yapıştırılan

CFRP'nin temele mesnetlenmesine çalışılmıştır. En son olarak da 3'er kat GFRP şerit kolon etrafına 120 mm aralıklarla yapıştırılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Karbon ve cam elyaf sargılama işlemi

Yapıştırma işlemlerinin ardından numuneler, en az bir hafta olmak üzere, deneylerin gerçekleştirilmesine kadar laboratuvar ortamında bekletilmişlerdir.

3.7 Deney Aşaması

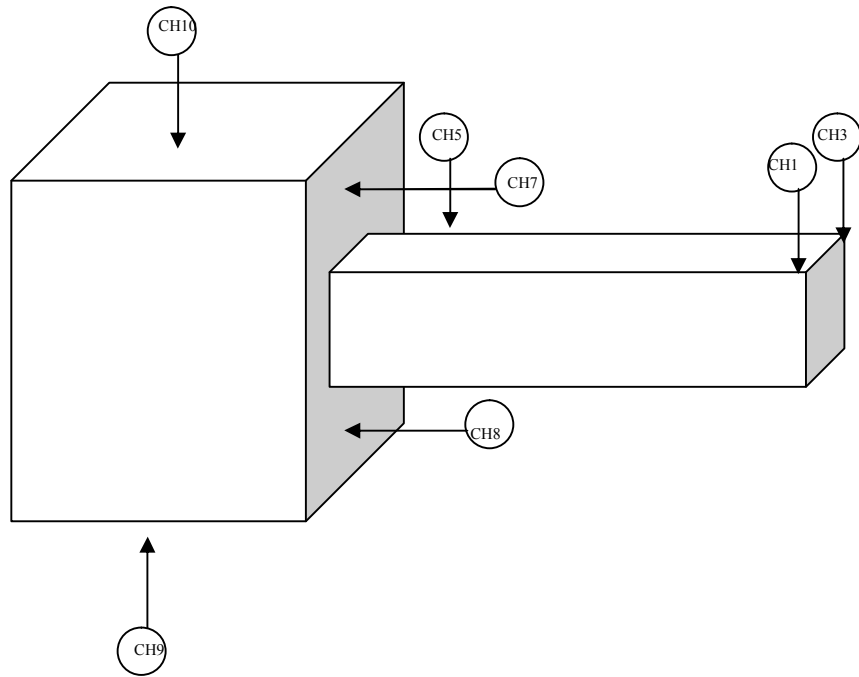
3.7.1 Beton deneyleri

Hazırlanan her bir numune setine ait, beton dayanımlarının takibi için en az 16 adet olmak üzere, yeterli miktarda silindir numune hazırlanmıştır. Numunelerinin beton dökümü sırasında aynı betondan alınarak hazırlanan bu silindir numuneler, sülfür başlık yapılarak belirli aralıklarla 3000 kN kapasiteli beton basınç deney aletinde kırılmış ve beton dayanımları takip edilmiştir. Numunelere ait beton basınç mukavemetleri istenilen seviyeye ulaştığında kolon deneyleri yapılmıştır. Bununla birlikte aynı sete ait diğer silindir numuneler üzerinde Brezilya Yarma Deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçların ortalama değeri alınarak her sete ait kullanılan betonun çekme dayanımları da elde edilmiştir. Üretilen betonların eğilmede çekme dayanımlarının izlenebilmesi için 10x10x50 cm boyutlarında dökülen kirişler

numune alındıkları her bir setin kolon deneyleri gerçekleştirilirken test edilmişlerdir. Deney numunelerine ait beton dayanım değerleri Tablo 3. 6 ile sunulmuştur.

3.7.2 Kolon deneyleri

Donatı iskeletinin hazırlanmasından sonra hasarın en fazla oluşmasının beklendiği potansiyel plastik mafsal bölgelerine, kolonun temele mesnetlendiği bölgeye ve kolon uçlarına değişik hassasiyetlerde yer değiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Şekil 3. 11 ile numunelerin üzerine takılan farklı hassasiyetlerde ki yer değiştirme ölçerlerin yerleşimi sunulmuş, Tablo 3. 5’da ise bunların ölçü boyları ve hassasiyetleri verilmiştir.



Şekil 3.11: Numunelere yapıştırılan yer değiştirme ölçerlerin gösterimi

Tablo 3.5: Kullanılan yer değiştirme ölçerlere ait hassasiyet ve ölçüm boyları

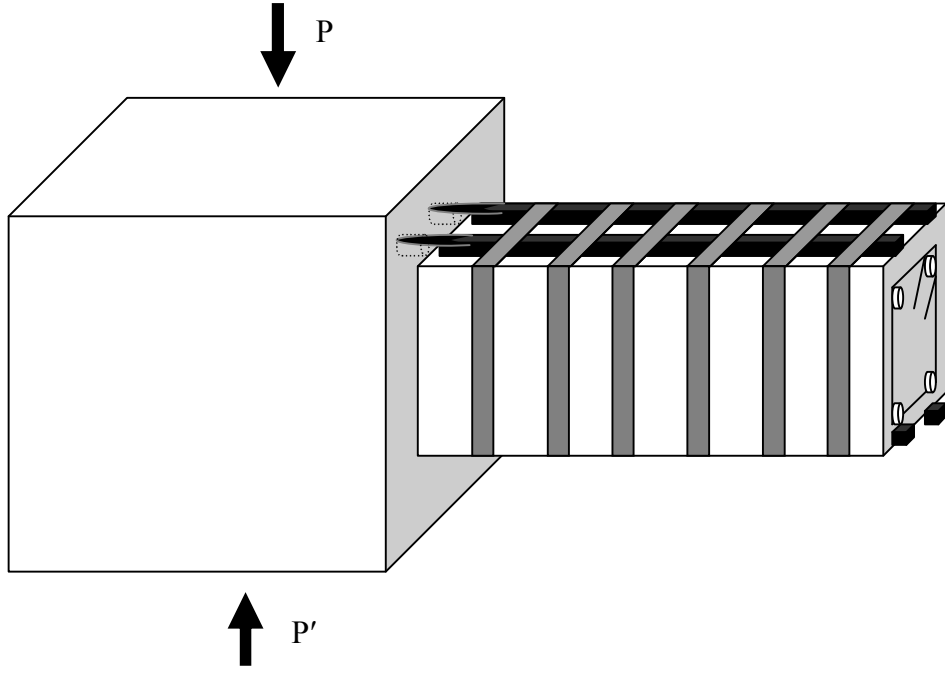
| Kanal | Cihaz/ Kapasite | Hassasiyet (mm) |
|-------|---------------------|-----------------|
| CH1 | LVDT, 100 | 0,01 |
| CH3 | LVDT, 100 | 0,01 |
| CH5 | LVDT, 50 | 0,01 |
| CH7 | LVDT, 30 | 0,01 |
| CH8 | LVDT, 30 | 0,01 |
| CH9 | Yük Hücresi, 300 kN | 0,01 kN |
| CH10 | Yük Hücresi, 300 kN | 0,01 kN |

CH9 ve CH10 ile ölçülen yük seviyeleri kolona uygulanan yatay yükü; CH1 ve CH3’de ölçülen değerler koonun yatay deplasmanını; CH7 ve CH8 ile ölçülen değerler kolon tabanında oluşan dönme açısını, CH5 ile ölçülen değerler ise kolon tabanında oluşabilecek kayma değerini hesaplamakta kullanılmıştır.

Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü statik yükleme şeklinde geręekleřtirilmiřtir. Yükleme adım adım geręekleřtirildięinden her adımda numunenin davranışı ve hasar oluşumu sağlıklı bir şekilde gözlenebilmiştir. Numuneye deprem yükünü etkitmek üzere itme ve çekme yönünde tekrarlı yerdeğiştirmeler uygulanmıştır. Uygulanan rölatif deplasman yüzde 0,15; 0,2; 0,25; 0,35; 0,50; 0,75; 1,0; 1,4; 1,75; 2,2; 2,75; 3,5; 4,0 seviyelerinde üçer defa yük çevrimi olarak yapılmıştır. Üçer defa uygulanan her bir yükleme adımından sonra, her adımın üçüncü çevriminde ulaşılan yükün %40’ında ara çevrim uygulanmıştır.

Deneyleerde kolona uygulanan her iki yönlü itme-çekme türü tekrarlı yükler, hidrolik 300 kN kapasiteli silindir-pompa setleri ile uygulanmıştır. Silindirler ile dayanak payandaları arasına yerleştirilen, 300 kN kapasiteye sahip elektronik yük hücreleri yardımıyla yükün şiddeti ölçülmüştür. Deneyler yer değiştirme kontrollü olarak yapıldığından, numunenin orta noktasının yaptığı düşey yer değiştirme kontrol yer değiştirmesi olarak esas alınmıştır. Kolonda oluşan yer değiştirmeler numunenin uç kısımlarına 100 mm kapasiteli, numune açıklık ortasında 30 mm kapasiteli ve kolonun basit temele mesnetlendiği en alt noktaya da yerleştirilen 50 mm kapasiteli elektronik komparatörler yardımı ile takip edilmiştir. Deney verileri, elektronik olarak veri toplama sistemi ile bilgisayara kaydedilmiş ve deney esnasında ekranda grafik çizimleri izlenmiştir.

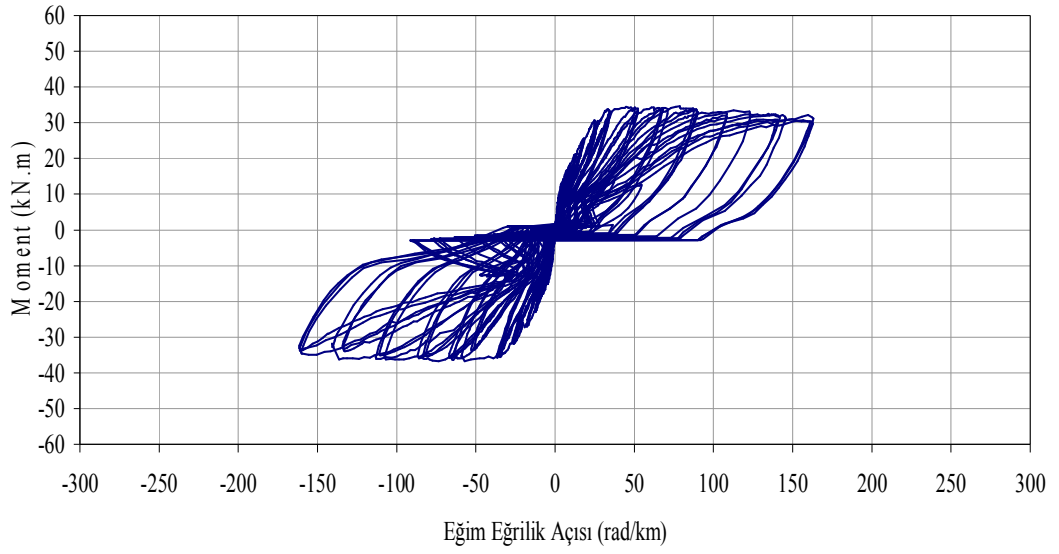
Bu deneyler sonucunda 8 numuneye ait elde edilen moment- eğrilik grafikleri (Şekil 3. 13– 20), doğrulanmış kesme kuvveti-yer değiştirme yüzdesi grafikleri (Şekil 3. 21- 28), deney numunelerine ait sayısal değerler (Tablo 3. 7) ve deney numunesinin güçlendirilmesi işlemi (Şekil 3. 12) aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Deney numunelerinin güçlendirilmesi

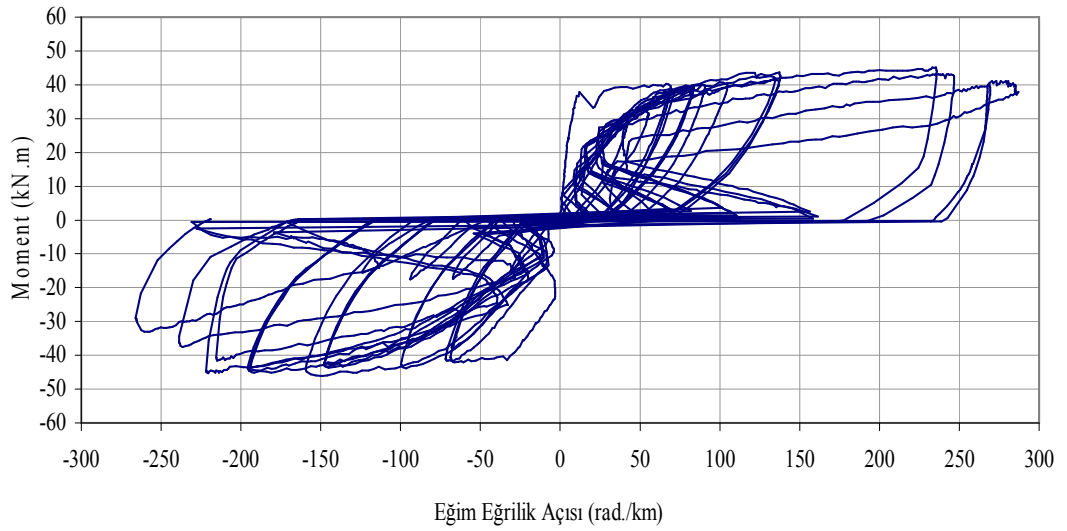
Güçlendirme işleminde yapıştırılan 1 kat Sika- Carbodur ile 5 kat SikaWrap Hi- Mod'un kesit alanları birbirlerine eşit olarak seçilmiştir. Her iki türlü CFRP için de temele ankraj yüksek elastisite modüllü SikaWrap Hi- Mod kullanılarak ve yapıştırılan CFRP'nin kesit alanının 2 katını sağlayacak CFRP çiviler hazırlanarak yapılmıştır.

AF(C0G0)-Pilot



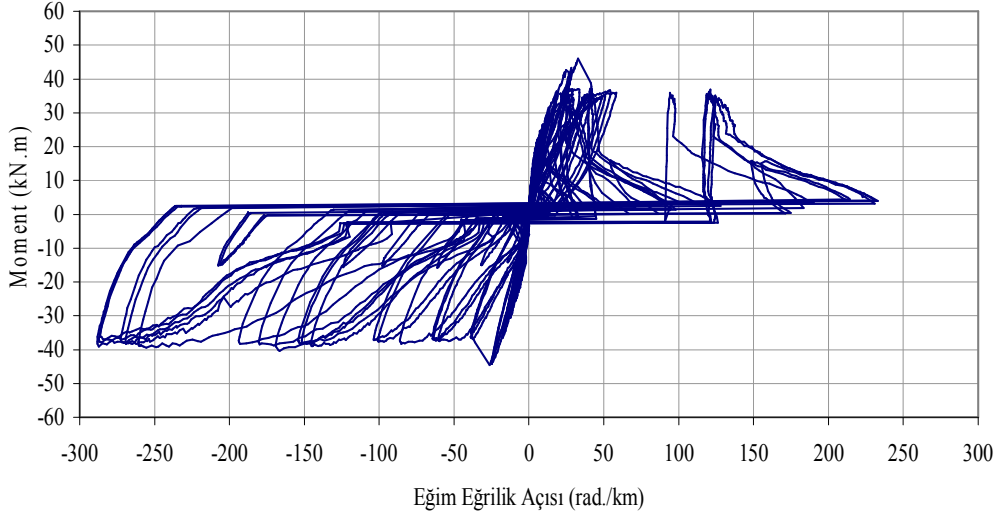
Şekil 3.13: AF(C0G0)- Pilot numunesine ait moment- eğrilik grafiği

AF(C5G3)-S1



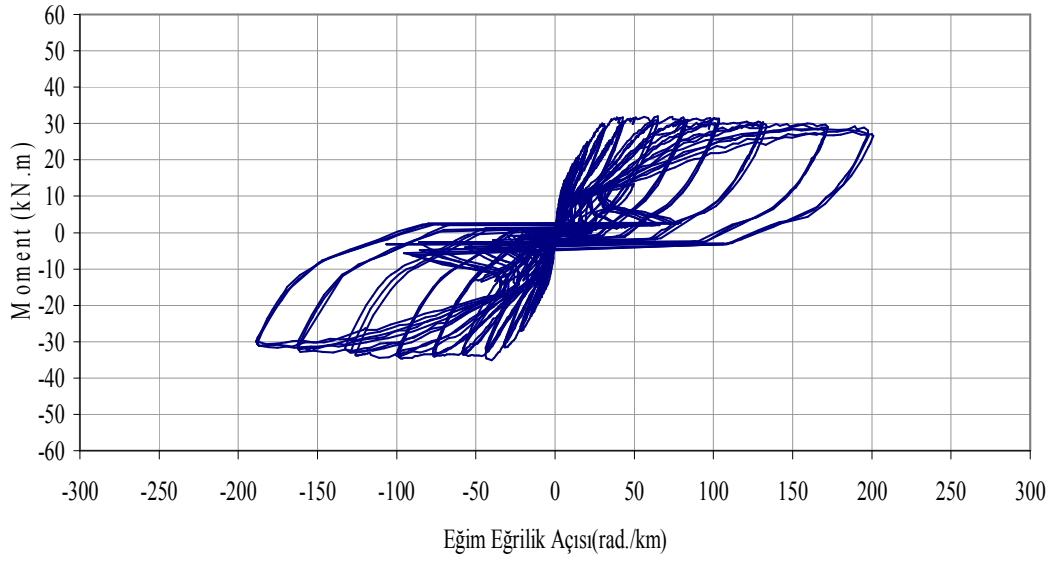
Şekil 3.14: AF(C5G3)- S1 numunesine ait moment- eğrilik grafiği

AF(C1G3)-S2



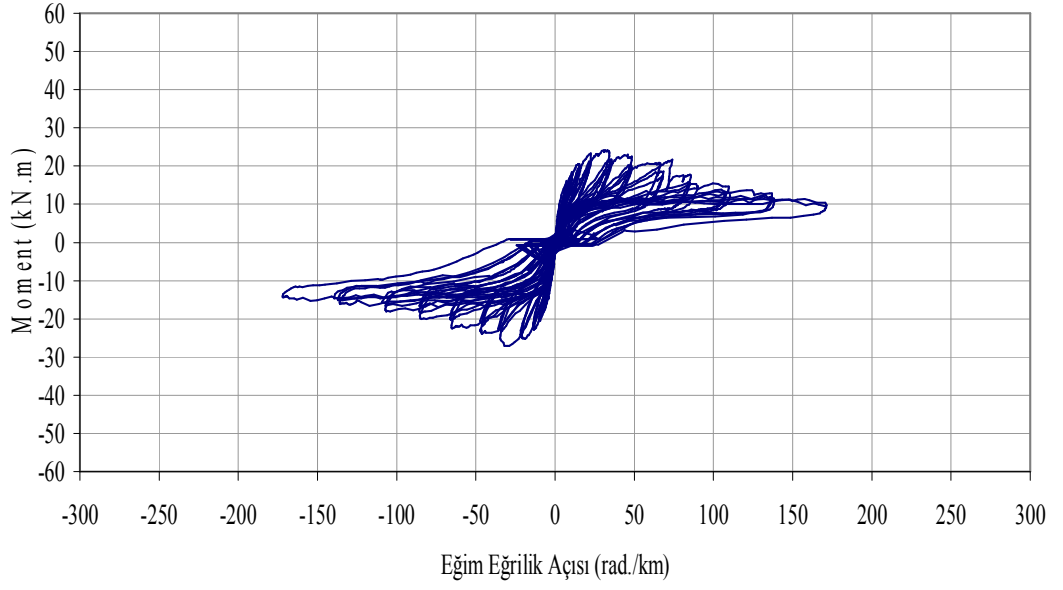
Şekil 3.15: AF(C1G3)- S2 numunesine ait moment- eğrilik grafiği

AF(C0G0)-S3



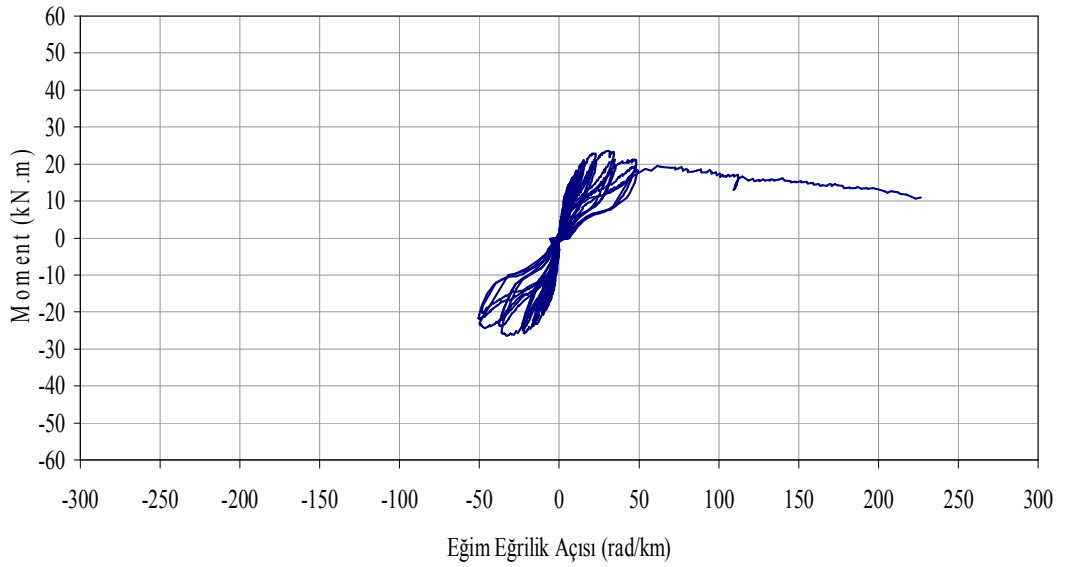
Şekil 3.16: AF(C0G0)- S3 numunesine ait moment- eğrilik grafiği

AF(C0G0)-B1



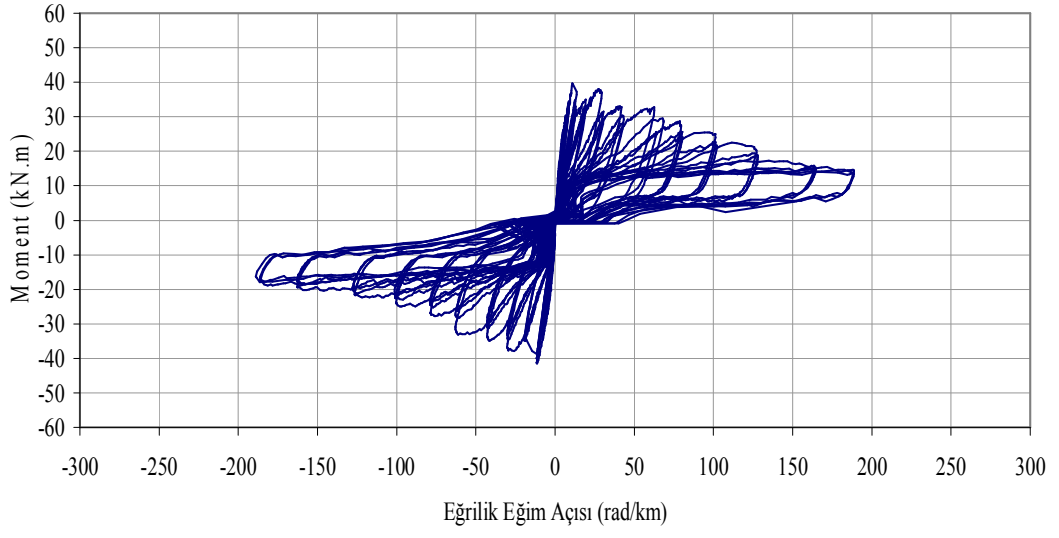
Şekil 3.17: AF(C0G0)- B1 numunesine ait moment- eğrilik grafiği

AF(C0G0)-B2



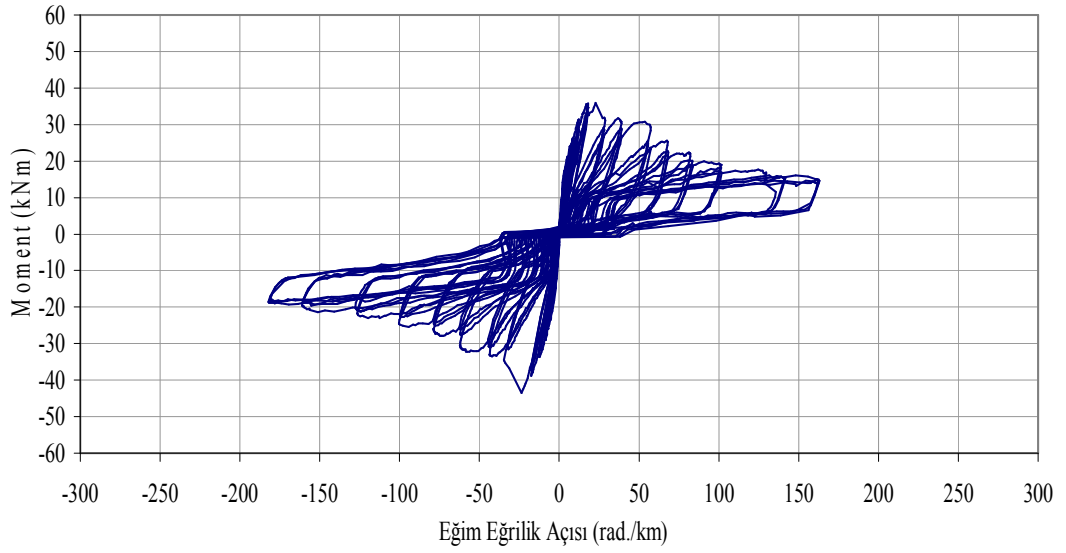
Şekil 3.18: AF(C0G0)- B2 numunesine ait moment- eğrilik grafiği

AF(C5G3)- B3



Şekil 3.19: AF(C5G3)- B3 numunesine ait moment- eğrilik grafiği

AF(C1G3)-B4



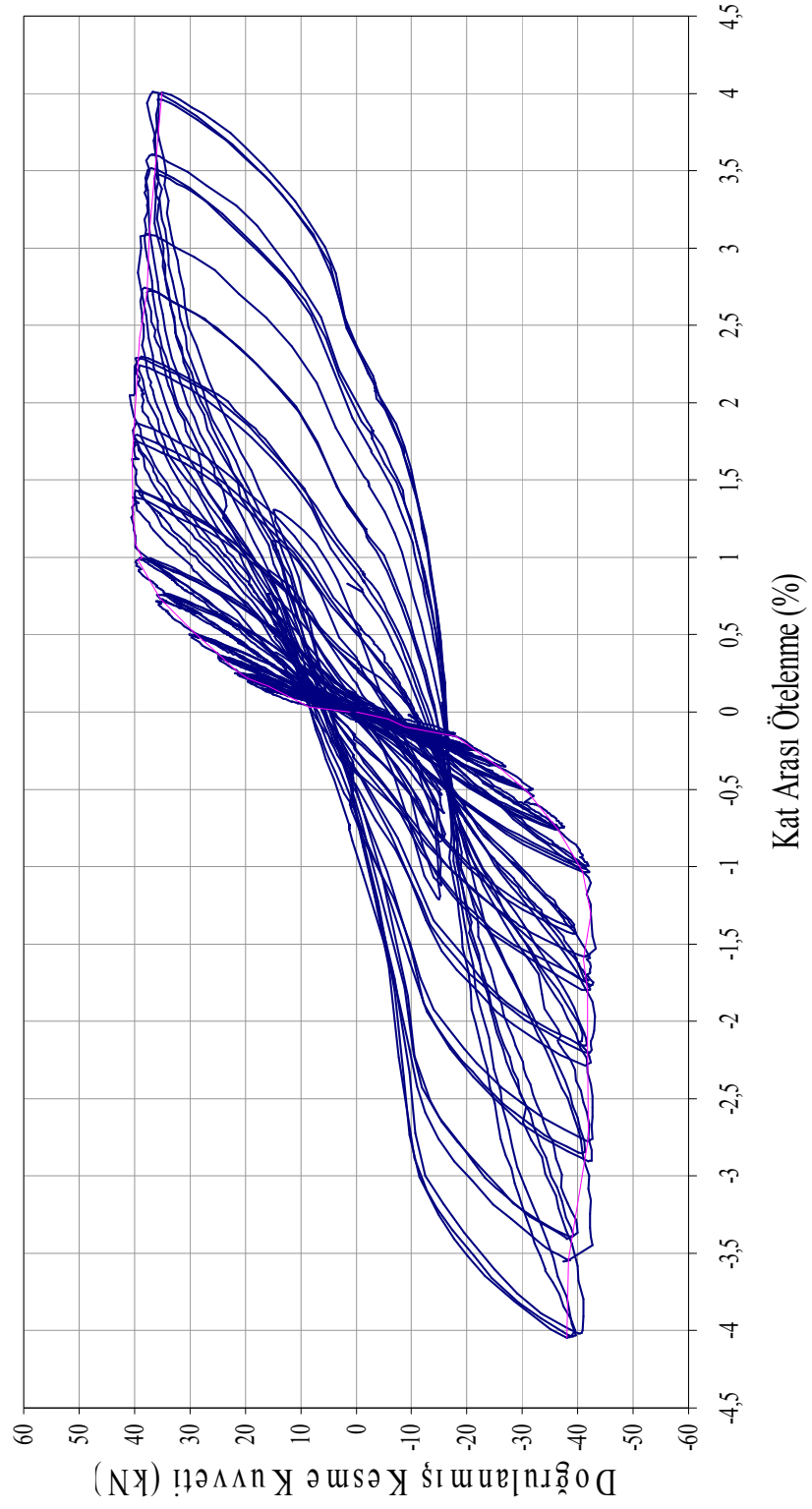
Şekil 3.20:AF(C1G3)- B4 numunesine ait moment- eğrilik grafiği

Tablo 3.6:Deney numunelerinin sayısal değerleri

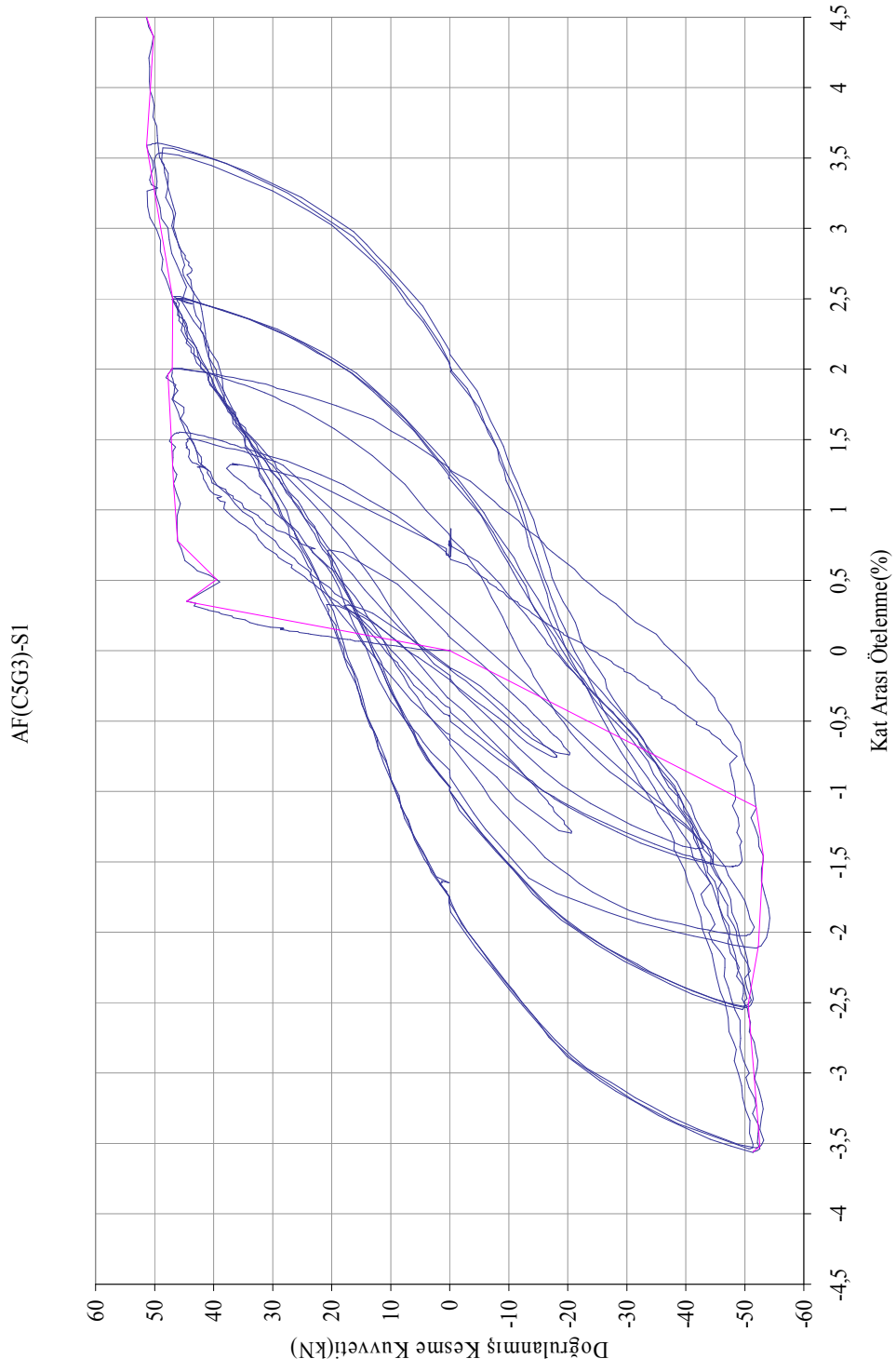
| Numune Adı | Beton Basınç Dayanımı f_{ck} (MPa) | Silindir Yarma Dayanımı f_{sp} (MPa) | Eğilme de Çekme Dayanımı f_c (MPa) | N (kN) | Boyuna Donatı Çapı (mm) | Etriye Çapı (mm) | CFRP (Sikawrap-300C HiMod) | CFRP (Sikacarbodur-1,524) | GFRP | Boy Donatısı |
|----------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---------|-------------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|-------|-----------------|
| AF(C0G0)-Pilot | 25,78 | 2,84 | 5,15 | 111,369 | 12 | 8 | - | - | - | Sürekli |
| AF(C5G3)-S1 | 23,74 | 2,72 | 5,52 | 102,55 | 12 | 8 | 5 kat | - | 3 kat | Sürekli |
| AF(C1G3)-S2 | 27,45 | 2,95 | 5,30 | 118,5 | 12 | 8 | - | 1 kat | 3 kat | Sürekli |
| AF(C0G0)-S3 | 27,40 | 3,11 | 4,60 | 118,37 | 12 | 8 | - | - | - | Sürekli |
| AF(C0G0)-B1 | 27,6 | 2,87 | 4,50 | 119,2 | 12 | 8 | - | - | - | Bindirmeli Ekli |
| AF(C0G0)-B2 | 28,77 | 3,09 | 4,11 | 124,29 | 12 | 8 | - | - | - | Bindirmeli Ekli |
| AF(C5G3)-B3 | 28,26 | 3,13 | 6,07 | 122,08 | 12 | 8 | 5 kat | - | 3 kat | Bindirmeli Ekli |
| AF(C1G3)-B4 | 25,19 | 3,08 | 5,32 | 108,8 | 12 | 8 | - | 1 kat | 3 kat | Bindirmeli Ekli |

* Tüm numunelerde $b=180$ mm, $h=240$ mm, $d=228$ mm, $d'=228$ mm, $Rho(\%)=1$ ve $d/d'=3,17$

AF(C0G0)S-Pilot

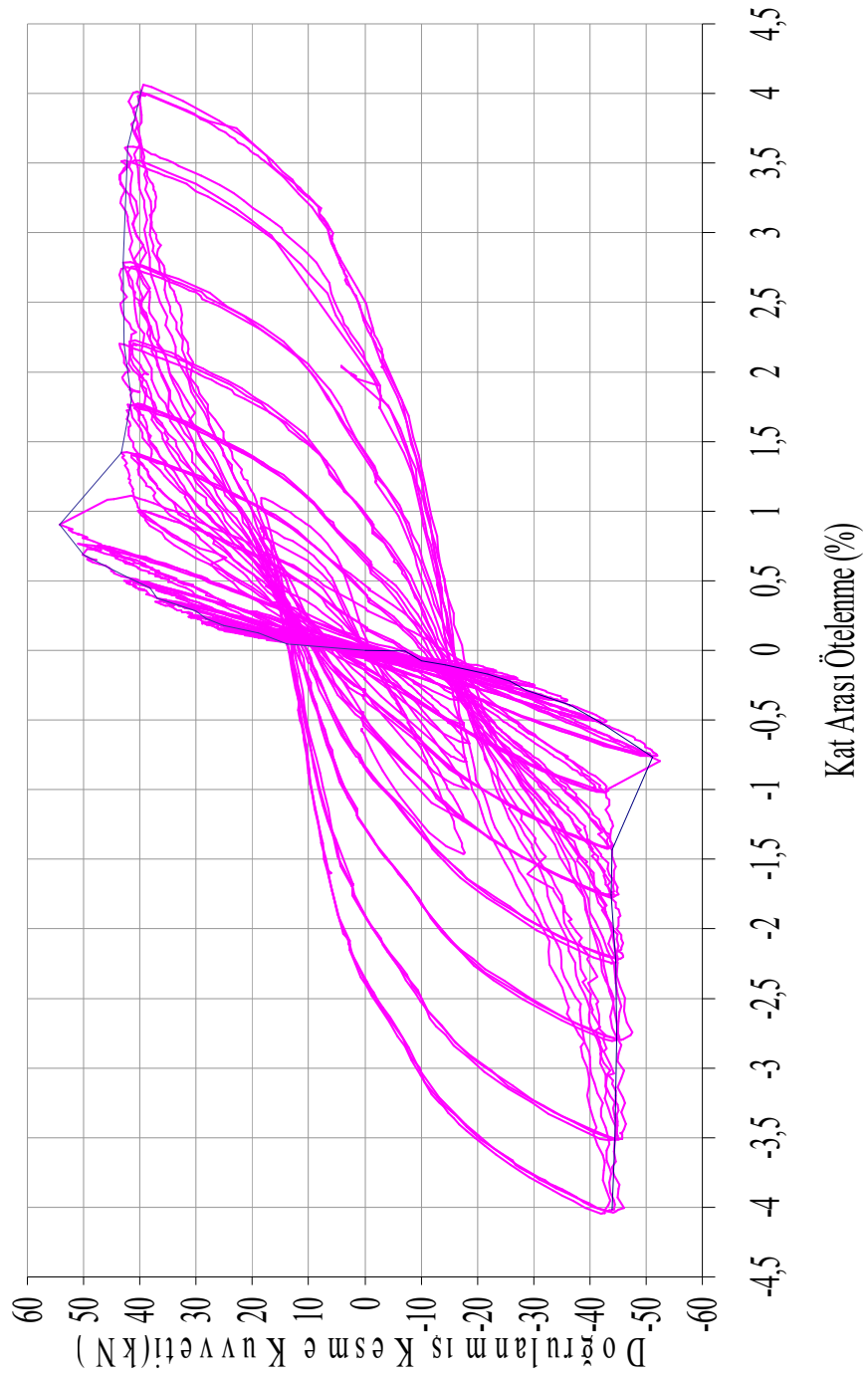


Şekil 3.21: AF(C0G0)-Pilot numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği



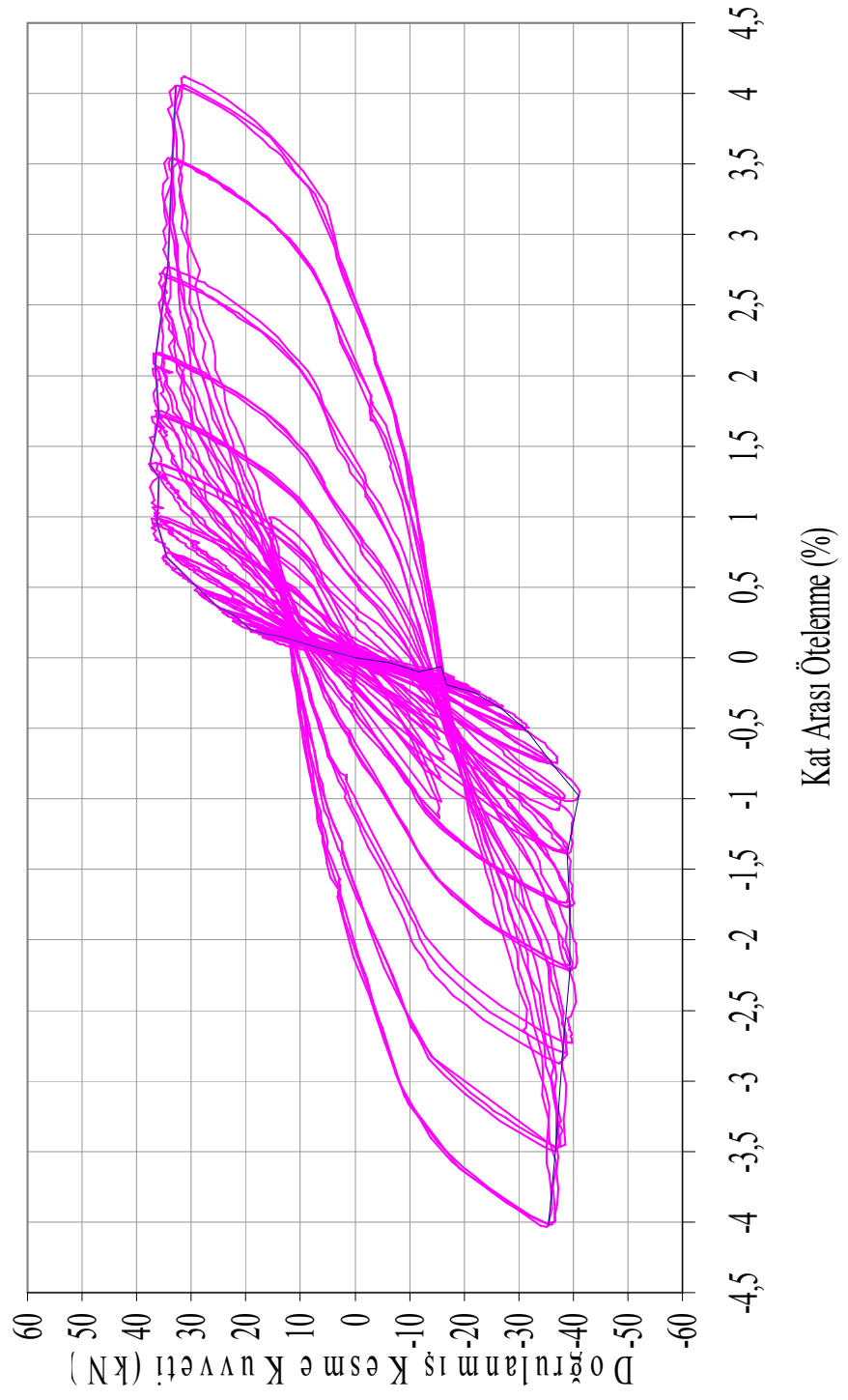
Şekil 3.22: AF(C5G3)-S1 numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği

AF(C1G3)-S2



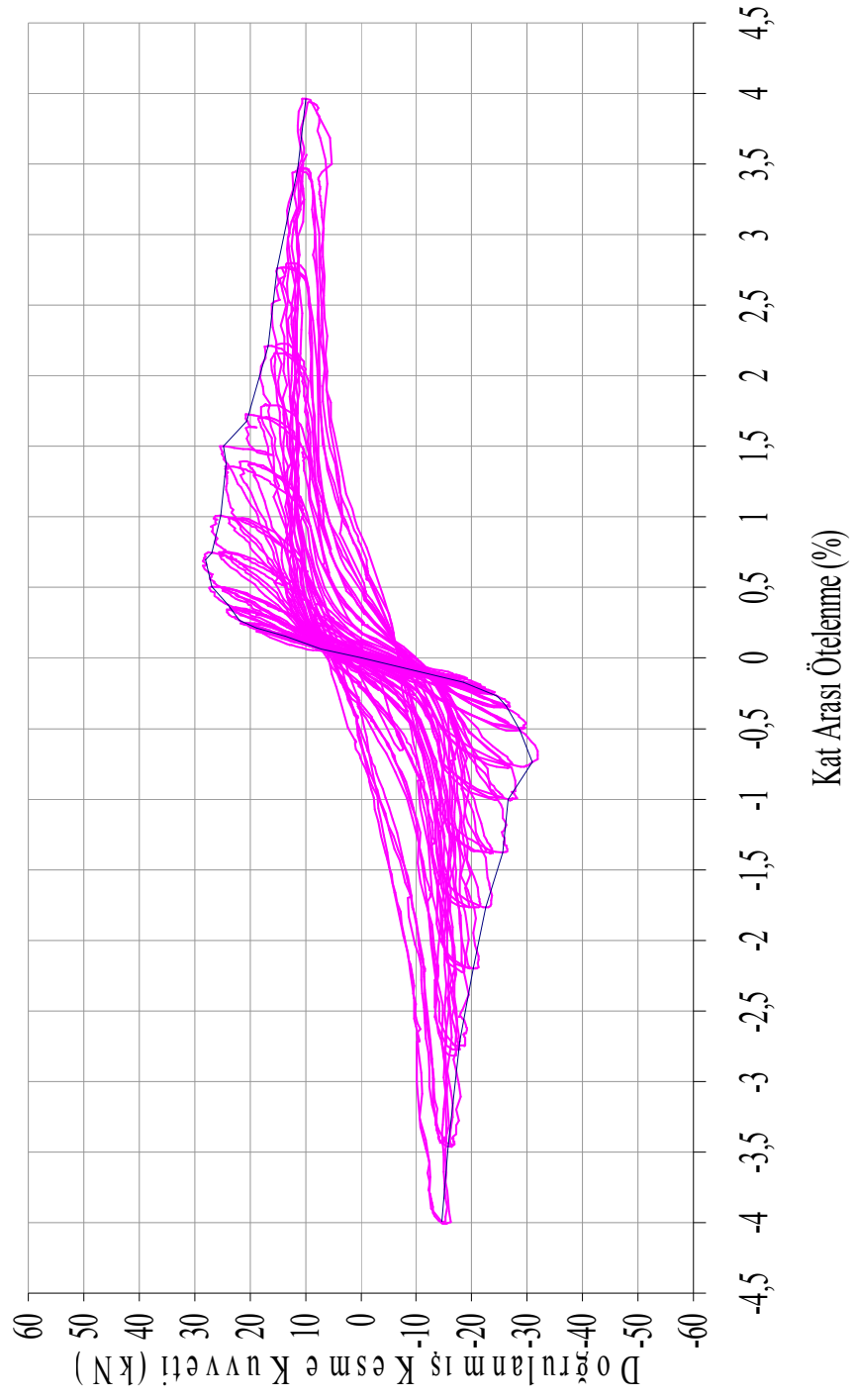
Şekil 3.23: AF(C1G3)-S2 numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği

AF(C0G0)-S3



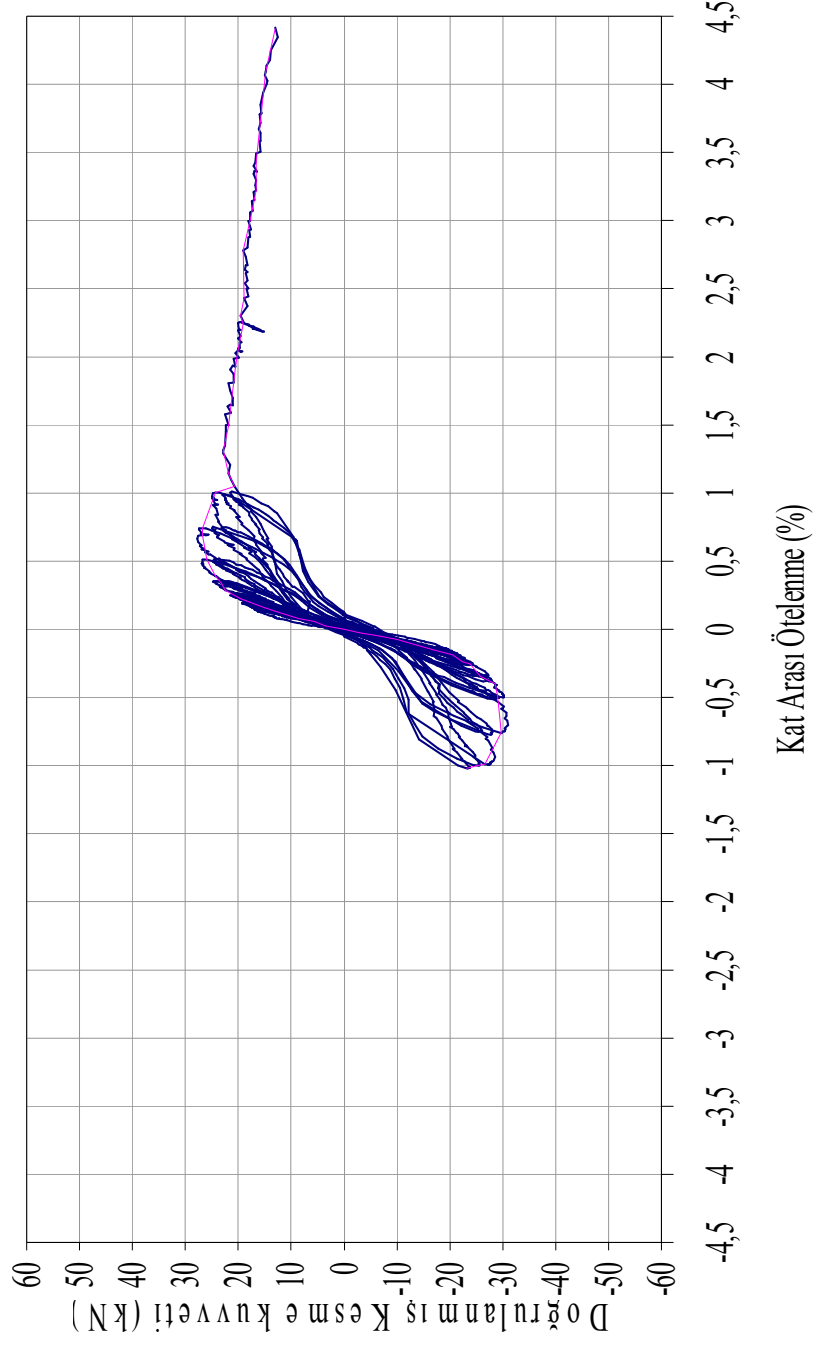
Şekil 3.24: AF(C0G0)-S3 numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği

AF(C0G0)-B1



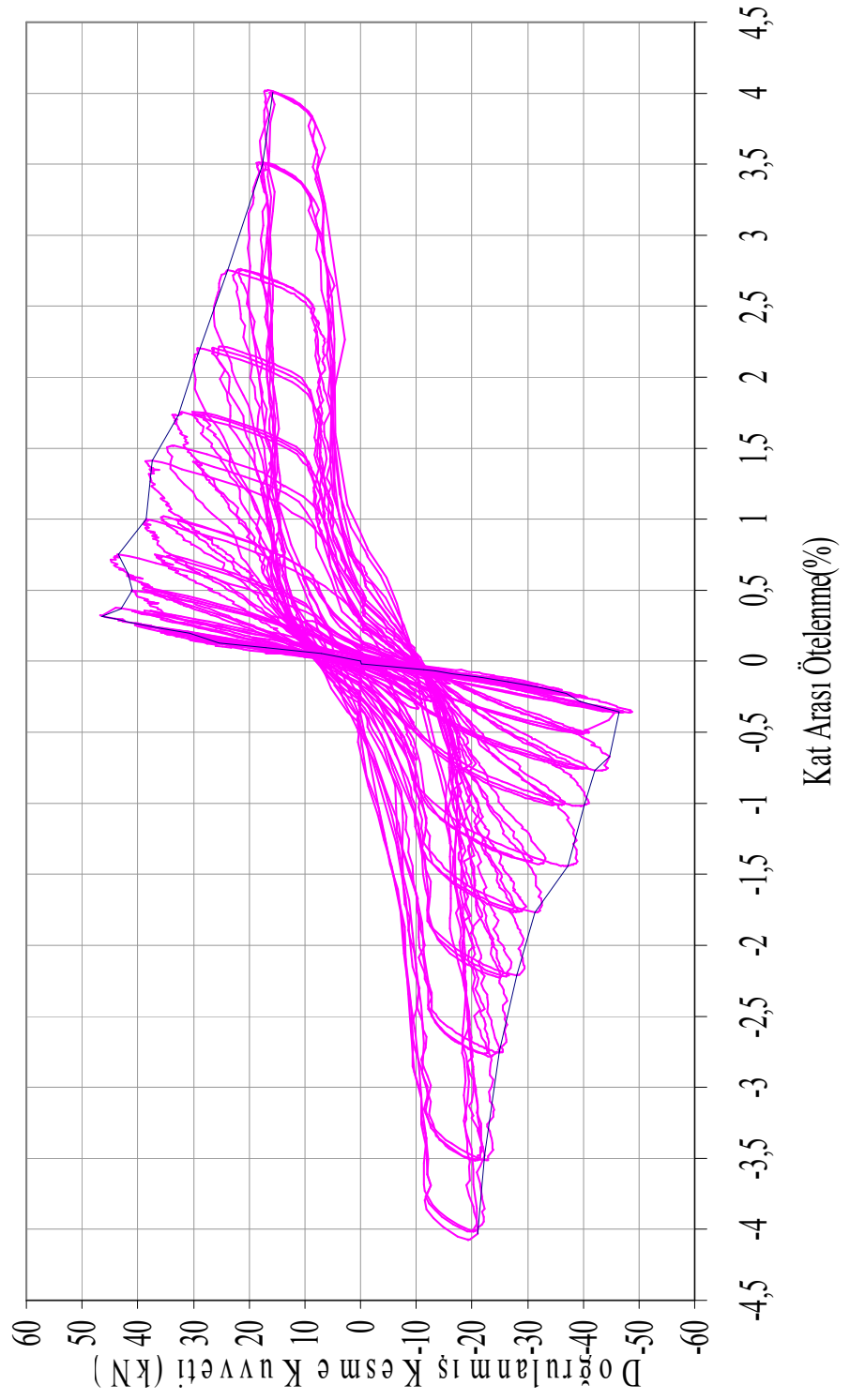
Şekil 3.25: AF(C0G0)-B1 numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği

AF(C0G0)-B2



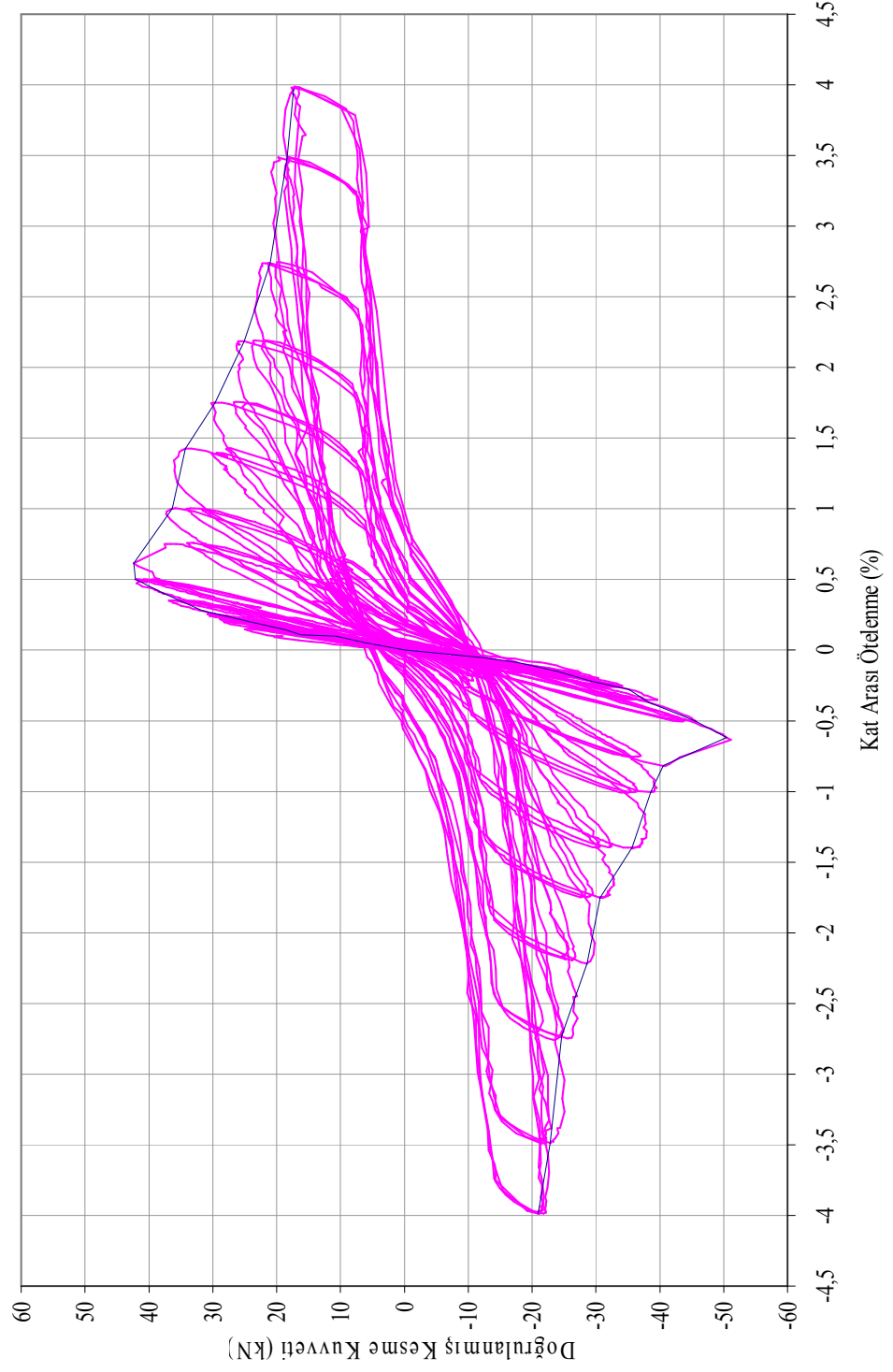
Şekil 3.26: AF(C0G0)-B2 numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği

AF(C5G3)-B3



Şekil 3.27: AF(C5G3)-B3 numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği

AF(C1G3)-B4



Şekil 3.28: AF(C1G3)-B4 numunesine ait doğrulanmış kesme kuvveti- kat arası ötelenme grafiği

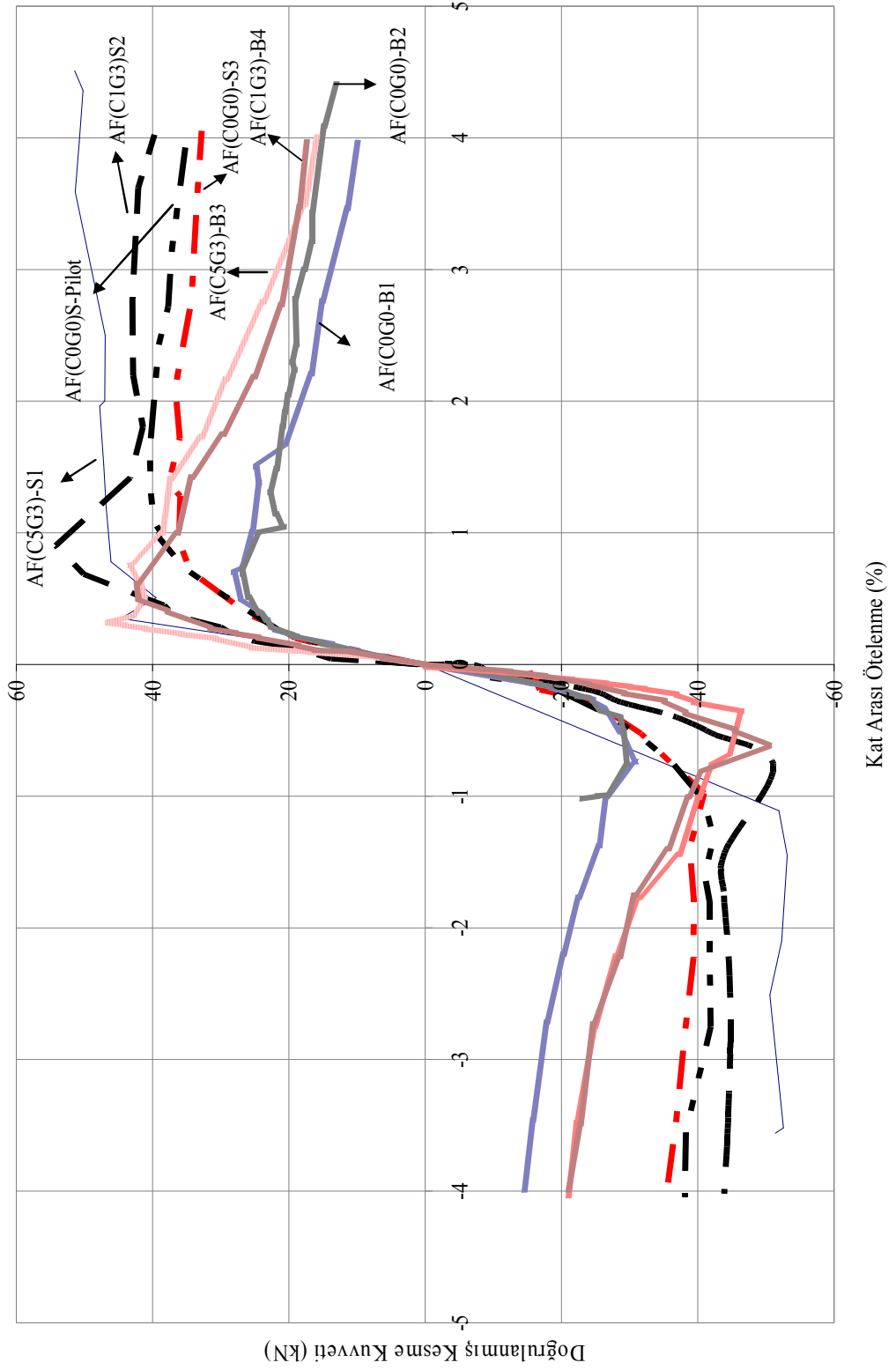
4. DENEY VERİLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Deney Numunelerine Ait Kapasite Zarf Eğrilerinin Değerlendirilmesi

Boyuna donatısı bindirmeli ekli veya sürekli olan kolonların moment taşıma kapasitelerinin boyuna CFRP yapıştırılarak arttırılmasının incelendiği bu çalışmanın kapasite- zarf eğrileri Şekil 4. 1’de verilmiştir.

Bindirmeli ekli olan AF(C0G0)- B1 ve AF(C0G0)- B2 numuneleri yaklaşık %0,5 rölatif kat ötelenmesi seviyesinde maksimum yatay yük taşıma kapasitesi olan 26 kN değerine ulaşmışlardır. Bindirmeli ekli olan bu numuneler yüksek elastisite modüllü karbon elyaf (SikaWrap 300CHiMod) ile boyuna doğrultuda 5 kat yapıştırılarak güçlendirildiğinde (AF(C5G3)- B3) maksimum yük kapasitesi 46,51 kN seviyesine ulaşmıştır; ancak AF(C5G3)- B3 numunesinin maksimum yüke ulaştığı kat arası rölatif deplasman seviyesi yaklaşık %0,3 seviyesine gerilemiştir. Aynı numunenin normal elastisite modüllü karbon elyaf ile güçlendirilmesi ile oluşturulan numunede ise (AF(C1G3)- B4) yatay yük kapasitesi 41,06 kN, bu yüke karşılık gelen deplasman ise %0,6 seviyesindedir.

Sürekli donatısı olan kolon numunelerinde ise (AF(C0G0)- S3 ve AF(C0G0)-Pilot) maksimum yatay yük kapasitesi yaklaşık %1,0 kat arası rölatif deplasman seviyesinde oluşmuştur. AF(C0G0)- S3 numunesi için yatay yük kapasitesi 36,79 kN’dur. Buna karşın normal elastisite modüllü karbon elyafın boyuna doğrultuda yapıştırılarak güçlendirilen AF(C1G3)- S2 numunesinde yatay yük taşıma kapasitesi 54,21 kN’a yükselmiş ve maksimum yüke karşılık gelen deplasman seviyesinde azalma gözlenmiştir. Yüksek elastisite modüllü elyaf ile güçlendirilen numunelerde ise maksimum yatay yük kapasitesi 52,22 kN ve buna karşılık gelen deplasman seviyesi ise %0,5’dir. Şekil 4.1’de yatay yük- rölatif kat arası deplasman zarfları verilen deney elemanlarının maksimum yüke karşılık gelen deplasman seviyeleri aşağıda Tablo 4. 1 ile verilmektedir.



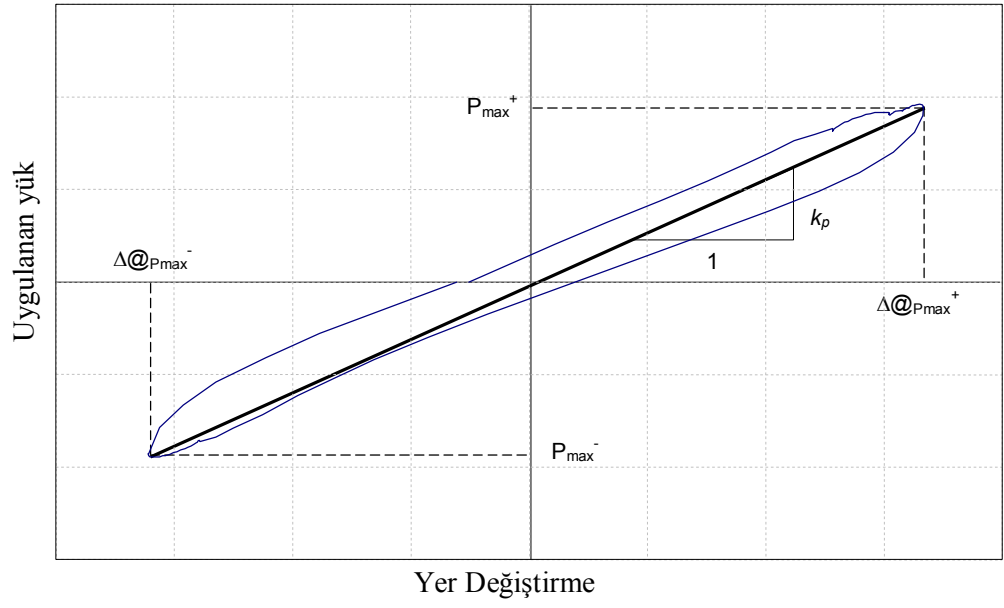
Şekil 4.1: Deney numunelerine ait yatay yük- rölatif kat arası deplasman zarfları grafiği

Tablo 4.1:Deney numunelerinin maksimum yük deplasman değerleri

| Numune Adı | Maksimum Y¼k (kN) | Maksimum Y¼ke Karşılık Gelen Deplasman (%) |
|-------------------|--------------------------|---|
| AF(C0G0)S(pilot) | 39,67 | 0,979 |
| AF(C5G3)S1 | 50,39 | 0,36 |
| AF(C1G3)S2 | 54,21 | 0,902 |
| AF(C0G0)S3 | 37,65 | 1,373 |
| AF(C0G0)B1 | 28,01 | 0,698 |
| AF(C0G0)B2 | 27,17 | 0,705 |
| AF(C5G3)B3 | 46,51 | 0,318 |
| AF(C1G3)B4 | 42,35 | 0,614 |

4.2 Rijitlik

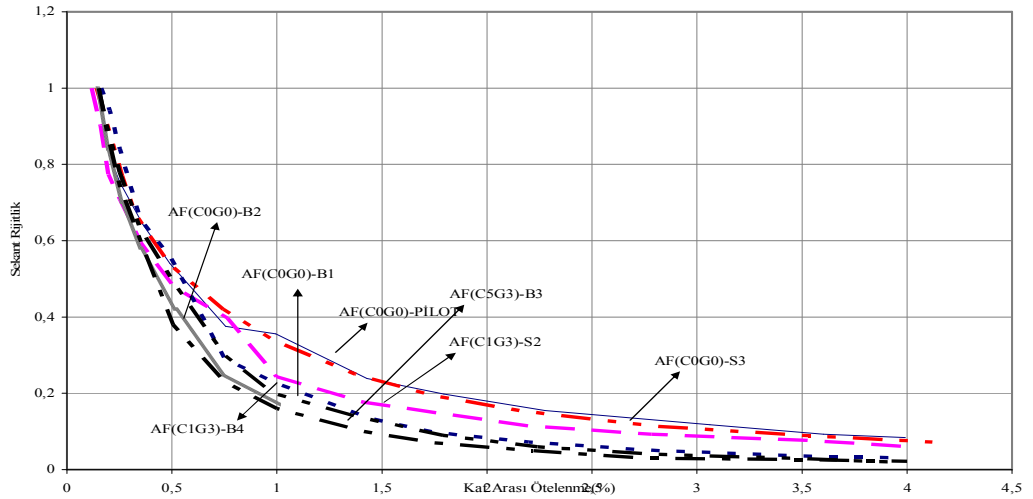
Rijitlik, yapının yer değiştirmelere bağlı olarak göstermiş olduğu mukavemetin ölç¼m¼d¼r. Numunelere ait rijitlik özellikleri sekant rijitlik ve tanjant rijitlik gibi bağıntılarla değerlendirilebilirler. Sekant rijitlik herhangi bir çevrimde oluşan eğrinin ulaştığı pozitif ve negatif uçtaki maksimum yükleme noktalarını birleştiren doğrunun eğimidir.



Şekil 4.2: Sekant rijitlik tanımı

Sekant Rijitlik değerleri Denklem 4. 1 bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$k_p = \frac{|P_{max}^+| + |P_{max}^-|}{|\Delta @ P_{max}^+| + |\Delta @ P_{max}^-|} \quad (4. 1)$$



Şekil 4.3: Deneysel numunelerine ait ötelenme- rijitlik grafiği

Deney numunelerinin rölatif kat arası ötelenme seviyesine bağlı olarak oluşan sekant rijitlik kayıpları da verilmiştir. Şekil 4. 3 Ötelenme- Sekant Rijitliği Grafiğine göre tüm numuneler başlangıçta %0,35 çevrimine dek rijitliklerindeki düşüş miktarı yaklaşık olarak aynı olmuştur. Bu seviyeden sonra boy donatısı sürekli numunelerdeki rijitlik kaybı yavaşlarken, boy donatısı bindirmeli ekli numunelerde daha büyük rijitlik kayıpları oluşmuştur. En büyük rijitlik kaybı yüksek elastisite modüllü karbon elyaf ile güçlendirilen numunelerde oluşmuştur.

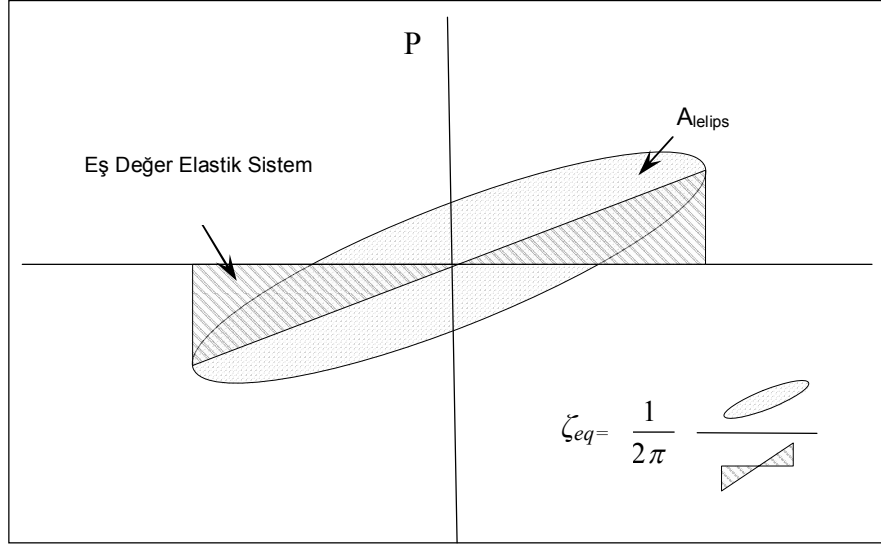
4.3 Enerji Yutma Kapasiteleri

Deney numunelerinin tersinen- tekrarlanan yükleme altında enerji yutma kapasitesi, deneysel olarak belirlenen yükleme- yer değiştirme halkalarının alanı ile tanımlanmaktadır. Tablo 4. 2 ile deney numunelerine ait yutulan toplam enerji miktarları verilmiştir. Numunelere ait yutulan toplam enerji miktarları karşılaştırıldığında boy donatısı sürekli numunelerde en büyük enerji CFRP(Sika Carbodur X. 1,524) ile güçlendirilen AF(C1G3)-S2 numunesinde gözlemlenmiştir. Boy donatısı bindirmeli ekli numuneler içinde de en fazla enerji yine CFRP(Sika Carbodur X. 1,524) ile güçlendirilen AF(C5G3)- B4 numunesinde yutulmuştur.

Tablo 4.2: Yutulan toplam enerji miktarı

| Numune Adı | Yutulan Toplam Enerji (kNm) |
|------------------|-----------------------------|
| AF(C0G0)S(Pilot) | 546,90 |
| AF(C5G3)S1 | 101,01 |
| AF(C1G3)S2 | 869,32 |
| AF(C0G0)S3 | 652,39 |
| AF(C0G0)B1 | 259,37 |
| AF(C0G0)B2 | 37,74 |
| AF(C5G3)B3 | 412,55 |
| AF(C1G3)B4 | 332,49 |

Tamamlanmış bir tersinir yükleme adımındaki yutulan enerjinin, eş değer elastik sistemde depolanacak olan enerjiye oranı sistemin sönüm oranıyla ilgili bilgi verir (Şekil 4. 4).

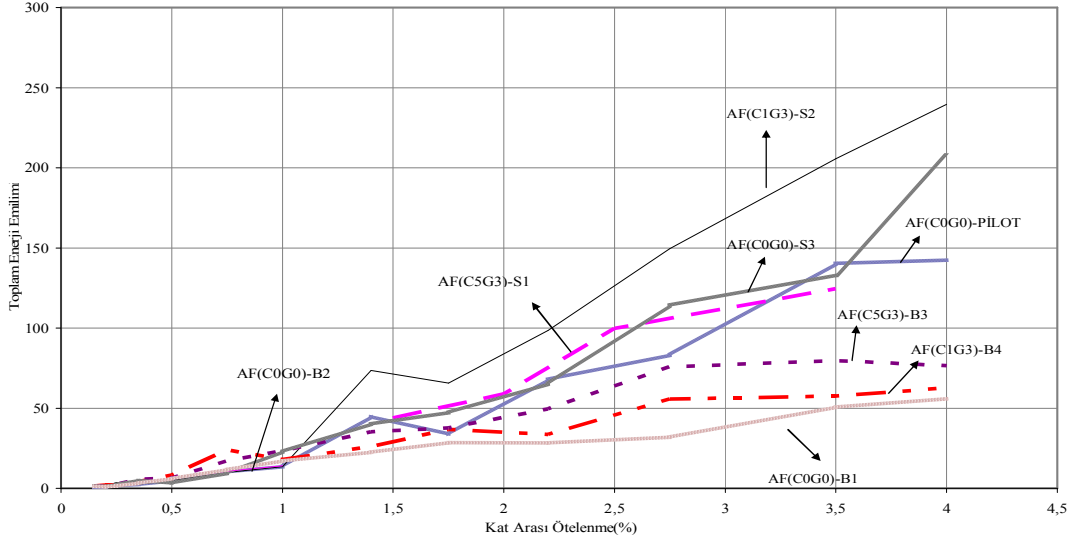


Histeretik alanın genişliği yapı elemanının maruz kaldığı deformasyon derecesinin ve buna bağlı olarak sönümlemenin büyüklüğünü ifade eder; ayrıca yapının sahip olduğu enerji yutma kapasitesinin yapının deprem yüküne karşı göstereceği mukavemete büyük etkisi vardır. Şekil 4. 5 ile deney numunelerine ait toplam enerji dağılım eğrisi, Şekil 4. 6 ile de deney numunelerine ait eş değer sönümleme eğrisi verilmektedir.

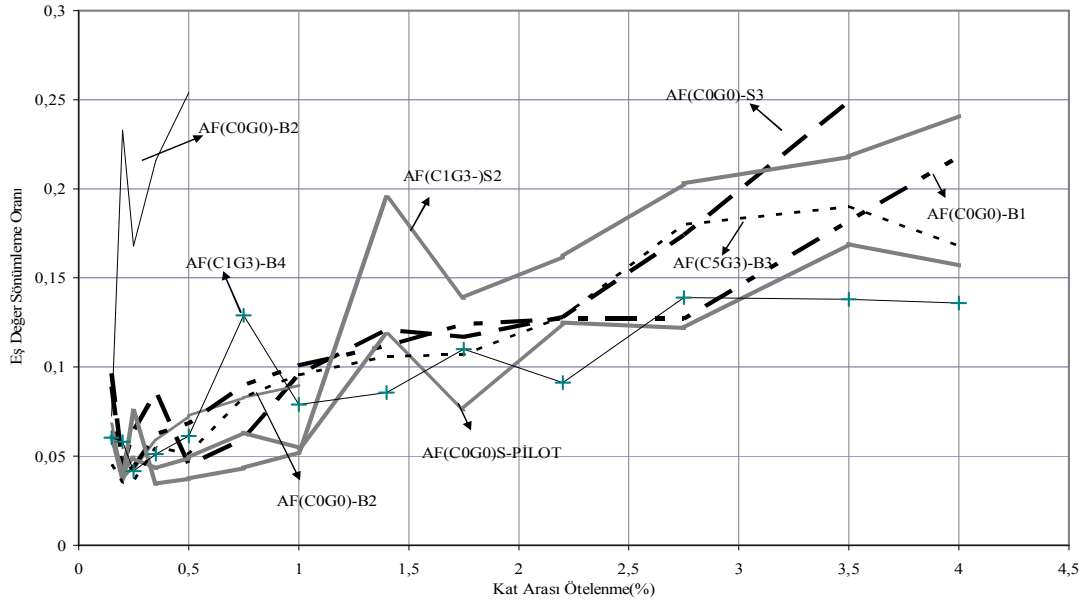
Şekil 4. 6 incelendiğinde deney numunelerinin yaklaşık olarak %1(Δ/h) değerine kadar benzer davrandığı, güçlendirilmiş numunelerin güçlendirilmeyen numunelere kıyasla yaklaşık olarak aynı Δ/h değerinde enerji emilim miktarlarında artışlar olduğu gözlemlenmiştir.

Güçlendirilmeyen numuneler kendi aralarında incelendiğinde boy donatısı sürekli olan numuneler boy donatısı bindirmeli ekli numunelere oranla yaklaşık olarak aynı Δ/h değerinde daha fazla enerji sönümlemişlerdir.

Güçlendirilmiş numuneler için de, boy donatısı sürekli numunelerde en fazla enerji emilimine AF(C1G3)- S2 numunesinde; boy donatısı bindirmeli ekli numunelerde ise AF(C3G5)- B3 numunesi ulaşmıştır.



Şekil 4.5: Toplam enerji dağılım eğrisi



Şekil 4.6: Eş değer sönümlenme etkisi

Şekil 4. 6 incelendiğinde deney numunelerinin yaklaşık olarak %0,25 kat arası öteleme değerinden sonra enerji sönümlene değerlerinde düşüş olduğu, bu değerden sonra da güçlendirilmiş numunelere ait sönümlene değerlerinde düşüş olduğu, fakat güçlendirilmemiş numunelere göre göçme davranışlarında herhangi bir farklılık olmadığı görülmüştür.

Tüm bu değerler içerisinde AF(C5G3)- S1 ve AF(C0G0)- B2 numuneleri dışında tüm numuneler %4 çevrimine ulaşmışlardır. AF(C5G3)- S1 numunesi üzerine yerleştirilen yer değiştirme ölçerlerin kalibrasyonundaki hatadan dolayı kolon deneyi %0,75 çevrimine kadar devam ettirilebilmiştir. AF(C0G0)- B2 numunesi ise deney esnasında yer değiştirme ölçerler tarafından veri aktarımının yapıldığı bilgisayarda oluşan arızadan dolayı bu numunede eğilme deneyi %1,4 çevrimine kadar devam ettirilebilmiştir. Bu elemanlara ait değerler deney esnasında devam ettikleri yükleme seviyesine kadar olduğundan, diğer elemanlarla karşılaştırmak için yeterli veriye sahip değillerdir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deney numunelerinin davranışı Şekil 4. 1 Tepki- Zarf Eğrisi, Şekil 4. 5 Toplam Enerji Dağılımı Eğrisi ve Şekil 4. 6 Eş Değer Sönümlenme Eğrilerine göre incelendiğinde güçlendirilmiş numunelerin davranışında yatay yük artışı olduğu gözlemlenmiştir. Fakat bu numunelerin göçme davranışında güçlendirilmeyen numunelere kıyasla herhangi bir farklılık oluşmadığı, numunelerin ulaştığı en büyük yük değerinden sonra oluşan akma platolarında değerlerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Toplam enerji dağılımı ve eş değer enerji sönümlenme değerlerinde de güçlendirilmeyen numunelere oranla bu değerlerde artışlar olduğu fakat numune davranışlarında bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

Kolon deneyleri esnasında güçlendirilmiş numunelerde ilk çatlakların ankraj bölgelerinde olduğu gözlemlenmiştir ve numunelerde güç tükenmesi bu ankrajların göçmesiyle oluşmuştur.

Sonuç olarak bindirme boyu yetersiz betonarme kolonların eğilme dayanımını artırmak için karbon elyafla yapılan güçlendirilme ile büyük deplasmanlara ulaşamayacağına, bu yöntemin tek başına güçlü sistemler içinde diğer güçlü taşıyıcı elemanlara göre zayıf kalmış tekil elemanların güçlendirilmesinde kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

Bousias, S., Triantafillou, T., Fardis, M., Spathis, L. and Oregan, B., “Experimental Behavior of Deficient Rectangular Columns Externally FRP” *12th European conference on Earthquake Engineering, London, UK. September 9- 13*, (2002).

Haroun, M. A., Mosallam, A. S., Feng, M. Q., and Elsanadedy, H. M., “Experimental Investigation of seismic Repair and Retrofit of Bridge Columns by Composite Jackets” *FRP Composites in Civil Engineering*, 838- 857, (2001).

Jaradat, O., McLean, D. I., and Lee Marsh, M., “Performance of Existing Bridge Columns under Cyclic Loading” *ACI Structural Journal*, 695- 704, (1998).

Lacobucci, R.D., Sheikh, S.A., and Bayrak, O., “Retrofit of Square Concrete Columns Confined With Fiber Reinforced Polymer for Seismic Resistance” *ACI Structural Journal*, 785- 794, (2003).

Seible, F., Priesley, J. N., Hegemier, G.A, and Innamorato, D., “Seismic Retrofit of RC Columns with Continuous Carbon Fiber Jackets”, *Journal of Composites for Construction*, 52- 62, (1997).

Saadatmanesh, H., Ehsani, M. R, and Jin, L., “Repair of Earthquake Damaged RC Columns with FRP Wraps”, *ACI Structural Journal*, 206- 215, (1997).

Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R, and Jin, L., “Seismic Retrofit of Rectangular Bridge Columns with Composite Straps”, *Earthquake Spectra*, 281- 304, (1997).

Saatçioğlu, M., and Elnabelsy, G., “Seismic Retrofit of Bridge Columns with CFRP Jackets”, *FRP Composites in Civil Engineering*, 833- 838, (2001).

Sheikh, S.A., and Yau, G., “Seismic Behavior of Concrete Columns Confined With Fiber Retrofit Polymers”, *ACI Structural Journal*, 72- 80, (2002).

Unjoh, S., Tereyama, T., Adachi, Y., and Hoshikuma, J., “Seismic Retrofit of Existing Highway Bridge Columns in Japan”, *Cement and Concrete Composites*, 52- 62, (2000).

Xiao, Y., and Ma, R., “Seismic Retrofit of RC Circular Columns Using Prefabricated Composite Jacketing”, *Journal of Structural Engineering*, 1357- 1364, (1997).

Ye, L. P., Zhang, K., Zhao, S. H., and Feng, P., “Experimental Study on Seismic Strengthening of RC Columns with Wrapped CFRP Sheets”, *Construction and Building Materials*, 499- 506, (2003).

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

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1997 yılında girdiği Erzurum Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Parsons Brinckerhoff (PB), (Erzurum, 2002- 2003) Sağlık Eğitim Hastaneleri Projesi'nde teknik ofis mühendisi olarak çalıştı. 2003 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2006 yılından beri Üsküdar Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Statik Büro'da İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.