

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOLON SARILMA BÖLGELERİNİN CFRP KOMPOZİTLER
İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aynur TEZCAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ (DEPREM)

MAYIS 2004

**KOLON SARILMA BÖLGELERİNİN CFRP KOMPOZİTLER
İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aynur TEZCAN
(501001205)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 21 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Alper İLKİ
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Tülay AKSU (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Şevket ÖZDEN (K.O.Ü.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Çalışmamın tüm aşamalarında gösterdiği ilgi, destek ve anlayış için değerli hocam ve tez danışmanım Yrd.Doç.Dr. Alper İLKİ'ye en derin teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sırasında bana yardımcı olan Esen Yılmaz, Cem Demir, Volkan Koç'a ve İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim. Ayrıca bana her konuda yardımcı olan Mustafa Arslan'a teşekkürü borç bilirim.

Bu çalışmada; maddi açıdan destek veren Tübitak'a, güçlendirme malzemelerinin sağlanmasında Yapkim Yapı Kimya Sanayi A.Ş.'ye, güçlendirme uygulamalarının yapılmasında İzola Yapı Kimyasalları'na ve Set Beton A.Ş.'ye desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Fedakarlık ve sabır isteyen bu zorlu süreçte maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen aileme teşekkürü borç bilirim.

Mayıs 2004

Aynur TEZCAN

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR	4
3. NUMUNE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ	11
3.1. Giriş	11
3.2. Numune Tasarımı	11
3.2.1. Kapasite Hesabı	11
3.2.2. Bindirme Boyu Hesabı	14
3.3. Numune Üretimi	19
3.3.1. Boyutlar ve Donatı İskeletinin Oluşturulması	19
3.3.2. Şekildeğiştirmeölçerlerin Yapıştırılması	21
3.3.3. Kalıpların Hazırlanması	22
3.3.4. Beton Dökümü	23
3.3.5. Kür Uygulaması	24
3.4. Numunelerin Özellikleri	24
3.5. Onarım ve Güçlendirme	25
3.5.1. Onarım	25
3.5.2. Güçlendirme	27
3.6. Malzeme Özellikleri ve Malzeme Deneyleri	30
3.6.1. Beton	30
3.6.2. Donatı Çeliği	34
3.3.3. Onarım ve Güçlendirme Malzemeleri	38
4. DENEY DÜZENEGİ	43
4.1. Deney Düzenegi	43
4.2. Ölçüm Sistemi	46
4.2. Yükleme Patronu	52
5. DENEY SONUÇLARI	54
5.1. Giriş	54
5.2. Orijinal Kolon Deneyleri	54
5.2.1. Boyuna Donatıları Sürekli Kolon Deneyleri	55

5.2.2. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Kolon Deneyleri	62
5.3. Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri	68
5.3.1. Boyuna Donatıları Sürekli Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri	68
5.3.2. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri	75
5.4. Onarılmış ve Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri	82
5.4.1. Boyuna Donatıları Sürekli Onarılıp Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri	82
5.4.2. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Onarılıp Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri	86
5.5. Deney Sonuçları	91
5.5.1. Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	91
5.5.2. Moment-Eğrilik İlişkileri	95
5.5.3. Enerji Yutma Kapasiteleri	101
5.5.4. Başlangıç Rijitlikleri	103
5.5.5. Enine şekildeğiştirmeler	104
6. SONUÇLAR	108
KAYNAKLAR	111
EKLER	114
EK A: Geçmişte Yapılan Çalışmalara Ait Bazı Sayısal Sonuçlar	114
EK B: Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkileri	122
EK C: Yük-Enine şekildeğiştirme İlişkileri	140
ÖZGEÇMİş	148

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. : Hesaplanan Bindirme Boyunun Farklı Yönetmeliklere Göre Yetersizliği	18
Tablo 3.2. : Numune Özellikleri	24
Tablo 3.3. : Beton Karışım Oranları	30
Tablo 3.4. : Çökme Deneyi Sonuçları	31
Tablo 3.5. : Betonun Farklı Yaşlardaki Mekanik Özellikleri	33
Tablo 3.6. : Boyuna ve Enine Donatı Özellikleri	38
Tablo 3.7. : Concrese 1302 Epoksi Enjeksiyon Malzemesinin Teknik Özellikleri	39
Tablo 3.8. : Yapkim Degussa Primerin Mekanik Özellikleri	40
Tablo 3.9. : Yapkim Degussa Rasatura Puttynin Mekanik Özellikleri	40
Tablo 3.10. : Yapkim Degussa Saturantın Mekanik Özellikleri	41
Tablo 3.11. : C1-30 Türü Polimer Tabakaların Mekanik Özellikleri	42
Tablo 3.12. : C1-30 Türü Polimer Tabakaların Geometrik Özellikleri	42
Tablo 4.1. : Yerdeğiştirmeölçerlerin Özellikleri	50
Tablo 5.1. : C-O-1 Numunesinin Davranışının Özeti	58
Tablo 5.2. : C-O-2 Numunesinin Davranışının Özeti	61
Tablo 5.3. : LS-O-1 Numunesinin Davranışının Özeti	64
Tablo 5.4. : LS-O-2 Numunesinin Davranışının Özeti	67
Tablo 5.5. : R-C-C-3 Numunesinin Davranışının Özeti	71
Tablo 5.6. : R-C-C-6 Numunesinin Davranışının Özeti	75
Tablo 5.7. : R-LS-C-3 Numunesinin Davranışının Özeti	78
Tablo 5.8. : R-LS-C-6 Numunesinin Davranışının Özeti	81
Tablo 5.9. : R-R-C-C-6 Numunesinin Davranışının Özeti	86
Tablo 5.10. : R-R-LS-C-6 Numunesinin Davranışının Özeti	90
Tablo 5.11. : Sürekli Donatılı Numuneler İçin Her Çevrim Sonunda Yutulan Kümülatif Enerji	102
Tablo 5.12. : Bindirmeli Ekli Donatılı Numuneler İçin Her Çevrim Sonunda Yutulan Kümülatif Enerji	103

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 : Yük Uygulama Noktası ve Kayma Açıklığı.....	13
Şekil 3.2 : Kesite Etki Eden İç Kuvvetler.....	14
Şekil 3.3 : Aderans Gerilmesi Hesabında Gözönüne Alınan Kuvvetler.....	16
Şekil 3.4 : Aderans Gerilmesi Hesabında Gözönüne Alınan Kuvvetler.....	17
Şekil 3.5 : Numunelerin Genel Görünümü.....	19
Şekil 3.6 : Numunelerde Donatı Detayı.....	20
Şekil 3.7 : Donatı İskeletlerinin Görünümü.....	21
Şekil 3.8 : Donatı Yüzeyinin Zımpara ve Aseton İle Temizlenmesi.....	22
Şekil 3.9 : Şekildeğiştirmeölçerlerin Yapıştırılması ve N-1 Sürülmesi.....	22
Şekil 3.10 : Kalıpların Hazırlanması.....	23
Şekil 3.11 : Beton Dökümü.....	23
Şekil 3.12 : C-O-1 Numunesinin Onarım Öncesi Durumu.....	26
Şekil 3.13 : LS-O-1 Numunesinin Onarım Öncesi Durumu	26
Şekil 3.14 : Epoksi Enjeksiyonu Uygulaması	27
Şekil 3.15 : Numunelerin Köşelerinin Yuvarlatılması ve Yüzey Temizliği...	28
Şekil 3.16 : Çift Bileşenli Epoksipolyamin Astar Karışımı Sürülmesi.....	29
Şekil 3.17 : Çift Bileşenli Epoksi Macun Karışım ve Yapıştırıcı Sürülmesi...	29
Şekil 3.18 : CFRP Kompozit Sarılması	29
Şekil 3.19 : Taze Betonda Çökme ve Yayılma Çapı Ölçülmesi	31
Şekil 3.20 : 28 Günlük Beton Silindir Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri.....	32
Şekil 3.21 : 90 Günlük Beton Silindir Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri.....	32
Şekil 3.22 : 150 Günlük Beton Silindir Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri.....	33
Şekil 3.23 : Dayanım-Beton Yaşı İlişkisi.....	34
Şekil 3.24 : Çelik Çekme Deneyi	34
Şekil 3.25 : Boyuna Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 14$).....	35
Şekil 3.26 : Enine Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 8$).....	36
Şekil 3.27 : Boyuna Donatı Tam Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 14$)....	37
Şekil 3.28 : Enine Donatı Tam Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 8$).....	37
Şekil 3.29 : Çekme Çubuğunda Kopma ve Düzgün Doğrusal Uzama Bölgeleri.....	38
Şekil 3.30 : Emaco S55 Tamir Harcı İçin Standart Silindir Beton Basınç Dayanımı.....	39
Şekil 3.31 : C1-30 Türü FRP Kompozitin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi...	42
Şekil 4.1 : Numune ve Yükleme Sisteminin Genel Görünümü.....	43
Şekil 4.2 : Numunenin Orta Bölgesinde Bulunan Parçaların Görünümü.....	44
Şekil 4.3 : Deney Düzenekinin Genel Görünümü	45
Şekil 4.4 : Sehpanın Görünümü	46

Şekil 4.5	: Ortalama Eğriliğin Belirlenmesi	47
Şekil 4.6	: Yerdeğiştirmeölçerlerin Önden Görünümü	49
Şekil 4.7	: Yerdeğiştirmeölçerlerin Üstten Görünümü	49
Şekil 4.8	: Yerdeğiştirmeölçerlerin Alttan Görünümü	49
Şekil 4.9	: Boyuna Donatıları Sürekli Numunelerdeki Şekildeğiştirmeölçerlerin Konumları	51
Şekil 4.10	: Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Numunedeki Şekildeğiştirmeölçerlerin Konumları	51
Şekil 4.11	: Tüm Numunelerde Enine Donatılardaki Şekildeğiştirmeölçerlerin Konumları	52
Şekil 4.12	: Yükleme Patronu	53
Şekil 5.1	: Numunenin Öteleme Oranı= ± 0.2 'de ve Öteleme Oranı = ± 0.5 'de) Genel Görüntüsü.....	56
Şekil 5.2	: Yerdeğiştirme Sünekliğinin -2 değerinde ($\delta = -19$ mm) Yapılan İlk ve İkinci Çekme Sonrası Genel Görüntü.....	56
Şekil 5.3	: Numunenin Deney Sonrası Görünümü	57
Şekil 5.4	: C-O-1 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi.....	57
Şekil 5.5	: Numunenin Öteleme Oranı= ± 0.2 'de ve Öteleme Oranı = ± 0.5 'de) Genel Görüntüsü	59
Şekil 5.6	: Yerdeğiştirme Sünekliğinin 1.5 değerinde Numunenin Üst ve Alt Katının Genel Görünümü	60
Şekil 5.7	: Numunenin Deney Sonrası Görünümü	60
Şekil 5.8	: C-O-2 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	61
Şekil 5.9	: Numunenin Alt ve Üst Katlarında Oluşan Çatlaklar	63
Şekil 5.10	: $\mu = -1/2$ ve $\mu = 2/2$ Süneklik Seviyelerinde Numunenin Üst Kat Kolonu	63
Şekil 5.11	: Numunenin Son Durumu	63
Şekil 5.12	: LS-O-1 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	64
Şekil 5.13	: Numunenin $\delta = -4.9$ mm ve $\delta = 7.0$ mm Yerdeğiştirmelerindeki Görünümü	66
Şekil 5.14	: Numunenin Yerdeğiştirme Sünekliğinin $\mu = \pm 2/2$ düzeyindeki Görünümleri	66
Şekil 5.15	: Numunenin Deneyin Son Çevrimlerindeki ($\mu = \pm 3/1$) Görünümü.	66
Şekil 5.16	: LS-O-2 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	67
Şekil 5.17	: Numunenin $\delta = 3.5$ mm ve $\delta = 9.5/1$ mm Yerdeğiştirmelerindeki Görünümleri	69
Şekil 5.18	: Numunenin $\mu = 2.5/1$ ve $\mu = -4.5/2$ Süneklik Seviyelerindeki Görünümleri	70
Şekil 5.19	: Deneyin Son Çevrimine ($\delta = \pm 57$ mm) Ait Görünümler	70
Şekil 5.20	: R-C-C-3 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	71
Şekil 5.21	: Numunenin $\delta = 52.25/1$ mm Yerdeğiştirmesinde Görünümleri	73
Şekil 5.22	: Numunenin $\delta = \pm 76$ mm Yerdeğiştirmesindeki Görünümleri	74
Şekil 5.23	: Numunenin Deney Sonrası ($F=0$) Değerindeki Görünümleri	74
Şekil 5.24	: R-C-C-6 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	74
Şekil 5.25	: Numunenin $\mu = 4/1$ Değerinde Alt ve Üst Kat Görünümleri	77
Şekil 5.26	: Numunenin $\mu = 4.5/2$ Değerinden Dönüldüğü Andaki Görünümleri	77
Şekil 5.27	: Numunenin Yük Sıfırlandıktan Sonraki Görünümleri Görünümleri	77
Şekil 5.28	: R-LS-C-3 Numunesine Ait yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	78

Şekil 5.29 : Numunenin $\mu=2/1$ ve $\mu=-2/2$ Değerindeki Görünümleri	80
Şekil 5.30 : Numunenin $\mu=-4/2$ ve $\mu=4/2$ Değerindeki Görünümleri	80
Şekil 5.31 : Numunenin Yük Sıfırlandıktan Sonraki Görünümleri	80
Şekil 5.32 : R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	81
Şekil 5.33 : Numunenin $\delta=7.0$ mm ve $\delta=-14.25/2$ mm Yerdeğiştirmelerindeki Görünümleri	84
Şekil 5.34 : Numunenin $\mu=-3.5/2$ ve $\mu=-4.5/2$ Değerlerindeki Görünümleri ..	84
Şekil 5.35 : Numunenin Yük Sıfırlandıktan Sonraki Görünümleri	85
Şekil 5.36 : R-R-C-C-6 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	85
Şekil 5.37 : Numunenin $\delta=9.5/2$ mm ve $\delta=19/2$ mm'deki Görünümleri	88
Şekil 5.38 : Numunenin $\mu=3.5/2$ Değerine Aderans Çatlakları ve $\mu=4.5/2$ Değerinde Üst ve Alt Kat Kolon-Kiriş Birleşim Kesitleri	89
Şekil 5.39 : Deney Sonunda Yük Sıfırlandıktan Sonra Numunenin Görünümü	89
Şekil 5.40 : R-R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	90
Şekil 5.41 : Orijinal Numunelerin Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri	92
Şekil 5.42 : Güçlendirilmiş Numunelerin Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri	93
Şekil 5.43 : Boyuna Donatıları Sürekli Tüm Numunelerin Yük- Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri	94
Şekil 5.44 : Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Tüm Numunelerin Yük- Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri	94
Şekil 5.45 : C-O-1 Numunesi İçin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)	95
Şekil 5.46 : C-O-1 Numunesi İçin Şekildeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi	96
Şekil 5.47 : R-C-C-6 Numunesi İçin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)	97
Şekil 5.48 : R-C-C-6 Numunesi İçin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=300 mm)	97
Şekil 5.49 : R-C-C-6 Numunesi İçin Şekildeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi	98
Şekil 5.50 : R-LS-C-6 Numunesinin Alt Kat Kolonuna Ait Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)	99
Şekil 5.51 : R-LS-C-6 Numunesinin Üst Kat Kolonuna Ait Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)	99
Şekil 5.52 : R-LS-C-6 Numunesinin Üst Kat Kolonuna Ait Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=300 mm)	100
Şekil 5.53 : Moment-Eğrilik İlişkilerinin Karşılaştırılması	101
Şekil 5.54 : Tüm Numunelerin Kümülatif Enerji Yutma Kapasiteleri	102
Şekil 5.55 : Sürekli Donatılı Numunelerin Başlangıç Rijitlikleri	104
Şekil 5.56 : Bindirmeli Ekli Numunelerin Başlangıç Rijitlikleri	104
Şekil 5.57 : LS-O-2 Numunesine Ait Yük-Donatı Şekildeğiştirme İlişkisi ...	105
Şekil 5.58 : R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük- Donatı Şekildeğiştirme İlişkisi	106
Şekil 5.59 : C-O-1 Numunesine Ait Yük- Donatı Şekildeğiştirme İlişkisi	106
Şekil 5.60 : R-C-C-6 Numunesine Ait Yük- Donatı Şekildeğiştirme İlişkisi ..	107

SEMBOL LİSTESİ

A_o	: Enine donatı kesit alanı
A_s	: Çekme donatısı kesit alanı
A'_s	: Basınç donatısı kesit alanı
a	: Kesitte dikdörtgene dönüştürülmüş basınç gerilme bloğunun derinliği, kayma açıklığı
b	: Kolon enkesit genişliği
d	: Kirişte faydalı yükseklik, donatı çapı
d'	: Beton örtüsü, paspayı
E	: Elastisite modülü
E_s	: Donatının elastisite modülü
f'_c	: Beton basınç dayanımı
f'_{co}	: Elemanın beton basınç dayanımı
f_{ctd}	: Beton kesitin tasarım eksenel çekme dayanımı
f_s	: Donatının çekme dayanımı
f_{su}	: Donatının kopma dayanımı
f_{smax}	: Donatının en büyük çekme dayanımı
f'_s	: Çekme donatısının çekme dayanımı
f_y	: Boyuna donatı akma dayanımı
f_{yd}	: Boyuna donatı tasarım akma dayanımı
f_{ywd}	: Enine donatı tasarım akma dayanımı
h	: Kesit yüksekliği
l	: Hesap açıklığı
l_b	: Kenetlenme boyu
l_o	: Bindirme boyu
M_r	: Eğilme momenti taşıma gücü
n	: Kesitteki etriye kol sayısı
N	: Eksenel yük
P	: Uygulanan yük
r	: Aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranını
s	: Enine donatı açıklığı
t	: Kalınlık
u	: Aderans gerilmesi
V	: Kesme kuvveti
V_c	: Beton kesitin kesme dayanımına katkısı
V_{cr}	: Betonda eğik çekme çatlakları oluşturan kesme kuvveti
V_d	: Kesitin tasarım kesme kuvveti
V_r	: Kesitin kesme kuvveti kapasitesi
V_{ws}	: Enine donatı tarafından karşılanan kesme kuvveti
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 çapı
Φ	: Nervürlü donatı çapı
ν	: Eksenel yük oranı
α_1	: Aynı kesitte eklenen donatı yüzdesine katsayı
δ	: Yükleme doğrultusundaki yerdeğiştirme değeri
μ	: Yerdeğiştirme süneklik oranı
ρ	: Donatı oranı
ρ_{sh}	: Enine donatı hacimsel oranı
Δl_b	: Kanca veya fiyong kullanılması durumunda azaltma katsayısı

KOLON SARILMA BÖLGELERİNİN CFRP KOMPOZİTLER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Türkiye’de 1998 yılından önce inşa edilen yapıların önemli bir bölümü gerek 1975, gerekse 1998 Deprem Yönetmeliklerinin şartlarını sağlamamaktadır. Bu yapılar, düşük beton dayanımı, yetersiz enine donatı, yetersiz bindirme boyu ve zayıf donatı detayları gibi kusurlar içermektedir. Bu yapıların önemli bir bölümünün güçlü bir deprem etkisinde ayakta kalamayacağı bilinmektedir. Bu sebeple, deprem etkisine karşı bu tür yapıların davranışlarının iyileştirilmesi gerekmektedir. Yapıların deprem etkisindeki davranışının gerçekçi bir şekilde anlaşılabilmesi için, yapı elemanlarının sabit eksenel yük ve tekrarlı eğilme etkileri altında davranışlarının incelenmesi yararlıdır.

Yapıların davranışı üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinen CFRP kompozitler ile güçlendirilen kolonlar üzerinde çok sayıda deneysel çalışma sürdürülmektedir. Bu çalışmada amaç, kolon sarılma bölgelerinin CFRP kompozitlerle enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmesi öncesi ve sonrası sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında davranışının incelenmesidir. Deneysel çalışma İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla dikdörtgen enkesitli, 200 mm x 300 mm boyutlarında 10 adet numune üretilmiştir. Türkiye’deki yapıların bir çoğunda düşük beton dayanımına ve yetersiz enine donatıya rastlandığından tüm numuneler yetersiz enine donatı ve düşük beton dayanımına sahip olacak şekilde üretilmişlerdir. 1990 yılı öncesi inşa edilen yapıların büyük bir bölümünde düz yüzeyli donatı çeliği kullanıldığından enine ve boyuna donatılar için bu tip donatı seçilmiştir. Numunelerin yarısı boyuna donatıları sürekli, diğer yarısı ise boyuna donatı çapının 40 katı uzunluğunda bindirmeli ekli olarak üretilmiştir. Bu çalışmada denenen numunelerin beton ve donatı dayanımları dikkate alındığında Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 500)’e göre gerekli bindirme boyunun, boyuna donatının yaklaşık 145 katı olması gerekmektedir. Tüm numunelerin donatı detayları kesme göçmesi olmayacak şekilde düzenlenmiştir. Enine donatı aralıkları, kolon sarılma bölgesinde 200 mm iken diğer bölgelerde 100 mm olarak tasarlanmıştır. Bu şekilde olası hasarın kolon sarılma bölgesinde oluşması sağlanmıştır.

Deneysel çalışmada, iki adet boyuna donatıları sürekli ve iki adet boyuna donatıları bindirmeli ekli olmak üzere toplam 4 adet numune referans numunesi olarak test edilmiştir. Boyuna donatıları sürekli 2 adet ve bindirmeli ekli 2 adet numune, enine doğrultuda farklı kalınlıkta CFRP kompozit tabakalar ile sarılarak güçlendirilmiştir. Kalan iki numune ise referans numunelerinin (bir sürekli boyuna donatılı, bir bindirmeli ekli) onarılıp güçlendirilmesi ile elde edilen numunelerdir. Deneysel

sonuçlar; dayanım, süneklik, enerji yutma kapasitesi, rijitlik ve hasar oluşumu açısından değerlendirilmiştir.

Tüm numuneler, sabit eksenel yük ve tekrarlı eğilme etkileri altında test edilmiştir. CFRP kompozit ile güçlendirme sonucu tüm numunelerin davranışında geliştirmiştir. CFRP kompozitin ilave sargılama etkisi ile boyuna donatıları sürekli numunelerde, erken dayanım kaybı ve boyuna donatı burkulması önlemiştir. Boyuna donatıları bindirmeli ekli numunelerde ise enine şekildeğiştirme sınırlamış ve orijinal numunelerde plastik yükleminin erken aşamalarında grlen donatı kaymasından doğan dayanım kaybı gecikmiştir. CFRP kompozitin tabaka kalınlığı davranışı önemli ölçüde değiştirmemiştir. Önceden hasar verilerek güçlendirilen numuneler ile doğrudan güçlendirilen numuneler benzer davranış gstermiştir.

RETROFIT OF COLUMN CONFINEMENT ZONES WITH CFRP COMPOSITES

SUMMARY

Many existing structures in Turkey were constructed with substandard seismic design details. These structures have vital deficiencies 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 the existing structures need to be rehabilitated to enhance the overall seismic performance. For a realistic determination of the earthquake response of retrofitted structures, the behavior of retrofitted columns subjected to constant axial and reversed cyclic lateral loads should be investigated. In recent years, various experimental studies have been carried out to investigate the columns retrofitted by CFRP composites.

In this study, the main purpose is to investigate the behavior of column confinement zones subjected to constant axial and reversed cyclic lateral loads before and after retrofitting by CFRP composites. Experimental work was conducted at the Structural and Earthquake Engineering Laboratory of Istanbul Technical University (ITU). The test program consists of 10 specimens with rectangular cross section of 200 mm x 300 mm. All specimens had deficiencies of inadequate transverse reinforcement and low concrete quality. For represent many existing structures in Turkey built in 1970s and 1980s in a similar sense, for both transverse and longitudinal reinforcement, plain bars were used. Longitudinal reinforcing bars of the number of the half of the specimens were continuous, while the others had lap-splices of 40xdiameter of longitudinal bars. According to Building Code Requirements For Reinforced Concrete (TS 500), lap-splice length should have been around 145 x diameter of longitudinal bars considering the yield strength and type of the reinforcing bars and the concrete quality of the specimens tested in this study. 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 200 mm while in other regions it was 100 mm. With this detail, it was guaranteed that the damage would occur in the confining zones.

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 transverse CFRP jackets. The remaining two specimens that were previously damaged, were retrofitted after repairing procedure, and were then tested after this repair and retrofit procedure. 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. CFRP jackets improved the behavior of all specimens. For specimens with continuous longitudinal reinforcement, CFRP jackets prevent premature strength loss by providing sufficient confinement that helped to prevent buckling of the longitudinal bars. For specimens with lap spliced longitudinal reinforcement, CFRP jackets limited transverse deformation, that caused significant loss in strength due to reinforcement slip in early stages of inelastic part of the loading for the original specimens. Thickness of the CFRP jacket had marginal effect on the behavior. Pre-damaged of the specimens did not have a significant adverse effect on the performance of the retrofitted specimens.

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 ($M=6.8$), 1995 Dinar ($M=5.9$), 1998 Adana-Ceyhan ($M=6.3$) ve Büyük Marmara Depremi olarak da anılan 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 derecede 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. Büyüklüğü 3.4 olan bir depremde dahi can kaybı yaşanması, 5.1 büyüklüğündeki bir depremde 1 köyün yerle bir olması durumun ciddiyetini göstermektedir.

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 sınırların ötesinde plastik şekildeğiştirme yapabilmesi betonarme elemenların belli 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 yerdeğiştirmelere gidebileceği bilinmektedir. Yapıların deprem etkisinde davranışının anlaşılabilmesi için betonarme elemanların tekrarlı yön değiştiren yükler altında incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada amaç; güçlendirme öncesi ve enine doğrultuda CFRP kompozit sargılar ile yapılan güçlendirme sonrası, kolon sarılma bölgelerinin sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında davranışlarının incelenmesidir.

Mevcut yapı stoğumuzun durumu düşünöldüğünde, depreme dayanıklı yapı tasarımının yanında güçlendirme yöntemlerinin de özel olarak ilgilenmemiz gereken konuların başında geldiğı anlaşılmaktadır. Günümüzde yeni teknolojiler kullanılarak farklı güçlendirme yöntemleri geliştirilmektedir. Karbon, cam, aramid gibi FRP (lif takviyeli polimer) kompozitlerin kullanıldığı yöntemler de gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. FRP kompozitler ile enine doğrultuda sargılama ile yapılan güçlendirme, sargılama etkisini artırmakta dolayısıyla elemanın basınç dayanımı ve şekildeğıştirme kapasitesini geliştirmektedir. Bu yöntem, gevrek kesme göçmesinin ve boyuna donatı burkulmasının önlenmesinde ve bindirme boyu eksikliğinin giderilmesinde de etkili olabilmektedir. Bu şekilde, donatı burkulması, aderans kaybı ve kesme göçmesi gibi erken dayanım kayıpları engellenebilmekte, sargılama sayesinde süneklik özelliğı geliştirilerek elemanların eğilme etkisinde dayanımlarına ulaşmaları sağlanabilmektedir. Bu yöntemin, kolay ve kısa sürede uygulanabilirlik ve 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 değışimin olmaması nedeni ile dar alanlarda ya da alan kaybına imkan vermeyen yerlerde tercih edilebilir. Ayrıca güçlendirilen elemanlarda önemli rijitlik artışına neden olmaması da bazı durumlarda avantaj olabilir.

Bu çalışmada ilk olarak, günümüze kadar konu ile ilgili yapılmış çalışmalara yer verilmiştir. Dünyanın deprem bölgelerinde yer alan bir çok ülkesinde ilgili yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmeyen yapıların güçlendirilmesini konu alan çalışmalar incelenmiştir.

Numuneler, mevcut yapılarımızda bulunan kusurları yansıtmak üzere; beton basınç dayanımı düşük, enine donatısı ve bindirme boyu yetersiz olacak şekilde üretilmiştir. Numuneler, boyuna donatıları bindirmeki ekli ve bunların davranışını karşılaştırmak üzere boyuna donatıları sürekli olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Farklı sarım sayılarında CFRP kompozitler ile güçlendirilen numunelerin, sabit eksenel yük ve yön değıştiren tekrarlı eğilme etkileri altında davranışları incelenmiştir.

Deneyler sonucunda, CFRP kompozit ile güçlendirme sonucu tüm numunelerin davranışında gelişme olmuştur. CFRP kompozitin ilave sargılama etkisi ile boyuna donatıları sürekli numunelerde, erken dayanım kaybı ve boyuna donatı burkulması

önlemiştir. Boyuna donatıları bindirmeli ekli numunelerde ise enine şekildeğiştirme sınırlamış ve orijinal numunelerde plastik yüklemenin erken aşamalarında görülen donatı kaymasından doğan dayanım kaybı gecikmiştir. CFRP kompozitin tabaka kalınlığı davranışı önemli ölçüde değiştirmemiştir. Önceden hasar verilerek güçlendirilen numuneler ile doğrudan güçlendirilen numuneler benzer davranış göstermiştir. Ayrıca, bu çalışmada ulaşılan sonuçlar [1]'de özetlenmiştir. Aynı zamanda benzer numunelerin çelik lif takviyeli öndöküm paneller (SFRC) ile güçlendirilmesini konu alan çalışma da [2]'de özetlenmiştir.

2. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Dünyanın deprem bölgelerinde yer alan bir çok ülkesinde ve özellikle de ülkemizde ilgili yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmeyen yapıların deprem etkisinde istenilen performansı gösteremeyeceği bilinmektedir. Bu durum onarım ve güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesini, mevcut yetersizlikleri giderecek, kolay uygulanabilir ve ekonomik çözümlerin bulunmasına yönelik deneysel ve analitik çalışmaların artmasını sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında güçlendirilmiş kolon deneylerini içeren bir literatür taraması 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 anılan seviyenin bize göre normal veya normalin üstü olması, düz yüzeyli donatıların kullanımının uzun yıllar önce bırakılmış olması sebebiyle malzeme yönünden benzer çalışmalara fazla rastlanamamıştır. Bu açıdan, bu tez çalışmasından çıkarılan sonuçların önemi Türkiye'deki mevcut yapıların durumunu yansıtması açısından büyüktür. Yapılan literatür taramasında yer alan makalelere ait bazı sayısal sonuçlar EK A'da sunulmuştur.

Nanni ve Norris (1995), FRP kompozit ile sarılmış betonarme elemanların davranışını incelemek üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. 26 adet dikdörtgen ve daire enkesitli kolon üretmişlerdir. Numuneler, eğilme ve eksenel yük etkisinde ya da eksenel yük olmadan iki grup halinde test edilmiştir. İlk grupta daire enkesitli kolonlar, farklı genişlik ve kalınlıkta şekilde FRP kompozit bant ile farklı aralıklarda sarılmıştır. İkinci grupta ise dikdörtgen ve daire enkesitli kolonlar, numune boyutlarına göre önceden biçimlendirilen FRP kompozit ile güçlendirilmiştir. Bant şeklinde FRP kompozit ile güçlendirilen kolonlarda, orijinal numunelerde görülen beton ezilmesi ve kesme göçmesi engellenmiştir. İleri düzeydeki yerdeğiştirmelere kompozitte fazla hasar olmadan gidilmiştir. Diğer kompozit türünün uygulandığı numunelerin bir kısmında, kompozit ile betonun aderansının çözülmesi ve çekmeden dolayı göçme olduğu görülmüştür. Bu güçlendirme işleminin dikdörtgen enkesitli

kolonlar için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Eksenel yük oranının yüksek olması, dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitelerini olumlu yönde geliştirdiği görülmüştür. Eksenel yük uygulanmayan numunelerin orijinal numunelere benzer davrandığı, en büyük gelişimin eksenel yükün en fazla olduğu numunelerde görüldüğü belirtilmiştir.

Seible ve diğ. (1997), modern bir deprem yönetmeliğine uygun olarak tasarlanmamış köprü kolonları ve bunların FRP 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 kolonlarda yapılacak güçlendirme işlemi için farklı kalınlıkta kompozite ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir. Her farklı durum için de uygulanacak kompozit kalınlığı kolon boyunca değişiklik göstermektedir. Geliştirilen kriterlere göre güçlendirilen kolonların performansı önemli oranda artmıştır. Teorik olarak hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesinin üzerine çıkılmış, yerdeğiştirme sünekliği büyük ölçüde artmış ve aderans çözülmesi önlenmiştir.

Xiao ve Ma (1997), bindirme boyu yetersizliği olan daire enkesitli kolonlar üzerinde deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında 1/2 ölçekli 3 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 FRP kompozit ile 3 farklı tipte güçlendirilmiştir. Güçlendirme işlemi, tüm kolonların performansını iyileştirmiş ve gevrek aderans göçmesini geciktirmiştir. Onarıp güçlendirilen numune, referans numunesi ile karşılaştırıldığında, yerdeğiştirme 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, modern bir deprem yönetmeliğine göre tasarlanmamış, yetersiz bindirme boyu ve enine donatı eksikliği bulunan köprü

kolonları incelenmiştir. 1/5 ölçekli 2 adet daire, 2 adet dikdörtgen enkesitli 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 FRP kompozit ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, güçlendirme işlemlerinin daire enkesitli kolonlarda etkili olduğu gibi dikdörtgen enkesitli kolonlarda da etkili olduğu görülmüştür. Güçlendirilmiş bütün kolonlarda yatay yük taşıma ve süneklik kapasitelerinde artma kaydedilmiştir.

Saadatmanesh ve diğ. (1997b), beş adet dikdörtgen enkesitli köprü kolonu üzerinde bir deneysel 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. FRP kompozitin sargılama etkisini incelemek üzere boyuna donatıları sürekli olan bir kolon güçlendirilmeden önce oval şekle getirilmiştir. Güçlendirme işlemi enine doğrultuda FRP kompozit sarılarak yapılmıştır. Orijinal ve güçlendirilmiş kolonların deney sonuçları karşılaştırıldığında güçlendirme işleminin etkili olduğu, bütün kolonların süneklik ve enerji yutma kapasitelerinde önemli gelişme sağlandığı görülmüştür. Bindirmeli ekli kolonda erken aderans kaybı önlenmiş, daha fazla yük taşıyarak büyük plastik şekildeğişikliklere gidilmiştir. Dikdörtgen ve oval enkesitli kolonlarda önemli bir fark olmadığı, sonuçların çok yakın olduğu gözlenmiştir.

Jaradat ve diğ. (1998), 1971 öncesi yapılan köprü kolonlarının davranışını incelemek ve güçlendirmek amacı ile deneysel bir çalışma yapmışlardır. Eğilme ve kesme dayanımını artırmak üzere, yetersiz enine donatısı ve bindirme boyu bulunan dairesel enkesitli 8 adet kolon üretmişlerdir. Boyuna donatı oranı, bindirme boyu, a/d oranı (kesme açıklığı) ve güçlendirme tipi parametre olarak seçilmiştir. Deneyler sonucunda a/d oranının göçme modunu belirlemede etkili bir parametre olduğu ve beklendiği gibi bu oran küçüldükçe göçmenin eğilmeden çok kesme hakimiyetinde 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 sıkışması 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 ve yatay yük taşıma kapasitesini artırmıştır.

Unjoh ve diğ. (2000), dünyanın deprem riskinin en fazla olduğu ülkelerinden biri olan Japonya'nın, 1923 Hyogo-ken Nanbu depreminden günümüze kadar deprem şartnamelerindeki değişimi özetlemişlerdir. Depremler sonrası oluşan hasar inceleme kriterlerini ve öncelikle güçlendirme ihtiyacı olan yapıların sayısını gösteren istatistiksel bir çalışmanın ardından farklı güçlendirme tekniklerini gösteren deneysel çalışmalarını sunmuşlardır. Kare enkesitli 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 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 koşullara göre yapılmayan 1970 öncesi inşa edilen köprü kolonlarının FRP ile güçlendirilmesi ile ilgili deneysel bir çalışma yapmışlardır. Mevcut köprü kolonlarının önemli bölümünü temsil eden, yetersiz enine donatısı ve bindirme boyu olan, daire ve kare enkesitli konsol kolon numuneleri üretmişlerdir. Numuneler FRP ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmişlerdir. Deneyler sonucunda, orijinal olarak denenilen daire ve kare enkesitli kolonlarda erken safhalarda aderans çözülmesi ile başlayan dayanım kaybı görülmüştür. Dairesel enkesitli kolonlarda yapılan güçlendirme, deprem performansını önemli ölçüde artırmıştır. İleri düzeyde yerdeğiştirmelere gidildiği halde aderans kaybı oluşmamıştır. Kare enkesitli 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 FRP kompozit ile enine doğrultuda sarılan, daire ve dikdörtgen enkesitli 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 enkesitli konsol kolonlar FRP kompozit ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmiştir. Daire enkesitli kolonlarda, aderans çözülmesinden doğan erken göçme yapılan güçlendirme ile önlenmiş ve performans önemli ölçüde gelişmiştir. Dikdörtgen enkesitli kolonlarda ise ancak sınırlı gelişme sağlanabilmiştir.

Bousias ve diğ. (2002a), 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 enkesitli konsol kolon üreterek deneysel bir çalışma yapmışlardır. Kolon numuneler, farklı kalınlıklarda CFRP ve GFRP ile enine doğrultuda sarılarak güçlü ve zayıf eksenleri doğrultusunda, sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında test edilmiştir. Deneyler sonucunda iki tip güçlendirme malzemesinin de orijinal numunelere göre şekildeğiştirme 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 sarımın şekildeğiştirme kapasitesini biraz daha fazla artırdığı görülmüştür. Güçlü eksen doğrultusunda yapılan yüklemeler sonucunda, beton basınç bölgesinde göçme olmadan boyuna donatılarda kopma oluşması kompozitin sargılamasının çok etkili olduğunu göstermiştir. Zayıf eksen doğrultusunda yapılan yüklemeler sonucunda ise kompozitin sargılama etkisinin genel davranışa katkısının daha az olduğu anlaşılmıştır.

Bousias ve diğ. (2002b), yapılarda erken dayanım kaybına ve aderans çözülmesine yol açan korozyonu konu alan deneysel bir çalışma yapmışlardır. Modern bir deprem yönetmeliğine göre tasarlanmamış beton dayanımı düşük, boyuna donatıları sürekli 12 adet dikdörtgen enkesitli konsol kolon numunesi üretilmiştir. Numuneler test edilmeden önce 3-4 ay süren özel bir işlem sonucunda korozyona uğratılmıştır. Kolon numuneler, CFRP ve GFRP ile farklı katlarda enine doğrultuda sarılarak güçlü ve zayıf eksenleri doğrultusunda, sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında test edilmiştir. Korozyona uğramış kolonlarda yapılan güçlendirme işlemi, donatı alanının azalması sebebiyle dayanımı orijinal numunelere göre artırmamış ancak şekildeğiştirme kapasitesinde gelişme sağlamıştır. Güçlü eksen

doğrultusunda yapılan yüklemeler sonucunda korozyona uğramış donatıların kompozitten önce kopması güçlendirme işlemi açısından bir limit oluşturmuş, kompozitin sargılama etkisinden tam verim almayı engellemiştir. Zayıf eksen doğrultusunda yapılan yüklemeler sonucunda ise kompozitin sarım sayısının artırılması şekil değiştirme kapasitesinde bir miktar gelişim sağlamıştır.

Sheikh ve Yau (2002), sağlam temellere mesnetlenmiş konsol kolon numunelerinin güçlendirilmesini konu alan deneysel bir çalışma yapmışlardır. Dairesel enkesitli, enine donatı oranları ve aralıkları farklı 12 adet numune üretmişlerdir. Deneylerde eksenel yük seviyesi, FRP kompozitin türü ve kalınlığı değişken olarak kullanılmıştır. Deneyler sonucunda eksenel yük seviyesinin artırılmasının süneklik ve şekil değiştirme kapasitesini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Eksenel yük oranı fazla olan numuneler için FRP 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. Eksenel yük oranının yüksek olduğu numunelerde tek kat GFRP kompozitin, CFRP kompozit yanında etkili performans gösteremediği görülmüştür. Genel olarak FRP kompozit ile güçlendirme işlemi kolonların dayanım, enerji yutma ve süneklik kapasitelerini geliştirmiştir. ACI 318-99'e 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 enkesitli boyuna donatıları sürekli 8 adet konsol kolon numunesi üretmişlerdir. Numuneler önceden farklı oranlarda hasar verilerek ya da doğrudan FRP kompozit ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmiştir. Numunelere deneyler sırasında farklı oranlarda eksenel 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 hakimiyetinde davranışı yeterince sağlayamadığı belirtilmiştir. Eksenel yük oranının ve hasar durumunun fazla olduğu numunelerde kompozitin sarım sayısının artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Çalışmanın sonunda güçlendirilmiş numuneler ile modern bir deprem yönetmeliğine göre yeterli enine

donatıya sahip numuneler karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda güçlendirilmiş numunelerin davranışının daha iyi olduğu görülmüştür.

Lee ve diğ. (2003), korozyona uğramış kolonların davranışını inceleyen deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında 6 adet kolon numunesi üretmişlerdir. Numuneler farklı oranlarda korozyona uğratılmıştır. Bu işlem sırasında oluşan çatlaklar onarılmış ve CFRP ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilmeyen numunelerde korozyon sebebiyle oluşan aderans çatlakları ve erken dayanım kaybı görülmüştür. İleri aşamalarda enine donatılarda kopma ve boyuna donatılarda burkulma sonucu gevrek kesme göçmesi oluşmuştur. Güçlendirme işlemi kesme çatlaklarını önlemiş, süneklik kapasitesini artırmıştır. Ancak güçlendirilmiş kolonlarda test bölgesinin üstünde kesme göçmesi ve kompozitte kopma sonucu deneyler sonlandırılmıştır. Enerji yutma bakımından kolonlar incelendiğinde, korozyon oranının artmasıyla kapasitenin azaldığı görülmüştür. Güçlendirilmiş kolonların süneklik kapasitesinin güçlendirilmeyen kolonların yaklaşık olarak iki katına eşit olduğu anlaşılmıştır.

Ye ve diğ. (2003), kare enkesitli 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 eksenel 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 yerdeğiştirme kapasitesi artmıştır. Deneyler sonrasında güçlü kesme zayıf eğilme faktörü (SSWF) hesaplanmış ve CFRP kompozitin hacimsel oranının en az olduğu kolon haricinde istenen sargılama etkisinin sağlandığı görülmüştür.

3. NUMUNE VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

3.1. GİRİŞ

Bu tez çalışması kapsamında, mevcut yapılarda sıkça karşılaşılan düşük beton dayanımı, yetersiz bindirme boyu, enine donatı ve boyuna donatı gibi nedenlerden doğan zayıf performansın CFRP kompozit ile güçlendirme yöntemi konu alınmıştır. Bu amaçla kolon sarılma bölgelerinin sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yapı ve Deprem Mühendisliği ve Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler kat orta noktasından kesilen iki kat kolonunu ve tek doğrultuda iki kirişin birleştiği düğüm noktasını temsil etmektedir.

3.2. NUMUNE TASARIMI

3.2.1. Kapasite Hesabı

Numunelerin tasarlanmasında ülkemizdeki yapılarda yaygın olarak karşılaşılan yetersizlikler, yönetmeliklerde verilen şartlar, yükleme sisteminin kapasitesi, ölçüm aletlerinin kapasite ve hassasiyeti, ulaşılmak istenen göçme biçimi, deney düzeneğinin kullanışlılığı, numunelerin ve diğer imalatların ekonomik olması gibi konulara önem gösterilmiştir. Numune tasarımı yapılırken, mevcut yapılarda sıkça karşılaşılan donatı ve beton özellikleri dikkate alınmıştır. Bu sebeple boyuna ve enine donatılar için St220 kalitesinde düz yüzeyli donatı kullanılması tasarlanmıştır. Enine donatılar yeterli sargılama etkisini sağlayamayacak şekilde yerleştirilmiştir. Beton basınç dayanımının yaklaşık olarak 10 MPa olması istenmiştir. Bu değer aynı zamanda mevcut yapılar için yaklaşık bir ortalama değer olarak da kabul edilebilir. Net beton örtüsü için TS 500’de verilen minimum değerler dikkate alınmış ve enine donatının dış yüzünden en dış beton lifine olan uzaklık 20 mm bırakılmıştır. Bindirme boyu hesabı için değişik kaynaklardan yararlanılmıştır. Numunelerde TS

500’de alt sınır olarak verilen boyuna donatı çapının 40 katına karşı gelen değer kullanılmıştır.

Laboratuvarda bulunan yükleme çerçevesi, düşey verenin konumu ve kapasitesi numunenin boyutlarının belirlenmesinde önemli bir etken olmuştur. Düşey verenin numuneye düğüm noktasından etki edecek olması sebebiyle bu bölgede enine donatı oranı artırılmıştır. Aynı şekilde numunelerin mesnet bölgelerinde de yerel hasarların önlenmesi için enine donatılarda sıklaştırma yapılmıştır.

Yükleme düzeneği ve numune boyutları düşünüldüğünde (Şekil 3.1.) deneylerde, tüm kolon boyunca eğriliğin tek yönlü olduğu görülmektedir. Ancak gerçek durumda kirişlere etkiyen eğilme momenti birleşim bölgesinin alt ve üst kısmında eğriliğin ters yönlü olmasına sebep olmaktadır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinin incelendiği çalışmalarda, eğriliğin değişmesinin kesme ve aderans gerilmelerini önemli ölçüde etkileyeceği bilinmektedir. Bu çalışmada ise kolon sarılma bölgelerinin davranışı incelendiğinden, kiriş momenti ve birleşim bölgesindeki gerilme dağılımının çok önemli olmadığı düşünülmüştür, [18].

Tasarım aşamasında önem verilen konulardan biri de eksenel yük seviyesidir. Bu aşamada ülkemizde projede verilen beton basınç dayanımının, denetim eksikliği ve ihmal gibi nedenlerden dolayı şantiyede sağlanamaması durumu göz önüne alınmıştır. Tasarımın başında beton basınç dayanımının 14 MPa (B160) olacağı düşünülmüş ve Denklem 3.1’e göre eksenel yük hesabı yapılmıştır. Bu bağtıda v , N , f'_c , b ve h sırası ile eksenel yük oranı, eksenel yük, beton basınç dayanımı, kolon enkesit genişliği ve kesit yüksekliğidir.

$$v = \frac{N}{f'_c \cdot b \cdot h} \quad (3.1)$$

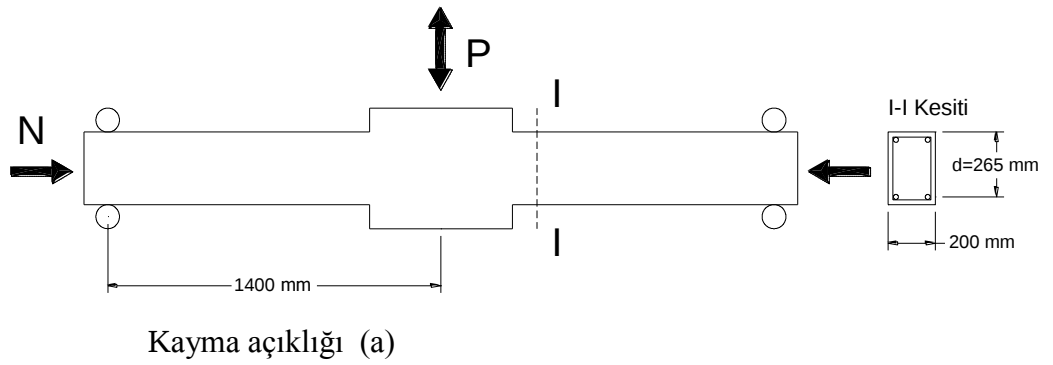
Buna göre kolonun eksenel yük taşıma kapasitesinin %30’u kadar eksenel yük uygulanması düşünülmüştür. Mevcut yapılarda ortalama beton basınç dayanımının 10 MPa civarında olduğu düşüncesi ile deney numunelerinde de 28 günlük standart silindir basınç dayanımı 9.22 MPa olarak belirlenmiştir. Buna göre silindir beton basınç dayanımının 9.22 MPa olması durumunda uygulanan eksenel yük seviyesi

%46 olarak elde edilmiştir. Elemanda basınç dayanımı (f'_{co}) aşağıdaki gibi hesaplanırsa;

$$f'_{co} = 0.85 f'_c \quad (3.2)$$

f'_{co} 7.84 MPa olarak bulunur. Buna göre uygulanan aksel yük seviyesi ise yaklaşık olarak %54 mertebesine erişmiştir.

Göçme mekanizmasının, kesitin eğilme taşıma kapasitesine erişmesiyle oluşması istendiğinden a/d oranının büyük olmasına dikkat edilmiştir. Kayma açıklığının büyük olması sebebiyle küçük kesme kuvvetine karşılık büyük eğilme momenti meydana gelecektir. Düzeneğin kullanışlılığı ve ekonomik nedenler düşünüldüğünde tasarlanan numunenin a/d oranının yaklaşık olarak 5 olmasına karar verilmiştir. Şekil 3.1'de yük uygulama noktası ve kayma açıklığı gösterilmiştir.

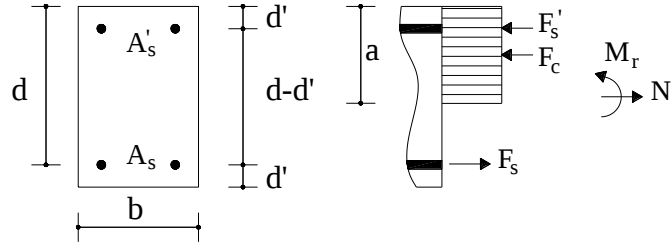


Şekil 3.1. Yük Uygulama Noktası ve Kayma Açıklığı

Eğilme etkisinde davranış incelendiğinden, kesitin kesme kuvveti kapasitesi (V_r), tasarım kesme kuvvetinden (V_d) büyük olacak şekilde tasarlanmıştır. Kesitte denge denklemleri yardımıyla, kritik kesitin eğilme momenti taşıma gücü (M_r) 41.34 kNm olarak bulunmuştur, (Şekil 3.2.). Basit mesnet durumunda açıklık ortasında oluşacak yük;

$$P_r = M .4/l \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 ile hesaplanarak 75.22 kN olarak bulunmuştur. Buna göre tasarım kesme kuvveti (V_d) 37.61 kN' dur.



Şekil 3.2. Kesite Etki Eden İç Kuvvetler

Kesitin kesme kuvveti kapasitesini (V_r) hesaplamak için betonda eğik çekme çatlakları oluşturan kesme kuvveti (V_{cr}) ve enine donatı tarafından karşılanacak kesme kuvveti (V_{ws}) Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 ile hesaplanarak sırası ile 24.4 kN ve 45.4 kN olarak bulunmuştur. Bu bağıntılarda f_{ctd} , b , d , n , A_o , f_{ywd} ve s sırası ile beton kesitin tasarım eksenel çekme dayanımı, kolon enkesit genişliği, kirişte faydalı yükseklik, kesitteki etriye kol sayısı, enine donatı kesit alanı, enine donatı tasarım akma dayanımı ve enine donatı açıklığıdır.

$$V_{cr} = 0.65 f_{ctd} . b . d \quad (3.4)$$

$$V_{ws} = n . A_o . f_{ywd} . d / s \quad (3.5)$$

Sonuç olarak kesitin kesme kuvveti kapasitesi, tasarım kesme kuvvetinden büyük olacak şekilde Denklem 3.6 ile 64.9 kN olarak elde edilmiştir.

$$V_r = 0.80 V_{cr} + V_{ws} \quad (3.6)$$

3.2.2. Bindirme Boyu Hesabı

Numune tasarım aşamasında bindirme boyu hesaplanırken farklı kaynaklardan yararlanılmıştır. Ayrıca literatürde yer alan bindirmeli ekli kolon deneylerinde kullanılan boylar incelenmiştir. Gelişmiş ülkelerde, çok uzun yıllar önce düz yüzeyli donatıların yerini nervürlü donatılara bıraktığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda kolonlarda, boyuna donatı çapının 20 katı kadar bindirme boyu kullanımına sıkça rastlanmıştır. Ülkemizde de TS 500'de düz yüzeyli donatılar için verilen minimum bindirme boyunun (boyuna donatı çapının 40 katı) oldukça sık kullanıldığı

bilinmektedir. Bu sebeple, bu tez çalışmasında bu bindirme boyunun (40 x boyuna donatı çapı) performansı incelenmek istenmiştir.

Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kurallarını içeren TS 500 (1985) ve bazı revizyonların yapıldığı TS 500 (2000)'e göre bindirme boyu hesabı yapılmıştır. TS 500 (1985)'e göre ilk olarak aderansın tam olarak sağlanabilmesi için gerekli kenetlenme boyu aşağıda verilen Denklem 3.7'e göre hesaplanmıştır. Bu bağlamda f_{yd} , f_{ctd} ve ϕ sırası ile boyuna donatı tasarım akma dayanımı, beton kesitin tasarım eksenel çekme dayanımı ve donatı çapıdır.

$$l_b = \left(0.22 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \right) \geq 40\phi \quad (3.7)$$

Standart silindir ve çelik çekme deneyleri sonucunda 28 günlük beton basınç dayanımı (f'_c) 9.22 MPa, boyuna donatı akma gerilmesi (f_y) 336 MPa için f_{yd} ve f_{ctd} değerlerine ulaşılmıştır. Betonlama sırasında donatılar yatay konumda bulunduklarından Konum II'de yer almaktadır ve hesaplanan kenetlenme boyu geçerlidir. Gerekli bindirme boyu hesaplanırken Denklem 3.8 kullanılmıştır.

$$l_o = \alpha_1 l_b - \Delta l_b \quad (3.8)$$

α_1 , aynı kesitte eklenen donatı yüzdesine bağlı bir katsayıdır ve aynı kesitte donatının en az yarısının eklenmesi durumunda 1.6 değerini almaktadır.

Δl_b , kanca veya fiyong kullanılması durumunda gereken bir azaltma katsayısıdır. Buna göre hesaplanan bindirme boyu 145ϕ , yaklaşık olarak 2031 mm olarak bulunmuştur. 40ϕ olarak belirlenen minimum değer hesaplanan boyun ancak %28'ine karşı gelmektedir.

TS 500 (2000)'de kenetlenme boyunun hesaplandığı denklemin katsayısı artmıştır, (Denklem 3.9).

$$l_b = \left(0.24 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \phi \right) \geq 40\phi \quad (3.9)$$

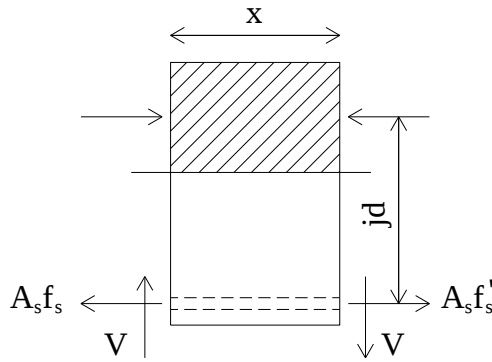
Bindirme boyu ise aşağıda verilen Denklem 3.10 ile hesaplanmaktadır.

$$l_o = \alpha_1 l_b \quad (3.10)$$

$$\alpha_1 = 1 + 0.5r \quad (3.11)$$

r , aynı kesitte eklenen donatının toplam donatıya oranını ifade eder ve burada 1'dir. Buna göre hesaplanan bindirme boyu 148ϕ , yaklaşık olarak 2078 mm'dir ve 40ϕ olarak belirlenen minimum değer hesaplanan boyun ancak %27'sine karşı gelmektedir.

Bindirme boyu hesabı yapılırken TS 500'ün dışında farklı kaynaklardan da yararlanılmıştır. Düz yüzeyli donatıya göre bindirme boyu hesabına ancak ACI 318-1941 (Building Regulations For Reinforced Concrete) yönetmeliğinde rastlanmıştır. Bundan önce, 1933 yılına ait bir kaynağa göre [19] adersans, donatı yüzeyi ve beton arasında oluşan kesme kuvvetine göre tanımlanmıştır, (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Aderans Gerilmesi Hesabında Gözönüne Alınan Kuvvetler

Buna göre aderans gerilmesi, x uzunluğundaki kesitte donatıya uygulanan çekme kuvvetlerinin farkından yararlanılarak aşağıdaki bağıntılar yardımı ile çıkarılmıştır.

$$\Delta F_t = u \cdot \Sigma_o \cdot x = A_s (f_s - f'_s) = \frac{V \cdot x}{jd} \quad (3.12)$$

$$\Delta F_t = \frac{\Delta M}{jd} \Rightarrow \Delta M = V \cdot x \quad (3.13)$$

$$u = \frac{V}{\Sigma_o jd} \quad (3.14)$$

Burada ΔF_t ; çekme kuvveti farkı, V ; kesme kuvveti, Σ_o ; donatı çevresi, f_s ; çelik emniyet gerilmesi, A_s ; donatı alanı, ΔM ; moment farkı, jd ; manivela koludur. Ana donatı çapına göre aderans boyu hesabı;

$$F_s = l \cdot \Sigma_o \cdot u \quad (3.15)$$

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} f_s = l \cdot \pi \cdot d \cdot u \quad (3.16)$$

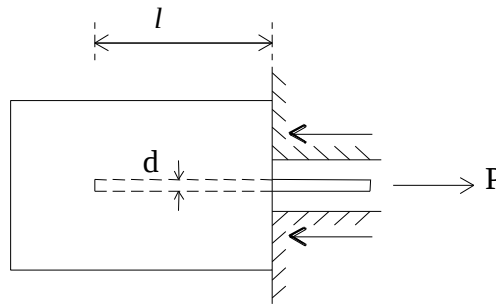
$$l = \frac{f_s}{4u} d \quad (3.17)$$

yukarıdaki bağıntılara göre yapılmaktadır. Burada F_s ; çekme kuvveti, d ; donatı çapı ve u ; aderans gerilmesidir. Çelik emniyet gerilmesinin 16000 lb. per sq. inch (110 MPa) ve aderans gerilmesinin 100 lb. per sq. inch (0.69 MPa) olması durumunda aderans boyu;

$$l = 40d \quad (3.18)$$

olarak bulunmaktadır ve bu sınır değeri pek çok yönetmeliğe de girmiştir.

ACI 318-41 yönetmeliğine göre aderans boyu; betona gömülmüş çekme etkisindeki çubuğun denge denkleminde yararlanarak hesaplanmaktadır, (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Aderans Gerilmesi Hesabında Gözönüne Alınan Kuvvetler

$$P = \frac{\pi}{4} d^2 f_s = \pi d u l \quad \text{veya} \quad l = \frac{f_s d}{4u} \quad (3.19)$$

ACI 318-41'e göre aderans gerilmesi hesabı için düz yüzeyli ve nervürlü donatılar için aşağıdaki bağıntılar önerilmektedir.

$$u = 0.04 f_c' \quad [u \leq 160 \text{ psi (1.1 MPa)}] \quad (\text{düz yüzeyli donatılar}) \quad (3.20)$$

$$u = 0.05 f_c' \quad [u \leq 200 \text{ psi (1.4 MPa)}] \quad (\text{nervürlü donatılar}) \quad (3.21)$$

Yönetmelikte ayrıca yüksek dayanımlı beton kullanıldığında donatının da orta veya yüksek kalitede olması gerektiği ifade edilmiştir. Örneğin; emniyet gerilmesinin 20000 psi (140 MPa) ve beton basınç dayanımının 3000 psi (21 MPa) olması durumunda aderans boyu yaklaşık 42d, aynı şekilde emniyet gerilmesinin 16000 psi (110 MPa) ve beton basınç dayanımının 2500 psi (17 MPa) olması durumunda ise aderans boyu 40d olarak bulunmaktadır. 1944 yılına ait bir kaynakta [20], kolon donatı detayları incelendiğinde bindirme boyunun, donatı çapının 40 katı (40d) olarak verildiği görülmüştür.

Bu tez çalışması için ACI 318-41'e göre hesap yapıldığında, bindirme boyu yaklaşık olarak 1044 mm (75d) bulunmuştur. Bu değer ACI 318-41'e göre önerilen değerden (40d) fazla olmasının sebebi beton kalitesinin belirtilen limitin çok altında olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan TS 500'de (donatı çapının 40 katı) belirlenen minimum değer, ACI 318-41'e göre hesaplanan boyun yaklaşık %53'üne karşı gelmektedir.

1951 yılında ACI 318'de bindirme boyu hesabında bazı revizyonlar olduğu ve düz yüzeyli donatıların yerini nervürlü donatıların aldığı görülmüştür. Düz yüzeyli donatılar için gerekli bindirme boyunun nervürlü donatılar için hesaplanan boyun iki katı alınabileceği belirtilmiştir. Numuneler için hesaplanan bindirme boyunun farklı yönetmeliklere göre yetersizliği Tablo 3.1'de verilmiştir.

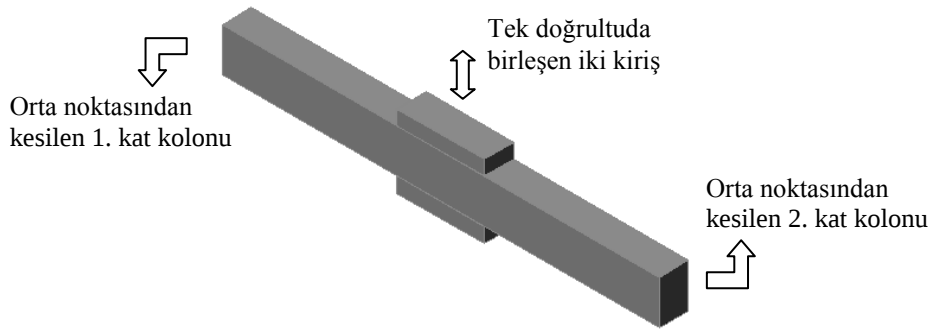
Tablo 3.1. Hesaplanan Bindirme Boyunun Farklı Yönetmeliklere Göre Yetersizliği

Yönetmelik	Gerekli Bindirme Boyu	Yetersizlik (40φ için)
TS 500-1985	2031 mm (45φ)	%72
TS 500-2000	2078 mm (48φ)	%73
ACI 318-1941	1044 mm (75φ)	%47

3.3. NUMUNELERİN ÜRETİLMESİ

3.3.1. Boyutlar ve Donatı İskeletinin Oluşturulması

Çalışma kapsamında toplam 10 adet numune üretilmiştir. Üretilen numuneler toplam 3000 mm uzunluğundadır. Kat orta noktasından kesilen alt ve üst kat kolonlarını temsil eden kolonlar 1200 mm boyunda, 200 mm genişliğinde ve 300 mm derinliğindedir. Bu kolonlara tek doğrultuda birleşen iki kiriş parçası ise 200 mm genişliğinde ve 600 mm yüksekliğindedir. Numunelerin genel görünümü Şekil 3.5’de sunulmuştur.



Şekil 3.5. Numunelerin Genel Görünümü

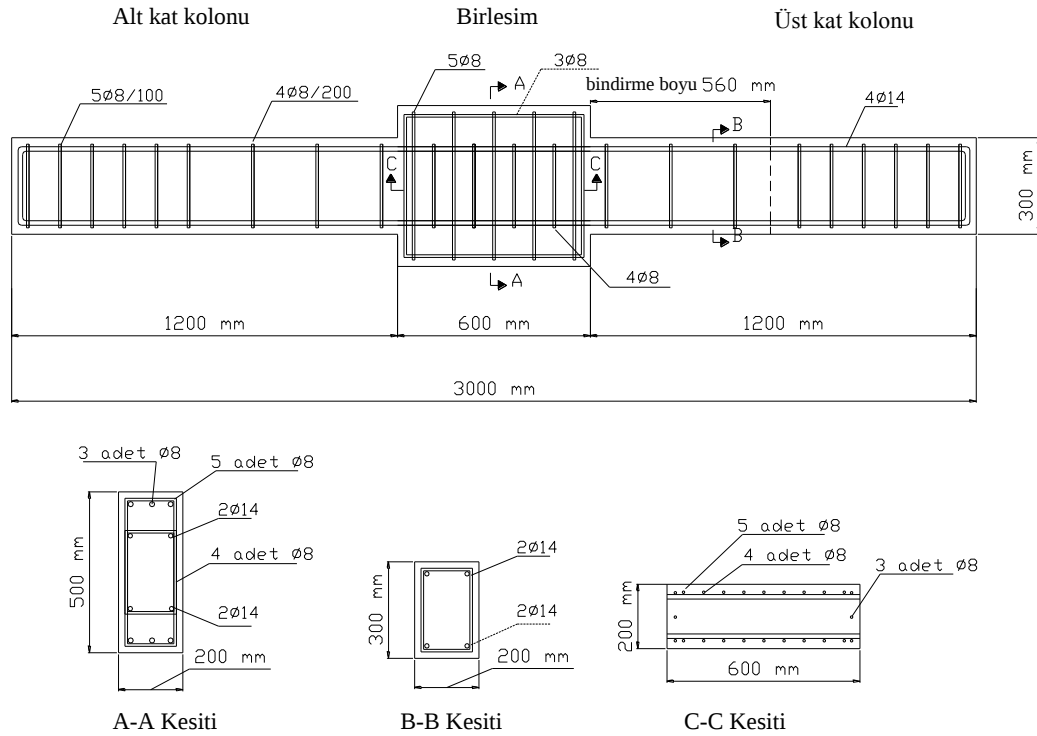
Kolonlarda boyuna donatı olarak toplam 4 adet 14 mm çapında düz yüzeyli donatı, enine donatı olarak ise 200 mm ara ile 8 mm çapında düz yüzeyli donatı kullanılmıştır. Değerlendirmeyi zorlaştırmamak üzere davranışın karmaşık olmaması ve hasarın kolon sarılma bölgesinde yoğunlaşması istendiğinden kolon-kiriş birleşim bölgesinde ve mesnetlerde enine donatı oranı artırılmıştır. Enine donatılar birleşim kesitinden 50 mm mesafeden başlanarak 200 mm ara ile yerleştirilirken, mesnetlerde hasar oluşmasını engellemek amacı ile bu bölgelerde 100 mm ara ile yerleştirilmiştir. Enine donatıların kancaları, 90 derece ve uzunluğu 100 mm olacak şekilde bükülmüştür. Boyuna donatı oranı (ρ) Denklem 3.22 ve hacimsel enine donatı oranı (ρ_{sh}) ise Denklem 3.23 ile hesaplanmıştır. Bu bağıntılarda A_s , A'_s ve ϕ_e sırası ile çekme donatısı kesit alanı, basınç donatısı kesit alanı ve enine donatı çapıdır.

$$\rho = \frac{A_s + A'_s}{b.d} \quad (3.22)$$

$$\rho_{sh} = \frac{\frac{\pi \phi_e^2}{4} 2(b_c + h_c)}{b_c \cdot h_c \cdot s} \quad (3.23)$$

Bu bağıntılar yardımıyla boyuna donatı oranı $\rho=0.01$, hacimsel enine donatı oranı $\rho_{sh}=0.0037$ olarak bulunmuştur.

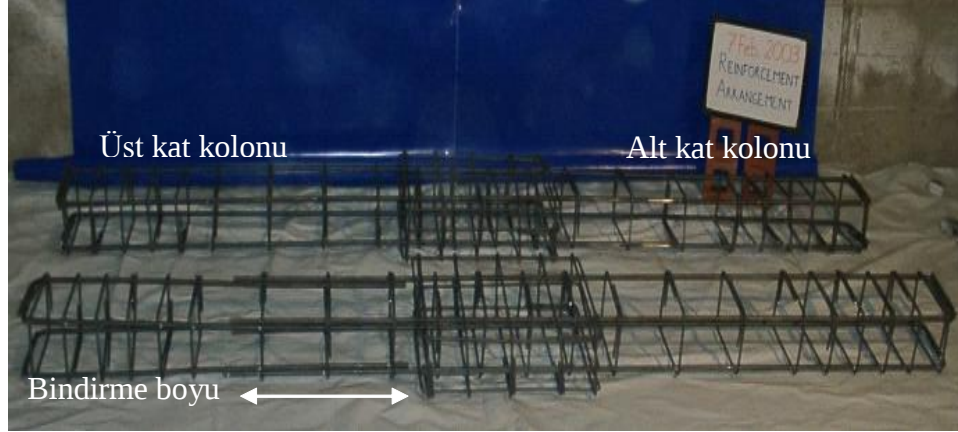
Deprem yükünü temsil etmek üzere verilecek yatay yükün uygulama noktasının birleşim bölgesi olması sebebi ile bu bölgede enine donatı oranı artırılmıştır. Kolon enine donatıları kiriş içinde 125 mm ara ile devam ettirilmiş ve kiriş yüksekliği boyunca 5 adet, genişliği boyunca 3 adet $\phi 8$ ilave enine donatı konulmuştur. Bindirmeli ekli numuneler için, bindirme boyu 560 mm (40ϕ) olarak belirlenmiştir. Enine donatı yüzünden 20 mm beton örtüsü bırakılmıştır. Numune donatı detayı Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Donatı iskeletleri Şekil 3.3'de verilen donatı çizimleri dikkate alınarak İTÜ Yapı ve Deprem Laboratuvarında oluşturulmuştur.



Şekil 3.6. Numunelerde Donatı Detayı

3.3.2. Şekildeğiştirmeölçerlerin Yapıştırılması

Donatı iskeletinin hazırlanmasından sonra hasarın en fazla oluşmasının beklendiği potansiyel plastik mafsal bölgelerinde boyuna ve enine donatılar üzerine şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmıştır. Şekil 3.7’de donatı iskeletlerinin görünümü verilmiştir.

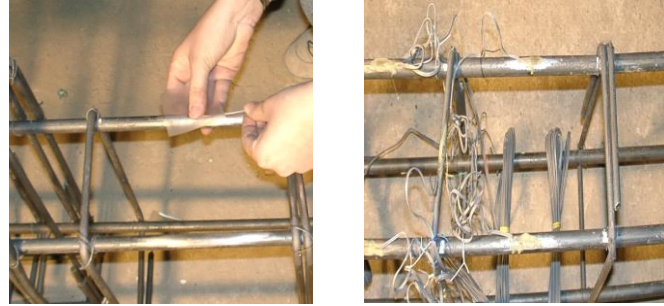


Şekil 3.7. Donatı İskeletlerinin Görünümü

Şekildeğiştirmeölçerler yapıştırılmadan önce donatılar üzerinde belirlenen noktalar kalın ve ince zımpara, tel fırça yardımı ile pastan arındırılmış sonra pamuk ve aseton yardımı ile tozlu yüzeyler temizlenmiştir. Tam olarak temizlenmiş bu yüzeylere şekildeğiştirmeölçerler cyanoacrylat esaslı bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış ve ardından su ve nem yalıtımı ile mekanik koruma sağlamak için iki kat kimyasal yalıtım malzemesi (N-1, water proofing material), bir kat bitum esaslı bant (VM Tape, a vinyl/mastic for insulating and moisture sealing) ve bunun üzerine izolebant sarılmıştır. Tüm şekildeğiştirmeölçerlerin kablolarının ucuna konumunu, cinsini belirtmek üzere numaralar ve notlar yazılmıştır. Kablolar en kısa mesafeden beton yüzeyine çıkacak şekilde demetlenmiştir. Şekildeğiştirmeölçerlerin yapıştırılması ile ilgili bazı aşamalar Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.8. Donatı Yüzeyinin Zımpara ve Aseton İle Temizlenmesi



Şekil 3.9. Şekildeğiştirmeölçerlerin Yapıştırılması ve N-1 Sürülmesi

3.3.3. Kalıpların Hazırlanması

Numunelerin beton dökümü sırasında kullanılmak üzere 20 mm kalınlığında plywood malzemesi ile oluşturulan özel kalıplar hazırlanmıştır, (Şekil 3.10.). Kalıplar, boyuna donatıları bindirmeli ekli numuneler ve boyuna donatıları sürekli numuneler için iki grup halinde oluşturulmuştur. Donatı iskeletleri yerleştirilmeden önce kalıplar özel kalıp yağı ile yağlanmış ve donatı iskeletlerindeki enine donatılara istenen 20 mm kalınlığındaki beton örtüsünün oluşturulabilmesi amacı ile hazır plastik paspayları takılmıştır. Güçlendirilecek numuneler için kalıpların dört köşesine dik kenarları 25 mm olan ikizkenar üçgen enkesitli tahtalar çakılmıştır. Bu işlem daha sonra kolonların köşelerinin yuvarlatılması aşamasında kolaylık sağlaması için düşünülmüştür.



Şekil 3.10. Kalıpların hazırlanması

3.3.4. Beton Dökümü

Çalışmada Set Beton tarafından imal edilen hazır beton kullanılmıştır. Tüm numunelerin beton dökümü aynı gün içinde (04.03.2003) yaklaşık 7~8 C° hava sıcaklığında yapılmıştır, (Şekil 3.11.). Numunelerin kalıptan çıkarılması ve taşınması amacı ile, beton dökümünden önce numune içinde bırakılan 10 mm çapında nervürlü donatılardan oluşturulan kancalar kullanılmıştır. Beton dökümü sırasında şekildeğiştirmeölçerlerin kablolarına zarar verilmemesi için özen gösterilmiştir. Betonun iyi yerleşmesinin sağlanması amacıyla vibrasyon işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.11. Beton dökümü

3.3.5. Kür Uygulaması

Beton dökülmesinin ardından kolon numuneleri ve standart silindirler laboratuvarda dış ortamdan uzakta aynı koşullarda saklanmıştır. Tüm numuneler 7 gün boyunca belirli aralıklarla ıslatılarak ve üzerleri örtülerek nemli tutulmuştur.

3.4. NUMUNELERİN ÖZELLİKLERİ

Bu çalışma kapsamında numunelerin bazıları orijinal olarak denenerek referans numuneleri teşkil edilmiştir. Kalan numuneler doğrudan güçlendirilip test edilirken, referans numuneleri onarılıp güçlendirildikten sonra tekrar test edilerek performansları incelenmiştir. Tüm numunelerin özellikleri Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 3.2. Numune Özellikleri

Numune adı	Numune özelliği	Güçlendirme detayı
C-O-1	Orijinal – sürekli donatı	-
LS-O-1	Orijinal – bindirmeli ekli	-
C-O-2	Orijinal – sürekli donatı	-
LS-O-2	Orijinal – bindirmeli ekli	-
R-C-C-3	C-0-1 numunesine özdeş hasarsız bir numunenin doğrudan güçlendirilmesi	A
R-LS-C-3	LS-O-1 numunesine özdeş hasarsız bir numunenin doğrudan güçlendirilmesi	A
R-C-C-6	C-0-1 numunesine özdeş hasarsız bir numunenin doğrudan güçlendirilmesi	B
R-LS-C-6	LS-O-1 numunesine özdeş hasarsız bir numunenin doğrudan güçlendirilmesi	B
R-R-C-C-6	C-0-1 numunesinin onarılıp güçlendirilmesi	B
R-R-LS-C-6	LS-O-1 numunesinin onarılıp güçlendirilmesi	B

Numune isimleri verilirken, numunelerin özelliklerini yansıtacak ifadelerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Örneğin R-C-C-3 isimli numunede, R güçlendirme işlemini, C boyuna donatının sürekli olmasını, C güçlendirme için kullanılan kompozitin adını (CFRP), 3 ise kompozit ile sarım sayısını ifade etmektedir. Aynı şekilde R-R-LS-C-6 isimli numunede ilk R onarım işlemini, ikinci R güçlendirme işlemini, LS boyuna donatıların bindirmeli ekli olmasını, C güçlendirme için kullanılan kompozitin adını (CRFP), 6 ise kompozit ile sarım sayısını ifade etmektedir.

Tablo 3.2’de verilen A tipi güçlendirme alt ve üst kat kolon sarılma bölgelerinin 500 mm yüksekliğindeki bölümlerin enine doğrultuda 3 kat CFRP kompozit ile sarılmasıdır. B tipi güçlendirme ise aynı bölümlerin 6 kat CFRP kompozit ile enine doğrultuda sarılmasını ifade etmektedir.

3.5. ONARIM VE GÜÇLENDİRME

3.5.1. Onarım

Bu tez çalışması kapsamında, hasar görmüş yapı elemanlarının da onarılıp CFRP kompozitler ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirildikten sonra performansının incelenmesi istenmiştir. Bu amaçla daha önce orijinal olarak test edilen C-O-1 ve LS-O-1 numuneleri onarılıp güçlendirilmiştir. Onarım işlemi öncesinde yoğun bir şekilde hasar gören C-O-1 ve LS-O-1 numunelerinin ilk formuna getirilmesi için laboratuvar şartlarında bazı çalışmalar yapılmıştır. Her iki numune de hasarlı beton, hasar durumuna göre paspayının dökülmesi ya da çekirdek bölgesi de dahil olmak üzere tamamen dökülmesi suretiyle temizlenmiştir. Boyuna donatıları sürekli olan C-O-1 numunesinin burkulan donatıları mümkün olduğunca düzeltilmeye çalışılmıştır. Her iki orijinal numunede de deney sırasında düzlem dışı hareket oluşmuştur. Bu sorun laboratuvarda bulunan vinç ve hidrolik kriko kullanılarak mümkün olduğu kadar iyileştirilmeye çalışılmıştır. Numunenin bir ucu sabitlenerek diğer ucundan ya da sorunlu bölgeden itme veya çekme uygulanmıştır. Numunelerin onarım öncesi görüntüleri Şekil 3.12 ve Şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.12. C-O-1 Numunesinin Onarım Öncesi Durumu



Şekil 3.13. LS-O-1 Numunesinin Onarım Öncesi Durumu

Dökülen kısımların betonlanmasından önce kalıp görevini görmek üzere strafor cinsi bir malzeme uygun boyutlarda kesilmiştir. Onarım öncesi gerekli ön hazırlıklar yapıldıktan sonra YKS tarafından üretilen yüksek dayanımlı, büzülme yapmayan, rötresiz çimento esaslı tamir harcı ile (Emaco S55) dökülen betonların yeri doldurulmuştur. Bu işlem öncesinde ilgili bölgeler temizlenmiştir. Dökülen beton yüzeyinin üzeri pürüzlü olduğundan ayrıca bir işlem yapılmamıştır. Tamir harcı su ile karıştırılıp hazırlandıktan sonra kalıba bir seferde dökülmüştür. Böylece hava sıkışması önlenmeye çalışılmıştır.

Ayrıca betonda oluşan çatlaklar da çok düşük viskoziteli epoksi enjeksiyon malzemesi ile tamir edilmiştir. Bu amaçla çift bileşenli Concrasive 1302 malzemesi kullanılmıştır. Ağırlıkça %88 epoksi reçinesinin (A komponenti) içine %12 sertleştirici (B komponenti) konarak homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Uygulama yapılacak bölgelere bir kat rulo veya fırça ile Concrasive 1302 sürülmüştür. Çatlak boyunca 10-15 cm derinliğinde delikler açılmış ve çatlak genişliğine ve uzunluğuna bağlı olarak pakeler deliklere yerleştirilmiştir. Gevşek

beton parçaları ve toz arındırılmıştır. Çatlakların üzeri Concresive 1495 ile kapatılmıştır. En altaki pakere enjeksiyon pompası bağlanmış ve basınç yavaşça artırılmıştır. Enjeksiyon malzemesi üst pakere çıktığında alttaki paker kapatılmıştır. Bu sayede beton içinde bulunan kılcal çatlaklar onarılmıştır. Epoksi enjeksiyonu ile ilgili bazı aşamalar Şekil 3.14’de verilmiştir.



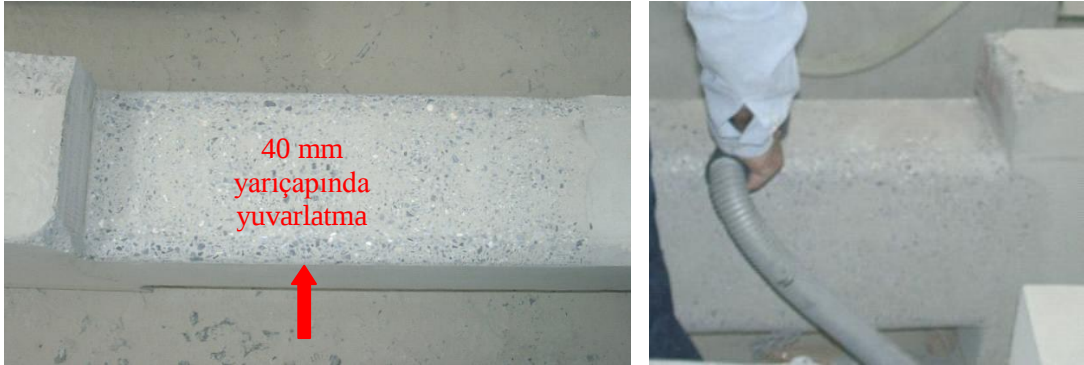
Şekil 3.14. Epoksi Enjeksiyonu Uygulaması

3.5.2. Güçlendirme

Bu bölümde numuneler, 2 adet boyuna donatıları sürekli ve 2 adet boyuna donatıları bindirmeli ekli olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Her grupta ilk numune 3 kat diğeri 6 kat CFRP kompozit ile enine doğrultuda sarılarak güçlendirilmiştir. CFRP kompozit uygulaması kiriş yüzeyinden yaklaşık 10 mm boşluk bırakılarak yapılmıştır. Bu sayede, kolon-kiriş birleşim kesitinde oluşabilecek ilave moment engellenmiştir. Numunelerin ilk önce yüzey hazırlıkları yapılmıştır. Dikdörtgen enkesitli kolonlarda gerilmelerin düzgün dağılmadığı, köşelerde gerilme yığılmalarının olduğu bilinmektedir. Bu sebeple köşelerde yuvarlatma işlemi yapılmıştır. Saatçioğlu ve Elnabelsy [10], köşeleri 10 mm yarıçapında yuvarlatarak yaptıkları deneysel çalışmada çok fazla gelişme sağlayamamışlardır. Bu çalışmada dikdörtgen enkesitli kolonların köşeleri 40 mm yarıçaplı bir çeyrek daire formuna getirilmiştir. Yuvarlatma işleminden sonra yüzeyler kir, toz, yağ ve benzeri maddelerden arındırılmıştır. CFRP kompozit ile beton yüzeyi arasında yapışmanın daha iyi sağlanabilmesi için çift bileşenli epoksipolyamin (Yapkim Degussa Primer) astar karışımı sürülmüştür. Bu karışım ağırlıkça 0.77:A ve 0.23:B olacak şekilde hazırlanmıştır. Astar karışımı sürülen numuneler diğer aşamaya geçilmeden önce 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra yüzeyin CFRP uygulamasına tamamen hazır hale

gelmesi, yüzeyde bulunan boşluklar, ezik ya da kopmuş parçaların doldurulması için çift bileşenli epoksi esaslı macun karışım (Yapkim Degussa Rasatura Putty Base, 0.78:A ve 0.22:B) sürülmüştür. Böylece esnek, pürüzsüz ve yapışmaya uygun bir yüzey elde edilmiştir.

CFRP uygulamasına geçilmeden önce kumaş halindeki malzeme 4 numune için 3 kat ve 6 kat sarımın uzunluğu düşünülerek uygun boylarda kesilerek hazır hale getirilmiştir. Bu kesim aşamasında kompozitin sargısı sonunda oluşturulacak bindirme boyu da ihmal edilmemiştir. CFRP kompozit numune yüzeyine ve birbirine yapışmasını sağlamak için çift bileşenli epoksi yapıştırıcı (Saturant, 0.76:A ve 0.24:B) kullanılmıştır. İlk CFRP kompozit yapıştırılmadan önce yapıştırıcı yüzeye sürülmüş ve ardından kompozit özenli bir şekilde yapıştırılmıştır. Her tabaka için aynı işlem tekrarlanmıştır. Yapıştırma işleminin başarılı olması için, her tabaka yapıştırıldığında el ya da demir rulo yardımıyla hava kabarcıklarının çıkması ve yapıştırıcının eşit bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Belirlenen boy sarıldıktan sonra bir kat daha yapıştırıcı sürülerek güçlendirme işlemi tamamlanmıştır. Kullanılan epoksi bazlı malzemelerin dayanımını kazanmaları için kür süresi kadar zaman bırakılmıştır. Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de güçlendirme işleminin bazı aşamaları verilmiştir.



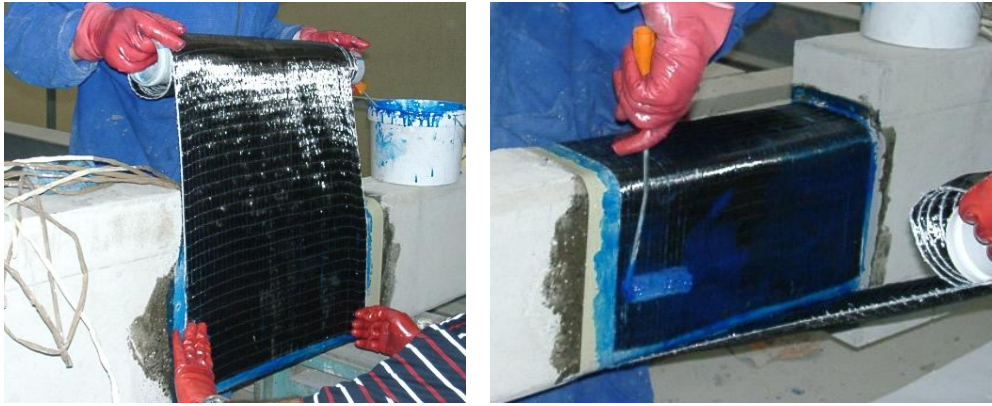
Şekil 3.15. Numunelerin Köşelerinin Yuvarlatılması ve Yüzey Temizliği



Şekil 3.16. Çift Bileşenli Epoksipolyamin Astar Karışımı Sürülmesi



Şekil 3.17. Çift Bileşenli Epoksi Macun Karışım ve Yapıştırıcı Sürülmesi



Şekil 3.18. CFRP Kompozit Sarılması

3.6. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE MALZEME DENEYLERİ

3.6.1. Beton

Çalışma kapsamına uygun olması bakımından ülkemizde mevcut yapılarda sıkça karşılaşılan beton kalitesi kullanılmıştır. Tüm numunelerin beton dökümü 4 Mart 2003 tarihinde yaklaşık 7~8 C° hava sıcaklığında yapılmıştır. Karışıma ait 28 günlük beton basınç dayanımı 9.22 MPa olarak belirlenmiştir. Beton karışım oranları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Beton Karışım Oranları

Çimento (c)	(kg/m ³)	155.55
Su (w)	(kg/m ³)	165.00
Kum	(kg/m ³)	670.00
Taş Kumu	(kg/m ³)	303.25
Mıdır I No	(kg/m ³)	987.75
Akışkanlaştırıcı	(kg/m ³)	1.22
Mineral Katkı	(kg/m ³)	40.00
w/c	-	1.06

Çimento olarak Set Marmara Çimentonun PÇ 42.5 normal portland çimentosu kullanılmıştır. Mineral katkı olarak Çatalağzı uçucu külü kullanılmış, taş kumu olarak Cebeci Dalbay Taş Ocağından elde edilen maksimum tane çapı 0.7 mm olan kum kullanılmıştır. Karışımında kullanılan 1 Nolu mıdır da Cebeci Dalbay Taşocağından elde edilen tane çapı 5-15mm arasında değişen agregadır. Kum Akpınar Sülün Ocağından elde edilen maksimum tane çapı 0.5 mm olan kumdur. Bu karışımında akışkanlaştırıcı olarak WRDA 90 W (mid-range superplasticizer) kullanılmıştır.

Taze betonda çökme ve yayılma çapını belirlemek amacı ile 3 ayrı çökme deneyi yapılmıştır. Çökme deneyi için 300 mm yüksekliğinde, alt ve üst çapları 200 mm ve 100 mm olan tabanı kesik koni kullanılmıştır. Koninin doldurulması 3 defada yapılmış ve her doldurma işleminin ardından uzun demir bir çubukla beton 25 defa şişlenerek iyi bir şekilde yerleşmesi sağlanmıştır. Koninin tamamı doldurulduktan

sonra 3 dakika beklenerek koni yavaşça çekilmiştir. Koni çekildikten sonra, yayılma çapı ve çökme ölçülmüştür, (Şekil 3.19). Taze betonda yapılan çökme deneyi sonuçları Tablo 3.4’de verilmiştir.



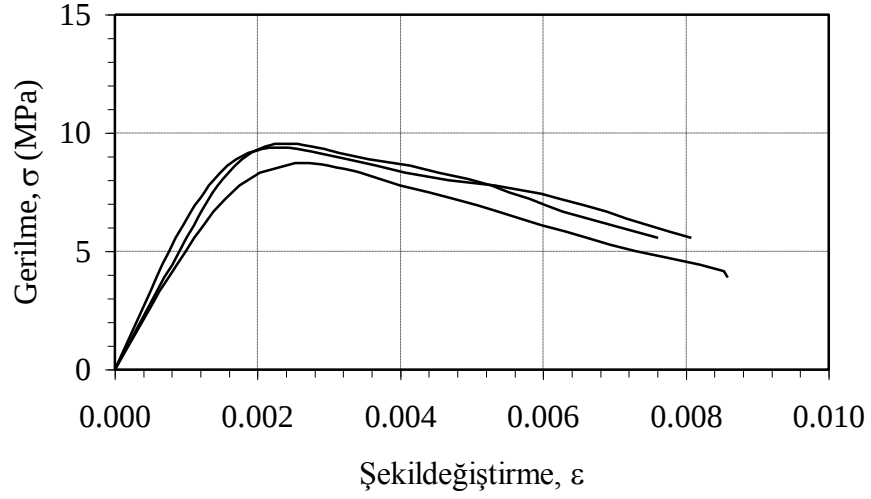
Şekil 3.19. Taze Betonda Çökme ve Yayılma Çapı Ölçülmesi

Tablo 3.4. Çökme Deneyi Sonuçları

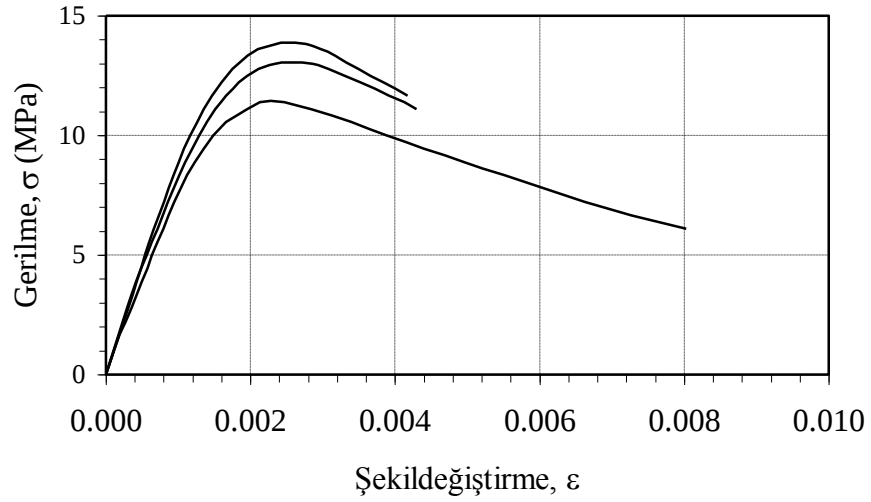
Deney	Çökme (mm)	Yayılma Çapı (mm)
1	245	400-430
2	240	390-450
3	250	400-450

Farklı yaşlarda beton basınç dayanımının belirlenmesi amacı ile 15 adet 150 mm × 300 mm boyutlarında standart silindir numunesi alınmıştır. Standart silindir numunelerinin hazırlamasında ve betonun yerleştirilmesinde çökme deneyinde dikkat edilen unsurlar göz önüne alınmıştır. Standart silindirler dış ortamdan uzaklaştırılmış deney gününe kadar laboratuvarında kolon numuneleri ile aynı koşullarda saklanmıştır. Kür amacı ile standart silindirler ve kolon numuneler 7 gün boyunca nemli tutulmuştur. Standart silindir numuneler 5000 kN kapasiteli Amsler yükleme cihazı kullanılarak eksenel basınç deneyine tabi tutulmuştur. Şekildeğiştirmelerin belirlenmesi amacı ile TML CM-15 ölçüm çerçevesi ve 2 adet yerdeğiştirmeölçerler (CDP25) kullanılmıştır. Bu çerçeve üzerinde bulunan hassas yerdeğiştirmeölçerler (TML CDP5) ile standart silindir numunenin ortasında 150 mm yüksekliğindeki bölgede oluşan ortalama şekildeğiştirmeler belirlenebilmektedir. Silindir numunenin iki yanına yerleştirilen diğer yerdeğiştirmeölçerler ile toplam boyda oluşan yerdeğiştirmeler ölçülüp, bu ölçümlerden yararlanılarak tüm boydaki ortalama şekildeğiştirmeler belirlenmektedir. Yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme verileri TML

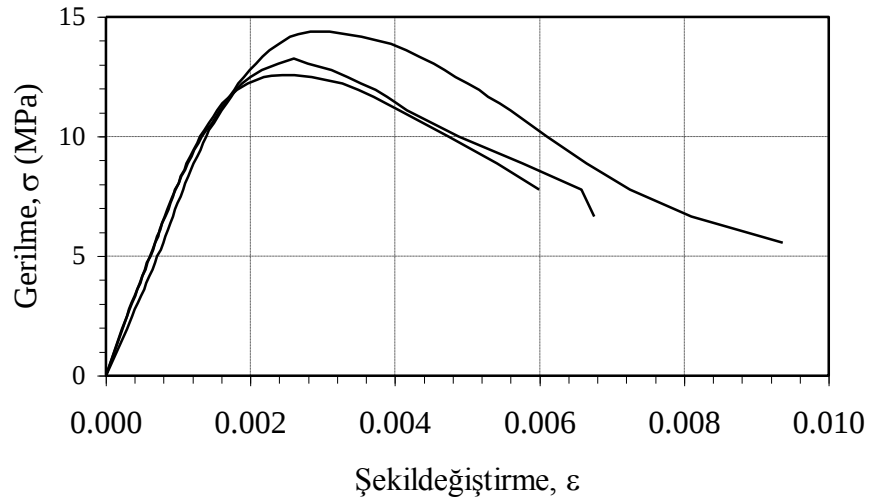
TDS-303 veri toplayıcı kullanılarak saklanmış, daha sonra elle kaydedilen yük değerleri ile birlikte bilgisayarda işlenerek beton gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir. 28, 90, 150 günlük standart silindirlerden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla Şekil 3.20, Şekil 3.21 ve Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.20. 28 Günlük Beton Silindir Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 3.21. 90 Günlük Beton Silindir Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri

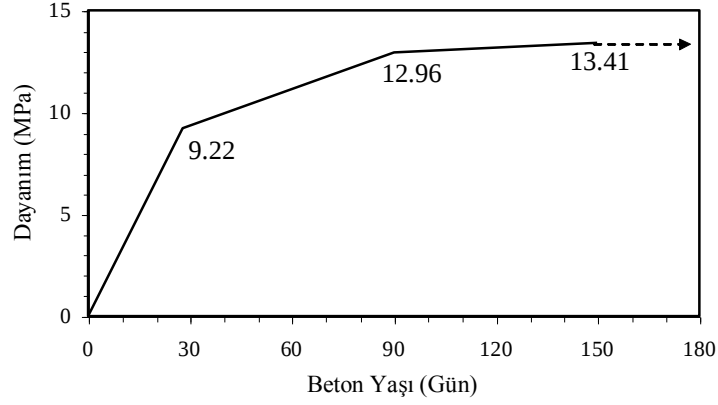


Şekil 3.22. 150 Günlük Beton Silindir Numunelerin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri

Numuneler için elastisite modülü belirlenirken, gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinde yaklaşık olarak dayanımın %5 ve %45'i arasında elde edilen deneysel noktalar arasından en küçük kareler yöntemi kullanılarak bir doğru geçirilmiş, belirlenen doğrunun eğimi elastisite modülü olarak kabul edilmiştir. Farklı yaşlarda elde edilen beton basınç dayanımları ve elastisite modülü değerleri Tablo 3.5'de sunulmuştur. $f_{c,j}$ ve $E_{c,j}$ sırası ile j'inci gün beton basınç dayanımı ve elastisite modülüdür. Betonun yaşına bağlı olarak dayanımdaki artışı gösteren grafik Şekil 3.23'de verilmiştir. Beton basınç dayanımının 150 günden sonra değişmediği kabul edilerek daha sonraki günler için bu değer kullanılmıştır.

Tablo 3.5. Betonun Farklı Yaşlardaki Mekanik Özellikleri

Numune yaşı (gün)	$f_{c,j}$ (MPa)	$E_{c,j}$ (MPa)	Tarih
28	9.22	6867	01.04.2003
90	12.96	9137	02.06.2003
150	13.41	10175	01.08.2003



Şekil 3.23. Dayanım-Beton Yaşı İlişkisi

3.6.2. Donatı Çeliği

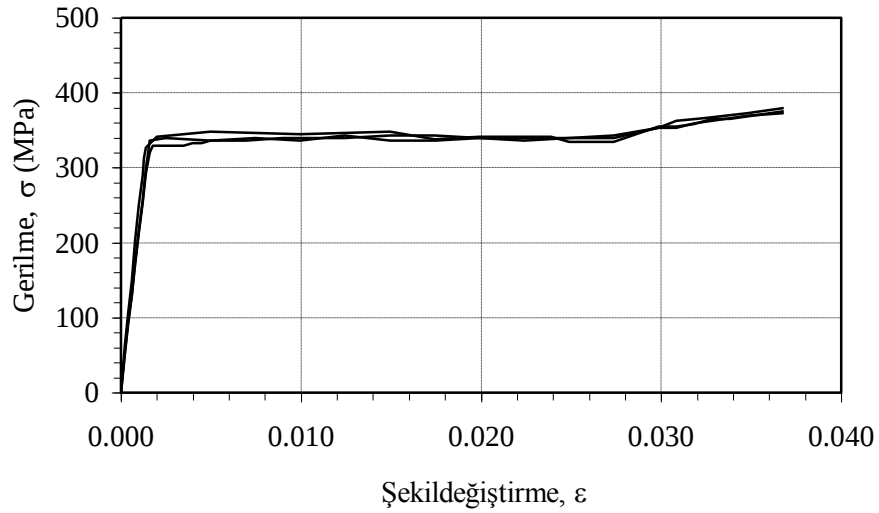
Çalışmanın amacına uygun olması bakımından tüm numunelerde hem boyuna, hem de enine donatı için St220 kalitesinde düz yüzeyli donatı çeliği kullanılması tasarlanmıştır. Tasarım ve numune üretimi öncesinde kullanılacak çeliğin beklenen dayanıma sahip olup olmadığını anlamak üzere standartlara uygun olarak (TS 708 (1985), Beton Çelik Çubukları) çelik çekme deneyi yapılmıştır, (Şekil 3.24.).



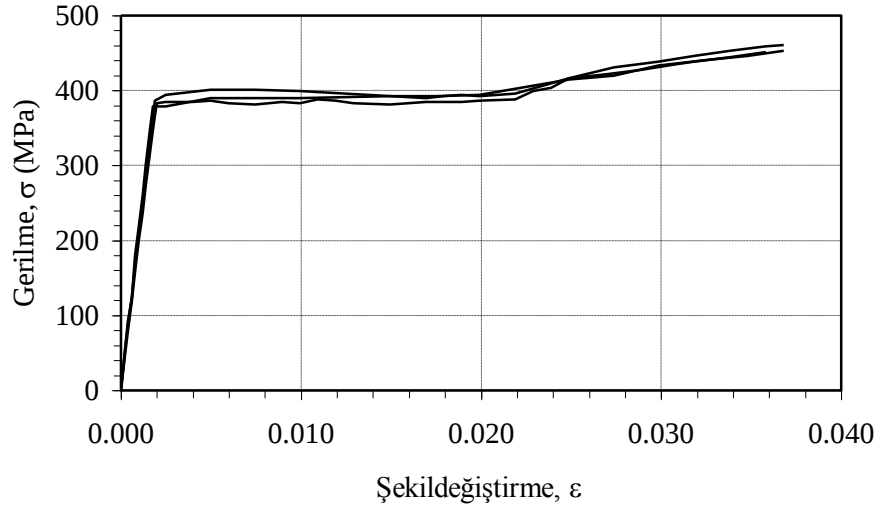
Şekil 3.24. Çelik Çekme Deneyi

Yapılan çelik çekme deneyleri sonucunda kullanılan donatının dayanım değerlerinin TS 500 (2000) tarafından verilen değerlerin üstünde olduğu görülmüştür. Bu sonucun ardından yapılan ön tasarım yenilenmiş ve deneysel olarak elde edilen dayanım değerleri kullanılmıştır. Çalışmada eğilme etkisinde göçme oluşması istendiğinden

numune tasarımında gerekli düzenlemeler yapılarak oluşabilecek farklı bir göçme durumunun önüne geçilmiştir. Çekme deneylerinde 200 kN kapasiteli Alfred J.Amsler marka mekanik çekme cihazı kullanılmıştır. 14 mm ve 8 mm çaplı donatılar için 6 adet çekme deneyi yapılmıştır. Her donatının gerçek çapı kompas ile en az üç kere ölçülerek bulunmuştur. Çekme deneyi sırasında donatılarda oluşan uzamaları kaydedebilmek için ekstansometre kullanılmıştır. Ekstansometrenin ölçüm boyu 100 mm, hassasiyeti 1/100 mm'dir. Ekstansometrede okunan belli yerdeğiştirme seviyelerinde etkitilen çekme kuvveti deney boyunca elle kaydedilmiş ve gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri elde edilmiştir, (Şekil 3.25, Şekil 3.26.).

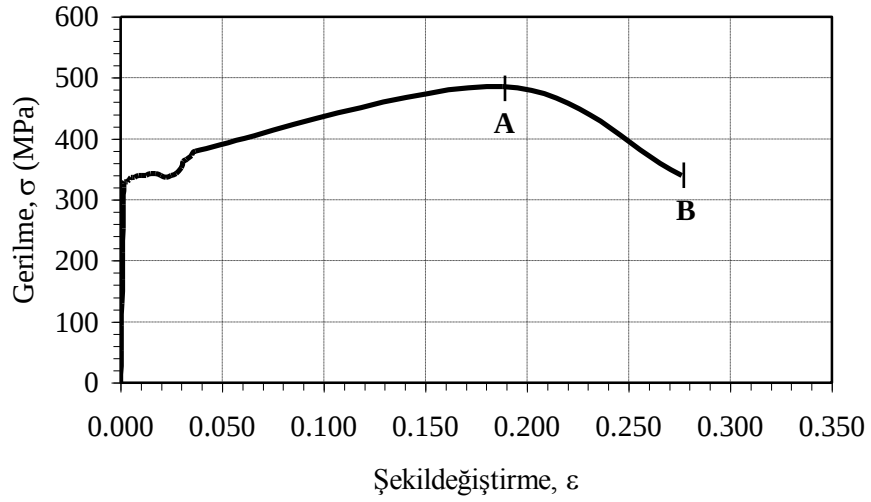


Şekil 3.25. Boyuna Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 14$)

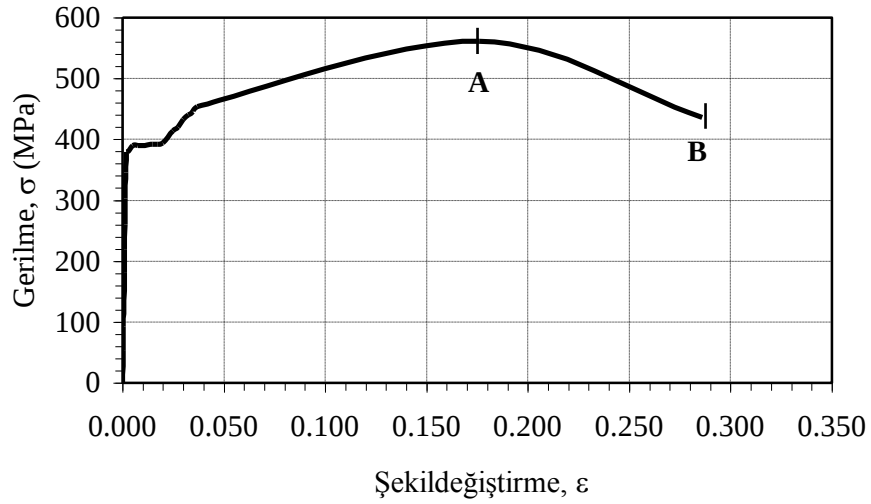


Şekil 3.26. Enine Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 8$)

Donatı çeliğinin akma limiti, elastik limitten hemen sonra yük sabit iken şekildeğiştirmelerin hızla artmaya başlaması ile belirlenir. Bu andaki gerilme değeri akma dayanımı (f_y) ve buna karşı gelen şekildeğiştirme akma şekildeğiştirmesi (ϵ_y) olarak tanımlanır. Akma sahanlığını pekleşme bölgesi izler ve gerilme tekrar artmaya başlar. Bu bölgede A noktasına kadar çubuğun her noktasında oluşan uzamalar uniformdur ve bu anda en büyük çekme kuvvetine erişilir. Belirli bir gerilme anına gelindiğinde çubuğun bir noktasında kesit küçülmeye başlar ve bu noktada oluşan aşırı uzamaların ardından kopma (B noktası) gerçekleşir. Boyuna ve enine donatılar için elde edilen tam gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de verilmiştir.

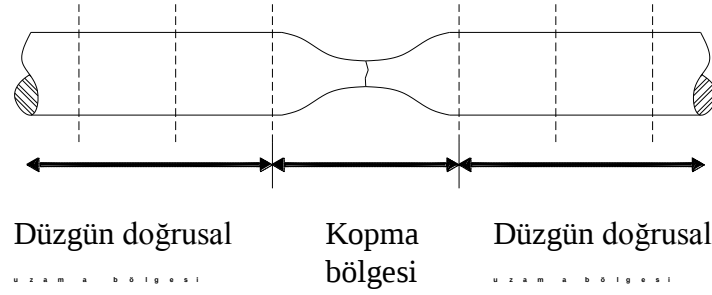


Şekil 3.27. Boyuna Donatı Tam Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 14$)



Şekil 3.28. Enine Donatı Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri ($\phi 8$)

Kopma birim uzaması (ϵ_{su}) ve düzgün doğrusal uzamanın (ϵ_{sunif}) belirlenmesinde çubuğun orta bölgesinde donatı çapının 10 katına eşit ölçü boyu kullanılmıştır. Bu ölçü boyu üzerine donatının çapı kadar aralıklarla çizgiler çizilmiştir. Deney sonrasında düzgün doğrusal donatı uzaması belirlenirken kopmanın olduğu bölge dışında çubuğun iki tarafında oluşan uniform uzama bölgelerinde belirlenen şekildeğiştirmelerin ortalaması alınmıştır. Kopma birim uzaması ise aşırı uzamanın olduğu bölgede belirlenen şekildeğiştirme değeri olarak alınmıştır. Şekil 3.29'da çekme kuvveti uygulanan çubukta kopma ve düzgün doğrusal uzama bölgeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Çekme Çubuğunda Kopma ve Düzgün Doğrusal Uzama Bölgeleri

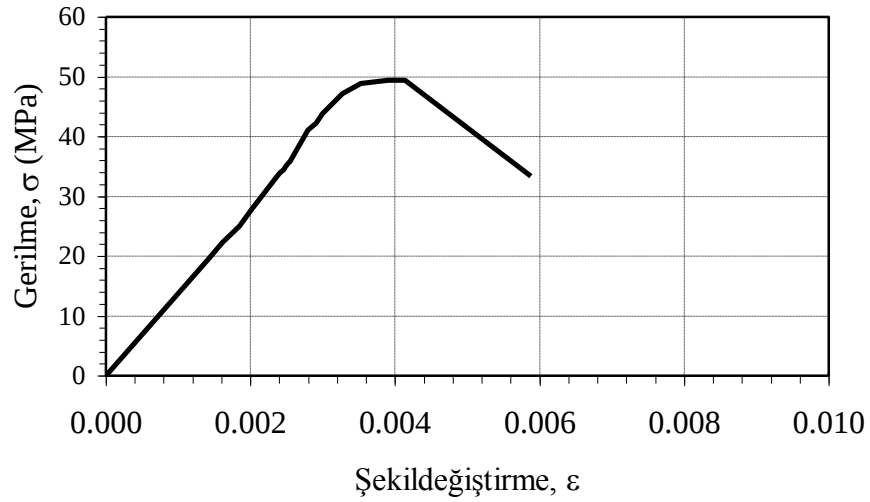
Donatıların elastisite modülleri belirlenirken, gerilme-şekildeğiştirme eğrilerinin %5 ve %80'i arasında kalan noktalarından en küçük kareler yöntemine göre bir doğru geçirilmiş ve bu doğrunun eğimi elastisite modülü olarak kabul edilmiştir. Tablo 3.6'da boyuna ve enine donatı özellikleri verilmiştir. Tabloda sırası ile ϵ_y : Donatıda akma birim uzaması ve kısalması, ϵ_{su} : Kopma birim uzaması, ϵ_{smax} : En büyük uzama ve kısalma, f_y : Boyuna donatı akma dayanımı, f_{su} : Donatının kopma dayanımı, f_{smax} : Donatının en büyük çekme dayanımı ve E_s : Donatının elastisite modülüdür.

Tablo 3.6. Boyuna ve Enine Donatı Özellikleri

Donatı	ϵ_y	ϵ_{su}	ϵ_{smax}	f_y (MPa)	f_{su} (MPa)	f_{smax} (MPa)	E_s (MPa)
ϕ 14 (boyuna)	0.002	0.290	0.209	336	344	487	215810
ϕ 8 (enine)	0.002	0.284	0.171	383	392	564	202570

3.6.3. Onarım ve Güçlendirme Malzemeleri

Orijinal olarak test edilen numunelerin onarımında YKS tarafından üretilen, yüksek dayanımlı, genleşme yapmayan, sülfata dayanıklı rötresiz çimento esaslı tamir harcı (Emaco S55) kullanılmıştır. Bu malzemenin kullanımı oldukça olup, sadece su ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Malzeme astarsız kullanılır, çelik ve betona iyi aderans sağlar. Ayrıca akışkan kıvamlı, kolay işlenebilir, ayrışma yapmayan, geçirimsiz bir özelliğe sahiptir. Onarım işlemi sırasında 1 adet 150 mm $\times$ 300 mm boyutlarında standart silindir numunesi alınmıştır. Bu numunenin 32 günlük beton basınç dayanımı 49.4 MPa olup, numuneye ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.30. Emaco S55 Tamir Harcı İçin Standart Silindir Beton Basınç Dayanımı

Diğer bir onarım malzemesi, çok düşük viskoziteli Concrasive 1302 epoksi enjeksiyon malzemesidir. Concrasive 1302, 0.2-1.0 mm'ye kadar olan çatlakların onarımı için kullanılır. Kılcal çatlaklara penetrasyonu ve betona aderansı uygun olan bir malzemedir. Çok düşük viskoziteye sahip olduğundan düşük basınçta da enjekte edilebilir. Ürünün firma tarafından verilen özellikleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Concrasive 1302 Epoksi Enjeksiyon Malzemesinin Teknik Özellikleri

Hacimsel katı madde oranı (%)	100
Karışımın yoğunluğu (kg/lt)	1.06 ± 0.05
Eğilme Dayanımı (MPa)	75
Basınç Dayanımı (MPa)	110
Çekme Dayanımı (MPa)	45
Elastisite Modülü (MPa)	3100-3300
Viskozite (mPa.s)	700
Genleşme (%)	2.5-3

Güçlendirme aşamasında ise, uygulanacak FRP malzemenin betona aderansını tam olarak sağlamak için ilk olarak Yapkim Degussa Primer kullanılmıştır. Yapkim Degussa Primer, iki bileşenli düşük viskoziteli, katı madde oranı %100 olan epoksipoliamin bir üründür. Karışım oranı ağırlıkça; %77 A ve %23 B olarak belirlenmiştir. İlk olarak komponent A mekanik olarak karıştırılmış, ardından komponent B homojen bir karışım elde etmek için yaklaşık 1 dakika karıştırılmıştır. Özgül ağırlığı 1.08 ± 0.024 kg/lt, uygulama kalınlığı 90 μm 'dir. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik özellikler Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. Yapkim Degussa Primerin Mekanik Özellikleri

Elastisite Modülü (MPa)		
• Çekme (kesme), ASTM D638		>700
• Eğilme, ASTM D790		>580
Çekme Dayanımı (MPa)		
• Direk, ASTM D638		>12
• Eğilme, ASTM D790		>24

Yapkim Degussa Primer uygulamasının ardından Yapkim Degussa Rasatura Putty kullanılmıştır. Yapkim Degussa Rasatura Putty, güçlendirilecek elemanların yüzeylerinin düzeltilmesi amacı ile kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 1.26 ± 0.024 kg/lt'dir. Karışım oranı ağırlıkça; %78 A ve %22 B olarak belirlenmiştir. İlk olarak komponent A mekanik olarak karıştırılmış, ardından komponent B homojen bir karışım elde etmek için yaklaşık 3 dakika karıştırılmıştır. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik özellikler Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Yapkim Degussa Rasatura Puttynin Mekanik Özellikleri

Elastisite Modülü (MPa)		
• Çekme (kesme), ASTM D638		>1800
• Eğilme, ASTM D790		>900
Çekme Dayanımı (MPa)		
• Direk, ASTM D638		>12
• Eğilme, ASTM D790		>26
Maksimum Uzama, ASTM D638		%1.6

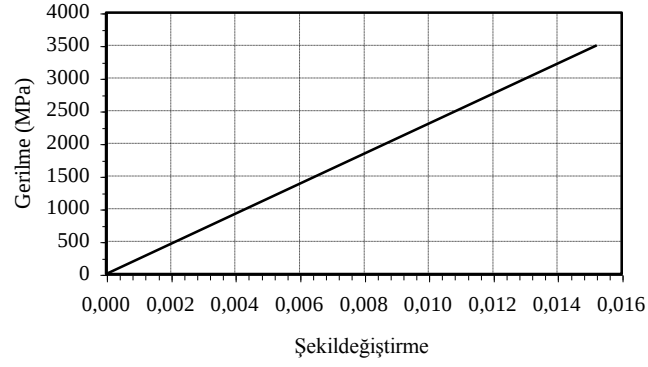
FRP tabakaların betona ve birbirlerine yapışmasını sağlamak için Yapkim Degussa Saturant kullanılmıştır. Yapkim Degussa Saturant, katı madde oranı yüksek, iki

bileşenli, özgül ağırlığı 1.02 ± 0.024 kg/lt olan özel bir yapıştırıcıdır. Karışım oranı ağırlıkça; %76 A ve %24 B olarak belirlenmiştir. İlk olarak komponent A mekanik olarak karıştırılmış, ardından komponent B homojen bir karışım elde etmek için yaklaşık 1 dakika karıştırılmıştır. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik özellikler Tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.10. Yapkim Degussa Saturantın Mekanik Özellikleri

Elastisite Modülü (MPa)	
• Çekme (kesme), ASTM D638	>1800
• Eğilme, ASTM D790	>900
Çekme Dayanımı (MPa)	
• Direk, ASTM D638	>12
• Eğilme, ASTM D790	>26
Maksimum Uzama, ASTM D638	%1.6
Basınç Dayanımı (MPa), ASTM D695	>80

Bu tez çalışmasında güçlendirme malzemesi olarak MBrace FRP C1-30 türü karbon lif takviyeli polimer tabakaları kullanılmıştır. FRP uygulamaları günümüzde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Beton, çelik, taşıyıcı tuğla ve ahşap elemanların eğilme, çekme, kesme ve basınca karşı dayanımlarının artırılması amacı ile kullanılır. FRP ile güçlendirme oldukça hafif bir sistemdir. Çelik ve FRP malzemenin birim ağırlıkları sırası ile 7.9 ve 1.2-1.8 t/m³’tür. FRP malzemeler kopma dayanımına ulaşana kadar doğrusal bir gerilme şekil değiştirme ilişkisi gösterirler, (Şekil 3.31.). Tablo 3.11 ve Tablo 3.12’de sırası ile C1-30 türü karbon lif takviyeli polimer tabakaların mekanik ve geometrik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.31. C1-30 Türü FRP Kompozitin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Tablo 3.11. C1-30 Türü Polimer Tabakaların Mekanik Özellikleri

Elastisite Modülü (MPa)	230000
Maksimum Uzama (%)	1.5
Karakteristik Kopma Dayanımı (MPa)	3430
20 cm Bindirme İle Eklenme Durumunda Kopma Dayanımı (MPa)	3430

Tablo 3.12. C1-30 Türü Polimer Tabakaların Geometrik Özellikleri

Lif Türü	Yüksek Dayanımlı Karbon
Tabaka Örgü Şekil	Tek Yönlü
Alan Yoğunluğu (kg/m ²)	0.3
Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	1820
Etkili Tabaka Kalınlığı (mm)	0.165
Birim Genişlik İçin Etkili Enkesit Alanı (mm ² /cm)	1.5

4. DENEY DÜZENEGİ

4.1. YÜKLEME SİSTEMİ

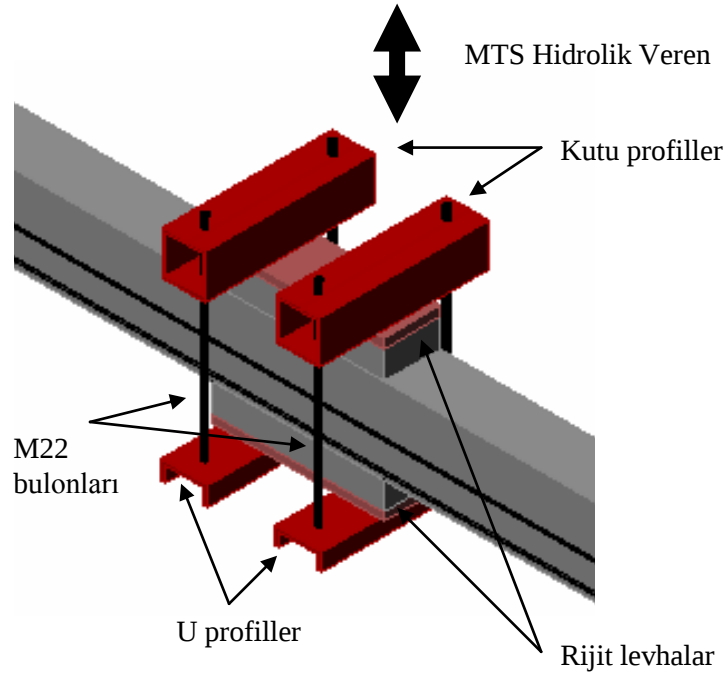
Deneyle için laboratuvarıda mevcut olan kapalı bir çelik yükleme çerçevesi kullanılmıştır. Numuneler iki ucundan 100 mm bırakılarak yatay şekilde silindir mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve basit mesnetli olacak şekilde bağlanmıştır. Deney boyunca numunelere sabit eksenel yük uygulamak için 600 kN kapasiteli Enerpac hidrolik kriko kullanılmıştır. Hidrolik krikonun uyguladığı yükün değerinin tespiti için 1000 kN kapasiteli TML yükölçerden faydalanılmıştır. Bilgisayar kontrollü, 250 kN kapasiteli MTS hidrolik veren ile numuneye tekrarlı ve yön değiştiren yerdeğiştirmeler uygulanmıştır. Numune ve yükleme sisteminin genel görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Numune ve Yükleme Sisteminin Genel Görünümü

Hidrolik veren tarafından uygulanan yükün, numunenin kirişi temsil eden yüzüne düzgün dağılmasını sağlamak amacı rijit çelik levhalar kullanılmıştır. Kiriş ile birebir boyutlarda tasarlanan bu rijit çelik levhalar 20 mm et kalınlığına, 200 mm genişliğe ve 600 mm yüksekliğe sahiptir. Hidrolik verenin, üst yüzeydeki rijit levhaya

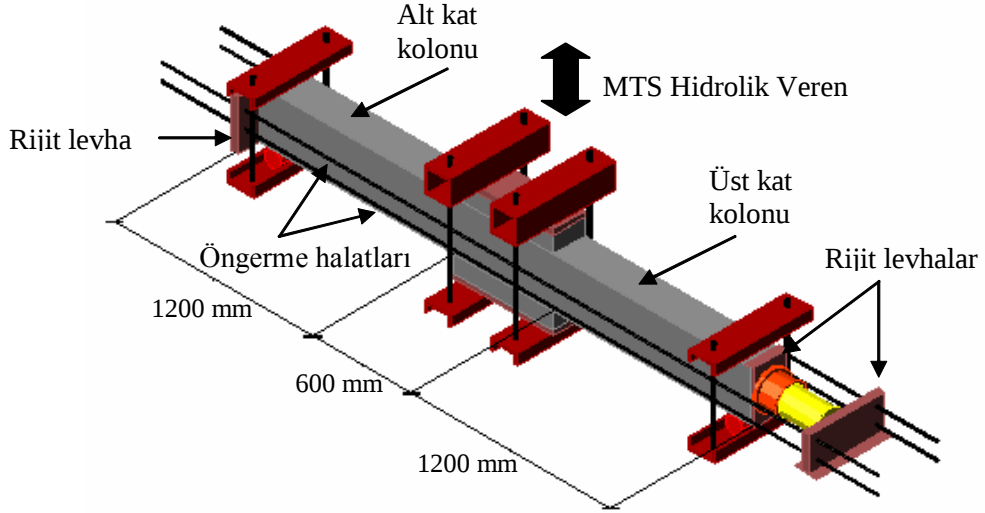
yerleştirilebilmesi için levha üzerine iki adet 10 mm et kalınlığında, 600 mm uzunluğunda, 150 mm × 150 mm kutu profil kaynaklanmıştır. Bu kutu profillerin hidrolik verene bağlanabilmesi için, veren ile örtüşen yüzeylerine 24 mm çapında 100 mm ara ile ikişer tane delik açılmıştır. Numuneye çekme uygulandığında hareketin sağlanabilmesi için alt yüzeydeki rijit levhaya da 600 mm uzunluğunda iki adet U160 profil vidalanmış ve bu vidalanan U profiller üst yüzeydeki kutu profillere 1 m uzunluğunda 4 adet, yüksek dayanımlı M22 bulonu ile bağlanmıştır. Yükleme sisteminin numunenin orta bölgesine bağlanan parçaları Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Numunenin Orta Bölgesinde Bulunan Parçaların Görünümü

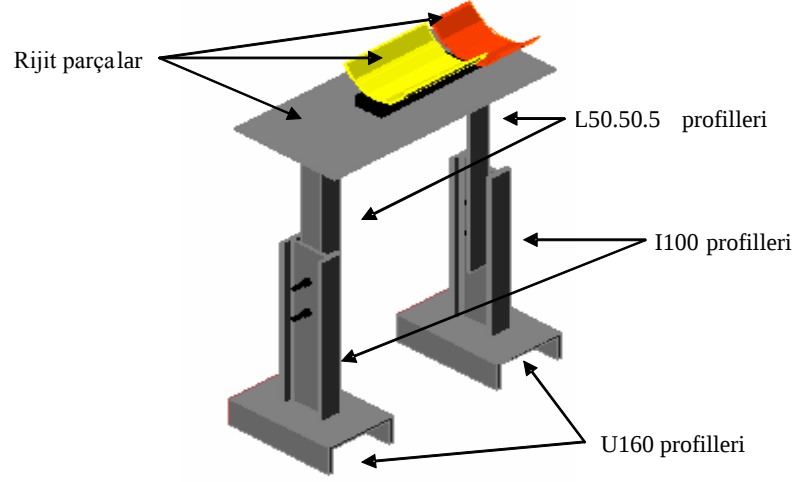
Numune, itme ve çekmeye maruz kalacağından mesnetlerde hareketin engellenmesi gerekmektedir. Her iki ucundan 100 mm bırakılarak mesnetlenen numunenin alt ve üst yüzlerine 100 mm × 200 mm boyutlarında dolgu gövdeli çelik silindirler yerleştirilmiştir. Bu silindirler numunenin orta bölümünde bulunan U160 profillerine özdeş profiller içine konarak 600 mm uzunluğundaki M24 bulonları ile birbirlerine bağlanmıştır. Eksenel yükün uygulanabilmesi için numune, yükölçer ve hidrolik krika, iki çelik levha arasına 4 adet 4 m boyunda 3/4 inch çapında öngerme halatları yardımı ile yerleştirilmiştir. Öngerme halatları eksenel yük verildiğinde her biri 200 kN kapasiteli çeneler yardımıyla çelik levhalara sabitlenmektedir. Bu çelik levhalardan hidrolik krikonun arkasına konan levha 40 mm et kalınlığında, 200 mm

yüksekliğinde ve 460 mm genişliğinde, numunenin karşı tarafına konan levha ise; 40 mm et kalınlığında, 300 mm yüksekliğinde ve 460 mm genişliğindedir. Eksenel yükün düzgün bir şekilde dağılması için yükölçer ile numune arasına da 200 mm × 300 mm enkesitli 20 mm et kalınlığında çelik levha kullanılmıştır. Deney düzeneği şematik olarak Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Deney Düzeneğinin Genel Görünümü

Eksenel yük düzeneğinin daha rahat kurulabilmesi için yükölçer ve hidrolik krikoya uygun olabilecek şekilde bir sehpa tasarlanmıştır. Bu sehpa, yükölçer ve hidrolik krikonun numuneye tam ekseninden basmasını sağlamak için aşağı ve yukarı hareket edebilecek şekildedir. Sehpanın üst kısmında 5 mm et kalınlığında 250 mm ve 550 mm boyutlarında levha bulunmaktadır. Bu levhanın üzerinde Enerpac hidrolik krikon ve TML yükölçerin gövde çaplarına uygun parçalar yerleştirilmiştir. Sehpanın ayaklarını birbiri üzerinde hareket edebilen I100 ve L50.50.5 profilleri oluşturmaktadır ve bu ayaklar U160 profilleri üzerine kaynaklanmıştır. Deneyden önce eksenel yük istenen seviyeye getirildiğinde sehpa aşağıya indirilerek düzeneğe teması kesilmiştir. Hazırlanan sehpanın görünümü Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Sehpanın Görünümü

Bu çalışmada tüm numunelere 252 kN eksenel yük uygulanmıştır. Bu seviye, Bölüm 3’de Numune Tasarımı konusunda da açıklandığı gibi beton basınç dayanımı 14 MPa olan kolonun eksenel yük taşıma kapasitesinin %30’una karşı gelen değerdir. Elde edilen beton dayanımının amacı belirtildiği üzere 9.22 MPa olması sebebiyle uygulanan eksenel yük seviyesi %46 mertebesine erişmiştir. Elemanın basınç dayanımı ($0.85f_c$) düşünüldüğünde ise bu oran %54 seviyesine ulaşmıştır. Bu oran, deney gününe kadar numunenin kazandığı yaşa bağlı olarak değişmektedir. Örneğin beton yaşının 150 günü aşmasından sonra yapılan deneyler için uygulanan eksenel yük seviyesi yaklaşık olarak %31’dir. Deney esnasında uygulanan eksenel yük sabit tutulmaya çalışılmıştır. Değişen eksenel yük, hidrolik krika yardımıyla artırılarak ya da azaltılarak istenilen düzeye getirilmiştir.

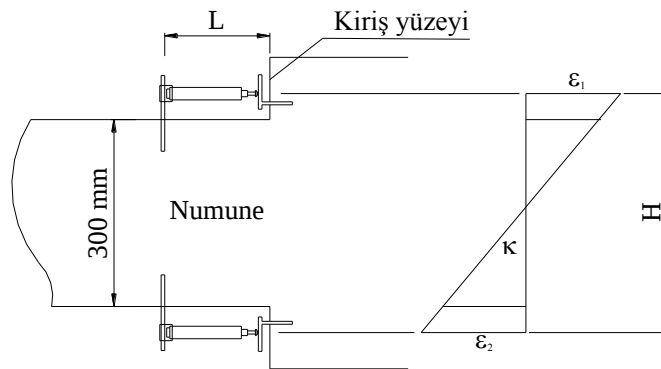
4.2. ÖLÇÜM SİSTEMİ

Ölçüm sistemi TML yerdeğiştirmeölçerler, TML YFLA-5 ve FLA-5 tipi şekildeğiştirmeölçerler ve 1000 kN kapasiteli TML yükölçerden oluşmaktadır. Bu ölçme cihazlarından gelen veriler TML ASW-50C veri çoğaltma kutusuna ardından TML TDS 303 veri toplayıcıya ulaşmaktadır. Toplanan veriler daha sonra işlenmek üzere bilgisayara aktarılmaktadır. Alt ve üst kat kolon sarılma bölgelerinde ortalama kesit eğriliklerini belirleyebilmek üzere 150 mm ve 300 mm ölçüm boylarında toplam 12 adet yerdeğiştirmeölçer yerleştirilmiştir. Orijinal numunelerde CDP25 tipi

yerdeğiştirmeölçer kullanılırken, güçlendirilmiş numunelerde ölçüm kapasitesi daha büyük olan CDP50 tipi yerdeğiştirmeölçer kullanılmıştır. Alt kat kolonu ölçüm bölgesine, 150 mm ölçüm boyunda H11, H12, H13, H14 ve 300 mm ölçüm boyuna H15, H16 numaralı yerdeğiştirmeölçerler, aynı şekilde üst kat kolonu ölçüm bölgesine, 150 mm ölçüm boyunda H21, H22, H23, H24 ve 300 mm ölçüm boyunda H25, H26 numaralı yerdeğiştirmeölçerler kullanılmıştır. Bu yerdeğiştirmeölçerler betona 8 cm gömülen 10 mm çapında bulonlara mesnetlendirilmiştir. Ölçüm boyları belirlenirken enine ve boyuna donatının konumlarına dikkat edilmiştir. Ayrıca enine donatının bulunduğu bölgelerde muhtemel çatlakların deneyin ilerleyen adımlarında açılarak alınacak ölçümleri etkilemesinden kaçınmak için bulonlar iki enine donatı arasına getirilmiştir.

Eğrilikler belirlenirken eğilme öncesi düzlem olan kesitlerin eğilme sonrasında da düzlem kaldığı kabulü yapılmıştır. Yerdeğiştirme ölçümlerinden yararlanarak ortalama eğriliğin hesaplanma şekli Şekil 4.5’de şematik olarak gösterilmiştir.

Şekil 4.5’de ε_1 ve ε_2 numunenin kiriş yüzeyinden 150 ve 300 mm uzunluğundaki ölçüm bölgelerinde, kesitin üst ve altında yerdeğiştirmeölçerlerin bulunduğu seviyede ortalama fiktif şekildeğiştirmeler, κ ise bu şekildeğiştirmeler yardımı ile belirlenen ortalama eğrilik değeridir. 150 mm ölçüm boyundan alınan şekildeğiştirmeler bu ölçüm boyunda iki şekildeğiştirmeölçer bulunduğundan ortalaması alınarak hesaplanmıştır. 300 mm’den alınan ölçümlerde ise bir şekildeğiştirmeölçer kullanılmıştır. ε_1 , ε_2 ve κ (4.1), (4.2) ve (4.3) bağıntıları ile hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 Ortalama Eğriliğin Belirlenmesi

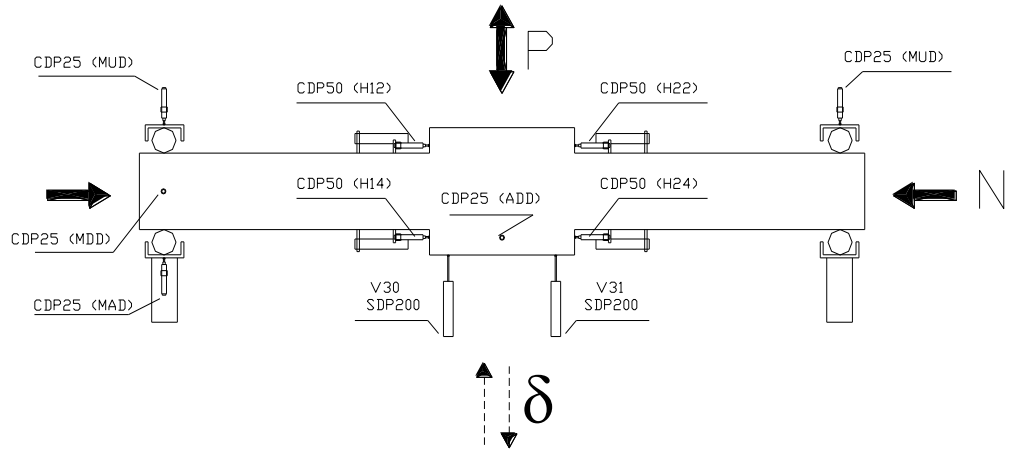
$$\varepsilon_1 = \frac{\left[\frac{H11 + H12}{2} \right]}{150} \quad \varepsilon_1 = \frac{H15}{300} \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\left[\frac{H13 + H14}{2} \right]}{150} \quad \varepsilon_2 = \frac{H16}{300} \quad (4.2)$$

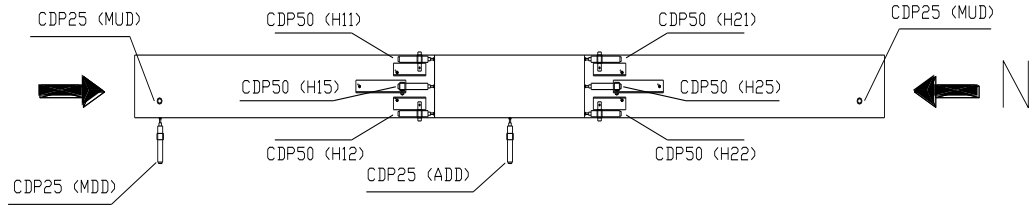
$$\kappa = \frac{|\varepsilon_1| + |\varepsilon_2|}{H} \quad (4.3)$$

Bu bağıntılarda H11, H12, H13 ve H14, 150 mm ölçüm boyu için kullanılan yerdeğiştirmeölçerler tarafından ölçülen yerdeğiştirmeler (mm), L ölçüm bölgesi uzunluğu (mm), H ise ε_1 ve ε_2 şekildeğiştirmelerinin belirlendiği noktalar arasındaki mesafedir. H mesafesinin belirlenebilmesi için yerdeğiştirmeölçerlerin kesit yüzünden mesafeleri ve L boyları ayrı ayrı ölçülmüştür. Yukarıdaki bağıntılar kullanıldığında eğrilik 1/mm biriminde elde edilir.

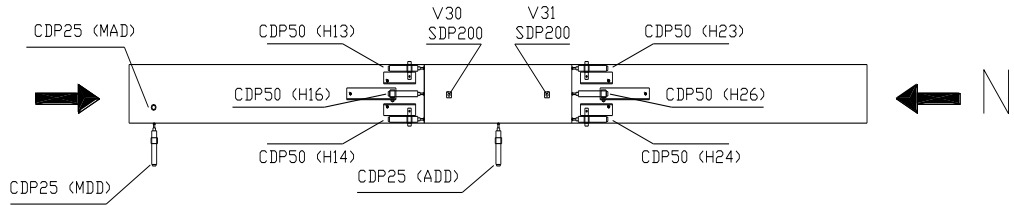
Deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirildiğinden, numunenin orta noktasının yaptığı düşey yerdeğiştirme kontrol yerdeğiştirmesi olarak esas alınmıştır. Bu amaçla numunenin alt yüzüne orijinal numunelerde SDP200 tipi V31, güçlendirilmiş numunelerde düşey konumda V30 ve V31 yerdeğiştirmeölçeri yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinin sağlıklı olarak kurulup kurulmadığını ve yüklemenin sağlıklı olarak sürdürülüp sürdürülmediğinin kontrol edilmesi amacı ile ilave yerdeğiştirmeölçerler kullanılmıştır. Düzlem dışı hareketin kontrolü için deney düzeneğinden bağımsız çerçeveler kullanılarak numune açıklık ortasına ve sol mesnette CDP25 veya CDP50 yerdeğiştirmeölçerler kullanılmıştır. Mesnetlerin düşey yönde hareketinin kontrolü için ise sol mesnetin altına ve üstüne ve sağ mesnetin üstünde CDP25 veya CDP50 yerdeğiştirmeölçerleri kullanılmıştır. Ölçüm sistemini şematik olarak Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de sunulmuştur. Deneylerde kullanılan yerdeğiştirmeölçerlerin özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Yerdeğiştirmeölçerlerin Önden Görünümü



Şekil 4.7. Yerdeğiştirmeölçerlerin Üstten Görünümü



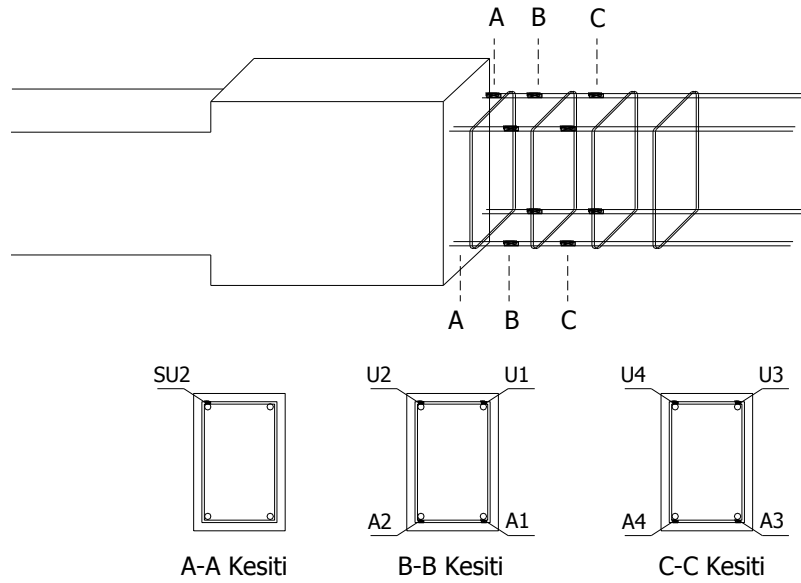
Şekil 4.8. Yerdeğiştirmeölçerlerin Alttan Görünümü

Tablo 4.1 Yerdeğiştirmeölçerlerin Özellikleri

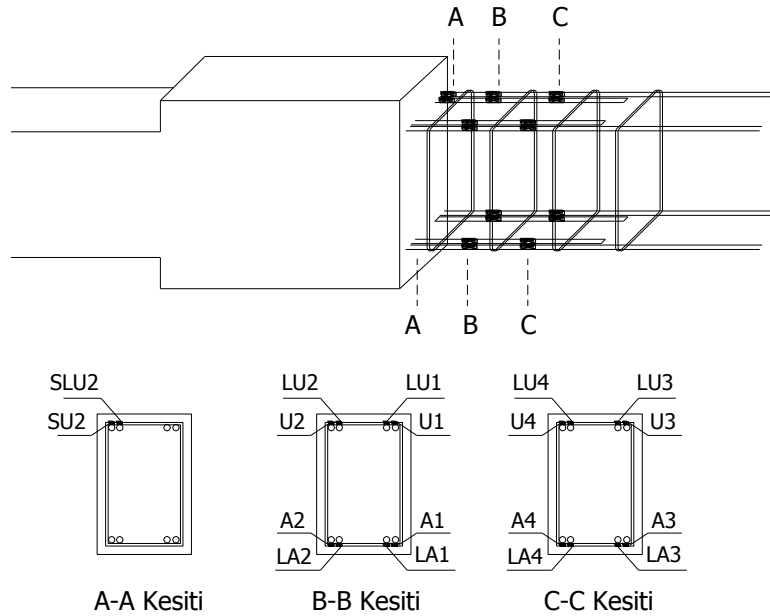
İsim	Cins (TML)	Kapasite (mm)	Hassasiyet 10^{-6} (µs/mm)	Yer , doğruItu , amaç
H11	CDP50	50	200	Alt kolon üst yatay- eğrilik (150 mm)
H12	CDP50	50	200	Alt kolon üst yatay- eğrilik (150 mm)
H13	CDP50	50	200	Alt kolon alt yatay- eğrilik (150 mm)
H14	CDP50	50	200	Alt kolon alt yatay- eğrilik (150 mm)
H15	CDP50	50	200	Alt kolon üst yatay- eğrilik (300 mm)
H16	CDP50	50	200	Alt kolon alt yatay- eğrilik (300 mm)
H21	CDP50	50	200	Üst kolon üst yatay- eğrilik (150 mm)
H22	CDP50	50	200	Üst kolon üst yatay- eğrilik (150 mm)
H23	CDP50	50	200	Üst kolon alt yatay- eğrilik (150 mm)
H24	CDP50	50	200	Üst kolon alt yatay- eğrilik (150 mm)
H25	CDP50	50	200	Üst kolon üst yatay- eğrilik (300 mm)
H26	CDP50	50	200	Üst kolon alt yatay- eğrilik (300 mm)
V30	SDP200D	200	50	Orta kesit düşey – yükleme kontrol
V31	SDP200D	200	50	Orta kesit düşey – yükleme kontrol
MAD(sol)	CDP25	25	500	Sol mesnet alt düşey – düzenek kontrol
MUD(sol)	CDP25	25	500	Sol mesnet üst düşey – düzenek kontrol
MDD(sol)	CDP25	25	500	Sol mesnet düzlem dışı yatay
ADD	CDP25	25	500	Açıklık düzlem dışı yatay
MUD(sağ)	CDP25	25	500	Sağ mesnet üst düşey – düzenek kontrol

Donatıların şekildeğiştirmelerini belirlemek için iki farklı tipte (YFLA-5, FLA-5) şekildeğiştirmeölçer kullanılmıştır. İki tip şekildeğiştirmeölçer arasındaki en önemli fark YFLA-5 tipi şekildeğiştirmeölçerlerin yapıştırıldıkları donatıların akmasından sonra da sağıklı ve güvenilir sonuç vermesidir. YFLA-5 türü şekildeğiştirmeölçerler boyuna donatılara, FLA-5 türü şekildeğiştirmeölçerler enine donatılara yapıştırılmıştır. şekildeğiştirmeölçerlerin konumları tüm numuneler için aynıdır. Boyuna donatılara ilk şekildeğiştirmeölçer kiriş yüzünden yaklaşık 25 mm mesafeye diğerkleri bunu takip eden enine donatı aralıklarının orta noktalarına gelecek şekilde yapıştırılmıştır. Bindirmeli ekli numunelerde şekildeğiştirmeölçer, boyuna donatılara bindirme bölgesi içinde kalacak şekilde yapıştırılmıştır. Bu sayede filiz donatılarında ve ikinci katın donatılarındaki gerilmelerin dağılımının incelenmesine imkan sağılanmıştır. Enine donatılara yapıştırılan şekildeğiştirmeölçer ile de kesitte oluşacak genişleme kontrol edilmek istenmiştir. Sürekli donatılı numunelerde boyuna

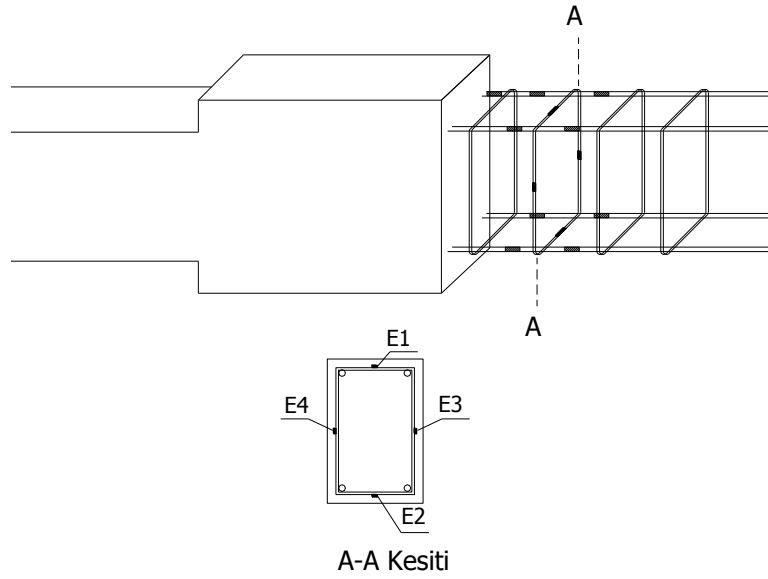
donatılarda toplam 9 adet, bindirmeli ekli numunelerde boyuna donatılarda toplam 18 adet şekildeğiştirmeölçerler bulunmaktadır. Enine donatılarda bulunan şekildeğiştirmeölçerler tüm numunelerde aynı konumda ve 4 adettir. Boyuna donatıları sürekli numunelere yapıştırılan şekildeğiştirmeölçerlerin konumları Şekil 4.9, bindirmeli ekli numunelere yapıştırılan şekildeğiştirmeölçerlerin konumları ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Tüm numuneler için konumları aynı olan enine donatılardaki şekildeğiştirmeölçerlerin konumları Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.9. Boyuna Donatıları Sürekli Numunelerdeki Şekildeğiştirmeölçerlerin Konumları



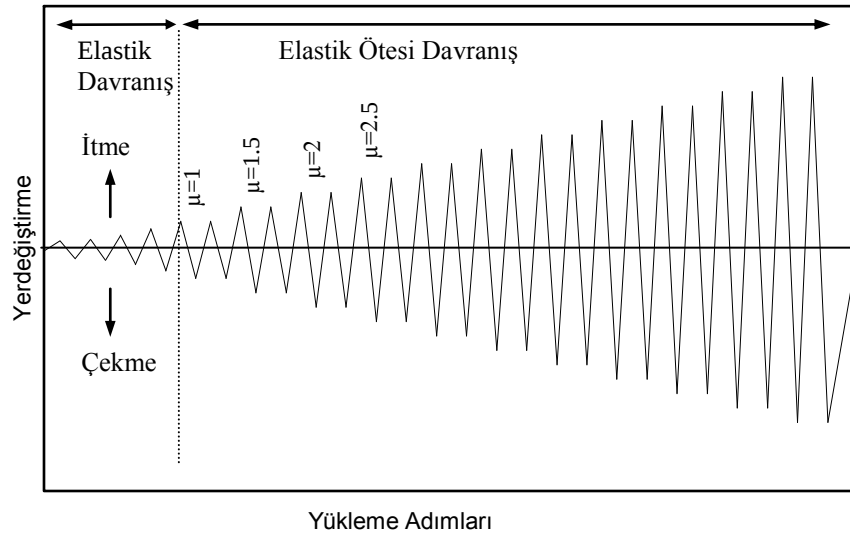
Şekil 4.10. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Numunedeki Şekildeğiştirmeölçerlerin Konumları



Şekil 4.11. Tüm Numunelerde Enine Donatılardaki Şekildeğiştirmeölçerlerin Konumları

4.3. YÜKLEME PATRONU

Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü statik yükleme şeklinde gerçekleştirilmiştir. Yükleme, adım adım gerçekleştirildiğinden her adımdan sonra numunenin davranışı göz önüne alınmış ve bir sonraki yükleme adımına karar verilmiştir. Bu yükleme adımları arasında numunenin hasar durumunun gözlenmesi için yeterli zaman olmasından dolayı hasar oluşumunun ve numunenin davranışının sağlıklı gözlenebilmesi mümkün olmuştur. Numuneye deprem yükünü yansıtmak üzere itme ve çekme yönünde tekrarlı yerdeğiştirmeler uygulanmıştır. Deneyde donatı akma şekildeğiştirmesine ulaşınca kadar öteleme oranı (ÖÖ) kullanılarak yükleme adımları belirlenmiştir. Donatılarda akmaya neden olan yerdeğiştirme seviyesi (akma yerdeğiştirmesi, δ_y) belirlendikten sonra, bu değerin katlarına göre (yerdeğiştirme süneklik oranı, μ) yükleme adımları tayin edilmiştir. Yerdeğiştirme süneklik değerine ulaşıldıktan sonra her yükleme adımı ikinci kez tekrarlanmıştır. Bunun amacı, aynı yerdeğiştirme değerine ikinci kez gelindiğinde numunede dayanım kaybı olup olmadığının anlaşılmasıdır. Yükleme patronu Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Yüklem Patronu

Deneyler orijinal numunelerde göçme oluşuncaya kadar devam etmiştir. Güçlendirilmiş numunelerde ise ölçüm sisteminin elverdiği ölçüde en büyük yerdeğiştirmelere gidilmiştir.

5. DENEY SONUÇLARI

5.1. GİRİŞ

Deprem etkisinde yapı elemanlarının yön değiştiren tekrarlı yüklere maruz kaldığı bilinmektedir. Betonarme elemanların, yön değiştiren tekrarlı yükler altında elastik ötesi şekildeğiştirmelere ulaşması sonucu elemanda dayanım ve rijitlik kaybı oluşmaktadır. Ayrıca ileri şekildeğiştirme seviyelerinde çevrim sıkışması görülebilmekte ve bundan dolayı yapının yutabildiği enerji miktarı da önemli ölçüde azalabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, orijinal ve sarılma bölgeleri enine doğrultuda CFRP kompozitler ile sarılarak güçlendirilmiş kolonların sabit eksenel yük ve yön değiştiren tekrarlı eğilme etkileri altında performansları incelenmiştir. Deneyler sırasında uygulanan düşey yük, MTS hidrolik veren tarafından uygulanan yük olup, verenin dahili yükölçeri ile belirlenen yük değeri kullanılmıştır. Yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilen deneylerde, numunenin orta noktasının yaptığı düşey yerdeğiştirme kontrol yerdeğiştirmesi olarak esas alınmıştır. Bunun için numunenin altına bir veya iki adet SDP200 tipi yerdeğiştirmeölçer yerleştirilmiştir. Deneysel yük-yerdeğiştirme ilişkileri, yukarıda sözü edilen veren dahili yükölçeri ile elde edilen yük değerleri ve numune orta noktasında ölçülen yerdeğiştirme değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Farklı kesitler için eğilme momenti değeri hesaplanırken, numunenin orta noktasından veren tarafından uygulanan yük ile birlikte eksenel kuvvet etkisi ile oluşan ikinci mertebe eğilme momentleri ile numune öz ağırlığı gözönüne alınmıştır. Kolon sarılma bölgelerinde 150 mm ve 300 mm ölçüm boylarında bulunan yerdeğiştirmeölçerler ve donatılara yapıştırılmış şekildeğiştirmeölçerlerden yararlanarak ortalama eğrilikler hesaplanmış, bu verilerden yararlanarak moment-eğrilik ilişkileri çizilmiştir.

5.2. ORİJİNAL KOLON DENEYLERİ

Mevcut yapılardaki yetersizlikleri yansıtmak üzere düşük beton basınç dayanımı ve yetersiz enine donatıya sahip orijinal kolon deneyleri iki grupta incelenmiştir. İlk

grupta boyuna donatıları sürekli olan numuneler, ikinci grupta ise boyuna donatıları yetersiz bindirmeli ekli numuneler test edilmiştir.

5.2.1. Boyuna Donatıları Sürekli Kolon Deneyleri

Çalışmanın ilk deneyi boyuna donatıları sürekli C-O-1 numunesidir. Deney, beton 28-90 yaşları arasında silindir beton basınç dayanımı 10.7 MPa iken yapılmıştır. Deneyin ilk hedef yerdeğiştirmesi olan 2.8 mm'ye (Öteleme Oranı=%0.25) gidilirken, alt kat ve üst kat kolon-kiriş birleşim kesitlerinde ilk eğilme çatlakları oluşmuştur. İlk eğilme çatlakları itmede $\delta=1.8$ mm'de yük 33 kN seviyesinde, çekmede ise $\delta=-1.0$ mm'de ve yük -33 kN iken kaydedilmiştir. Devam eden çevrimlerde eğilme çatlakları öncelikle kiriş yüzünden yaklaşık 150 mm'lik bölge içinde, ileri çevrimlerde ise kiriş yüzünden yaklaşık 300 mm'lik bölge içinde yoğunlaşmıştır. Donatı akma noktasına kadar alınan en büyük çatlak okuma değeri 0.5 mm'dir. Şekil 5.1'de numunede oluşan ilk çatlaklar (Öteleme Oranı=%0.25) ve akma yerdeğiştirmesine ulaşmadan önceki (Öteleme Oranı=%0.6) genel görüntüsü verilmiştir.

Donatı akma şekildeğiştirmesine ulaşıldıktan sonra her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Yerdeğiştirme sünekliğinin ilk itmesinde ($\mu=1/1$, $\delta=19$ mm) 66 kN yük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Bu seviyeden sonra özellikle kiriş yüzünden yaklaşık 150 mm'lik bölge içinde oluşan çatlakların genişlikleri artarken diğer çatlaklarda fazla gelişme olmamıştır. Yerdeğiştirme sünekliği 1.5 değerinin itme ve çekme çevrimlerinde beton basınç bölgelerinde ezilme başlamıştır. Deney boyunca ulaşılan en büyük yatay yük, $\delta=14.25$ mm hedefinin ilk itmesinde ($\mu=1.5/1$) okunan 68 kN'dur. Sonraki çevrimde hasar yoğunlaşmış ve yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinde yapılan ilk çekmede alt kat kolonunun basınç bölgesinde beton blok halde dökülmüştür. Bu çevrimin ikinci tekrarında hasarın artmasıyla alt kat kolonunun boyuna donatısının burkulduğu görülmüştür. Bu süneklik düzeyinde, betonda blok halde dökülme ve donatıda burkulma sonucu numune dayanımını büyük ölçüde kaybetmiştir. Şekil 5.2'de $\delta=19$ mm'de yapılan ikinci çekme çevrimi sonrası numunede oluşan hasarlar verilmiştir.

İtme yönünde yerdeğiştirme sünekliğinin 2.5 değerine gidilirken ($\delta=23.75$ mm) üst kat kolonu basınç bölgesinde boyuna donatılarda burkulma meydana gelmiş ve

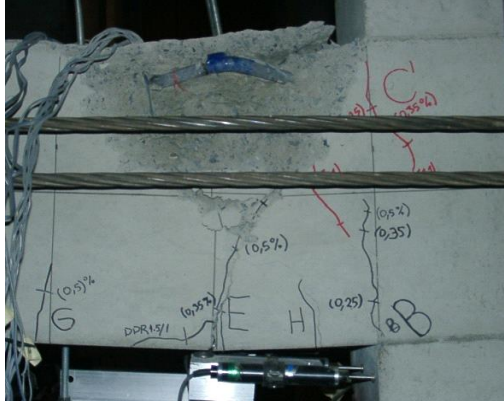
gözlenen büyük dayanım kaybı nedeniyle daha ileri düzeylere gidilememiştir. Numune, eğilme etkilerinin hakim olduğu bir davranış göstermiş, kesme kuvvetleri önemli bir hasara neden olmamıştır. Numunenin deney sonrasındaki görünümü Şekil 5.3’de verilmiştir. Düşey yükveren ve numunenin altına yerleştirilen düşey yerdeğiştirmeölçerden elde edilen yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 5.4’de verilmiştir.



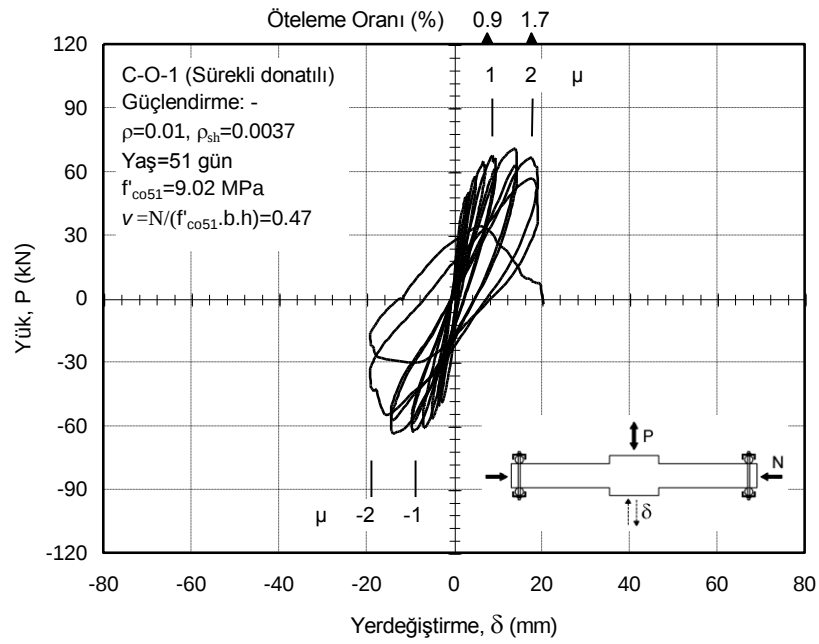
Şekil 5.1. Numunenin Öteleme Oranı=%0.25’de ve Öteleme Oranı=%0.6’da (akma yerdeğiştirmesine ulaşmadan önce) Genel Görüntüsü



Şekil 5.2. Yerdeğiştirme Sünekliğinin -2 değerinde ($\delta=-19$ mm) Yapılan İlk veİkinci Çekme Sonrası Genel Görüntü



Şekil 5.3. Numunenin Deney Sonrası Görünümü



Şekil 5.4. C-O-1 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

C-O-1 numunesinin davranışının daha kolay izlenebilmesi ve diğer numunelerle karşılaştırılması için deney sırasındaki davranışı özet olarak Tablo 5.1’de verilmiştir. Tabloda verilen yük değerleri ilgili yerdeğiştirme için yapılan ilk yükleme çevriminde ulaşılan değerlerdir.

Tablo 5.1. C-O-1 Numunesinin Davranışının Özeti

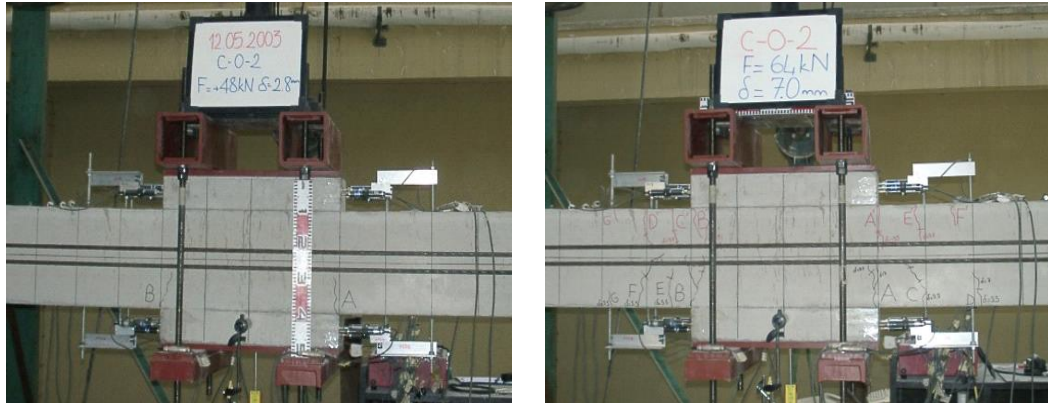
Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	± 2.8	47 /-49	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk çatlaklar ($\delta=1.8$ mm'de yük 33 kN seviyesinde, çekmede ise $\delta=-1.0$ mm'de ve yük -33 kN)
ÖÖ = %0.6	± 7.0	63/-60	300 mm'lik bölgede çatlaklar yoğun, üst ve alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde en büyük çatlak genişliği 0.5 mm ve 0.4 mm
$\mu = 1$	± 9.5	66/-62	150 mm'lik bölgedeki çatlaklarda gelişme, diğer çatlaklarda fazla gelişme yok
$\mu = 1.5$	± 14.25	68/-62	Betonda basınç bölgelerinde ezilme başlangıcı, karşılanan en büyük yatay yük 68 kN ($\mu = 1.5/1$)
$\mu = 2$	± 19	60/-40	İlk çekme çevriminde alt katta betonda blok halde kalkma, ikinci çevrimde ise donatıda burkulma
$\mu = 2.5$	-	-	Hedef yerdeğiştirmeye gidilirken üst katta donatıda burkulma ve büyük dayanım kaybı sonucu deney durdurulması

Çalışmada ikinci olarak boyuna donatıları sürekli C-O-2 numunesi denenmiştir. Deney, beton 28-90 yaşları arasındayken yapılmıştır. Deney günü silindir beton basınç dayanımı 11.93 MPa'dır. C-O-2 numunesinde, C-O-1 numunesine benzer şekilde deneyin ilk hedef yerdeğiştirmesi olan 2.8 mm'ye (Öteleme Oranı=%0.25) gidilirken; itmede $\delta=2.6$ mm'de ve 45 kN yük seviyesinde, çekmede ise $\delta=-1.3$ mm'de ve -39 kN yük seviyesinde alt kat ve üst kat kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları görülmüştür. $\delta=7.0$ mm'de yapılan (Öteleme Oranı=%0.6) itme ve çekme hedeflerinde basınç bölgelerinde ezilme belirtileri izlenmiştir. Eğilme çatlakları kiriş yüzünden yaklaşık 300 mm'lik bölge içinde yoğunlaşmıştır. Donatı akma noktasına kadar alınan en büyük çatlak okuma değeri 0.7 mm'dir. Şekil 5.5'de numunede oluşan ilk çatlaklar (Öteleme Oranı=%0.25) ve akma yerdeğiştirmesine ulaşmadan önceki (Öteleme Oranı=%0.6) genel görüntüsü verilmiştir.

Yerdeğiştirme sünekliğinin ilk itmesinde 69 kN yük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Yerdeğiştirme sünekliğinin -1 değerinin ilk çekmesinde ($\mu=-1/1$) alt kat kolonunun

basınç bölgesinde ezilme belirginleşmiştir. Bu noktadan itibaren hasar alt kat kolonunda yoğunlaşmaya başlamıştır. $\delta=14.25$ mm ($\mu=1.5/1$) hedefinin ilk itmesinde alt kat kolonunda ezilme artarken üst kat kolonunda ezilme yeni başlamıştır. Deney boyunca ulaşılan en büyük yatay yük taşıma seviyesi, $\delta=14.25$ mm hedefinin ilk itmesinde okunan 70 kN'dur. Numunenin alt ve üst katının $\mu=1.5/2$ değerindeki görünümü Şekil 5.6'da sunulmuştur.

$\delta=19$ mm ($\mu=2/1$) hedefinin ilk itmesine gidilirken, alt kat kolonunun ezilen kısmında beton blok halinde ayrılmış ve daha önceden ezilmiş olan kısımda beton büyük ölçüde dökülmüştür. Bu hedefte yatay yük 28 kN olarak ölçülmüştür. $\delta=-19$ mm ($\mu=-2/1$) hedefinde betonda şiddetli ve ani dökülmenin ardından kesitteki tüm boyuna donatılarda burkulma görülmüş ve yatay yük -5 kN mertebesine kadar düşmüştür. Numunenin deney sonrasında görünümü Şekil 5.7'de verilmiştir. Numuneye ait yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 5.8'de verilmiştir.



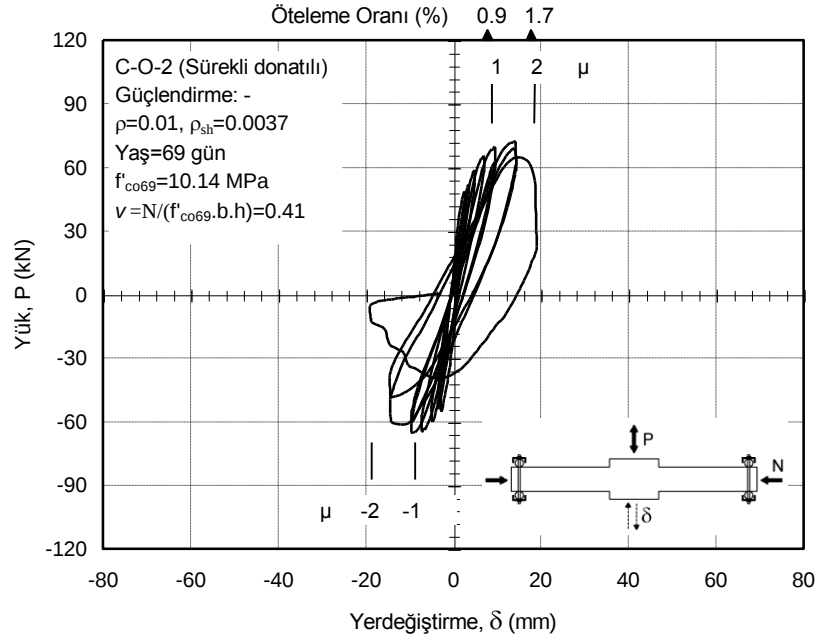
Şekil 5.5. Numunenin Öteleme Oranı=%0.25'de ve Öteleme Oranı=%0.6'da (akma yerdeğiştirmesine ulaşmadan önce) Genel Görüntüsü



Şekil 5.6. Yerdeğiştirme Sünekliğinin 1.5 değerinde Numunenin Üst ve Alt Katının Genel Görünümü



Şekil 5.7. Numunenin Deney Sonrası Görünümü



Şekil 5.8. C-O-2 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

C-O-2 numunesinin davranışının özeti Tablo 5.2’de verilmiştir. Tabloda verilen yük değerleri ilgili yerdeğiştirme için yapılan ilk yükleme çevriminde ulaşılan değerlerdir.

Tablo 5.2. C-O-2 Numunesinin Davranışının Özeti

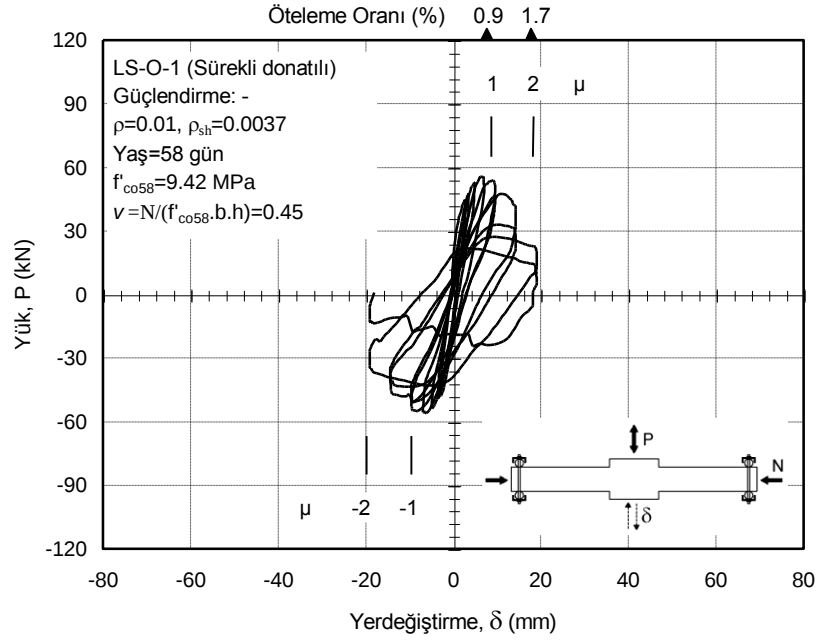
Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	±2.8	48/-54	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk çatlaklar (δ=2.6 mm’de ve 45 kN yük seviyesinde, çekmede ise δ=-1.3 mm’de ve -39 kN)
ÖÖ = %0.6	±7.0	64/-65	Alt katta betonda ezilme belirtileri, çekme çevriminde en büyük çatlak genişliği alt katta 0.7 mm ve üst katta 0.6 mm
μ = 1	±9.5	69/-64	İlk çevrimde alt katta betonda ezilme, ikinci çevrimde alt kat hasarında yoğunlaşma
μ = 1.5	±14.25	70/-56	Alt katta betonda ezilme artarken üst katta yeni ezilme başlangıcı, ilk itme çevriminde karşılanan en büyük yatay yük 70 kN
μ = 2	±19	28/-6	İlk itme çevriminde alt katta betonda blok halde kalkma, çekme çevriminde tüm kesitte donatıda burkulma

5.2.2. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Kolon Deneyleri

Boyuna donatıları bindirmeli ekli olan ilk numune LS-O-1'dir. Deney, beton 28-90 yaşları arasındayken yapılmıştır. Deney günü silindir beton basınç dayanımı 11.09 MPa'dır. Deneyin ilk çevrimlerinde, bindirmeli ekin bulunmadığı alt kat kolonunun kiriş yüzüne yakın 300 mm'lik bölgesinde daha fazla eğilme çatlağı oluşmuştur. Şekil 5.9'da numunenin alt ve üst katlarında oluşan çatlakların durumu gösterilmiştir, ($\delta=-3.5$ mm, Öteleme Oranı=%0.3). $\delta=7.0$ mm yerdeğiştirmesinden sonra (Öteleme Oranı=%0.6), bindirmeli ekli bölgede (üst katta) hasar yoğunlaşmaya başlamıştır.

$\delta=9.5$ mm ($\mu=1/1$) yerdeğiştirmesinin ilk itme ve çekme çevrimlerinde, alt ve üst kat kolonlarının basınç bölgelerinde hafif ezilme başlangıcı izlenmiştir. Yerdeğiştirme sünekliğinin ($\mu=1/1$) ilk itmesinde 52 kN yük taşıma kapasitesine ulaşılmıştır ve bu değer deney boyunca itme yönünde ulaşılan en büyük yük seviyesidir. Aynı süneklik düzeyinde yapılan ikinci çevrimde ($\mu=1/2$) bindirmeli ekli donatılarda sıyrılma başlangıcı olabileceğini gösteren boyuna donatı boyunca oluşan kılcal çatlaklar görülmüştür. Devam eden çevrimlerde ezilme artmış, betonda ufalanma oluşmuştur. Bindirme donatılarının uç bölgelerinde oluşan çatlakların genişlikleri ve uzunlukları artmış, bu bölgelerde beton örtüsü kabuk halde ayrılmaya başlamıştır. $\delta=-14.25$ mm yerdeğiştirmesinin ikinci çekme çevriminde ($\mu=-1.5/2$) bindirmeli ekin kirişe yakın ucunda beton örtüsü blok halde kalkmıştır.

Yerdeğiştirme sünekliğinin 2 düzeyinde yapılan itme çekme çevrimleri sonrasında, alt kat kolonda çatlaklar aksi yönde küçülürken, üst kat kolonunda hasar önemli ölçüde artmış ve dayanımda büyük düşüş oluşmuştur. Şekil 5.10'da $\mu=-1/2$ ve $\mu=2/2$ süneklik seviyelerinde numunenin üst kat kolonunun görünümü verilmiştir. Deneyin son çevriminde ($\mu=-2/2$) bindirmeli eklerin uçlarındaki hasarlı beton örtüsü tamamen ayrılmış ve donatı uçları görülmüştür. Bu nedenle yüklemeler sırasında açılan donatı uçlarının hareketi net bir şekilde izlenmiştir. Numunenin yatay yük taşıma kapasitesi -12 kN mertebesine kadar düşmüş ve deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda bindirmenin başladığı bölgelerde bulunan ilk enine donatıda şişme ve bindirmeli eklerin uçlarında dönme görülmüştür. Numunenin son durumuna ait fotoğrafları Şekil 5.11'de, yük-yerdeğiştirme ilişkisi ise Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. LS-O-1 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

LS-O-1 numunesinin davranışını özetleyen tablo aşağıda verilmiştir. Tabloda verilen yük değerleri ilgili yerdeğiştirme için yapılan ilk yükleme çevriminde ulaşılan değerlerdir.

Tablo 5.3. LS-O-1 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.3	±3.5	47/-48	Alt katta çatlak göreceli olarak daha fazla (bindirmeli ekin olmadığı)
ÖÖ = %0.6	±7.0	54/-56	Bu düzeyden sonra üst katta (bindirmeli ekin bulunduğu) çatlak gelişimi fazla, en büyük çatlak genişliği üst katta 0.9 mm, alt katta ise 0.6 mm
$\mu = 1$	±9.5	52/-53	Betonda ezilme başlangıcı, $\mu = 1/2$ çevriminde boyuna donatılara paralel çatlak
$\mu = 1.5$	±14.25	39/-44	Betonda filiz donatısının kirişe yakın uç bölgelerinde beton örtüsünün dökülmesi
$\mu = 2$	±19	20/-33	Alt katta çatlaklarda küçülme, üst katta (bindirmeli ekin bulunduğu) filiz donatısının hareketi, çok yoğun hasar ve büyük dayanım kaybı

Boyuna donatıları bindirmeli ekli olan ikinci numune LS-O-2'dir. Deney, beton yaşı 150 günü aştıktan sonra, silindir beton basınç dayanımı 13.41 MPa iken yapılmıştır. Deneyde, itmede ilk eğilme çatlağı $\delta=2.0$ mm'de yatay yük 40 kN iken, çekmede ilk eğilme çatlağı ise $\delta=-2.0$ mm'de yatay yük -50 kN kolon-kiriş birleşim kesitinde görülmüştür. Devam eden çevrimlerde, özellikle itme hedeflerinde eğilme çatlakları alt katta 300 mm, bindirmeli ekin olduğu üst katta ise 450 mm'lik bölge içinde yayılmıştır. Çekme hedeflerinde ise, çatlak yayılımı üst kata göre alt katta daha fazladır. $\delta=7.0$ mm (Öteleme Oranı=%0.6) yerdeğiştirmesinde, basınç bölgesinde bindirmeli donatılarda sıyrılma başlangıcı olabileceğini gösteren boyuna donatı boyunca oluşan, 17 cm uzunluğunda ve 0.4 mm genişliğinde yatay çatlak görülmüştür. Bu yerdeğiştirme düzeyinde yatay yük taşıma kapasitesi 62 kN'dur. Daha sonraki çevrimlerde bu değerin üzerine çıkılamamış ve yatay yük taşıma kapasitesinde azalma başlamıştır. Şekil 5.13'de numunenin $\delta=-4.9$ mm (Öteleme Oranı=%0.35) ve $\delta=7.0$ mm (Öteleme Oranı=%0.6) yerdeğiştirmelerindeki görünümü verilmiştir.

Yerdeğiştirme sünekliğinin ($\mu=\pm 1/1$) ilk itmesinde ve çekmesinde, alt ve üst kat kolonları basınç bölgelerinde ezilme başlangıcı görülmüştür. $\delta=\pm 14.25$ mm ($\mu=\pm 1.5/1$) yerdeğiştirme hedeflerinde hasar artmış ve ezilme belirginleşmiştir. Alt ve üst kolonlarının birleşim bölgesine yakın tüm çatlak genişlikleri yaklaşık olarak 2 kat büyümüştür. $\delta=14.25/2$ mm ($\mu=1.5/2$) ve $\delta=-14.25/2$ mm ($\mu=-1.5/2$) yerdeğiştirmelerinde yine basınç bölgelerinde yeni aderans çatlakları oluşmuştur. Yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinin ikinci itmesinde ($\mu=2/2$), üst kat kolonunun 150 mm'lik bölgesinde 0.9-3.0 mm genişliğinde yeni eğilme çatlakları oluşmuştur. Aynı değerde yapılan çekmede, filiz donatısının bittiği bölgede hasarlı betonun dökülmesiyle filiz donatısının ucu gözükmüş ve bu donatının çevrim sırasında beton içinde hareketi izlenmiştir. Numunenin $\delta=19$ mm yerdeğiştirme seviyesine ($\mu=\pm 2/2$) ait görünümleri Şekil 5.14'de verilmiştir.

Yerdeğiştirme sünekliğinin 2.5 değerinde yapılan çevrimlerde hasar oranı büyük ölçüde artmış, yatay yük taşıma kapasitesi itmede 30 kN, çekmede -43 kN değerine kadar düşmüştür. Deney 3 süneklik seviyesinde de devam ettirilmiş ($\delta=28.5$ mm) ve bu değerde yapılan ikinci itmede ($\mu=3/2$) üst kat kolonunun 300 mm'lik bölgesi

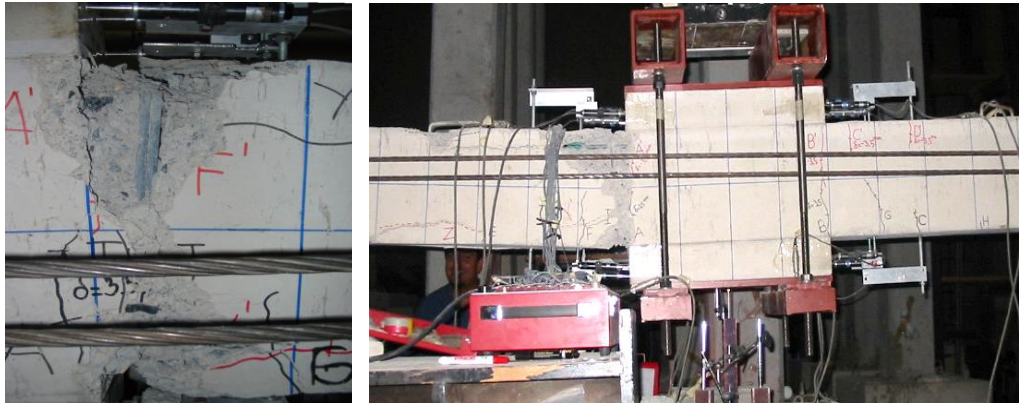
tamamen ezilmiştir ve ilk enine donatıda açılma görülmüştür. Deneyde bu anda yatay yük taşıma kapasitesi 3 kN olarak okunmuş ve deney sonlandırılmıştır. Numunenin deneyin son çevrimlerindeki görünümü Şekil 5.15’de verilmiştir. Numunenin yük-yerdeğiştirme ilişkisi Şekil 5.16’da verilmiştir. Tablo 5.4’de numunenin davranışının özeti verilmiştir.



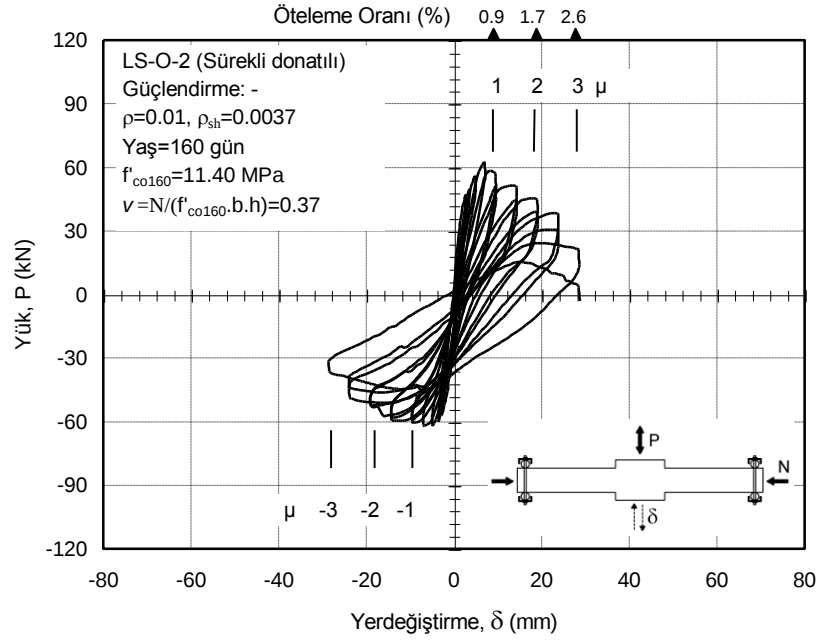
Şekil 5.13. Numunenin $\delta=-4.9$ mm ve $\delta=7.0$ mm Yerdeğiştirmelerindeki Görünümü



Şekil 5.14. Numunenin Yerdeğiştirme Sünekliğinin $\mu=\pm 2/2$ düzeyindeki Görünümleri



Şekil 5.15. Numunenin Deneyin Son Çevrimlerindeki ($\mu=\pm 3/1$) Görünümü



Şekil 5.16. LS-O-2 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Tablo 5.4. LS-O-2 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	±2.8	47/-57	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları (δ=2.0 mm'de yatay yük 40 kN iken, çekmede ise δ=-2.0 mm'de yatay yük -50 kN)
ÖÖ = %0.6	±7.0	62/-61	Beton basınç bölgesinde ilk aderans çatlağı, birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 1.4 mm, alt katta ise 0.3 mm
μ = 1	±9.5	56/-60	Betonda ezilme başlangıcı, yük taşıma kapasitesinde azalma
μ = 1.5	±14.25	50/-59	Beton basınç bölgelerinde belirgin ezilme, alt ve üst kat kolon-kiriş birleşim kesitindeki çatlaklarda 2 kat büyüme ve yeni aderans çatlakları
μ = 2	±19	45/-53	Üst kat kolonunda yeni eğilme çatlakları (0.9-0.3 mm), filiz donatısının çevrimler sırasında hareketi
μ = 2.5	±23.75	37/-49	Alt kat hasarı değişmezken üst kat hasarında önemli artma

$\mu = 3$	± 28.5	20/-36	Üst katta 300 mm'lik bölge içinde betonun tamamen ufalanma, ilk enine donatıda açılma, son çevrimde karşılanan yatay yük 3 kN
-----------	------------	--------	---

5.3. GÜÇLENDİRİLMİŞ KOLON DENEYLERİ

Mevcut yapılardaki yetersizliklerin yansıtıldığı orijinal kolon deneylerinin ardından güçlendirilmiş kolon deneyleri yapılmıştır. Numunelerin kolon sarılma bölgeleri CFRP kompozit ile enine doğrultuda 3 ya da 6 kat sarılarak güçlendirilmiştir. Bu grupta 4 adet numune bulunmaktadır. Boyuna donatıları sürekli olan iki numuneden biri 3 kat, diğeri 6 kat CFRP kompozit ile sarılarak güçlendirilmiştir. Boyuna donatıları bindirmeli ekli olan iki numune aynı şekilde biri 3 kat, diğeri 6 kat CFRP kompozit ile sarılarak güçlendirilmiştir. Ölçüm sistemi orijinal kolonlarda olduğu gibi düzenlenmiştir. Güçlendirilmiş kolonların yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme kapasitelerinin artacağı bilindiğinden ölçüm kapasitesi fazla olan yerdeğiştirmeölçerler kullanılmıştır. Tüm deneyler aynı yükleme patronuna maruz bırakılmış ve akma yerdeğiştirmesi için orijinal C-O-1 numunesi için elde edilen değer esas alınmıştır. Yük-Yerdeğiştirme, Yük-Donatı Şekildeğiştirmesi, Moment-Eğrilik ilişkileri ve deney sırasındaki hasar gözlemleri incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

5.3.1. Boyuna Donatıları Sürekli Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri

Boyuna donatıları sürekli, kolon sarılma bölgeleri 3 kat CFRP kompozit ile doğrudan sarılarak güçlendirilmiş R-C-C-3 numunesi, beton yaşı 150 günü aştıktan sonra, silindir beton basınç dayanımı 13.41 MPa iken test edilmiştir. Deneyde, itmede ilk eğilme çatlağı $\delta=2.0$ mm'de yatay yük 45 kN iken, çekmede ilk eğilme çatlağı ise $\delta=-2.10$ mm'de yatay yük -59 kN iken kolon-kiriş birleşim kesitinde görülmüştür. Kolon-kiriş birleşim kesitinde görülen çatlakların dışında deney boyunca deney bölgesinde başka çatlak görülmemiştir. Deneyde akma yerdeğiştirmesine ulaşıldığında ($\delta=9.5$ mm) yatay yük taşıma kapasitesi de 81 kN mertebesine erişmiştir. Devam eden çevrimlerde gözle görünen hasarda fazla değişiklik olmamıştır. Şekil 5.17'de numunenin $\delta=3.5$ mm ve $\delta=9.5/1$ mm'deki görünümüleri verilmiştir. Deney boyunca ulaşılan en büyük yatay yük olan 84 kN'a yerdeğiştirme sünekliğinin 1.5 değerinin ilk itmesinde ($\mu=1.5/1$) ulaşılmıştır.

Yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinde ($\delta=\pm 19$ mm) yapılan ilk çevrimde basınç bölgelerinde ezilme belirtileri görölmüş ve bu çatlaklar 2.5 süneklik düzeyinde ($\mu=\pm 2.5/1$) daha belirgin hale gelmiştir. Yerdeğiştirme sünekliğinin 3.5 değerine ($\delta=33.25$ mm) gelindiğinde beton basınç bölgelerinde ezilmelerin arttığı, kısım kısım betonda ufalanmaların olduğu görölmüştür. Bu aşamada çatlak genişliklerinin 4-8 mm arasında değiştiği kaydedilmiştir. 4.5 süneklik seviyesine ($\delta=42.75$ mm) ulaşıldığında karşılanan yatay yükün 65-70 kN arasında değiştiği, kolon-kiriş birleşim kesitinde oluşan hasarın biraz daha arttığı gözlenmiştir. Aynı süneklik seviyesinin ikinci çevriminde sağ ve sol mesnetlerde pas payı kabuk halinde atmıştır. şekil 5.18’de numunenin $\mu=2.5/1$ ve $\mu=-4.5/2$ süneklik seviyelerindeki görünümleri verilmiştir.

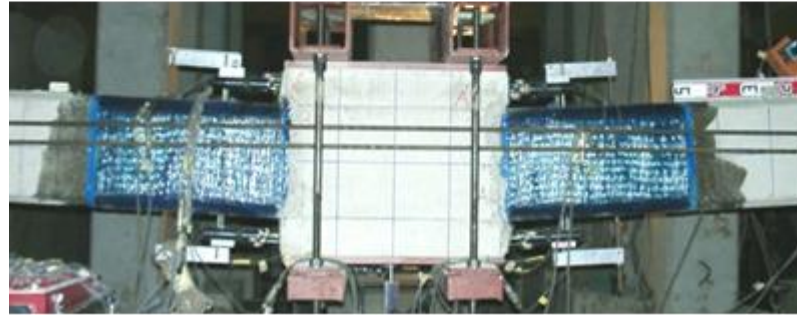
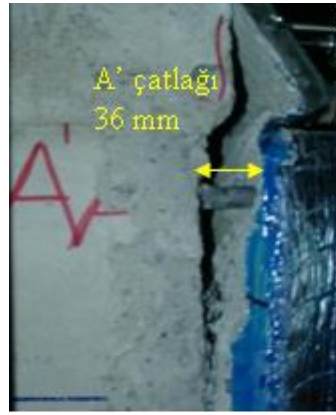
Devam eden çevrimlerde yatay yük küçük oranlarda düşmüş, hasar da küçük oranlarda artmıştır. Farklı yerdeğiştirme hedefleri arasında gözle görölür değişiklik izlenememiştir. Deney 6 süneklik seviyesinde ($\delta=57$ mm) yapılan ikişer çevrimden sonra durdurulmuştur. Deneyde son itme ve çekme çevrimlerinde okunan yatay yük değerleri sırasıyla 50 kN, -46 kN ve üst kat kolonu ön yüzünde, çekme çevriminde kaydedilen en büyük çatlak genişliği 36 mm’dir. Deney sonunda yük sıfırlandığında kolon-kiriş birleşim kesitinde hala 2-12 mm açılmaların olduğu görölmüştür. Mesnetler büyük oranda hasar görmüş ve boyuna donatı kancalarının beton içinde bıraktığı ize bakılarak bu donatıların mesnetlerde hareket ettiği anlaşılmıştır. şekil 5.19’da deneyin son çevrimine ait görünümler, şekil 5.20’de de yük-yerdeğiştirme grafiği verilmiştir.



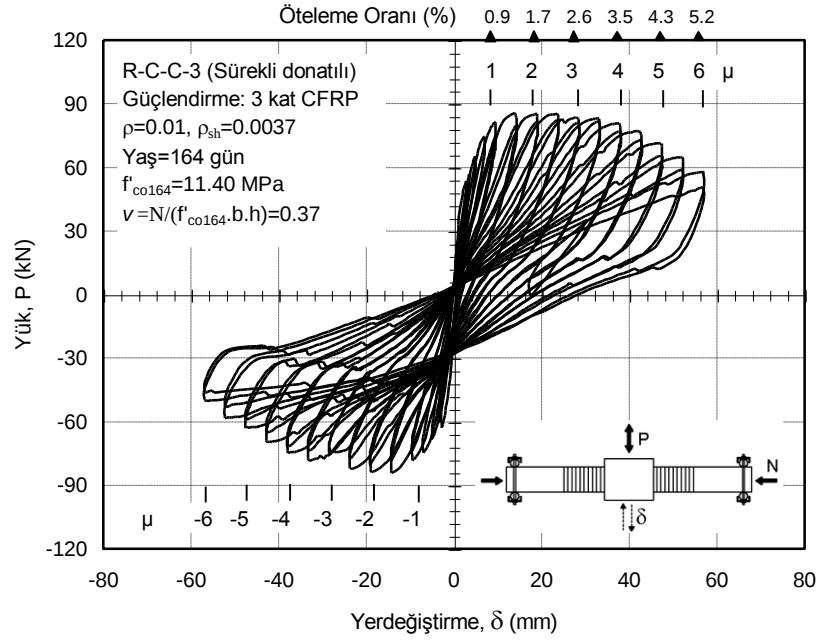
şekil 5.17. Numunenin $\delta=3.5$ mm ve $\delta=9.5/1$ mm Yerdeğiştirmelerindeki Görünümleri



Şekil 5.18. Numunenin $\mu=2.5/1$ ve $\mu=-4.5/2$ Süneklik Seviyelerindeki Görünümleri



Şekil 5.19. Deneyin Son Çevrimine ($\delta=\pm 57$ mm) Ait Görünümler



Şekil 5.20. R-C-C-3 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

R-C-C-3 numunesinin davranışının özeti aşağıda Tablo 5.5’de verilmiştir. Tabloda verilen yük değerleri ilgili yerdeğiştirme için yapılan ilk çevrimde elde edilen değerlerdir.

Tablo 5.5. R-C-C-3 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	±2.8	53/-62	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları (itmede δ=2.0 mm’de yatay yük 45 kN iken, çekmede ise δ=-2.10 mm’de yatay yük -59 kN)
ÖÖ = %0.6	±7.0	74/-74	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 0.9 mm, alt katta 0.6 mm
μ = 2	±19	84/-82	Ezilme başlangıcı, birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 6 mm, alt katta 3.5 mm
μ = 3.5	±33.25	81/-77	Ezilme bölgelerinde uflanma
μ = 4.5	±42.75	75/-69	Sağ ve sol mesnette paspayında kabuk halde kalkma
μ = 6	±57.0	57/-49	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 36 mm, alt katta 12 mm

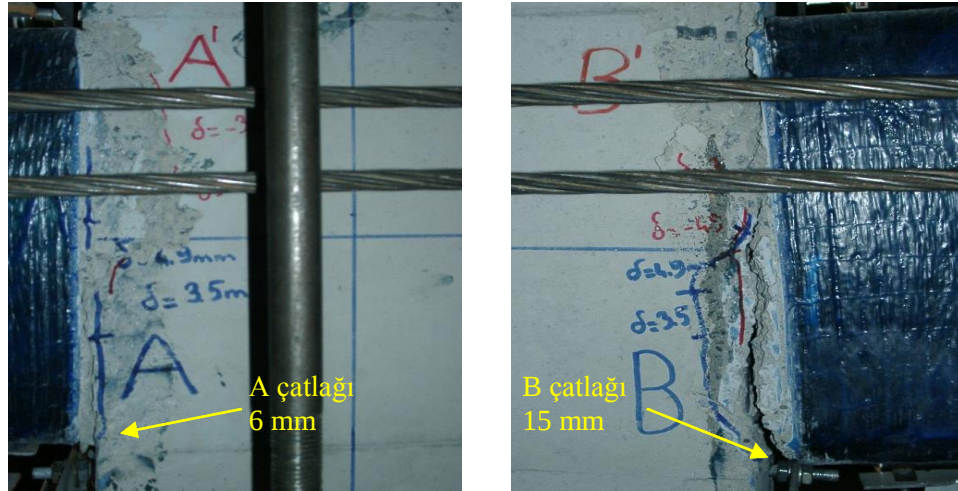
Güçlendirilmiş ikinci kolon deneyi, boyuna donatıları sürekli, sarılma bölgelerinin enine doğrultuda 6 kat CFRP kompozit ile sarılarak güçlendirilmiş R-C-C-6 numunesidir. Deney beton yaşı 150 günü aştıktan sonra, beton basınç dayanımı 13.41 MPa iken yapılmıştır. Bu deneyde yükleme patronunda bir değişiklik yapılmış ve çevrimlere ilk olarak itme yerine çekme yönünde başlanmıştır. Deneyde, çekmede ilk eğilme çatlakları $\delta=-2.6$ mm'de yatay yük -56 kN iken, itmede ilk eğilme çatlakları ise $\delta=1.9$ mm'de yatay yük 45 kN iken kolon-kiriş birleşim kesitinde görülmüştür. Daha önce yapılan güçlendirilmiş R-C-C-3 deneyinde olduğu gibi bu deneyde de kolon-kiriş birleşim kesitinde görülen çatlakların dışında deney boyunca başka çatlak görülmemiştir.

Yerdeğiştirme sünekliğinin 1 değerinde ($\delta=\pm 9.5$ mm) yapılan çevrimler sonrasında numune incelendiğinde kolon-kiriş birleşim kesitinde görülen çatlak genişliklerinin 0.8-1.3 mm arasında değiştiği görülmüştür. $\delta=14.25$ mm yerdeğiştirmesinde ($\mu=1.5/1$) yapılan ilk çekme ve itme çevrimlerinde alt kat kolonu basınç bölgelerinde ezilme başlamıştır. Deney süresince en büyük yatay yük taşıma kapasitesi yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinin ($\delta=-19/1$ mm) ilk çekmesinde -83 kN olarak ölçülmüştür. Aynı yerdeğiştirme için yapılan ikinci çekme çevriminde ($\mu=-2/2$) üst kat kolonu basınç bölgesinde de hafif ezilme belirtileri görülmüştür. Deney hasar küçük oranlarda artarak devam etmiştir. $\delta=-28.5/2$ mm yerdeğiştirme hedefine ($\mu=-3/2$) ulaşıldığında numunenin arka yan yüzlerinde mesnet bölgelerinde hasar oluşmuştur. Üst kat kolonu mesnet bölgesinde çatlak oluşurken, alt kat kolonu mesnet bölgesinde betonun kabuk atma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu hedeften bir sonraki adım olan $\delta=-33.25/1$ mm yerdeğiştirmesinde ($\mu=-3.5/1$) yapılan ilk çekme çevriminde numunenin ön yan yüzünde alt ve üst kolonların mesnet bölgelerinde hasar olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde beton örtüsü çekirdek betondan ayrılmıştır. Deney, yatay yük taşıma kapasitesinin yavaş yavaş düşmesi ve buna karşılık yukarıda tanımlanan hasarın artmasıyla devam etmiştir.

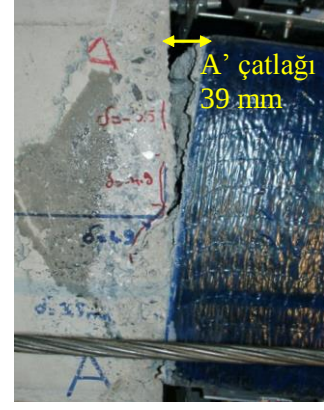
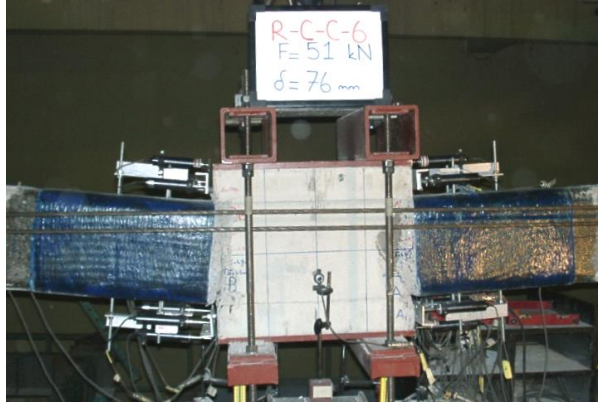
Yerdeğiştirme sünekliğinin 5.5 değerinde ($\delta=\pm 52.25$ mm) yapılan çevrimler sonrasında yatay yük yaklaşık olarak 60 kN okunmuştur. Çekme çevrimlerinde alt kat ve üst katlarda hasar durumu yakinken, itme çevrimlerinde alt katta hasarın yoğunlaştığı görülmüştür. İtme çevrimlerinde alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde

görülen çatlak genişlikleri 10-15 mm iken, üst katta 2-6 mm arasında değişmiştir. Şekil 5.21’de numunenin $\delta=52.25/1$ mm yerdeğiştirmesinde, üst ve alt kat kolon-kiriş birleşim kesitlerinden görünüm verilmektedir.

Deneyde önceden belirlenmiş olan son hedef $\delta=\pm 57$ mm ($\mu=6$) yerdeğiştirmesidir. Ancak yerdeğiştirmeölçerlerde hiç bir sorun yaşanmaması ve ölçüm boylarının yeterli olması sebebiyle $\delta=76$ mm ($\mu=8$) yerdeğiştirme hedefinde bir itme ve bir çekme çevrimi yapılmıştır. Yatay yük taşıma kapasitesinde önemli düşüş görülmemiş, ancak çatlak genişlikleri büyük oranda artmıştır. 6 süneklik seviyesinde üst kat ve alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan son çatlak değerleri 8, 16, 18 ve 19 mm iken 8 süneklik seviyesinde sırasıyla 28, 39, 37 ve 36 mm mertebesine çıkmıştır. Şekil 5.22’de numunenin $\delta=\pm 76$ mm yerdeğiştirmesinde, Şekil 5.23’de yük sıfırlandığında çekilen fotoğraflar, Şekil 5.24’de de yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. R-C-C-6 numunesini davranışının özeti aşağıda Tablo 5.6’da verilmiştir.



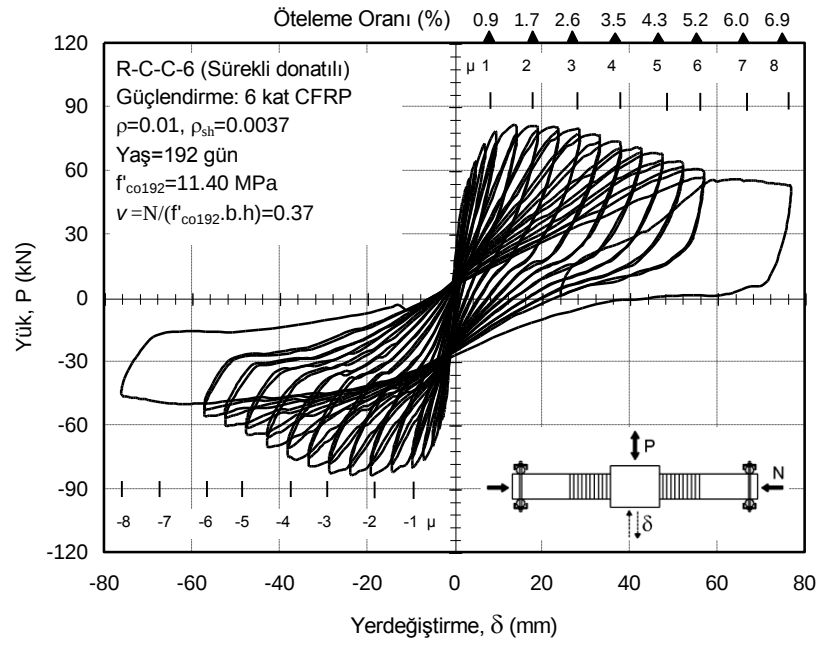
Şekil 5.21. Numunenin $\delta=52.25/1$ mm Yerdeğiştirmesinde Üst ve Alt Kat Kolonlarının Görünümleri



Şekil 5.22. Numunenin $\delta=\pm 76$ mm Yerdeğiştirmesindeki Görünümleri



Şekil 5.23. Numunenin Deney Sonrası ($F=0$) Değerindeki Görünümleri



Tablo 5.6. R-C-C-6 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	± 2.8	-57/51	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları (çekmede $\delta = -2.6$ mm'de yatay yük -56 kN iken, itmede ise $\delta = 1.9$ mm'de yatay yük 45 kN)
ÖÖ = %0.6	± 7.0	-76/72	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak alt katta 0.8 mm, üst katta 0.6 mm
$\mu = 2$	± 19	-83/79	Alt katta kolon-kiriş birleşim kesitinde ($\mu = 1.5/1$) daha önce başlayan ezilme başlangıcı üst katta da görüldü
$\mu = 3$	± 28.5	-81/77	Sağ ve sol mesnetlerde paspayında kabuk halde kalkma
$\mu = 6$	± 57	-55/59	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak alt katta 19 mm, üst katta 18 mm
$\mu = 8$	± 76	-45/50	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 39 mm, alt katta 36 mm

5.3.2. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri

Boyuna donatıları bindirmeli ekli, kolon sarılma bölgeleri enine doğrultuda 3 kat CFRP kompozit ile sarılarak güçlendirilmiş R-LS-C-3 numunesi, beton yaşı 150 günü aştıktan sonra test edilmiştir. Deneyin ilk hedefi olan $\delta = 2.8$ mm'ye (Öteleme Oranı=%0.25) gidilirken $\delta = 2.0$ mm'de yatay yük 40 kN iken ilk eğilme çatlağı kolon-kiriş birleşim kesitinde görülmüştür. $\delta = 7.0$ mm (Öteleme Oranı=%0.6) yerdeğiştirmesinde yapılan itme ve çekme çevrimlerinde üst kat kolonu basınç bölgelerinde ezilme başlangıcı görülmüştür. Aynı yerdeğiştirme hedefinde yapılan çekmede deney boyunca ulaşılan en büyük yatay yük olan -62 kN mertebesine erişilmiştir.

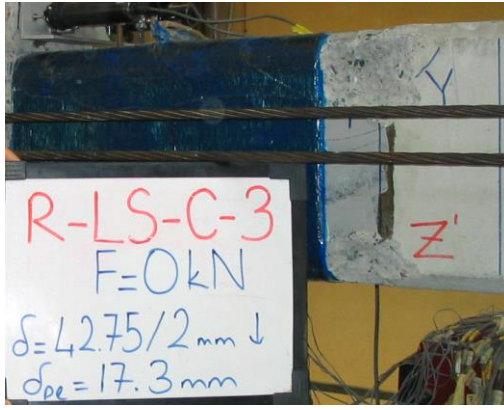
Akma yerdeğiştirmesine kadar alt kat ve üst kat kolon-kiriş birleşim kesitinde görülen çatlak genişlikleri yakın değerlerdeyken, bu hedefte yapılan ilk itmede ($\delta = 9.5/1$ mm) üst kat kolon-kiriş birleşim kesitindeki çatlak genişlikleri alt kata göre 4-8 kat büyümüştür. Yerdeğiştirme sünekliğinin -1 değerinde ($\delta = -9.5/1$ mm) yapılan ilk çekme çevrimi sonrasında alt kat kolonunda da ezilme başladığı görülmüştür. Bu

yerdeğiştirme hedefinde yatay yük taşıma kapasitesi korunurken devam eden adımlarda dayanım kaybı oluşmaya başlamıştır. Deneyde bindirmenin bulunduğu üst kat kolonunda $\delta=-14.25/2$ mm yerdeğiştirme hedefine ($\mu=-1.5/2$) ulaşıldığında boyuna donatılar doğrultusunda yatay çatlak görölmüştür. Numunenin ön yüzünde basınç bölgesinde bulunan filiz donatısının ucunda görölen çatlakğın genişliğı 0.4 mm ölçölmüştür. Bir sonraki hedef yerdeğiştirme olan $\delta=19/1$ mm'de ($\mu=2/1$) numunenin arka yüzünde de basınç bölgesinde bulunan filiz donatısının ucunda yatay çatlak görölmüştür. Yerdeğiştirme sünekliğinin 2.5 değ erinde ($\delta=23.75$ mm) yapılan ilk çekme ve ikinci itme çevrimleri sonrasında diğ er filiz donatılarının ucunda da beklenen yatay çatlaklar görölmüştür. Yeni yatay çatlaklar diğ erleri gibi filiz donatısı basınç bölgesinde iken oluşmuştur. Devam eden çevrimlerde, üst kat kolonu kolon-kiriş birleşim kesitinde oluş an çatlaklar gelişirken alt kat kolonunda hasar fazla değışmemiştir. $\delta=\pm 38$ mm yerdeğiştirme hedefinde ($\mu=\pm 4$) yapılan çevrimlerden sonra numune incelendiğinde alt katta çatlak genişlikleri küçölürken (0.3-0.9 mm) üst katta 13-17 mm mertebelerine ulaştığı görölmüştür. şekil 5.25'de numunenin $\mu=4/1$ süneklik düzeyinde çekilen fotoğ rafları bulunmaktadır.

Deneyde bir sonraki adım olan $\delta=42.75$ mm hedefinde filiz donatılarının uç bölgelerinde oluş an hasar artmış ve filiz donatılarının uç bölgelerinde beton örtüsü dökölmüştür. Dökölen beton nedeni ile filiz donatılarının ucu gözlemlenebilmiştir. Yerdeğiştirme sünekliğinin 4.5 değ erinde ($\delta=42.75/2$ mm) yapılan ikinci itme hedefinden dönerken yatay yük 0 kN, plastik yerdeğiştirme $\delta=17.3$ mm iken yükleme kısa bir süre için durdurulmuştur. Bu anda filiz donatısında 8 mm sıyrılma ölçölmüştür. şekil 5.26'da bu duruma ait görönümler verilmiştir. 5 süneklik seviyesine ($\delta=47.5$ mm) gelindiğinde üst kat kolon-kiriş birleşim kesitinde oluş an açılma 18- 21 mm civarlarındadır. Bu yerdeğiştirme hedefinde filiz donatılarında 18-20 mm sıyrılma ölçölmüştür. Yerdeğiştirme sünekliğinin 5.5 değ erinde ($\delta=\pm 52.25$ mm) yapılan çevrimlerden sonra yerdeğiştirmeölçerler güvenilirliğini kaybetmesi sebebiyle deney sonlandırılmış tir. şekil 5.27'de numunenin deney sonunda yük sıfırlandıktan sonra çekilmiş fotoğ rafları ve şekil 5.28'de yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Tablo 5.7'de numunenin davranış ının özet i verilmiştir.



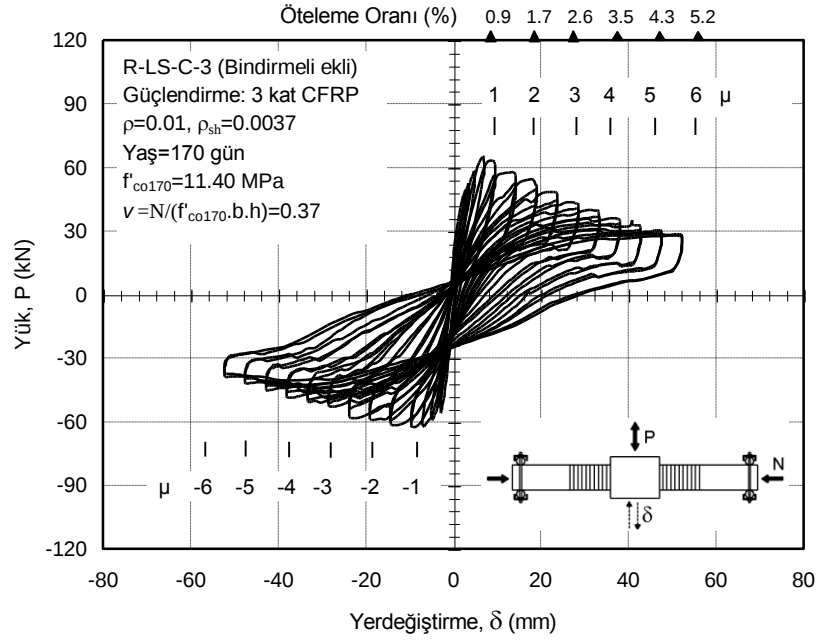
Şekil 5.25. Numunenin $\mu=4/1$ Değerinde Alt ve Üst Kat Görünümleri



Şekil 5.26. Numunenin $\mu=4.5/2$ Değerinden Dönüldüğü Andaki Görünümleri



Şekil 5.27. Numunenin Yük Sıfırlandıktan Sonraki Görünümleri



Şekil 5.28. R-LS-C-3 Numunesine Ait yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Tablo 5.7. R-LS-C-3 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	±2.8	49/-56	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları (itmede $\delta=2.0$ mm'de yatay yük 40 kN)
ÖÖ = %0.6	±7.0	65/-62	Üst katta kolon-kiriş birleşim kesitinin basınç bölgesinde ezilme başlangıcı, kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 0.8 mm, alt katta 0.3 mm
$\mu = 1.5$	±14.25	56/-61	Üst kat kolonunda CFRP sargının bittiği kesitte donatı sıyrılması nedeni ile boyuna donatı doğrultusunda yatay çatlak
$\mu = 2.5$	±23.75	47/-57	Tüm filiz uçlarında donatı sıyrılması kaynaklı çatlaklar
$\mu = 4.5$	±42.75	32/-45	Üst katta yoğun hasar, filiz donatısının hareketi
$\mu = 5.5$	±52.25	28/-39	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 21 mm, alt katta 0.9mm

Bu grubun ikinci deneyinde, boyuna donatıları bindirmeli ekli, 6 kat CFRP kompozit ile sarılarak güçlendirilen R-LS-C-6 numunesi test edilmiştir. Deney, beton yaşı 150 günü aştıktan sonra yapılmıştır. Deneyin ilk hedef yerdeğiştirmesi olan $\delta=2.8$ mm'ye (Öteleme Oranı=%0.25) gidilirken itmede $\delta=2.39$ mm'de, çekmede $\delta=-2.34$ mm'de kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları görölmüştür. $\delta=7.0$ mm (Öteleme Oranı=%0.6) yerdeğiştirmesinde 74 kN yatay yük taşıma kapasitesine erişilmiştir. Deneyde bu adımdan sonra yatay yük taşıma kapasitesinde düşme başlamıştır. Yerdeğiştirme sünekliğinin 1 değerinde ($\delta=-9.5/1$ mm) yapılan ilk çekme sonrasında kolon-kiriş birleşim bölgesinde kiriş yüzeyinde ezilme başlangıcı görölmüştür. Bu yerdeğiştirme hedefine kadar alt kat ve üst kat kolon-kiriş birleşim kesitinde oluşan çatlakların gelişimi yakinken, bu adımda üst katta oluşan çatlaklar büyük ölçüde genişlemiştir. Alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan çatlak genişlikleri 0.3-0.7 mm iken, üst katta 0.9-2.0 mm arasında değiştiği görölmüştür.

Yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinde hasar biraz daha artmış, kolon-kiriş birleşim kesitinin basınç bölgesinde ezilmeler belirgin hale gelmiştir. Aynı yerdeğiştirme düzeyinde ($\delta=-19/2$ mm) yapılan ikinci çekme sonrasında üst katta numunenin ön yüzünde, filiz donatısının ucunda beklenen yatay çatlak oluşmuştur. Daha önce yapılan boyuna donatıları bindirmeli ekli deneylerde olduğu gibi bu deneyde de yatay çatlak filiz donatısı basınç bölgesindeyken meydana gelmiştir. Şekil 5.29'da $\mu=\pm 2$ değerine ait fotoğraflar verilmiştir. 2.5 süneklik seviyesinde ($\delta=23.75/1$ mm) yapılan ilk itmede numunenin arka yüzünde aynı şekilde yatay çatlak görölmüştür.

$\delta=\pm 38$ mm yerdeğiştirme hedefine ($\mu=\pm 4$) gelindiğinde hasar artmıştır. Alt ve üst katta kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ezilen betonda ufalanma, filiz donatılarının uç bölgelerinde betonda kabuk halinde kalkma ve dökölmeler gözlenmiştir. Kolon-kiriş birleşim kesitindeki açılmalar üst katta 13-16 mm, alt katta ise 0.3-0.5 mm civarlarında okunmuştur. Şekil 5.30'da $\mu=\pm 4$ yerdeğiştirme sünekliğine ait fotoğraflar verilmiştir. Yerdeğiştirme sünekliğinin 4.5 değerinde ($\delta=42.75/1$ mm) yapılan ilk itme çevriminde, filiz donatısında 14 mm sıyrılma ölçölmüştür. Devam eden çevrimlerde hasar giderek artmıştır. Numunenin ön yüzünde kirişin, kolon-kiriş birleşim kesitine yakın ilk iki enine donatısı betonun ufalanıp dökölmesiyle açığa çıkmıştır. Deney ± 5.5 süneklik seviyesinde ($\delta=\pm 52.25$ mm) yapılan çevrimlerden sonra durdurulmuştur. Şekil 5.31'de numunenin deney sonunda yük sıfırlandıktan

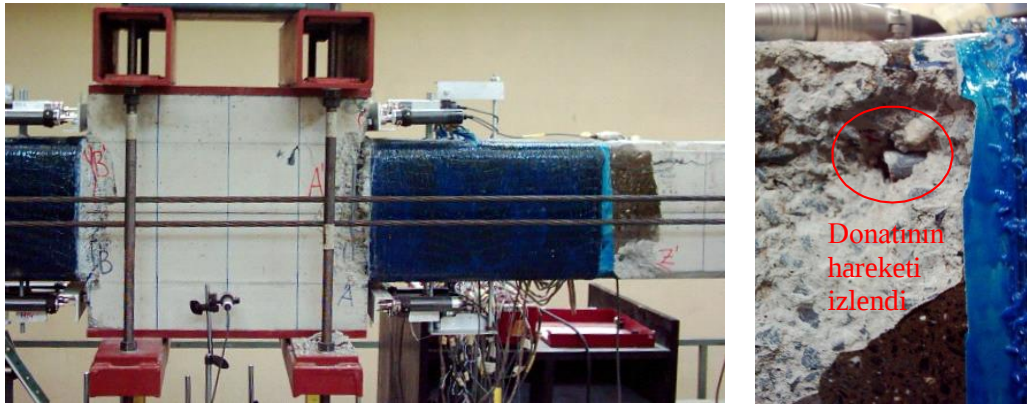
sonra çekilmiş fotoğrafları ve Şekil 5.32’de yük-yerdeğiştirme grafiği verilmiştir. Tablo 5.8’de numunesinin davranışının özeti verilmiştir.



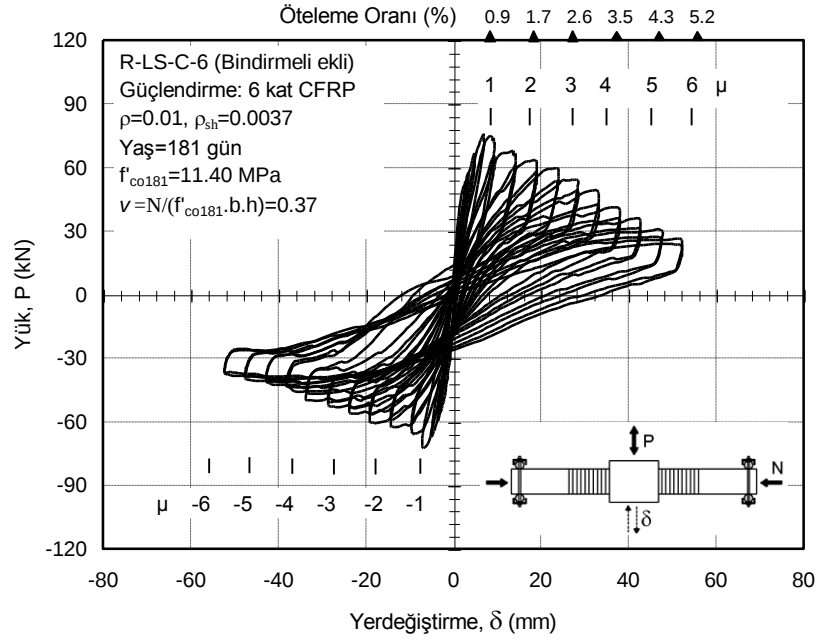
Şekil 5.29. Numunenin $\mu=2/1$ ve $\mu=-2/2$ Değerindeki Görünümleri



Şekil 5.30. Numunenin $\mu=-4/2$ ve $\mu=4/2$ Değerindeki Görünümleri



Şekil 5.31. Numunenin Yük Sıfırlandıktan Sonraki Görünümleri



Şekil 5.32. R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Tablo 5.8. R-LS-C-6 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	±2.8	53/-55	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları (itmede $\delta=2.39$ mm'de, çekmede $\delta=-2.34$ mm'de)
ÖÖ = %0.6	±7.0	74/-71	Yatay yükte düşme başlangıcı, kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 0.7 mm, alt katta 0.4 mm
μ = 1	±9.5	71/-60	Ezilme başlangıcı, üst kat çatlaklarında belirgin gelişme
μ = 2.5	±23.75	58/-55	Tüm filiz uçlarında donatı sıyrılması nedeni ile boyuna donatı doğrultusunda yatay çatlak
μ = 4	±38	40/-43	Üst katta hasar artımı, filiz donatısının uç bölgelerinde kabuk halde atma, dökülme
μ = 5.5	±52.25	25/-36	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak üst katta 26 mm, alt katta 0.6 mm

5.4. ONARILMIŞ VE GÜÇLENDİRİLMİŞ KOLON DENEYLERİ

Deprem etkisine maruz kalmış ve önemli ölçüde hasar görmüş yapıların onarılıp güçlendirildikten sonra performansının incelenmesi amacıyla daha önce orijinal olarak test edilen iki numune kullanılmıştır. Bu numunelerden birincisi boyuna donatıları sürekli olan C-O-1 numunesi, diğeri ise boyuna donatıları bindirmeli ekli olan LS-O-1 numunesidir. C-O-1 ve LS-O-1 numunelerinin önceki yüklemelerinde ciddi düzeyde hasar oluşmuş ve orijinal dayanımlarının sırasıyla %66 ve %79'unu kaybedene kadar deneylere devam edilmiştir. Yükleme patronu orijinal ve güçlendirilmiş kolonlar ile aynıdır. Numuneler, onarım işlemlerinin ardından CFRP kompozit ile enine doğrultuda 6 kat sarılarak güçlendirilmiştir. Ölçüm sistemi güçlendirilmiş kolonlarda olduğu gibi düzenlenmiştir. Yük-Yerdeğiştirme, Yük-Donatı Şekildeğiştirme, Moment-Eğrilik ilişkileri ve deney sırasında yapılan hasar gözlemleri incelenerek değerlendirmeler yapılmıştır.

5.4.1. Boyuna Donatıları Sürekli Onarılıp Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri

Onarılıp güçlendirildikten sonra denenen ilk numune, boyuna donatıları sürekli, sarılma bölgeleri enine doğrultuda 6 kat CFRP kompozit ile sarılarak güçlendirilmiş olan R-R-C-C-6 numunesidir (C-O-1 numunesinin onarılıp güçlendirilmesi ile elde edilmiştir). Beton yaşı 150 günü aşıttan sonra, silindir beton basınç dayanımı 13.41 MPa iken test edilmiştir. Deneyde, itme yönünde ilk eğilme çatlak $\delta=2.3$ mm yerdeğiştirme düzeyinde yatay yük 44 kN iken, çekme yönünde ise ilk eğilme çatlak $\delta=-2.7$ mm yerdeğiştirme düzeyinde yatay yük -56 kN iken, üst kat kolonu ön yüzünde kolon-kiriş birleşim kesitinde görülmüştür. Deneyin ikinci hedef yerdeğiştirmesi olan $\delta=3.5$ mm'de (Öteleme Oranı=%0.3) yapılan çevrimler sonucunda diğer yüzlerde de ilk eğilme çatlakları oluşmuştur. Eğilme çatlakları genel olarak tamir harcı ile eski mevcut betonun birleştiği yerlerde oluşmuştur. Onarılıp güçlendirilen numunelerde de kolon-kiriş birleşim kesitinde görülen çatlakların dışında deney boyunca test bölgesinde başka çatlak görülmemiştir.

Akma yerdeğiştirmesinde ($\mu=1/1$) yapılan ilk çevrimde yatay yük itmede 79 kN çekmede ise -92 kN mertebesine erişmiştir. Yerdeğiştirme sünekliliğinin 1.5 değerinde ($\delta=-14.25$ mm) yapılan ilk çekmede basınç bölgesinde hafif ezilme belirtileri görülmüştür. Aynı hedefte yapılan ikinci çekme çevriminde alt kat

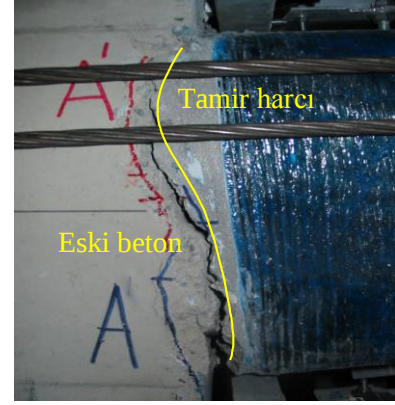
kolonunun üst yüzünde (çekme bölgesinde) FRP’de lifler arasında enine doğrultuda ayrılma oluşmuştur. Bir sonraki çevrimde ($\delta=19/1$ mm) alt kat kolonunun alt yüzünde (çekme bölgesinde) FRP’de enine doğrultuda ayrılma oluşmuştur. Aynı hedefte alt kat kolonu mesnet bölgesinde de FRP kompozitte hafif kabarma ve lifler arası ayrılma görülmüştür. Şekil 5.33’de $\delta=7.0$ mm yerdeğiştirme düzeyinde numunenin kolon-kiriş birleşim kesitinde tamir harcı ile eski beton arasında oluşan çatlaklar ve $\delta=-14.25/2$ mm yerdeğiştirme düzeyinde FRP’de oluşan lifler arası ayrılma verilmiştir.

Deneyde, yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinin ilk çevriminde en büyük yatay yük değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler itmede 91 kN, çekmede -97 kN’dur. Devam eden çevrimlerde hasar yavaş yavaş artarken, numunenin karşı koyabildiği yatay yük de yavaş yavaş azalmıştır. Yerdeğiştirme sünekliğinin 3 değerinde ($\delta=-28.5/1$ mm) yapılan ilk çekme çevriminde ezilme belirginleşmiştir. Bu adıma kadar liflerde gelişen ayrılmalar bu adımdan sonra gelişmemiş aksine küçülmüştür. Deneyde $\delta=-38$ mm yerdeğiştirmesine gelindiğinde ($\mu=-4/1$) ön yüze doğru düzlem dışı hareket artmış ve buna bağlı olarak betondaki ezilme arka yüzde artarken ön yüzde hasarda fazla değişim olmamıştır. Şekil 5.34’de numunenin $\mu=-3.5/2$ ve $\mu=-4.5/2$ değerlerinde çekilmiş fotoğrafları verilmiştir.

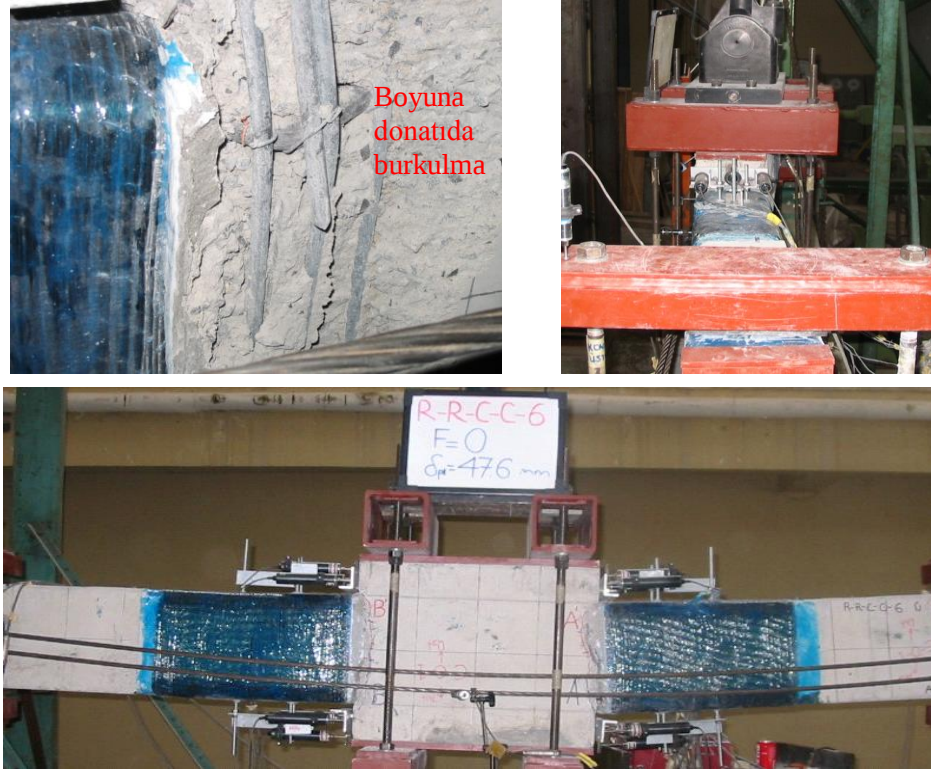
5 süneklik seviyesinde arka yüzde ezilen beton blok halde kalkmış ve elle alınmıştır. Kalkan kısmın altından birleşim bölgesinin enine donatıları görülmüş ve bu donatılarda düzlem dışına betonun uyguladığı basınç nedeni ile dışa doğru genişleme gözlenmiştir. Yerdeğiştirme sünekliğinin 5.5 değerinde ($\delta=-52.25$ mm) yapılan ilk itme çevriminde üst kat birleşim bölgesinde basınç konumundaki boyuna donatılarda burkulma oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme düzeyinde deneyde düzlem dışı hareket çok fazla artmış ve aynı süneklik seviyesinde çekme çevrimi yapılmadan deney durdurulmuştur. Şekil 5.35’de deneyde yük sıfırlandıktan sonra çekilen fotoğraflar verilmiştir. Şekil 5.36’da da numunenin yük-yerdeğiştirme ilişkisi verilmiştir. Tablo 5.9’da numunesinin davranışının özeti verilmiştir.



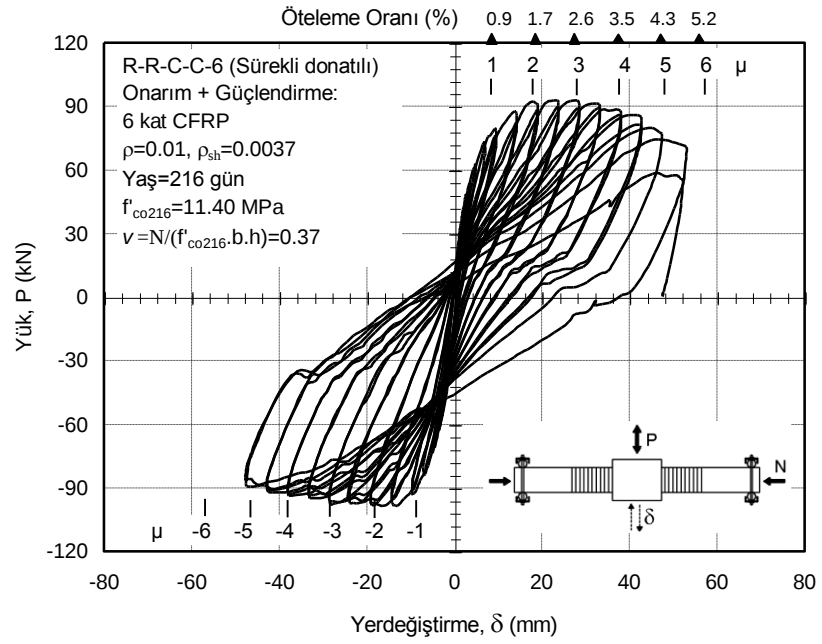
Şekil 5.33. Numunenin $\delta=7.0$ mm ve $\delta=-14.25/2$ mm Yerdeğiştirmelerindeki Görünümleri



Şekil 5.34. Numunenin $\mu=-3.5/2$ ve $\mu=-4.5/2$ Değerlerindeki Görünümleri



Şekil 5.35. Numunenin Yük Sıfırlandıktan Sonraki Görünümleri



Şekil 5.36. R-R-C-C-6 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Tablo 5.9. R-R-C-C-6 Numunesinin Davranışının Özeti

Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	± 2.8	48/-56	Kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları (itmede $\delta=2.3$ mm düzeyinde yatay yük 44 kN, çekmede ise $\delta=-2.7$ mm yatay yük -56 kN)
ÖÖ = %0.6	± 7.0	73/-83	Kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan en büyük çatlak alt katta 0.5 mm, üst katta 0.3 mm
$\mu = 1.5$	± 14.25	85/-97	Hafif ezilme başlangıcı, FRP'de liflerde enine doğrultuda ayrılma
$\mu = 3$	± 28.5	90/-95	Betonda belirgin ezilme, çatlakların genişlikleri üst ve alt katta 5-6 mm
$\mu = 4$	± 38	86/-91	Hasarda yoğunlaşma, düzlem dışı hareketin artması
$\mu = 5.5$	± 52.25	54/-	İlk itme hedefinden sonra aşırı düzlem dışı hareket, birleşim bölgesinde boyuna donatılarda burkulma

5.4.2. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Onarılıp Güçlendirilmiş Kolon Deneyleri

Çalışmanın son deneyi, daha önce denenmiş olan boyuna donatıları bindirmeli ekli orijinal LS-O-1 numunesinin onarılıp kolon sarılma bölgelerinin enine doğrultuda 6 kat CFRP kompozit ile sarılarak güçlendirilmesi ile elde edilen R-R-LS-C-6 numunesidir. Deney beton yaşı 150 günü aştıktan sonra silindir beton basınç dayanımı 13.41 MPa iken yapılmıştır. Deneyin ilk hedefi olan $\delta=2.8$ mm'ye (Öteleme Oranı=%0.25) ulaşmadan alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları oluşmuştur. Deneyde $\delta=7.0$ mm yerdeğiştirme düzeyinde (Öteleme Oranı=%0.6) üst kat kolonu alt yüzünde kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları oluşmuştur. Üst kat kolonunun üst yüzünde kolon-kiriş birleşim kesitinde oluşması beklenen diğer eğilme çatlakları ancak $\delta=-7.0$ mm yerdeğiştirme düzeyinde ve $\delta=-9.5/1$ mm yerdeğiştirme düzeyinde görülmüştür. Bindirmeli ekin bulunduğu üst katta ilk çatlakların geç görülmesinin sebebi, bu bölgenin onarım sırasında büyük bölümünün dökülüp yüksek dayanımlı tamir harcı ile doldurulması olduğu düşünülmektedir. Bundan bir çevrim önce $\delta=9.5/1$ mm'de ($\mu=1/1$) alt kat kolonu ön ve arka yüzünde hafif ezilme başlangıcı olduğu izlenmiştir. Bu yerdeğiştirme

düzeyinde karşı konulan yatay yük 72 kN olarak ölçülmüş ve bu deney boyunca okunan en büyük yük değeri olmuştur. $\delta=-9.5/1$ mm'de ($\mu=-1/1$) üst kat kolonu basınç bölgesindeki filiz donatılarının uç bölgelerinde boyuna donatılarda sıyrılmayı ifade eden yatay çatlaklar görülmüştür. Bir sonraki yerdeğiştirme hedefi olan $\delta=9.5/2$ mm'de aynı şekilde basınç bölgesindeki diğer filiz donatısının uç bölgesinde yatay çatlak oluşmuştur.

Yerdeğiştirme sünekliğinin 1.5 değerinde ($\delta=-14.25/1$ mm) yapılan ilk çekme çevriminde, yatay çatlakların oluştuğu filiz donatılarının uç bölgelerinde beton örtüsünün blok halde kalkmaya başladığı gözlenmiştir. 2 süneklik seviyesinde ($\delta=\pm 19$ mm) yapılan çevrimler tamamlandıktan sonra numune incelendiğinde hasarın eski betondan oluşan alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde arttığı anlaşılmıştır. Alt katta beton basınç bölgelerinde oluşan ezilme belirginleşmiş, kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan çatlak genişlikleri alt katta 3.5-5.5 mm, üst katta ise 0.8-2.1 mm olarak kaydedilmiştir. Orijinal numune LS-O-1'in deney sonrası bindirmeli ekin bulunduğu üst kat kolonu sarılma bölgesi büyük ölçüde hasarlanmış, alt katta hasar çok daha düşük düzeyde kalmıştır. Bu nedenle, üst katta kritik kesit olan birleşim kesiti ve kolonun birleşime yakın bölgelerindeki hasarlı beton kaldırılarak, yerine yüksek dayanımlı tamir harcı uygulanmıştır. Oysa, alt katta böyle bir hasar olmadığı için bu tür bir onarıma gidilmemiştir. Dolayısı ile her ne kadar onarımın amacı eleman dayanımını orijinal duruma getirmek olsa da, kullanılan malzemenin özelliklerinden dolayı onarım gören üst kat kolonun performansı bu yerdeğiştirme düzeyinde ilk deneyde fazla hasar görmemiş olan alt kat kolonuna göre daha iyi olmuştur. Şekil 5.37'de numunenin $\delta=9.5/2$ mm ve $\delta=19/2$ mm yerdeğiştirmelerine ait görünüşleri verilmiştir.

2.5 süneklik seviyesinin ikinci itme hedefinde ($\delta=23.75/2$ mm) üst kat kolonu arka yüzünde boyuna donatının sıyrılmasından kaynaklanan yatay çatlak oluşmuştur. Devam eden çevrimlerde yukarıda açıklanan hasar durumu yavaş yavaş artmıştır. Yerdeğiştirme sünekliğinin 3 değerinde ($\mu=-3/1$) yapılan ilk çekme çevriminde alt katta ezilen kısımlarda ufalanmalar ve üst katta birleşim kesitinin basınç bölgesinde betonda belirgin ezilme olduğu görülmüştür. $\delta=33.25/1$ mm'de ($\mu=3.5/1$) filiz donatılarının uç bölgelerinde blok halde kalkan beton örtüsünde dökülmeler oluşmuştur. Bu dökülen kısımların, onarım sırasında tamir harcı ile doldurulan

bölgeler olduğu saptanmıştır. Alt kat ve üst kat kolonlarında hasar farkı çekme çevrimlerinde bir miktar kapanırken, itme çevrimlerinde artarak devam etmiştir. $\delta=38/2$ mm'de alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan çatlak genişlikleri 7-8 mm iken, üst katta okunan çatlaklar 2.5-4 mm olarak kaydedilmiştir. Yerdeğiştirme sünekliğinin 4 değerinde ($\delta=38/2$ mm) yapılan ikinci itme çevriminde basınç bölgesindeki filiz donatısının uç bölgesinde son yatay çatlak görülmüştür. 4.5 süneklik seviyesine gelindiğinde üst kat hasarının da önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Şekil 5.38'de numunenin $\mu=3.5/2$ ve $\mu=4.5/2$ yerdeğiştirme süneklik düzeylerinde görünüşleri verilmiştir.

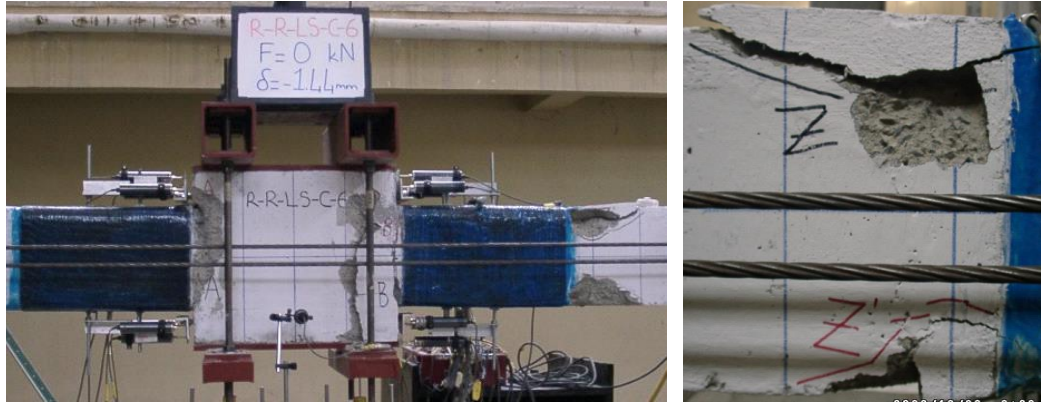
Yerdeğiştirme sünekliğinin 5 değerinde, dökülen beton örtüsü nedeni ile filiz donatısının ucu gözükmüş ve buradaki sıyrılma hareketi izlenmiştir. $\delta=-47.5/2$ mm'de ($\mu=-5/2$) filiz donatısının gözüken ucunun boyu 37 mm ölçülürken, $\delta=52.25/1$ mm'de ($\mu=5.5/1$) 19 mm ölçülmüştür. Deney, 6 süneklik seviyesinde ($\delta=\pm 57$ mm) yapılan çevrimlerin ardından durdurulmuştur. Son çevrimlerde çatlak genişlikleri 14-17 mm mertebesine ulaşmış, yatay yük taşıma kapasitesi 35-45 kN mertebesine düşmüştür. Deney sonunda yük sıfırlandıktan sonra numunenin genel görünümü Şekil 5.39'da, yük-yerdeğiştirme ilişkisi ise Şekil 5.40'da verilmiştir. Tablo 5.10'da R-R-LS-C-6 numunesinin davranışı özetlenmiştir.



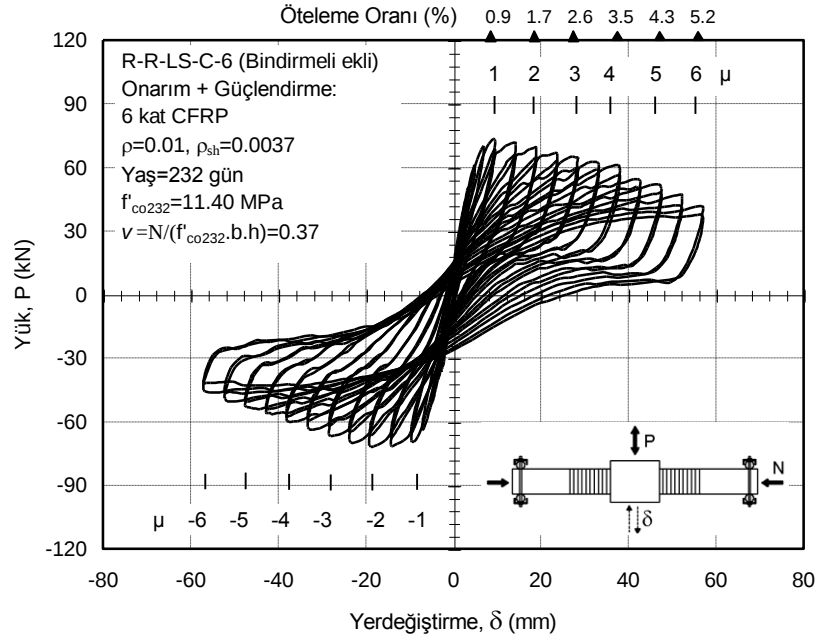
Şekil 5.37. Numunenin $\delta=9.5/2$ mm ve $\delta=19/2$ mm Yerdeğiştirmelerindeki Görünüşleri



Şekil 5.38. Numunenin $\mu=3.5/2$ Değerine Aderans Çatlakları ve $\mu=4.5/2$ Değerinde Üst ve Alt Kat Kolon-Kiriş Birleşim Kesitleri



Şekil 5.39. Deney Sonunda Yük Sıfırlandıktan Sonra Numunenin Genel Görünümü



Şekil 5.40. R-R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

Tablo 5.10. R-R-LS-C-6 Numunesin Davranışının Özeti

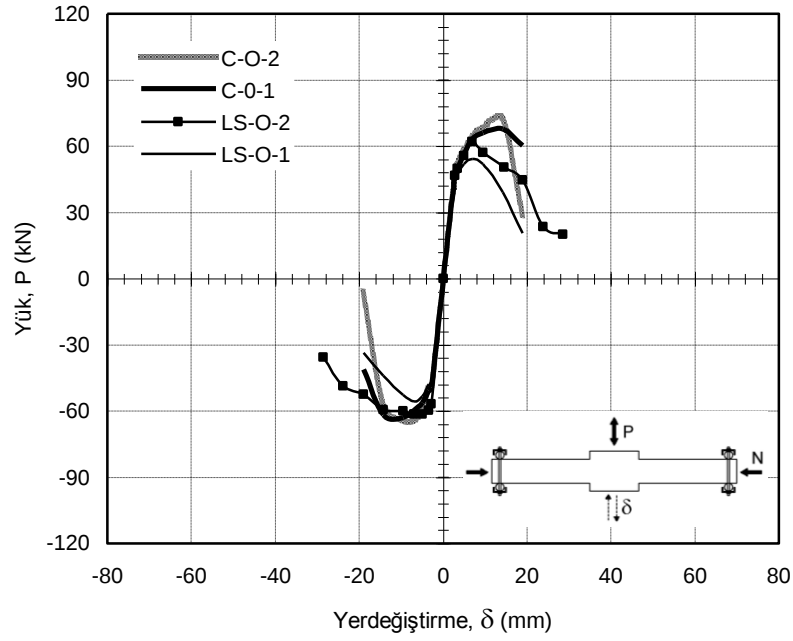
Öteleme Oranı (ÖÖ) / Yerdeğiştirme Sünekliği (μ)	δ (mm)	P (kN)	Numunenin Durumu
ÖÖ = %0.25	±2.8	44/-37	Alt kat kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlakları
ÖÖ = %0.6	±7.0	70/-63	Üst kat kolon-kiriş birleşim kesitinde ilk eğilme çatlağı, en büyük çatlak alt katta 1.2 mm, üst katta <0.1 mm
μ = 1	±9.5	72/-69	Alt katta hafif ezilme başlangıcı, üst katta ilk aderans çatlağı
μ = 2.5	±23.75	65/-68	Eski betonun olduğu alt katta hasar belirgin, üst katta diğer aderans çatlağı
μ = 4	±38	59/-59	Hasarda artma, kolon-kiriş birleşim kesitinde okunan çatlaklar alt katta 7-8 mm, üst katta 2-4 mm
μ = 5	±47.5	50/-52	Filiz donatısının ucundaki beton örtüsünün dökülmesiyle donatı hareketi izlenmesi
μ = 6	±57	41/-45	Yoğun hasar, çatlak genişlikleri üst ve alt katta 17 mm civarı

5.5 DENEY SONUÇLARI

5.5.1 Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri

Orijinal kolon deneyleri sonucunda numunelerin davranışları incelendiğinde boyuna donatıları sürekli C-O-1 ve C-O-2 numunelerinde, yetersiz enine donatı nedeniyle basınç bölgesinde boyuna donatılarda burkulma sebebiyle erken dayanım kaybı olduğu görölmüştür. C-O-1 ve C-O-2 numuneleri benzer davranış göstermiştir. C-O-1 numunesi, yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinde ($\delta=19$ mm) yapılan iki çevrimde dayanımını kaybetmiş, C-O-2 numunesi ise aynı değerde yapılan ilk çevrim sonucunda çok büyük dayanım kaybına uğramıştır. C-O-1 ve C-O-2 numunelerinde deney boyunca ulaşılan en büyük yük, yerdeğiştirme sünekliğinin 1 değerinde yapılan ilk itmede sırasıyla 66 ve 69 kN olarak ölçölmüştür.

LS-O-1 ve LS-O-2 numunelerinde ise aderans çözümlmesi sebebiyle erken dayanım kaybı oluşmuştur. LS-O-1 numunesinin denenmesi sırasında yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinde ($\delta=19$ mm) yapılan ilk çevrim sonucunda oluşan büyük dayanım kaybı nedeniyle deney durdurulmuştur. LS-O-2 numunesinin deneyinde ise yerdeğiştirme sünekliğinin 3 değerinde ($\delta=28.5$ mm) yapılan ilk çevrime kadar deney devam etmiştir. Deney günü beton basınç dayanımları düşünöldüğünde LS-O-2 numunesinin performansının LS-O-1 numunesine göre daha iyi olması açıklanabilir. LS-O-1 ve LS-O-2 deneyleri, sırasıyla beton yaşı 58 ve 160 gün, silindir beton basınç dayanımı 11.08 ve 13.41 MPa iken yapılmıştır. Buna göre gerekli bindirme boyu hesabı (TS 500-2000) yapıldığında; LS-O-1 numunesi için, 40 ϕ olarak kullanılan bindirme boyu gerekli boyun % 38.5'ine, LS-O-2 numunesi için ise % 42.4'üne karşı gelmektedir. Göröldüğü gibi LS-O-1 numunesi için bindirme boyu eksikliği daha fazladır. $\delta=7.0$ mm yerdeğiştirme düzeyinde yapılan itme çevriminde, LS-O-1 numunesi 54 kN yatay yük değerine ulaşırken, aynı düzeyde LS-O-2 numunesinin karşıladığı yatay yük değeri 62 kN'dur. Orijinal numunelerin yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin zarf eğrileri şekil 5.41'de verilmiştir.

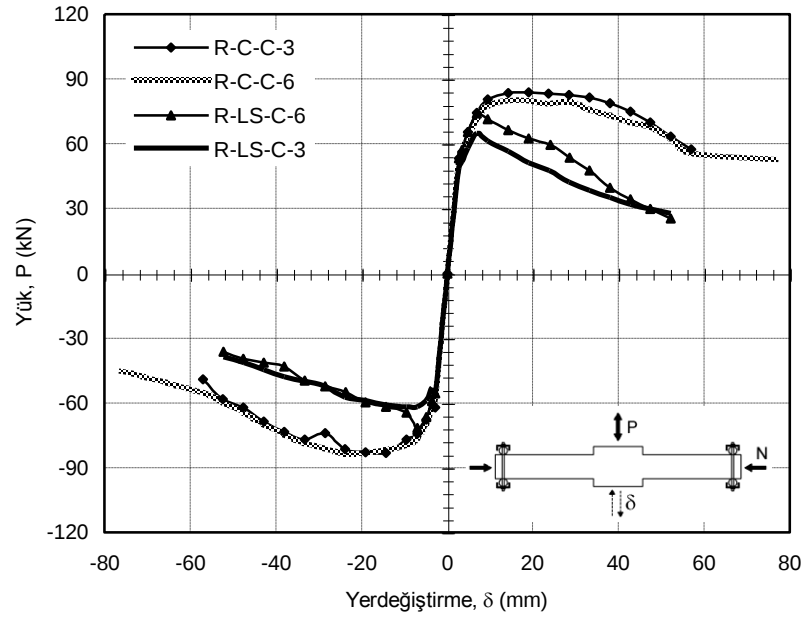


Şekil 5.41. Orijinal Numunelerin Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri

Güçlendirilmiş kolon deneyleri incelendiğinde, kolonların dayanım ve yerdeğiştirme kapasitelerinde önemli gelişmeler olduğu görülmüştür. Boyuna donatıları sürekli olup kolon sarılma bölgeleri enine doğrultuda 3 kat sarılan R-C-C-3 ve 6 kat sarılan R-C-C-6 numuneleri çok benzer davranış göstermişlerdir. Orijinal numunelerin, boyuna donatılarının burkulduğu seviyede yerdeğiştirme sünekliğinin 2 değerinde ($\delta=19$ mm) her iki numunede de en büyük yatay yük değerine ulaşılmıştır. Güçlendirilmiş numunelerin (R-C-C-3 ve R-C-C-6), orijinal numunelere (C-O-1 ve C-O-2) göre dayanımı yaklaşık olarak %30 artmıştır. Yerdeğiştirme sünekliğinin 4 değerinde ($\delta=38$ mm) yapılan ilk itmede okunan değerlere göre, R-C-C-3, R-C-C-6 numuneleri yatay yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla %94 ve %90'ını korumaktadırlar. Bu numunelerin karşıladıkları yatay yük taşıma kapasiteleri, çevrim sayısı ve ulaşılan yerdeğiştirme düzeyi arttıkça küçük oranlarda düşmüştür.

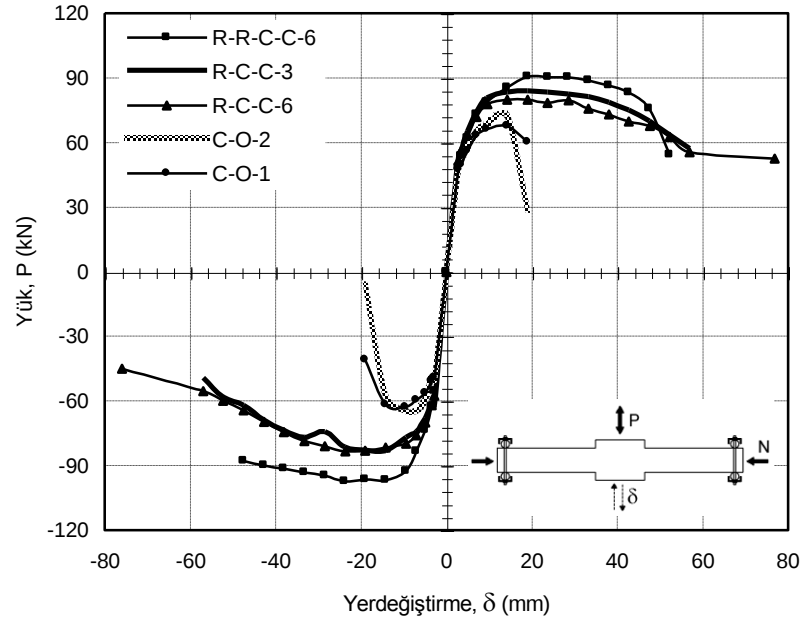
Yetersiz bindirme boyuna sahip kolon sarılma bölgeleri enine doğrultuda 3 kat ve 6 kat sarılan R-LS-C-3 ve R-LS-C-6 numuneleri, $\delta=7.0$ mm (Ö.O=%0.5) yerdeğiştirme seviyesinde sırasıyla 62 ve 74 kN olan yatay yük taşıma kapasitelerine ulaşmıştır. R-LS-C-3 numunesinin dayanımı, orijinal numunelere göre dayanımı %11 artırırken, R-LS-C-6 numunesinde ise bu artış %32 olmuştur. Gerek R-LS-C-3 gerekse R-LS-C-6 numunelerinde büyük dayanım kaybına uğramadan ulaşılan

yerdeşistirmelerde orijinal numunelere göre önemli artış sağlanmıştır. Ancak boyuna donatılarda oluşan geciktirilmış ama önlenememiş aderans kaybı nedeniyle R-C-C-3 ve R-C-C-6 numunelerinin performansına erişilememiştir. Yerdeşistirme sünekliğinin 4 değerinde ($\delta=38$ mm) yapılan ilk itme vriminde okunan değerlere göre, R-LS-C-3, R-LS-C-6 numuneleri yatay yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla %54 ve %53'n korumuşlardır. R-C-C-3, R-C-C-6, R-LS-C-3 ve R-LS-C-6 numunelerinin yk-yerdeşistirme ilişkilerinin zarf eğrileri şekil 5.42'de verilmiştir.

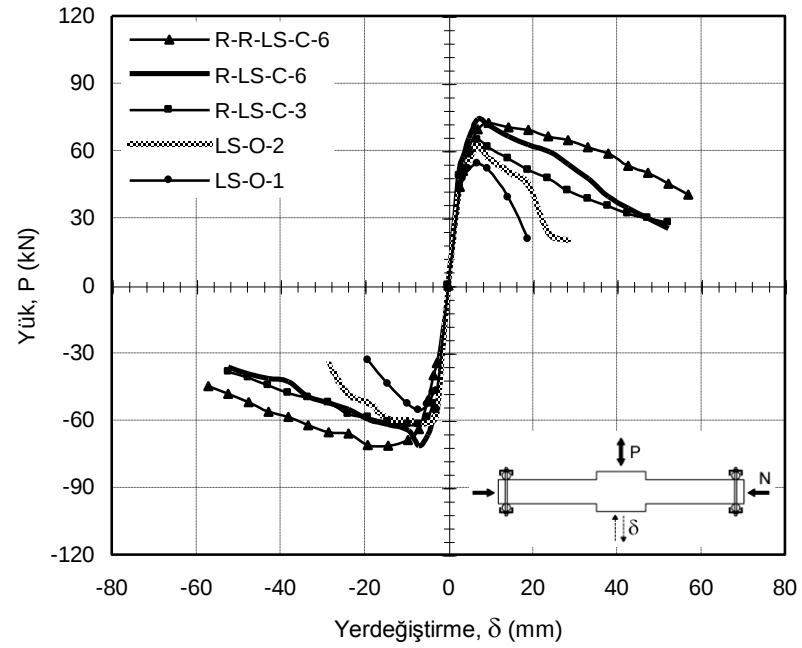


şekil 5.42. Güçlendirilmiş Numunelerin Yük-Yerdeşistirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri

Onarılıp güçlendirilen R-R-C-C-6 ve R-R-LS-C-6 numuneleri beklenenin üstünde güçlendirilen numuneler kadar iyi performans göstermiştir. Orijinal numunelere göre R-R-C-C-6 numunesi %47, R-R-LS-C-6 numunesi ise %28 dayanım artımı sağlamıştır. Bu oran R-C-C-3 ve R-C-C-6 numuneleri için %30, R-LS-C-3 için %11 ve R-LS-C-6 için ise %32 olarak elde edilmiştir. Yerdeşistirme sünekliğinin 4 değerinde ($\delta=38$ mm) yapılan ilk itmede okunan değerlere göre, R-R-C-C-6 ve R-R-LS-C-6 numuneleri yatay yük taşıma kapasitelerinin sırasıyla %95 ve %82'ini korumuştur. şekil 5.43 ve şekil 5.44'de tüm numunelerin davranışlarının karşılaştırılması için yk-yerdeşistirme ilişkilerinin zarf eğrileri toplu olarak verilmiştir.



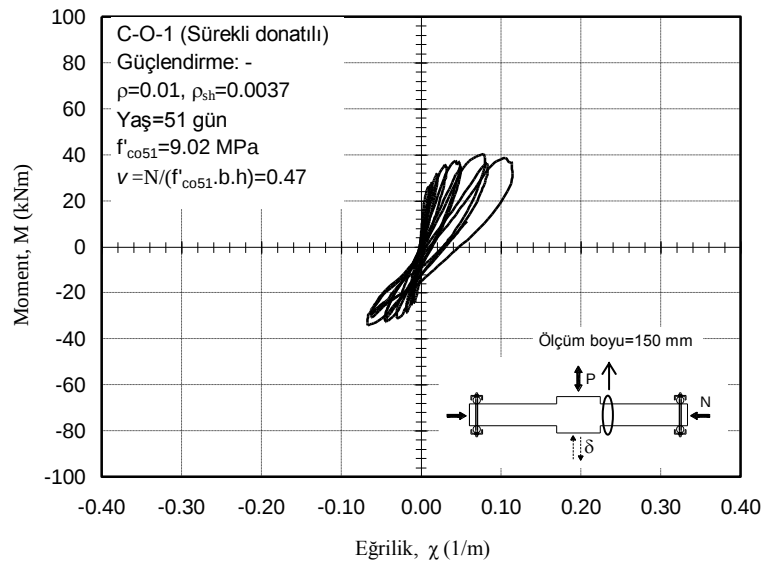
Şekil 5.43. Boyuna Donatıları Sürekli Tüm Numunelerin Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri



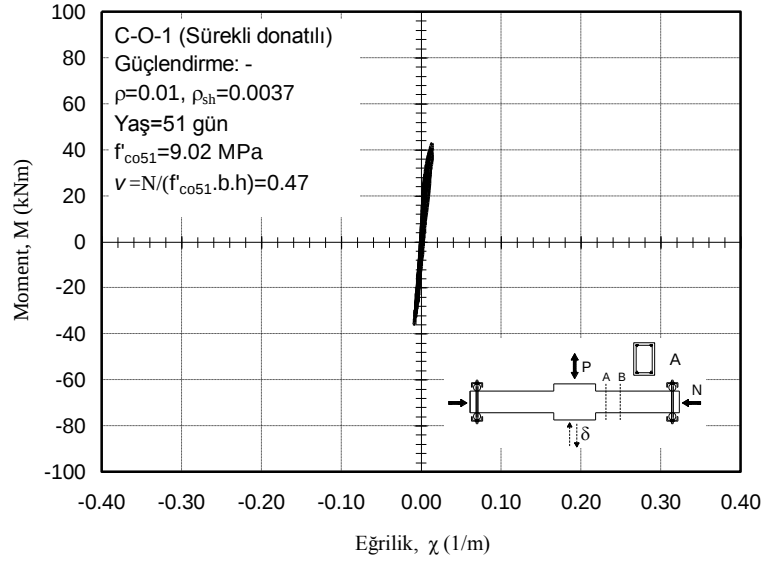
Şekil 5.44. Boyuna Donatıları Bindirmeli Ekli Tüm Numunelerin Yük-Yerdeğiştirme İlişkilerinin Zarf Eğrileri

5.5.2 Moment-Eğrilik İlişkileri

Elastik ötesi şekil değiştirme yapabilme yeteneği olarak tanımlanan süneklik kapasiteleri bakımından numunelerin karşılaştırılması ve numune içinde hasar dağılımının daha detaylı anlaşılabilmesi için moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Moment-eğrilik ilişkileri elde edilirken, eğrilik değerleri alt ve üst kolonlardaki alt ve üst donatıları için ölçülen şekil değiştirme değerlerinden ve farklı ölçüm boylarında beton yüzeylerinde ölçülen ortalama yerdeğiştirmelerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplar sırasında, eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kaldığı, şekil değiştirmelerin kesit derinliğince doğrusal değiştiği kabulü yapılmıştır. Burada verilen grafiklerden de görülebileceği gibi sürekli boyuna donatılı numunelerde görülen boyuna donatı burkulması ve bindirmeli ekli numunelerde görülen aderans kaybı sonucu ortaya çıkan erken dayanım kaybı, yapılan güçlendirme sonucu önlenmiş ve orijinal numunelere göre daha sünek bir davranış elde edilmiştir. Alt ve üst kat kolon sarılma bölgeleri içinde hasar dağılımını daha detaylı incelemek üzere kolon-kiriş birleşim yüzeyinden 150 mm ve 300 mm olmak üzere iki farklı ölçüm boyu belirlenmiştir. Şekil 5.45 ve Şekil 5.46 C-O-1 numunesinin yerdeğiştirmeölçerlerden ve şekil değiştirmeölçerlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkileri verilmiştir.

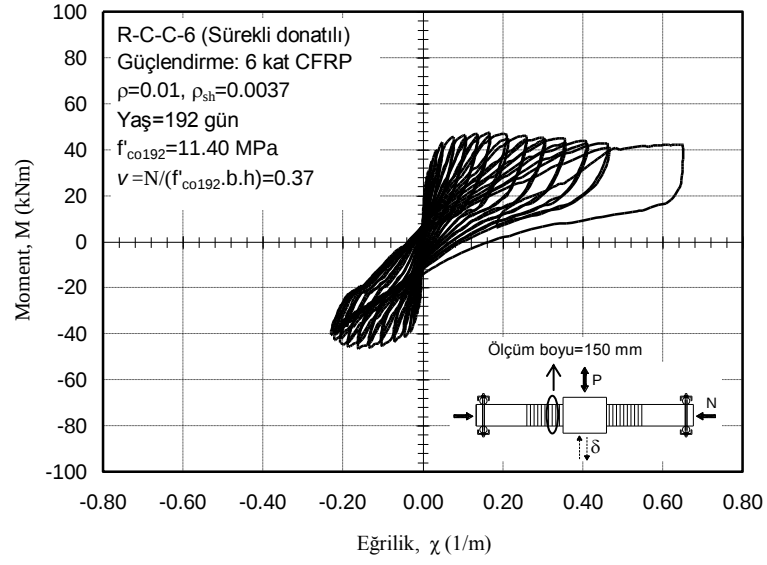


Şekil 5.45. C-O-1 Numunesi İçin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)

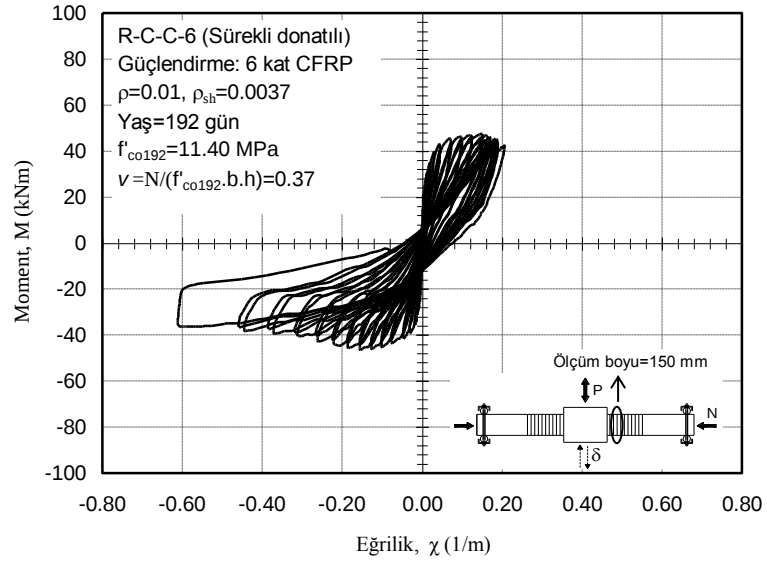


Şekil 5.46 C-O-1 Numunesi İçin Şekildeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

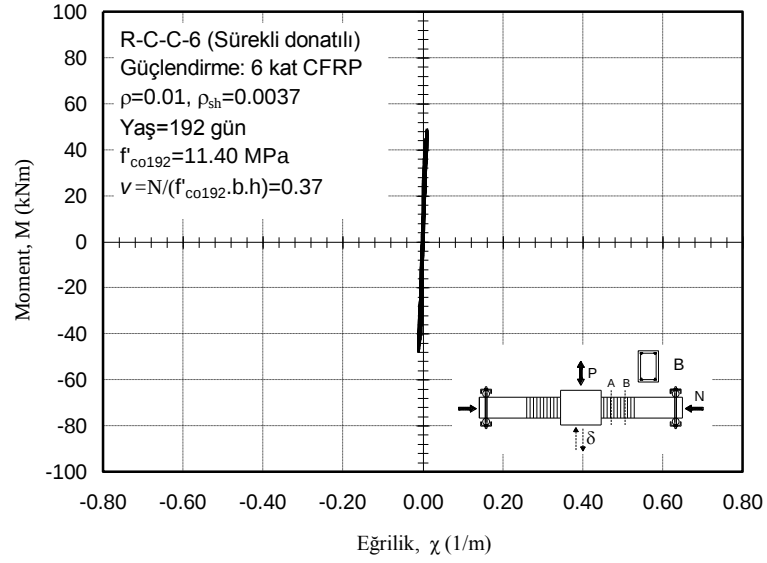
Güçlendirilmiş R-C-C-6 numunesinin Şekil 5.47’de verilen yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkisi incelendiğinde süneklik kapasitesindeki önemli artış görülmektedir. Boyuna donatıları sürekli numunelerde, alt kat ve üst kat kolonlarında oluşan hasarın benzer olduğu görülmüştür, (Şekil 5.48.). Şekildeğiştirmeölçerlerin, deneylerin erken safhalarında devre dışı kalması, güvenilir sonuç vermemesi ve/veya büyük deformasyonların şekildeğiştirmeölçerlerin bulunmadığı kesitlerde oluşması sebebiyle, şekildeğiştirmeölçerlerden büyük eğrilikler ölçülememiştir, (Şekil 5.49.).



Şekil 5.47. R-C-C-6 Numunesi İçin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)



Şekil 5.48. R-C-C-6 Numunesi İçin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=300 mm)

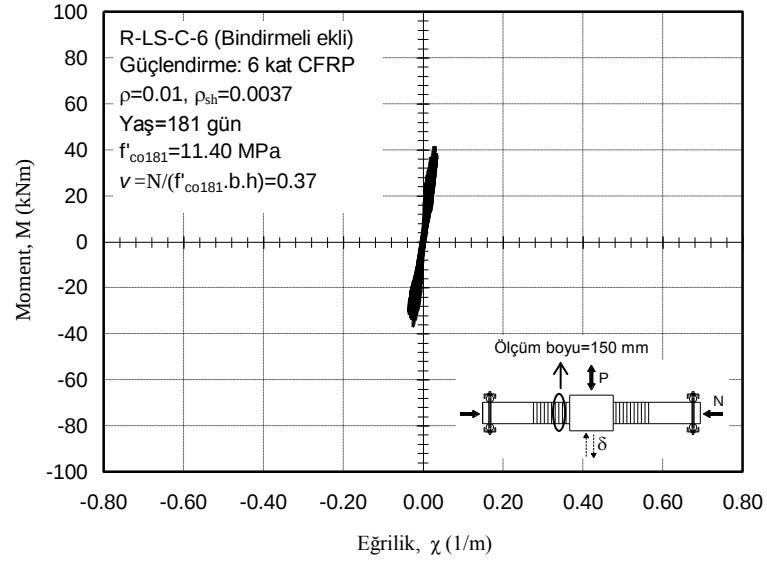


Şekil 5.49. R-C-C-6 Numunesi İçin Şekildeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

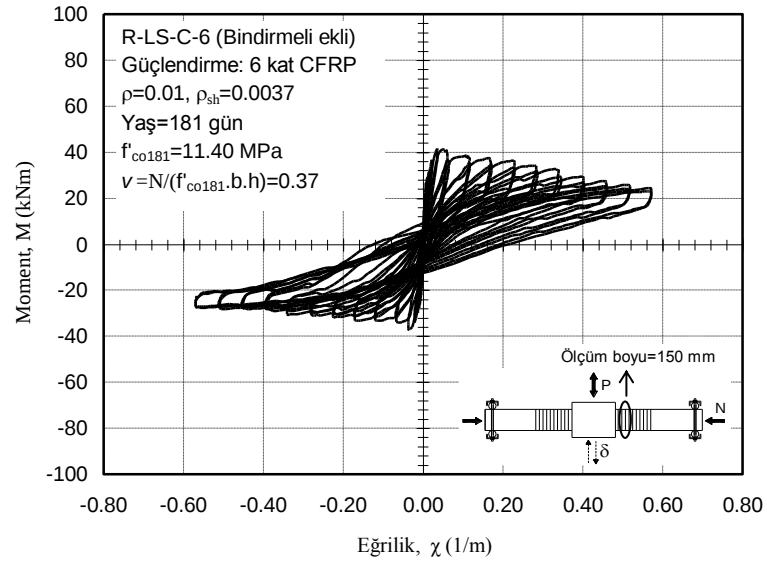
Boyuna donatıları bindirmeli ekli numuneler incelendiğinde bindirmenin bulunmadığı alt kat ve üst kat arasında önemli farklar görülmüştür. Deprem yükü etkisinde mafsallaşmaya elverişli bindirme donatılarının uç bölgesinde dönmeler önemli ölçüde artmıştır. R-LS-C-6 numunesinin alt kat ve üst kat kolonlarının yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkileri Şekil 5.50 ve Şekil 5.51’de verilmiştir.

Moment-eğrilik ilişkilerini elde etmek üzere kolon-kiriş birleşim yüzeyinden mesafesi 150 ve 300 mm olmak üzere iki ayrı ölçüm boyunda yerdeğiştirmeölçerler kullanılmıştır. Tüm numuneler için elde edilen moment-eğrilik ilişkileri incelendiğinde 150 mm ölçüm boyunda dönmelerin daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum 150 mm’lik bölge içinde hasarın daha yoğun olması ile açıklanabilir. Şekil 5.52’de R-LS-C-6 numunesinin üst kat kolonuna ait 300 mm ölçüm boyundaki yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkisi verilmiştir.

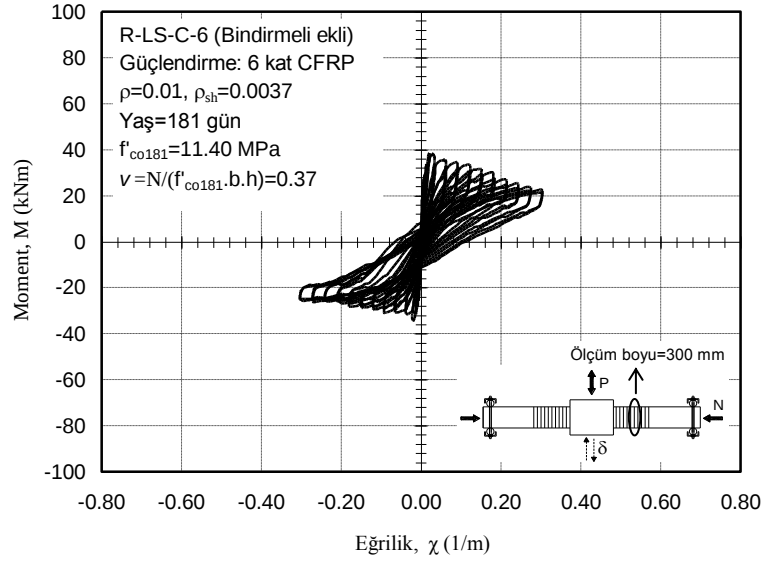
Diğer numunelere ait yerdeğiştirmeölçerlerden elde edilen moment-eğrilik ilişkileri EK B’de sunulmuştur.



Şekil 5.50. R-LS-C-6 Numunesinin Alt Kat Kolonuna Ait Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)

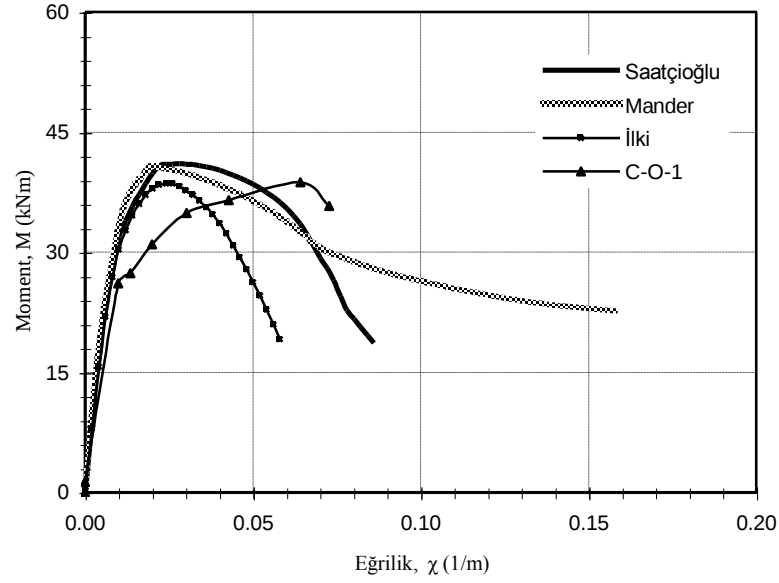


Şekil 5.51. R-LS-C-6 Numunesinin Üst Kat Kolonuna Ait Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=150 mm)



Şekil 5.52. R-LS-C-6 Numunesinin Üst Kat Kolonuna Ait Moment-Eğrilik İlişkisi (Ölçüm Boyu=300 mm)

Bu çalışmada ayrıca üç farklı model için kritik kesitte teorik moment-eğrilik ilişkisi incelenmiştir. Teorik olarak moment-eğrilik ilişkisi hesaplanırken beton dayanımı, donatı oranı ve düzeni, eksenel yük oranı gibi parametreler dikkate alınmıştır. Sargılı beton için, Mander (1988), Saatçioğlu (1992) ve İlki (2003) modelleri kullanılarak sabit eksenel yük ve monotonik artan eğilme momenti etkisinde analiz yapılmıştır. Sonuçlar, deneysel çalışmadan elde edilen moment-eğrilik ilişkisi ile karşılaştırılmıştır, (Şekil 5.53.). Deneysel çalışmadan elde edilen moment-eğrilik ilişkisinin diğerlerine benzer olduğu görülmüştür.



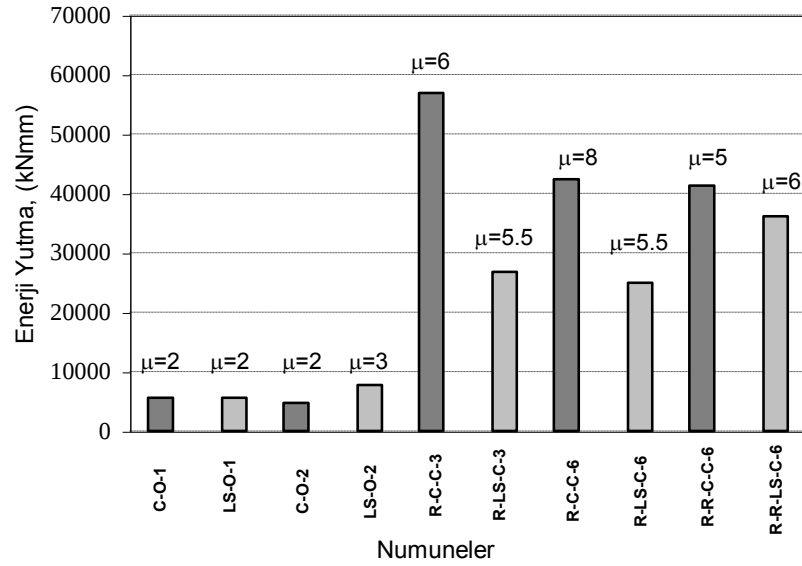
Şekil 5.53. Moment-Eğrilik İlişkilerinin Karşılaştırılması

5.5.3 Enerji Yutma Kapasiteleri

Numunelerin yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altında performansı incelenirken enerji yutma kapasiteleri de incelenmiştir. Tüm numunelerin tamamlanmış son çevrime kadar kümülatif enerji yutma kapasiteleri hesaplanmıştır, (Şekil 5.54.). Orijinal numunelere bakıldığında, enerji yutma kapasitelerinde önemli bir fark olmadığı görülmüştür. 3 kat CFRP ile güçlendirilen R-C-C-3 numunesi ve 6 kat CFRP ile güçlendirilen R-C-C-6 numunesi enerji yutma kapasitelerinde çok büyük ölçüde artırmıştır. Onarılıp güçlendirilen R-R-C-C-6 numunesi, tamamlanan her çevrim sonunda yutulan enerji bakımından incelendiğinde (Tablo 5.11.) güçlendirilen numunelerden daha iyi performans göstermiştir. Ancak önceden oluşan hasar ve deney sırasında aşırı düzlem dışı hareket sebebiyle diğer numunelerin ulaştığı süneklik seviyesine ulaşmadan deney durdurulduğu için toplamda yuttuğu enerji R-C-C-3 ve R-C-C-6'nın bir miktar altında kalmıştır.

Aynı karşılaştırma bindirmeli ekli numuneler için yapıldığında; 3 kat ve 6 kat CFRP ile güçlendirilen R-LS-C-3 ve R-LS-C-6 numuneleri, LS-O-1 numunesine göre enerji yutma kapasitesini büyük oranda geliştirdiği görülmüştür. Bindirmeli numunelerde görülen aderans kaybı nedeniyle enerji yutma kapasitelerindeki gelişme sürekli donatılı elemanlar kadar olmamıştır. Onarılıp güçlendirilen R-R-LS-C-6 numunesi,

güçlendirilen diğer numunelere göre daha küçük oranlarda dayanım kaybetmiş ve daha fazla enerji yutmuştur. Tablo 5.12’de tamamlanan her çevrim sonunda enerji yutma kapasiteleri verilmiştir. Enerji yutma kapasiteleri yük-yerdeğiştirme ilişkilerinin altında kalan alan olarak hesaplanmış olup birimi kNmm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.54. Tüm Numunelerin Kümülatif Enerji Yutma Kapasiteleri

Tablo 5.11. Sürekli Donatılı Numuneler İçin Her Çevrim Sonunda Yutulan Kümülatif Enerji

Yerdeğiştirme Sünekliği	C-O-1	C-O-2	R-C-C-3	R-C-C-6	R-R-C-C-6
Elastik bölge	641	690	631	536	523
1	1300	1345	1278	1100	1159
2	5631	4748	4261	3717	4687
3			9315	8653	12075
4			16743	15941	23701
5			26388	24240	41334
6			56859	36194	
8				42416	

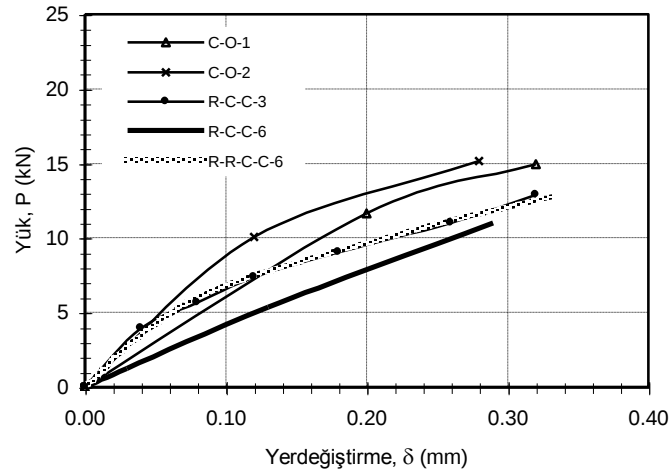
Tablo 5.12. Bindirmeli Ekli Numuneler İçin Her Çevrim Sonunda Yutulan Kümülatif Enerji

Yerdeğiştirme					
Sünekliği	LS-O-1	LS-O-2	R-LS-C-3	R-LS-C-6	R-R-LS-C-6
Elastik bölge	703	586	617	552	409
1	1481	1237	1285	1256	1005
2	5558	3708	3808	3785	3901
3		7737	7752	7441	8779
4			13385	13507	15769
5			21665	20746	24764
5.5			26730	24992	30165
6					36114

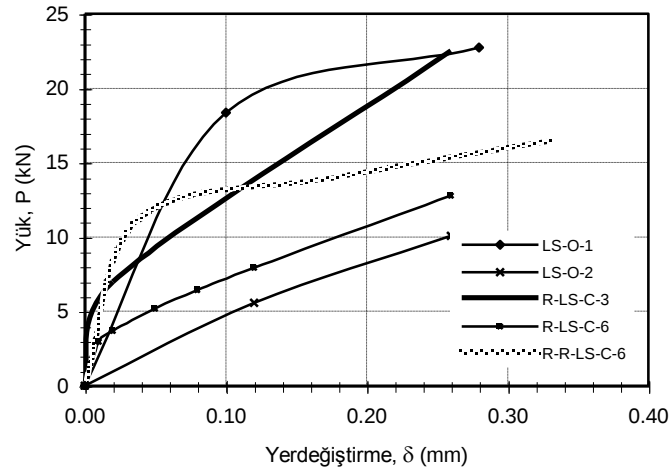
Tablo 5.11 ve Tablo 5.12’den görülebileceği gibi bindirmeli ekli boyuna donatılı numunelerde yutulan enerji, aynı süneklik seviyelerinde sürekli boyuna donatılı numunelere göre daha azdır. Bunun nedeni bindirmeli eklerde gözlenen aderans kaybından dolayı yük-yerdeğiştirme ilişkisinde oluşan çevrim sıkışmasıdır.

5.5.4 Başlangıç Rijitlikleri

Tüm numuneler başlangıç rijitliklerine göre değerlendirildiğinde beklenen sonuçlara ulaşamamıştır. Boyuna donatıları sürekli numunelerde, orijinal numunelerin diğerlerine göre daha rijit, 6 kat FRP ile güçlendirilen numunenin ise rijitliğinin en az olduğu görülmüştür. Onarılıp güçlendirilen numunenin rijitliğinin en az olacağı düşünülürken bu numunenin rijitliğinin, 3 kat FRP ile güçlendirilen numune ile çok yakın olduğu görülmüştür. Aynı değerlendirme boyuna donatıları bindirmeli ekli numuneler için yapıldığında orijinal ve güçlendirilmiş numuneler için net bir sonuca varılamamıştır. Şekil 5.55 ve Şekil 5.56’da sürekli donatılı ve bindirmeli ekli numunelerin başlangıç rijitlikleri verilmiştir.



Şekil 5.55. Sürekli Donatılı Numunelerin Başlangıç Rijitlikleri

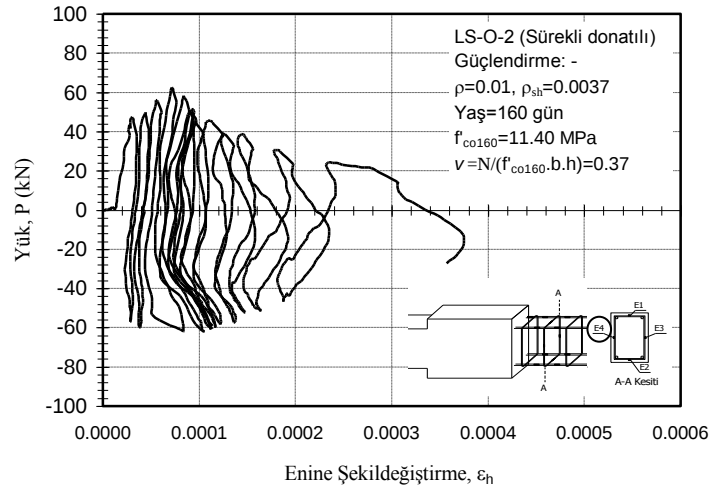


Şekil 5.56. Bindirmeli Ekli Numunelerin Başlangıç Rijitlikleri

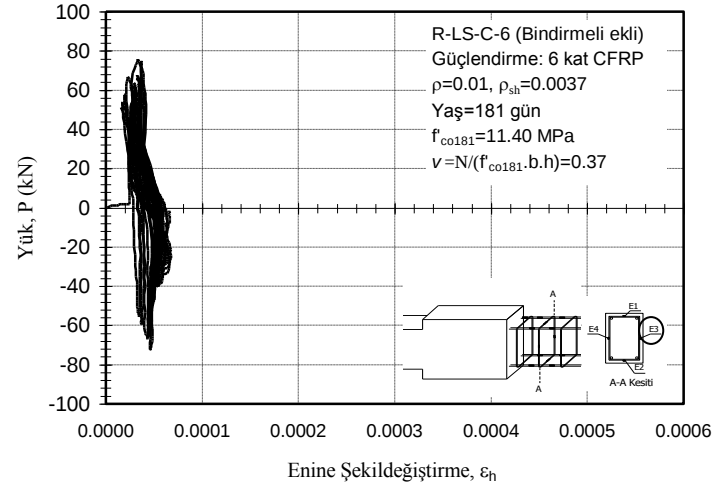
5.5.5 Enine Şekildeğiştirmeler

Yetersiz sargı donatısına sahip ve yüksek eksenel yüke maruz elemanların, tekrarlı yükler altında dayanım ve süneklik kapasitelerinin ve dolayısıyla enerji yutma kapasitelerinin yetersiz olduğu bilinmektedir. FRP kompozitler kullanılarak yapılan sargılama, elemanın basınç dayanımını ve sünekliğini geliştirmekte, boyuna donatının burkulmasını ve bindirmeli eklerde sıyrılmasını geciktirmektedir. Bu çalışmada, en yoğun hasarın beklediği test bölgesinde bulunan enine donatılara yapıştırılan şekildeğiştirmeölçerler ile tüm numunelerin boyuna ve enine olan

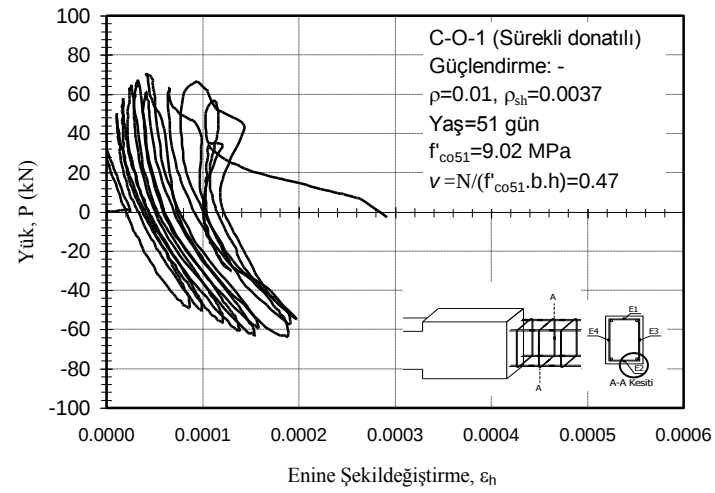
donatılarının şekildeğiştirmeleri ölçölmüştür. şekil 5.57 LS-O-2 ve şekil 5.58 R-LS-C-6 numunesine ait yük-donatı şekildeğiştirmesi ilişkileri verilmiştir. Güçlendirme işleminin sargılama etkisi yaratarak enine şekildeğiştirmeleri sınırlamış olduğu görölmektedir. FRP kompozit, enine donatılara gelen yanal gerilmeleri paylaşarak kesitin enine genişlemesini azaltmıştır. Bu da boyuna donatıları sürekli orijinal kolon deneylerinde, erken safhalarda görölen donatı burkulmasını önlemiştir. Boyuna donatıları bindirmeli ekli orijinal kolon deneylerinde ise erken aderans çözülmesi ve dayanım kaybını ise önemli ölçüde geciktirmiştir. şekil 5.59 C-O-1 ve şekil 5.60 R-C-C-6 numunesine ait yük-donatı şekildeğiştirmesi ilişkileri verilmiştir. Diğer numuneler ait yük-donatı şekildeğiştirmesi ilişkileri ise EK C’de verilmiştir.



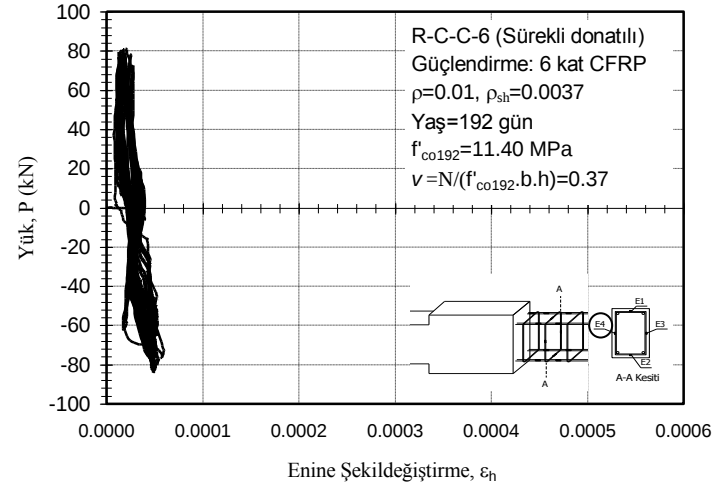
şekil 5.57. LS-O-2 Numunesine Ait Yük-Donatı Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.58. R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük- Donatı Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.59. C-O-1 Numunesine Ait Yük- Donatı Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.60. R-C-C-6 Numunesine Ait Yük- Donatı Şekil değiştirme İlişkisi

6. SONUÇLAR

İstanbul Teknik Üniversitesi Labotatuvarlarında, kolon sarılma bölgelerinin sabit eksenel yük ve tekrarlı eğilme etkileri altında davranışı incelenmiştir. Deney numuneleri, ülkemizdeki mevcut yapıların özelliklerini yansıtmak üzere beton dayanımı düşük ve enine donatısı yetersiz olarak üretilmiştir. Numuneler ardışık iki kat kolonunu ve kolon-kiriş birleşim bölgesini yansıtacak şekilde üretilmiştir. Üretilen 10 adet numuneden 5'inde boyuna donatılar sürekli, 5'inde ise katlar arasında bindirmeli eklidir. Bindirmeli ekli olan numunelerde bindirme boyu yeterli değildir. Deneysel çalışma orijinal numuneler ile birlikte güçlendirilmiş ve onarılıp güçlendirilmiş numuneleri kapsamaktadır. Üretilen 10 adet numune, göçmeye kadar zorlanmış, dayanım, süneklik, enerji yutma ve rijitlik değişimleri ile hasar oluşumları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiş olup, bu bölümde önemli sonuçlar özetlenmiştir.

1. Boyuna donatıları sürekli orijinal numunelerde yetersiz enine donatı nedeniyle boyuna donatılarda burkulma dayanım kayıpları görülmüştür.
2. Boyuna donatıları bindirmeli ekli orijinal numunelerde elastik ötesi yüklemenin erken aşamalarında boyuna donatılarda aderans çözülmesi nedeniyle erken dayanım kayıpları görülmüştür.
3. FRP kompozitin sağladığı pasif sargılama etkisi, orijinal kolonların deprem performansını önemli ölçüde geliştirmiştir. Güçlendirilen tüm numunelerin dayanım ve yerdeğiştirme kapasitelerinde gelişim sağlanmıştır.
4. Uygulanan güçlendirme yöntemi ile boyuna donatıları sürekli orijinal kolon deneylerinde, erken safhalarda görülen donatı burkulması ve buna bağlı erken dayanım kaybı önlenmiş, numunelerin dayanım ve süneklik kapasiteleri artırılmıştır.
5. Uygulanan güçlendirme yöntemi ile boyuna donatıları bindirmeli ekli orijinal kolon deneylerinde görülen erken aderans çözülmesini ve buna bağlı dayanım

kaybını önleyememiş ancak önemli ölçüde geciktirerek numunelerin hem dayanım hem de süneklik özelliklerini geliştirmiştir.

6. Onarılıp güçlendirilen numuneler beklenenin üstünde performans göstererek, hasarsız olup doğrudan güçlendirilen numuneler ile benzer bir davranış göstermiştir. Güçlendirme işleminin yanında onarım sırasında yüksek dayanımlı tamir harcının kullanılmasının da olumlu etkisi görülmüştür.
7. Tekrarlı eğilme etkileri altında plastik mafsal bölgelerinin davranışının incelenmesi için moment-eğrilik ilişkileri elde edilmiştir. Şekildeğiştirmeölçerler ve yerdeğiştirmeölçerlerden alınan sonuçlara göre güçlendirilmiş kolonların süneklik kapasitelerinde büyük ölçüde gelişme sağlanmıştır. Eksenel yük oranının yüksek olmasının sünekliği olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Deneylerde eksenel yük oranı fazla olmasına rağmen güçlendirme işlemi süneklik kapasitesini artırmada bir hayli etkili olmuştur.
8. Enerji yutma kapasiteleri bakımından değerlendirme yapıldığında, güçlendirme sonucu bu açıdan da benzer gelişmenin sağlandığı görülmüştür. Kolon numunelerinin başlangıç rijitliklerine bakıldığında ise beklenen sonuçlara ulaşamamıştır.
9. FRP kompozitin sağladığı sargılama etkisi sonucu, enine donatılara gelen yanal gerilmeler ve dolayısıyla kesitin enine genişlemesi azalmıştır. Sargılama etkisinin artması sonucu beton bütünlüğünü korumuş ve ileri düzeydeki yerdeğiştirmelere daha fazla yük taşınarak gidilebilmiştir.
10. Boyuna donatıları sürekli olan numunelerde sarım sayısının artırılması önemli bir avantaj getirmemiştir. Boyuna donatıları bindirmeli ekli numunelerde ise 6 kat sarılan kolonda dayanım kaybı daha küçük oranlarda olmuştur. Sonuç olarak 3 kat FRP kompozit ile bu çalışmada incelenen numuneler için yeterli performansın sağlandığı kanısına varılmıştır.
11. Boyuna donatıları bindirmeli ekli numunelerin yük-yerdeğiştirme ilişkilerine bakıldığında çevrim sıkışması olduğu ve bu nedenle enerji yutma

kapasitelerinde boyuna donatıları sürekli olan numunelere göre azalma görülmüştür.

Deneyler sonunda yapılan değerlendirmeler sadece denenen 10 adet numune içindir. Daha genel bilgiye sahip olmak için yapı elemanlarının yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altındaki performansını değiştirebilecek diğer parametreler kullanılarak deney sayıları artırılmalıdır. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmek üzere, FRP kompozit sayısının azaltıldığı ya da farklı güçlendirme tekniklerinin kullanıldığı yöntemler üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **İlki, A., Tezcan, A., Koc, V. and Kumbasar, N.,** 2004. Seismic Retrofit of Non-Ductile Rectangular Reinforced Concrete Columns by CFRP Jacketing. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- [2] **İlki, A., Yılmaz, E., Demir, C. and Kumbasar, N.,** 2004. Prefabricated SFRC Jackets for Seismic of Non-Ductile Reinforced Concrete Columns. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- [3] **Nanni, A. and Norris, M.S,** 1995. FRP Jacketed Under Flexure and Combined Flexure-Compression, *Construction and Building Materials*. **9(5)**, 273-281.
- [4] **Seible, F., Priesley, J.H., Hegemier, G.A., and Innamorato, D.,** 1997. Seismic Retrofit of RC Columns With Continions Carbon Fiber Jackets. *Journal of Composites for Construction*. **1(2)**, 52-62.
- [5] **Xiao, Y. and Ma, R.,** 1997. Seismic Retrofit of RC Circular Columns Using Prefabricated Composite Jacketing. *Journal of Structural Engineerin.,* **123(10)**, 1357-1364.
- [6] **Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R. and Jin, L.,** 1997. Repair of Earthquake-Damaged RC Columns With FRP Wraps, *ACI Structural Journal*. **91(2)**, 206-215.
- [7] **Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R. M.EERI, and Jin, L.,** 1997. Seismic Retrofit of Rectangular Bridge Columns With Composites Straps. *Earthquake Spektra*. **13(2)**, 281-304.
- [8] **Jaradat, O., McLean, D.I., and Lee Marsh, M.,** 1998. Performance of Existing Bridge Columns Under Cylic Loading. *ACI Structural Journal*. **95(6)**, 695-704.
- [9] **Unjoh, S., Tereyama, T., Adachi, Y. and Hoshikuma, J.,** 2000. Seismic Retrofit of Existing Highway Bridge Columns in Japan. *Cement and Concrete Composites*, **1(6)**, 52-62.

- [10] **Saatçioğlu, M., and Elnabelsy, G.,** 2001. Seismic Retrofit of Bridge Columns With CFRP Jackets. *Composites in Civil engineering*, **1**, 833-838.
- [11] **Haroun M.A., Mosallam, A.S., Feng, M.Q. and Elsanadedy, H.M.,** 2001. Experimentel Investigation of Seismic Repair and Retrofit of Bridge Columns by Composites Jackets. *FRP Composites in Civil Engineering*, **1**, 838-857.
- [12] **Bousias, S., Triantafillou, T., Fardis, M., Spathis, L. and Oregan, B.,** 2002. Experimentel Behaviour of Deficient Rectangular Columns With Externally FRPs. *12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, UK. September 9-13.
- [13] **Bousias, S., Spathis, L. Triantafillou, T., and Fardis, M.,** 2002. Seismic Retrofit of Corrosion-Damaged RC Columns. *12th European Conference on Earthquake Engineering*, London, UK. September 9-13.
- [14] **Sheikh, S.A. and Yau, G.,** 2002. Seismic Behavior of Concrete Columns Confined With Fiber-Retrofit Polimers. *ACI Structural Journal*, **99(1)**, 72-80.
- [15] **Lacobuci, R.D., Sheikh, S.A. and Bayrak, O.,** 2003. Retrofit of Square Concrete Columns Confined With Fiber-Reinforced Polimer for Seismic Resistance. *ACI Structural Journal*, **100(6)**, 785-794.
- [16] **Lee, H., Kage, T., Noguchi, T. and Tomosawa, F.,** 2003. An Experimentel Study on The Retrofitting effects of Reinforced Concrete Columns Damaged by Rebar Corrosion Strengthened With Carbon Fiber Sheets. *Cement and Concrete Research*, **33**, 563-570.
- [17] **Ye, L.P., Zhang, K., Zhao, S.H. and Feng, P.,** 2003. Experimentel Study on Seismic Strengthening of RC Columns With Wrapped CFRP Sheets. *Construction and Building Materials*, **17**, 499-506.
- [18] **Paulay, T.,** 1982. Lapped Splices in Earthquake-Resisting Columns, *ACI Structural Journal*. **79**, 458-469.
- [19] **Chettoe, C.S. and Adams, H.C.,** 1933. Reinforced Concrete Bridge Desing, Chapman and Hall LTD., London.

- [20] **Holl, G.A. and Kine, W.S.**, 1944. Reinforced Concrete and Masonary Structures. The Maple Press Company, York, PA.
- [21] **Dunham, C.W.**, 1953. The Theory and Practice of Reinforced Concrete, McGraw-Hill Book Company, INC.
- [22] **Priestley, M.J.N., Seible, F. and Calvi, G.M.**, 1996. Seismic Desing Philosophy For Bridges, John Wiley and Sons, INC.
- [23] **Ersoy, U.**, 1985. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Yayınevi ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul.
- [24] **Celep, Z ve Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Rehber Matbaacılık., İstanbul.
- [25] **Celep, Z ve Kumbasar, N.**, 2001. Betonarme Yapılar, Rehber Matbaacılık., İstanbul.
- [26] **TS 500 Betonarme Yapıların Yapım ve Hesap Kuralları**, 2000. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [27] **TS 500 Betonarme Yapıların Yapım ve Hesap Kuralları**, 1985. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [28] **TS 708 Beton Çelik Çubukları**, 1985. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [29] **ACI318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary**, 1941. Amerikan Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [30] **ACI318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary**, 1951. Amerikan Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [31] **ACI318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary**, 1999. Amerikan Concrete Institute, Detroit, Mich.
- [32] **İlki, A., Kumbasar, N.**, 2002. Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme ile Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve Güçlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2597-2616.

Tablo A.1. Geçmişte Yapılan Çalışmalara Ait Bazı Sayısal Sonuçlar

Çalışma Sahibi	Numune Özellikleri	Malzeme Özellikleri	Güçlendirme Detayları	Sonuçlar
Nanni ve Norris (1995)	Daire enkesitli: (D=150mm) Dikdörtgen enkesitli: (150x200mm) Boyuna donatıları sürekli kolon numuneler Eksenel yük oranı: %0,10,35	<u>Donatı:</u> Daire enkesitli: $f_y=591\text{MPa}$ boyuna donatı; $6\Phi 8.6$, $\rho_s=1.7\%$ Dikdörtgen enkesitli: $f_y=567\text{MPa}$ boyuna donatı: $6\Phi 9.5$, $\rho_s=1.4\%$ enine donatı; boyuna donatı iskeletinin korunması amacı ile kullanım <u>Beton:</u> $f_c=36-46\text{MPa}$	I- Aramid FRP bant kompozit (K64, K24, K48) $f_j=1150\text{MPa}$, $E_j=62.2\text{GPa}$ (Daire enkesitli kolonlarda) II- Cam-Aramid (impregnate) FRP kompozit $f_j=2068\text{MPa}$, $E_j=72.4\text{GPa}$ (Dikdörtgen + Daire enkesitli kolonlarda)	Süneklik ve enerji yutma kapasitelerinde gelişme, eksenel yük oranının davranışa olumlu katkısı I- Kesme göçmesi ve beton ezilmesini engelleme II- Daire enkesitli kolonlar için gelişme daha fazla, dikdörtgen enkesitli kolonlar için çok uygun değil. (Dikdörtgen enkesitli kolonlar için yaklaşık olarak $\mu=1.5 \rightarrow \mu=4.3$)
Seible, Priestley, Hegemier ve Innamorato (1997)	I- Dikdörtgen enkesitli: (406x610mm) II- Dikdörtgen enkesitli: (489x730mm) III- Daire enkesitli: (D=610mm) Dikdörtgen enkesitli kolonlar sürekli donatılı, daire enkesitli kolonlar bindirmeli ekli ($20x d_b$) Eksenel yük oranı: %6,14,19	<u>Donatı:</u> I- boyuna donatı; $f_y=303\text{MPa}$ $22\Phi 19$ II- boyuna donatı; $f_y=303\text{MPa}$ $14\Phi 25 + 28\Phi 22$ III- boyuna donatı; $f_y=303\text{MPa}$ $26\Phi 19$ enine donatı; $6\text{ mm}/127\text{ mm}$ <u>Beton:</u> $f_c=34.5\text{MPa}$	Kesme (I), eğilme (II) kapasitesini ve bindirme boyu yetersizliğini (III) gidermek üzere CFRP kompozit ile güçlendirme $E_j=124\text{GPa}$ $f_{ju}=1.3\text{GPa}$ Her farklı durum için ceket kalınlığının kolon boyunca değiştiği güçlendirme tipleri	Her üç durum için deprem performanslarına önemli gelişme, Kesme ve eğilme kapasitelerinde artma I-$\mu=3 \rightarrow \mu=12$ II-$\mu=4 \rightarrow \mu=8$ III-$\mu=1.5 \rightarrow \mu=8$ Bindirme boyu yetersizliği olan kolonlarda aderans kaybının engellenmesi

Xiao ve Ma (1997)	Daire enkesitli: (D=610mm) Boyuna donatıları bindirmeli ekli kolon numuneler Bindirme boyu: $20x d_b$ Eksenel yük oranı: %5	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; $f_y = \text{MPa}$ 2Φ19 enine donatı; 6 mm/127 mm <u>Beton:</u> $f_c = 44.8 \text{ MPa}$	GFRP kompozit ceket ile güçlendirme (impregnate) $E_j = 48300 \text{ MPa}$, $f = 552 \text{ MPa}$ I-Temel yüzünden 610 mm 4 kat ve üzeri 610 mm 3 kat II- Temel yüzünden 1220 mm 5 kat ve üzeri 991 mm 3 kat III- Temel yüzünden 1220 mm 4 kat kompozit ile sarım (onarım + güçlendirme)	Güçlendirme işlemi, tüm kolonların performansını iyileştirme ve gevrek aderans göçmesini geciktirme bakımından etkili, $\mu = 3$ (orijinal) $\rightarrow \mu = 8$ (I), $\mu = 8$ (II), $\mu = 6$ (III) Sarım sayısının fazla olduğu numune teorik olarak hesaplanan dayanımın üzerinde, onarılıp güçlendirilen numune daha fazla çevrim sıkışması
Saadatmanesh, Ehsani ve Jin (1997a)	Daire enkesitli: (D=305mm) Dikdörtgen enkesitli: (368x241mm) Boyuna donatıları sürekli ve bindirmeli ekli kolon numuneler Bindirme boyu: $20x d_b$ Eksenel yük oranı: %15	<u>Donatı:</u> Daire enkesitli: $f_y = 360 \text{ MPa}$ boyuna donatı; 13mm nervürlü $\rho_s = 2,48$ (%) enine donatı; 3,5mm (wire)/90mm $\rho_w = 0,17$ (%) Dikdörtgen enkesitli: $f_y = 360 \text{ MPa}$ boyuna donatı; 16mm nervürlü $\rho_s = 2,7$ (%) enine donatı; 3,5mm (wire)/115mm $\rho_w = 0,13$ (%) <u>Beton:</u> $f_c = 34 \text{ MPa}$	GFRP kompozit ile güçlendirme $E = 72,4 \text{ GPa}$, $F_u = 532 \text{ MPa}$, $t_j = 0,8 \text{ mm}$ (tek katın kalınlığı) Daire enkesitli: 6 kat sarım Dikdörtgen enkesitli: 8 kat sarım	Dairesel ve dikdörtgen kolonlar için etkili Daire enkesitli: %24 dayanım artımı $\mu = 1,5 \rightarrow \mu = 4,5$ Deney sonu ~%20 yatay yük taşıma kapasitesinde azalma Dikdörtgen enkesitli: %38 dayanım artımı $\mu = 1,5 \rightarrow \mu = 5$ yatay yük taşıma kapasitesinde belirgin azalma yok

Saadatmanesh, Ehsani, Eeri ve Jin (1997b)	Dikdörtgen enkesitli: (368x241mm) Boyuna donatıları sürekli ve bindirmeli ekli kolon numuneler Bindirme boyu: $20x d_b$ Eksenel yük oranı: %15	<u>Donatı:</u> Dikdörtgen enkesitli: boyuna donatı; $f_y=358\text{MPa}$ I-bindirmeli ekli ; $12\Phi 16$ $\rho_s=2,70$ (%) II-sürekli donatılı; $10\Phi 16 + 22\Phi 13$ $\rho_s=5,45$ (%) enine donatı; $f_{yh}=301\text{MPa}$ $3,8\text{mm}$ (wire)/89mm $\rho_w=0,17$ (%) <u>Beton:</u> $f_c=34\text{ MPa}$	GFRP kompozit ile güçlendirme $E=72,4\text{ GPa}$, $f_u=532\text{MPa}$, $t_j=0,8\text{mm}$ (tek katın kalınlığı) I- bindirmeli ekli ; 8 kat (plas. maf. böl.) II- sürekli donatılı; 8 kat (plas. maf. böl.)+ 3 kat (diğer böl.) III- sürekli donatılı (oval); 8 kat (plas. maf. böl.)+ 3 kat (diğer böl.)	I-$\mu=1,5 \rightarrow \mu=5$ %44 dayanım artımı ($\mu=6$'da az miktar dayanım kaybı ve donatı kayması) II-$\mu=1,5 \rightarrow \mu=6$ %32 dayanım artımı (dayanım kaybı yok) III-$\mu=1,5 \rightarrow \mu=6$ %40 dayanım artımı (dayanım kaybı yok) Güçlendirme, süneklik ve eğilme dayanımı bakımından etkili, oval ve dikdörtgen şekil arasında belirgin fark yok
Jaradat, McLean ve Marsh (1998)	Daire enkesitli: (D=250mm) Boyuna donatıları bindirmeli ekli kolon numuneler Bindirme boyu: $20x d_b$ Eksenel yük oranı: %5	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; $f_y=360\text{MPa}$ $12,7\text{mm}$ nervürlü $\rho_s=0,02$ (%) enine donatı; $3,8\text{mm}$ (wire)/98mm $\rho_w=0,18$ (%) <u>Beton:</u> $f_c=29\text{ MPa}$	ÇELİK MANTO $t=3,4\text{mm}$ $f_s=250\text{Mpa}$ I-CALTRANS CLASS F Sargılama etkisi sağlar II-CALTRANS CLASS P Sınırlı yatay genişleme imkan verir	I- Ulaşılan momenti göçmeye kadar koruması, fazla enerji yutulması, donatı sıyrılmasını önlemesi bakımından etkili II- Aderans kaybını önleyememiş ancak orijinal kolonlara göre moment ve yatay yük taşıma kapasitesini artırmada etkili

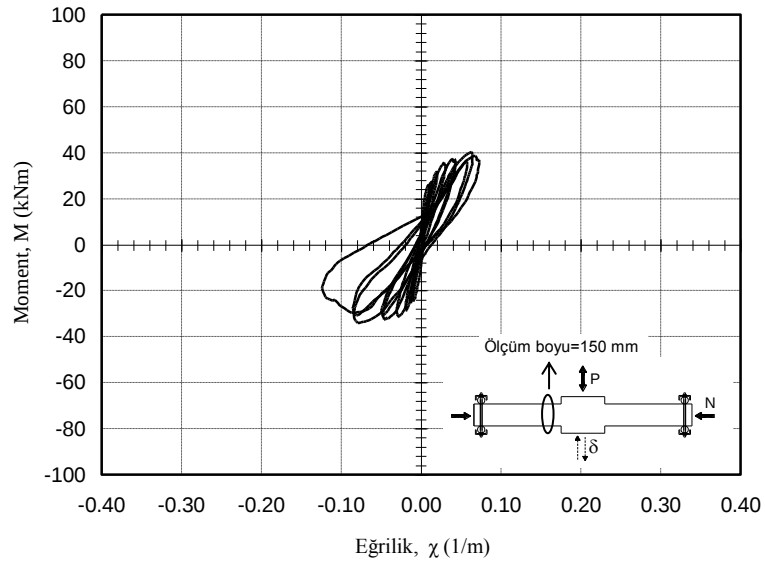
Unjoh, Terayama, Adachi ve Hoshikuma (2000)	Kare enkesitli: (600x600mm) Boyuna donatıları sürekli kolon numuneleri Eksenel yük oranı: 150 N/cm²	<u>Donatı:</u> II- boyuna donatı; SD435 26D22 $\rho_s=2.8\%$ enine donatı; SD435 6D/500 $\rho_w=0.05\%$ <u>Beton:</u> -	I-Çelik Manto $t=1.6\text{ mm}$ (SM400) Temele ankraj bulonları ile bağlantı Ceket uzunluğu 2600 mm II- CFRP kompozit ile 4-8 kat sarım $t=0.0972\text{ mm}$ $f_s=249\text{ kN/cm}^2$	I- Eğilme rijitliği, dayanım ve süneklik kapasitesinde artma Orijinal kolona göre % 30 eğilme kapasitesinde gelişme, 6δ_y seviyesine kadar dayanım kaybı yok II- Gevrek kesme göçmesini önleme 4 kat sarım: ~25 mm yerdeğiştirme seviyesinde ani dayanım kaybı 8 kat sarım: 40 mm yerdeğiştirme seviyesine kadar dayanım kaybı yok 8 kat sarım, süneklik, enerji yutma kapasitesi, göçme modunu kesmeden eğilmeye çevirme bakımından daha etkili
Saatçioğlu ve Elnabelsy (2001)	Daire enkesitli: (D=508mm) Dikdörtgen enkesitli: (500x500mm) Boyuna donatıları bindirmeli ekli kolon numuneler Bindirme boyu: 20xd_b Eksenel yük oranı: %15	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; $f_y=400\text{MPa}$ 12Φ16,5 $\rho_s=1.026\%$ enine donatı; $f_{yh}=400\text{MPa}$ 11,3mm /300mm $\rho_w=0.26\%$ <u>Beton:</u> -	FRP kompozit ile güçlendirme CF 130, E=60 GPa Daire enkesitli: 4 kat sarım Dikdörtgen enkesitli: 5 kat sarım	Daire enkesitli: Ötelenme; %1 $\rightarrow$ %6 ~%20 moment kaybı Dikdörtgen enkesitli: Ötelenme; %1 $\rightarrow$ %3 %20 moment kaybı Dikdörtgen kolonların güçlendirilmesinde fazla etkili değil

Haroun, Mosallam, Feng ve Elsanadedy (2001)	Daire enkesitli: (D=610mm) Dikdörtgen enkesitli: (610x610mm) Boyuna donatıları bindirmeli ekli kolon numuneler Bindirme boyu: $20x d_b$ Eksenel yük oranı: %10	<u>Donatı:</u> Daire enkesitli: $f_y=299\text{MPa}$ boyuna donatı; 20Φ19 $\rho_s=1,94\%$ enine donatı; $\Phi 6,35/127$ $\rho_w=0.16\%$ Dikdörtgen enkesitli: $f_y=443\text{MPa}$ boyuna donatı; 28Φ19 $\rho_s=2,13\%$ enine donatı; $\Phi 6,35/127$ $\rho_w=0.16\%$ <u>Beton:</u> $f_c=35-42\text{ MPa}$	I-CFRP, $t_f=0,1584\text{in}$, $f_j=605\text{ksi}$, $E_j=33,60\text{msi}$ (231GPa) II- CFRP, $t_f=0,1590\text{in}$, $f_j=643\text{ksi}$, $E_j=33,40\text{msi}$ (230GPa) III- CFRP, $t_f=0,0975\text{in}$, $f_j=636\text{ksi}$, $E_j=32,80\text{msi}$ (226GPa) IV- GFRP, $t_f=0,90\text{in}$, $f_j=108\text{ksi}$, $E_j=5,30\text{msi}$ (36GPa)	Dikdörtgen kolonlar için yeterli dayanım ve süneklik sağlaması bakımından etkili değil III> I, IV >II $\mu=2 \rightarrow 7$ (Dairesel) $\mu=0.8 \rightarrow 3.5$ (Dikdörtgen)
Bousias, Triantafillou, Fardis, Spathis ve Oregan (2002a)	Dikdörtgen enkesitli: (250x500 mm) Boyuna donatıları sürekli kolon numuneler Eksenel yük oranı: %38 Güçlü ve zayıf eksen doğrultusunda deneyler	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; $f_y=560\text{MPa}$ 4Φ18 enine donatı; $f_y=286\text{MPa}$ $\phi 8/200\text{ mm}$ <u>Beton:</u> $f_c=18\text{ MPa}$	CFRP kompozit ile 2-5 kat sarılarak güçlendirme $E=230\text{ GPa}$, $t_f=0,13\text{ mm}$ GFRP kompozit ile 5 kat sarılarak güçlendirme (2 kat CFRP kompozit ile eşit rijitlik) $E=70\text{ GPa}$, $t_f=0,17\text{ mm}$	Güçlü eksen doğrultusunda; Dayanım ve süneklik kapasitesinde önemli artma Orijinal numuneye göre; 2 kat CFRP, 2 kat CFRP (hasarlı), 5 kat CFRP ve 5 kat GFRP için Öteleme Oranı(%): 2.5 $\rightarrow$ 5.6, 3.8, 6.5 ve 6.2 Zayıf eksen doğrultusunda; Dayanım orijinal ile aynı kalırken ve süneklik kapasitesinde önemli artma Orijinal numuneye göre; 2 kat CFRP, 2 kat CFRP (hasarlı), 5 kat CFRP ve 5 kat GFRP için Öteleme Oranı(%): 4.1 $\rightarrow$ 7.8, 6.6, 7.5 ve 9.0

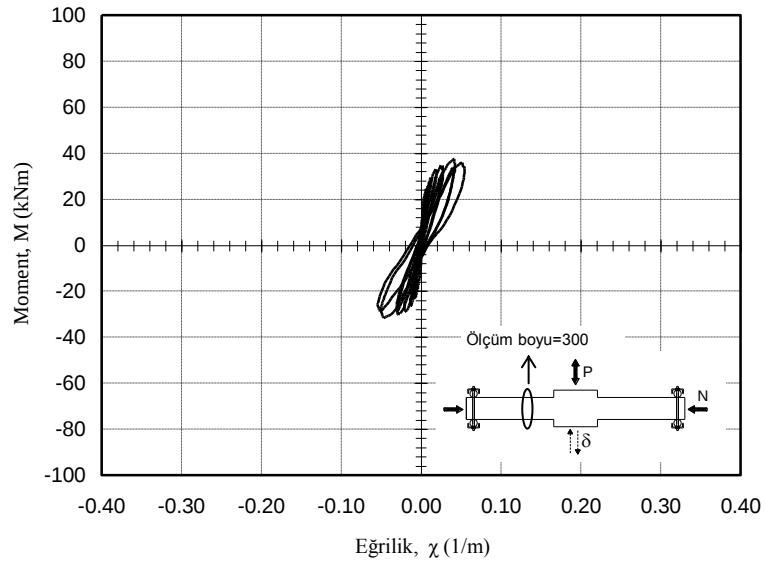
Bousias, Spathis Triantafillou ve Fardis (2002b)	Dikdörtgen enkesitli: (250x500 mm) Boyuna donatıları sürekli, korozyona uğratılmış kolon numuneler Eksenel yük oranı: %38 Güçlü ve zayıf eksen doğrultusunda deneyler	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; $f_y=560\text{MPa}$ 4Φ18 enine donatı; $f_y=286\text{MPa}$ ϕ8/200 mm <u>Beton:</u> $f_c=18\text{ MPa}$	CFRP kompozit ile 2-5 kat sarılarak güçlendirme $E=230\text{ GPa}$, $t_f=0,13\text{ mm}$ GFRP kompozit ile 5 kat sarılarak güçlendirme (2 kat CFRP kompozit ile eşit rijitlik) $E=70\text{ GPa}$, $t_f=0,17\text{ mm}$	Korozyona uğramış numunelerde donatının kopması sebebiyle sınırlı gelişme Güçlü eksen doğrultusunda; Orijinal numuneye göre; 2 kat CFRP, 2 kat CFRP (hasarlı), 5 kat CFRP ve 5 kat GFRP için Öteleme Oranı(%): 2.8→5.0, 4.1, 3.75 ve 4.1 Zayıf eksen doğrultusunda; Orijinal numuneye göre; 2 kat CFRP, 2 kat CFRP (hasarlı), 5 kat CFRP ve 5 kat GFRP için Öteleme Oranı(%): 4.4→7.2, 7.2, 8.75 ve 8.1
Sheikh ve Yau (2002)	Daire enkesitli: (D=356mm) Boyuna donatıları sürekli kolon numuneler Eksenel yük oranı: %27-54	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; grade 400 6Φ25 enine donatı; grade 60 9.5 mm/300 mm $\rho_w=0.30\text{ (%)}$ 9.5 mm/300 mm (ACI-318-99) $\rho_w=1.12\text{ (%)}$ <u>Beton:</u> $f_c=40\text{ MPa}$	CFRP kompozit ile tek kat sarım Tek katın kalınlığı 0.5-1.0 mm GFRP kompozit ile 1 veya 2 kat sarım Tek katın kalınlığı 1.25 mm	Güçlendirme yöntemi etkili Eksenel yükün fazla olduğu numunelerde; enerji yutma kapasitesinde 100 faktör gelişim, 5-6 süneklik seviyesine kadar dayanım kaybı yok, tek kat GFRP yetersiz Eksenel yükün az olduğu numunelerde; enerji yutma kapasitesinde 40 faktör gelişim Güçlendirilen numuneler, ACI 318'e uygun numunelere eşit ya da üstün performansa sahip

Lacobucci, Sheikh ve Bayrak (2003)	Kare enkesitli: (305x305 mm) Boyuna donatıları sürekli kolon numuneler Eksenel yük oranı: %33-56	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; $f_y=505\text{MPa}$ 20 mmçaplı nervürlü donatı $\rho_s=2,58$ (%) enine donatı; $f_y=457\text{MPa}$ 9.5 mm/300 mm <u>Beton:</u> $f_c=32-42$ MPa	CFRP kompozit ile 1,2 ve 3 kat sarım	CFRP kompozitin sarım sayısının artması ile performansın artması, Orijinal numuneler göre; %15-25 enerji yutma, %14-24 kesme, %27-55 moment kapasitesinde gelişme
Lee, Kage, Noguchi ve Tomosawa (2003)	Kare enkesitli: (300x300 mm) Boyuna donatıları sürekli, korozyona uğratılmış kolon numuneler Eksenel yük oranı: %0-20	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; $f_y=363$ MPa 12Φ16 enine donatı; $f_y=347\text{MPa}$ 10 mm/80 mm <u>Beton:</u> $f_c=39$ MPa	CFRP kompozit ile tek kat güçlendirme $E=290000$ MPa $f=3500$ MPa	Güçlendirme işlemi, enerji yutma, dayanım artımı ve orijinal numunelerdeki gevrek kesme göçmesini önlenmesi bakımından etkili Ancak korozyon oranının artmasıyla performans azalması Süneklik kapasitesi; $\mu=2 \rightarrow \mu=5$

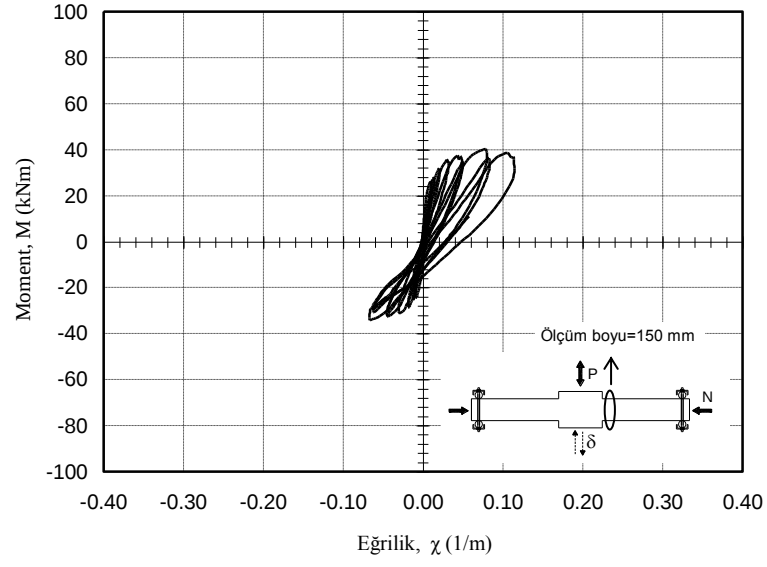
Ye, Zhang, Zhao ve Feng (2003)	Kare enkesitli: (200x200 mm) Boyuna donatıları sürekli kolon numuneler Eksenel yük oranı: %33, 44, 48	<u>Donatı:</u> boyuna donatı; 8Φ16 enine donatı; 6 mm/200 mm <u>Beton:</u> f_c=34 MPa	CFRP bant kompozit t=0.111 mm E=235 GPa f=3500 MPa I-15, 25 ve 35 mm genişliğinde bant kompozit ile 60 mm aralıklarda veya kumaş kompozit ile enine doğrultuda sarım II-Eksenel yük altında 20 mm genişliğinde kompozit ile 60 mm aralıklı sarım III-Önceden hasarlı 20 ve 45 mm genişliğinde kompozit ile 60 mm aralıklı sarım	I- CFRP kompozitin hacimsel oranının artmasıyla süneklik kapasitesinde artma ve eğilme etkisinde göçme, bant kompozitlerde ileri aşamalarda kopma, kumaş kompozit ile sarım sonucunda en iyi performans (~24 mm yerdeğiştirme seviyesine kadar dayanım kaybı yok) II- I.Gruptaki numuneye göre daha az sünek davranış(~14 mm yerdeğiştirme seviyesine ani dayanım kaybı) III- Orijinal numunelere göre dayanım ve süneklik kapasitesinde gelişme(~19 mm yerdeğiştirme seviyesine kadar dayanım kaybı yok)
---------------------------------------	--	---	---	--



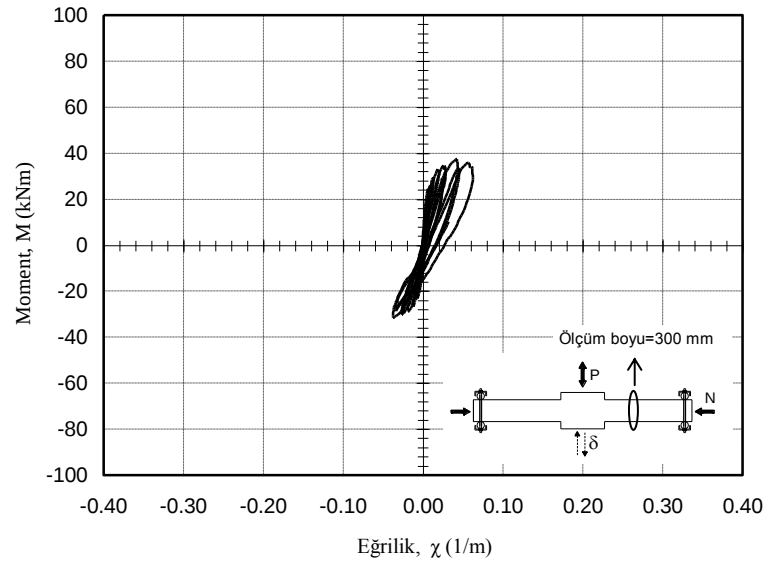
Şekil B.1. C-O-1 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



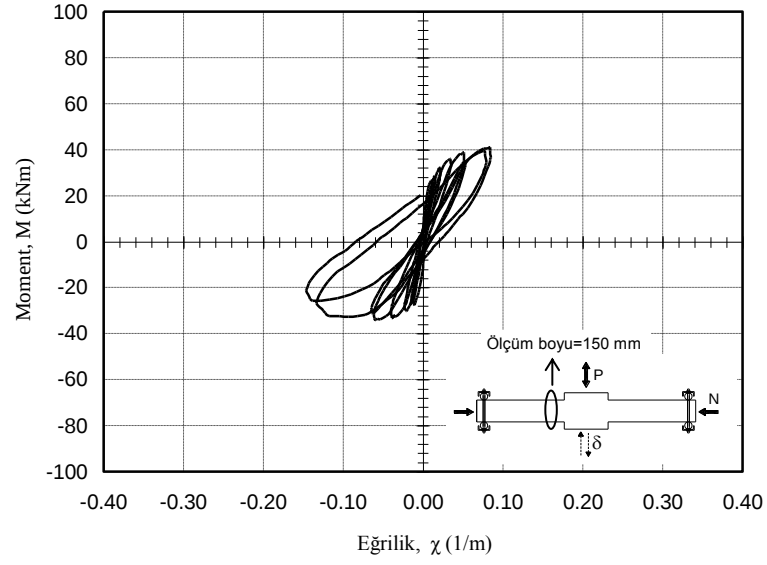
Şekil B.2. C-O-1 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



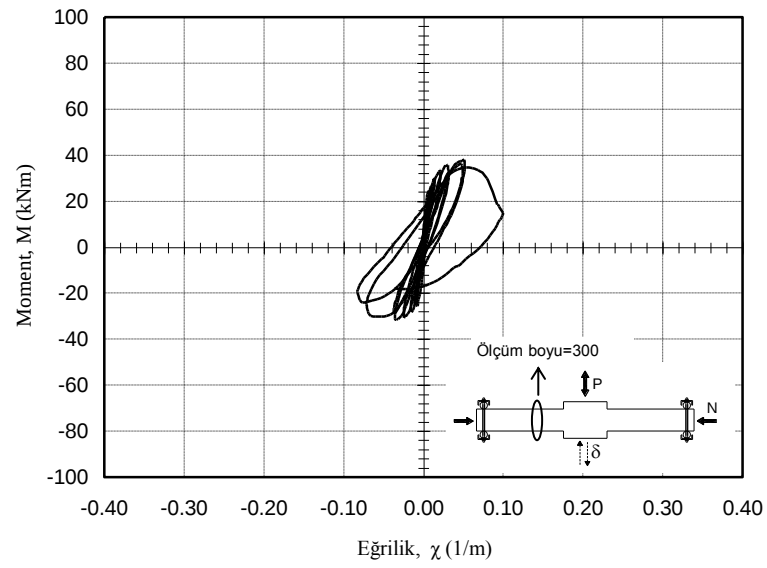
Şekil B.3. C-O-1 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



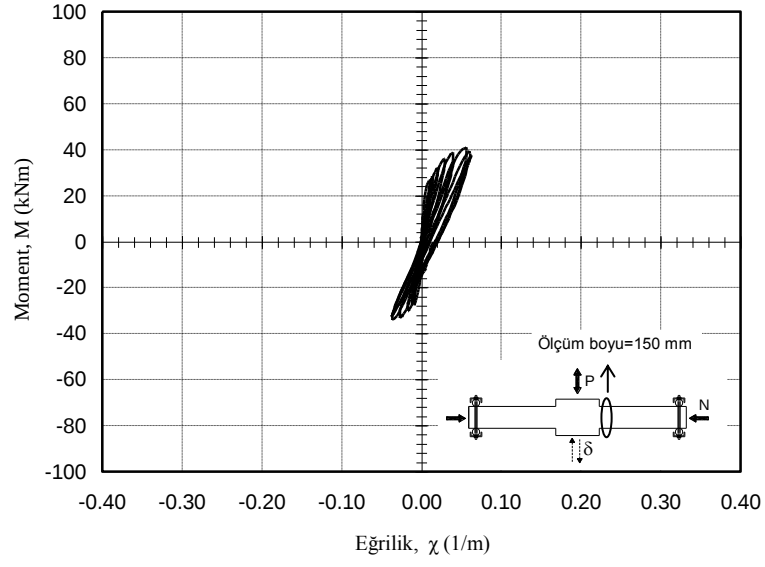
Şekil B.4. C-O-1 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



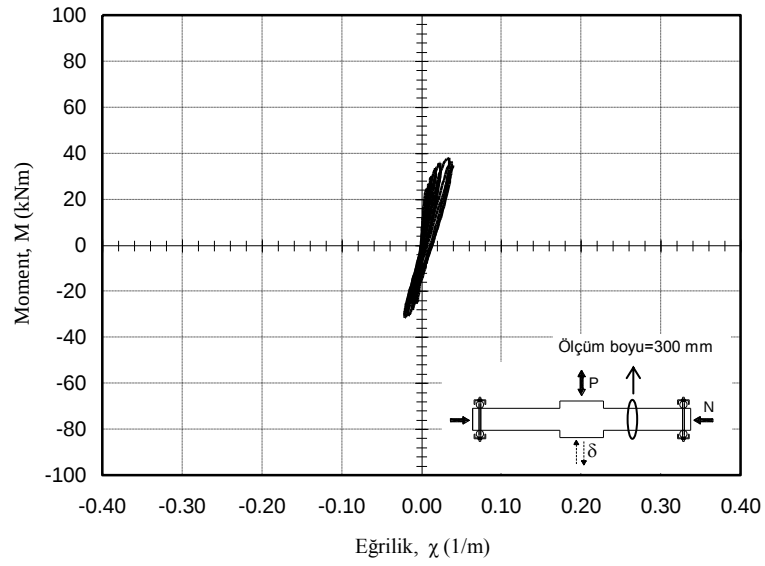
Şekil B.5. C-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



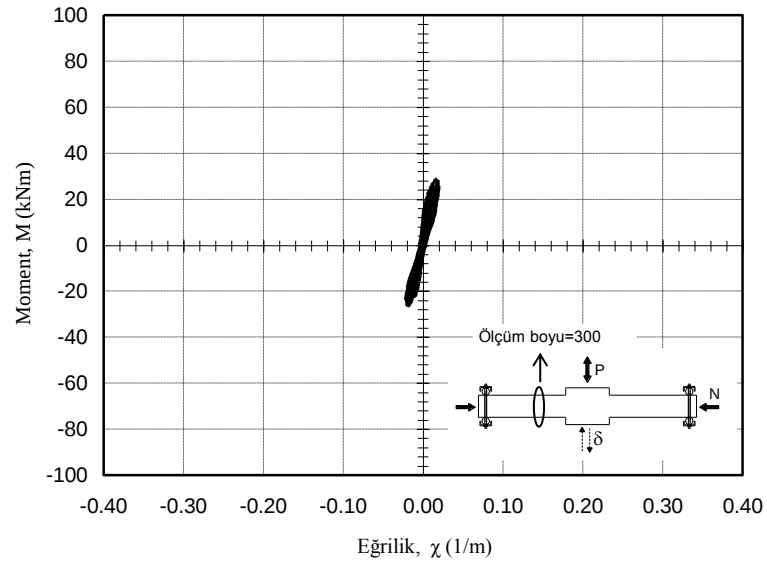
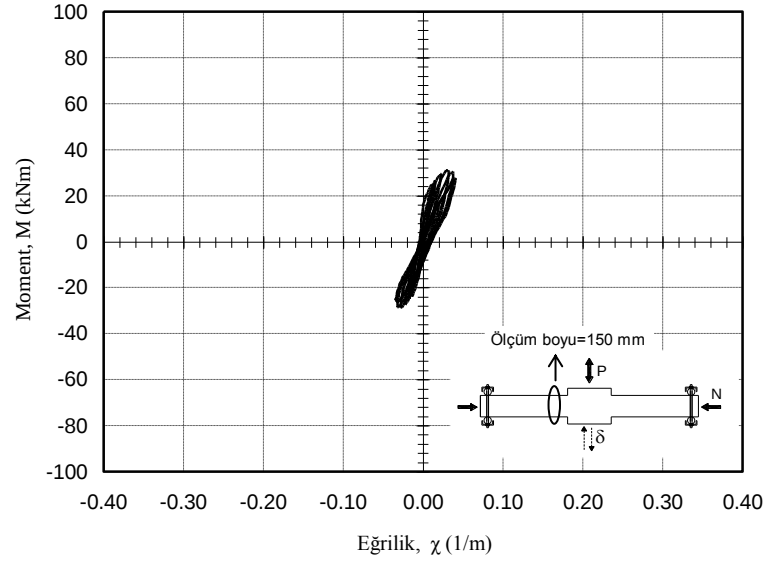
Şekil B.6. C-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

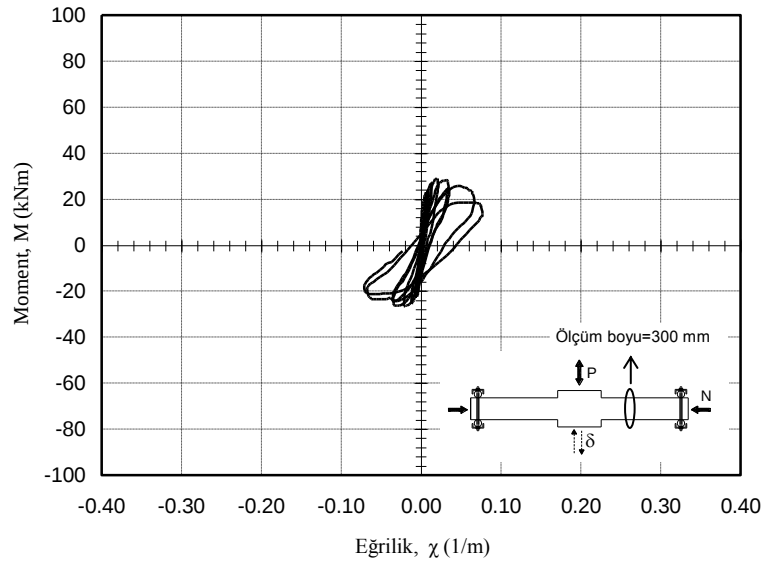
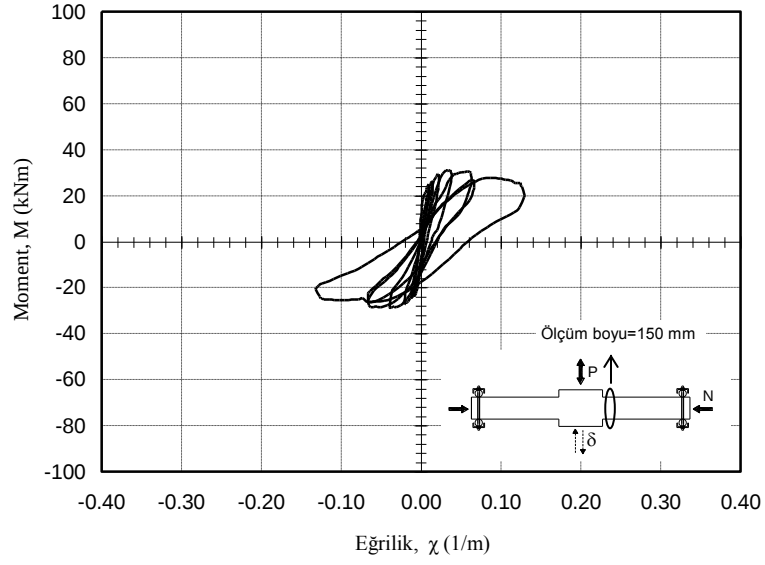


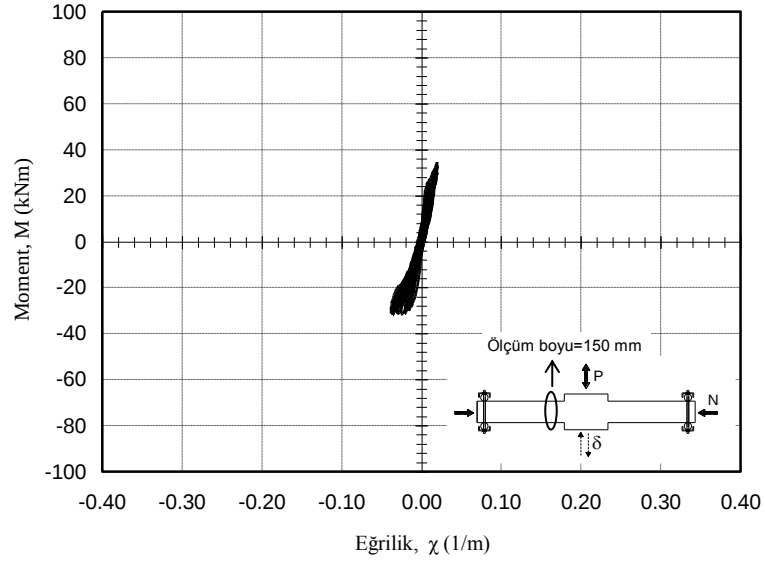
Şekil B.7. C-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



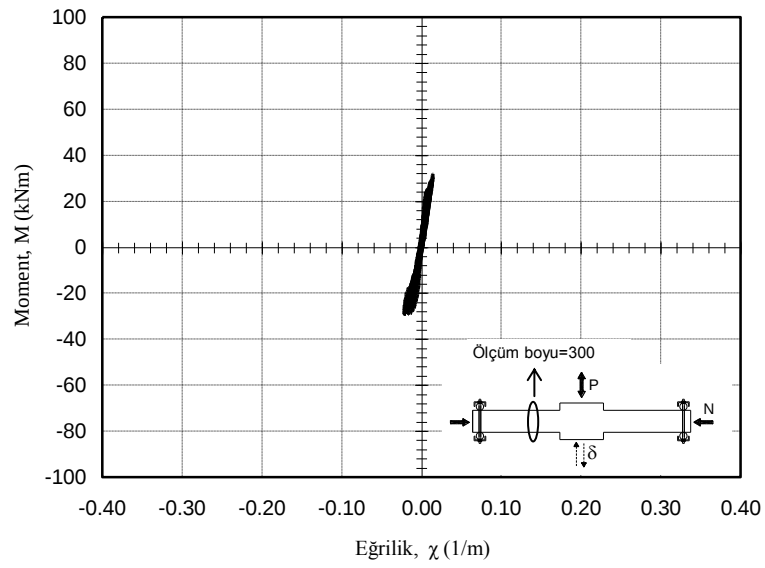
Şekil B.8. C-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



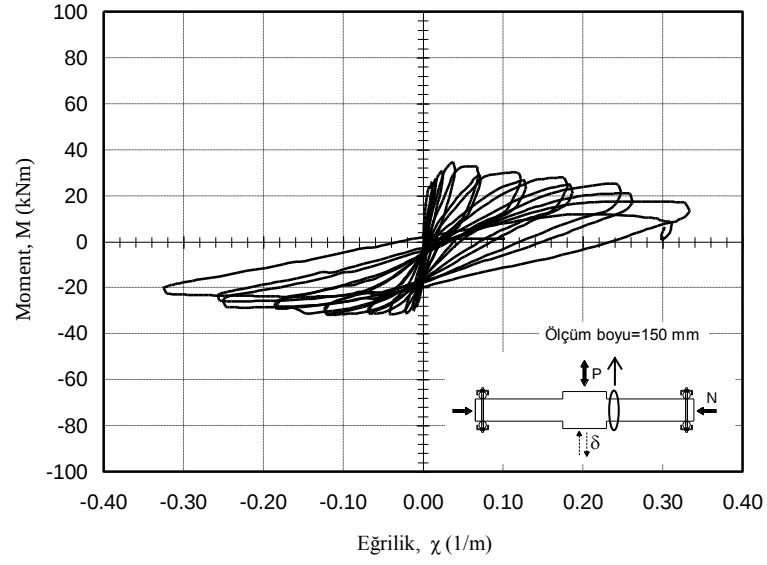




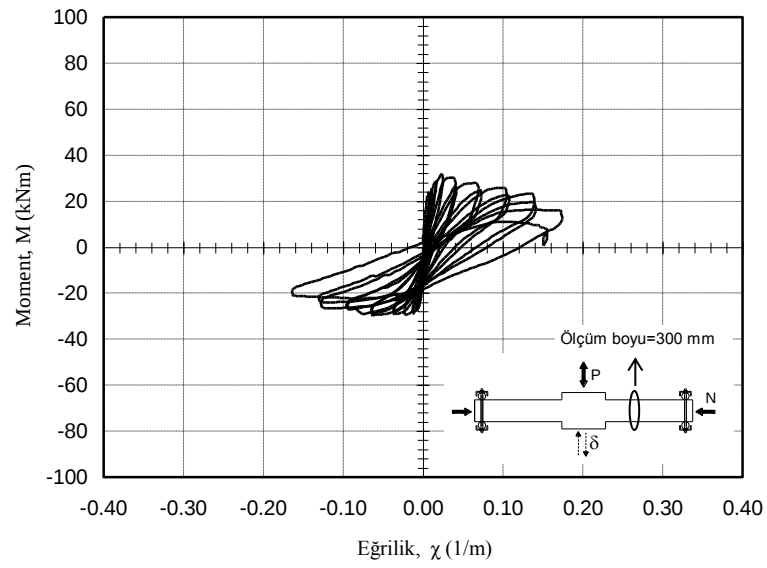
Şekil B.13. LS-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



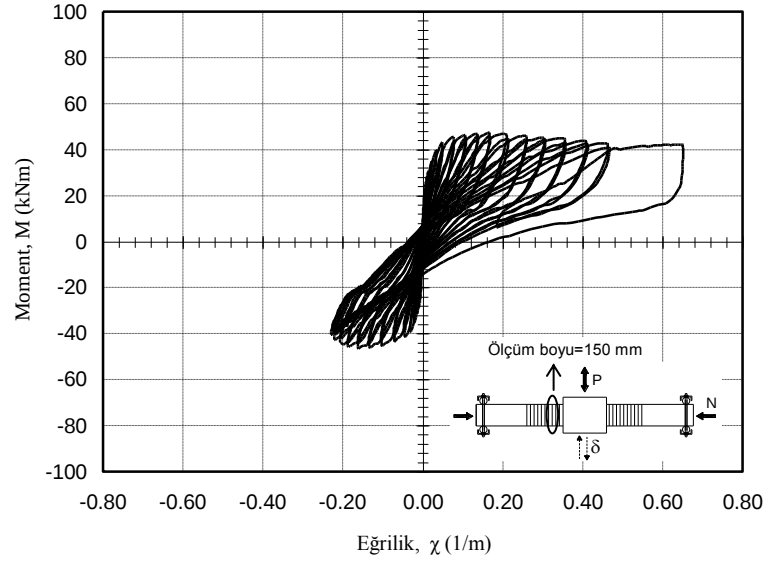
Şekil B.14. LS-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



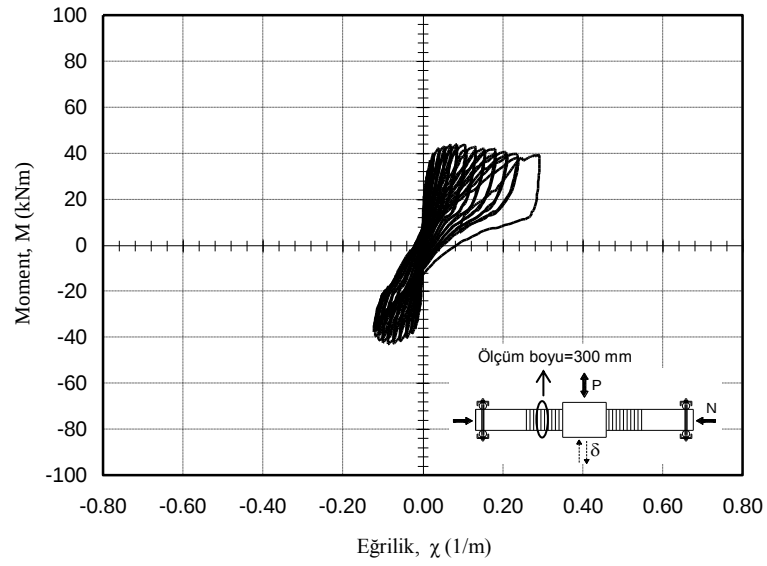
Şekil B.15. LS-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



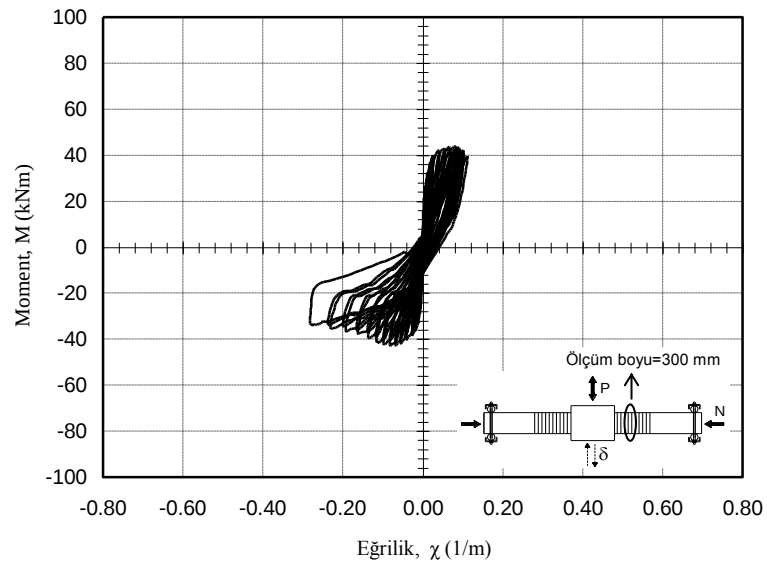
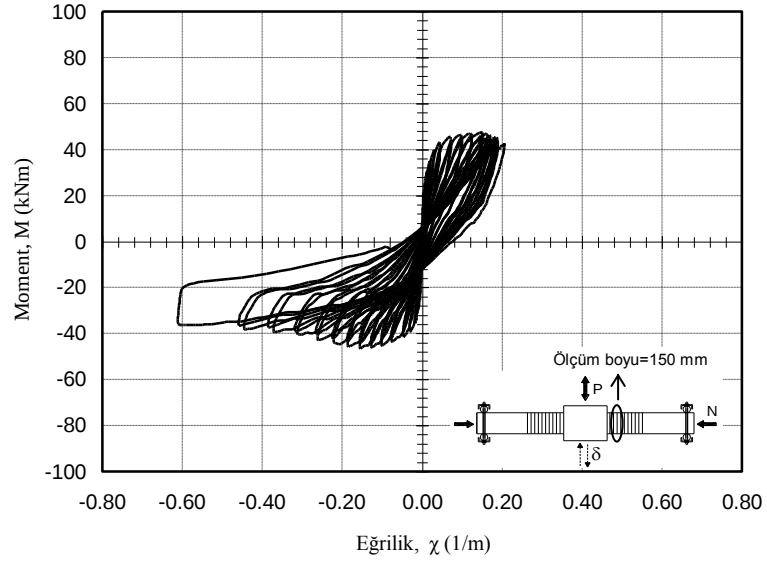
Şekil B.16. LS-O-2 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

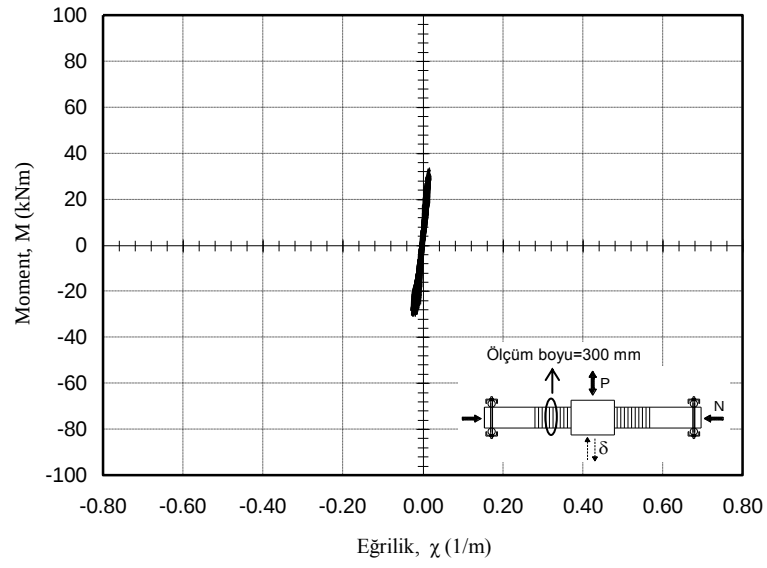
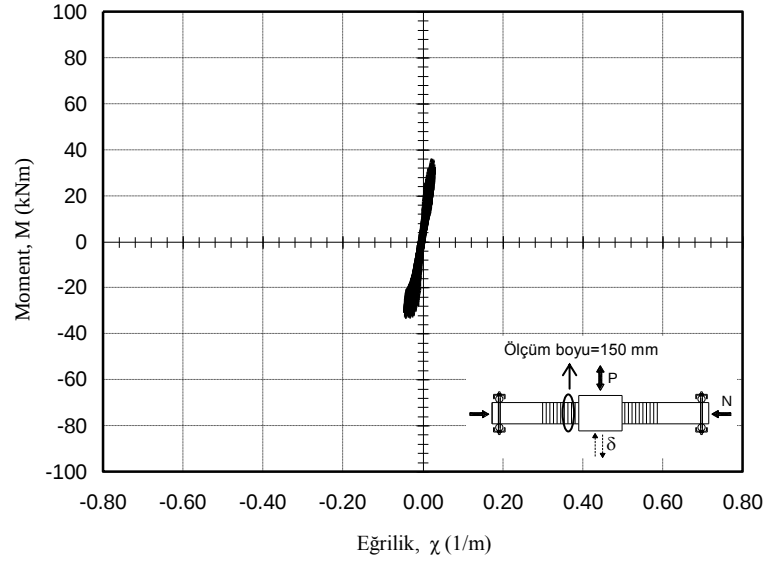


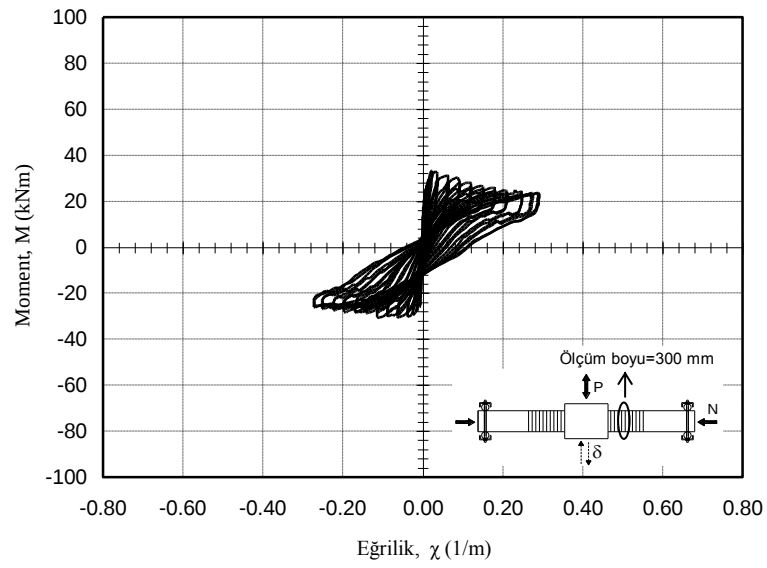
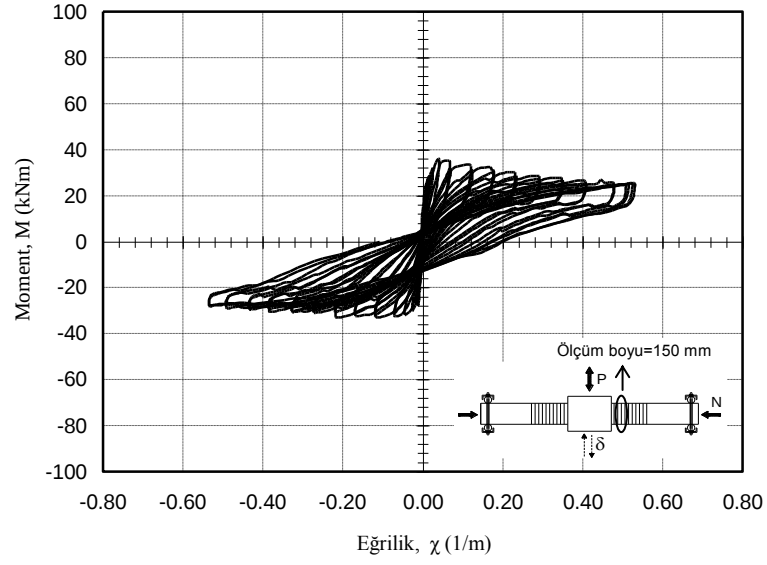
Şekil B.17. R-C-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

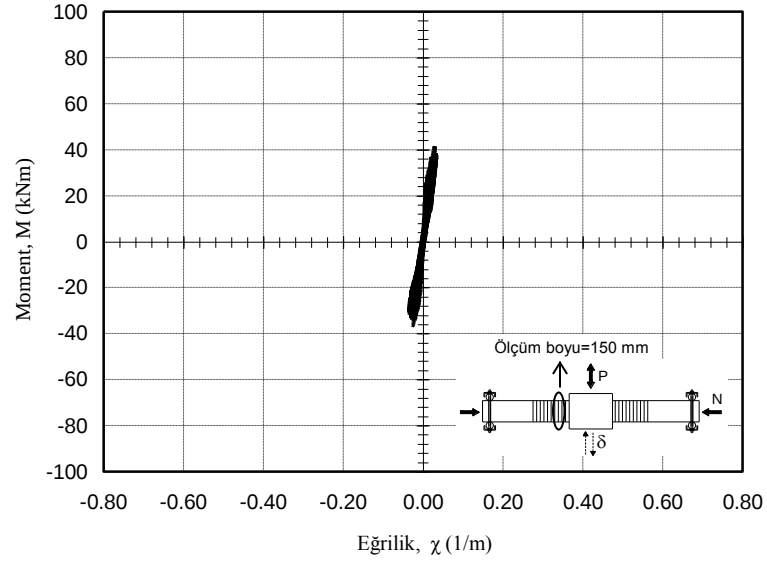


Şekil B.18. R-C-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

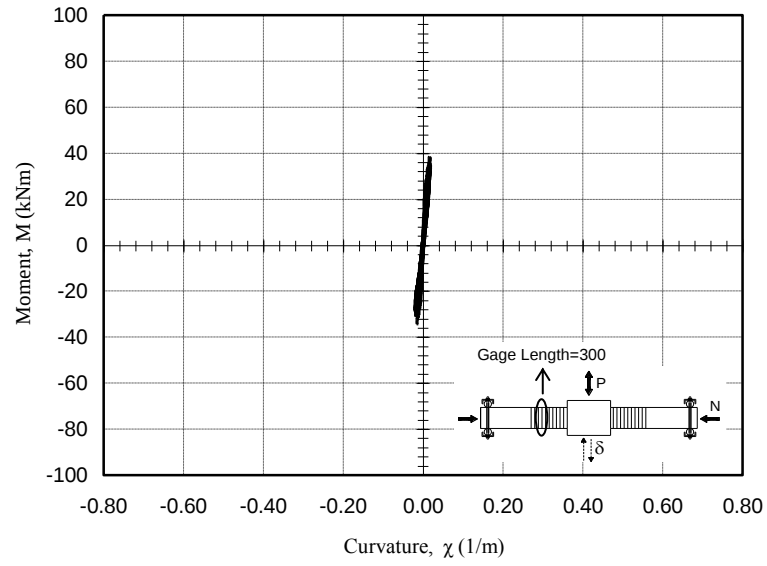




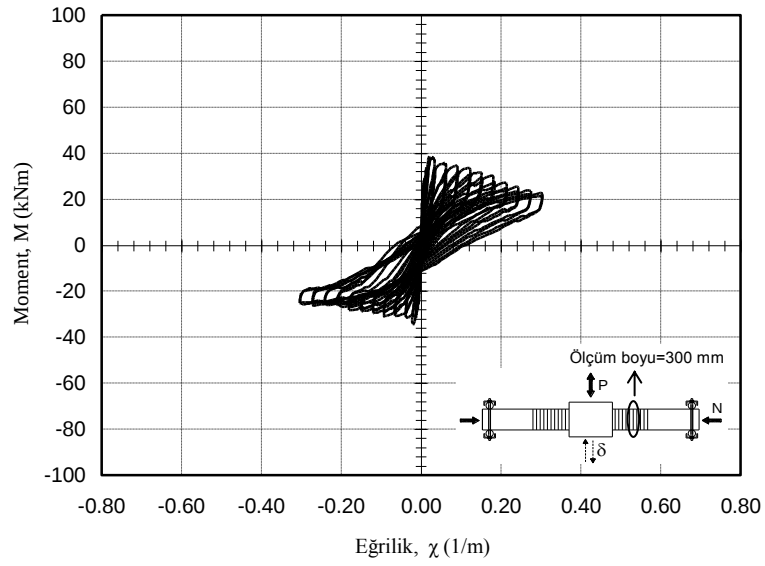
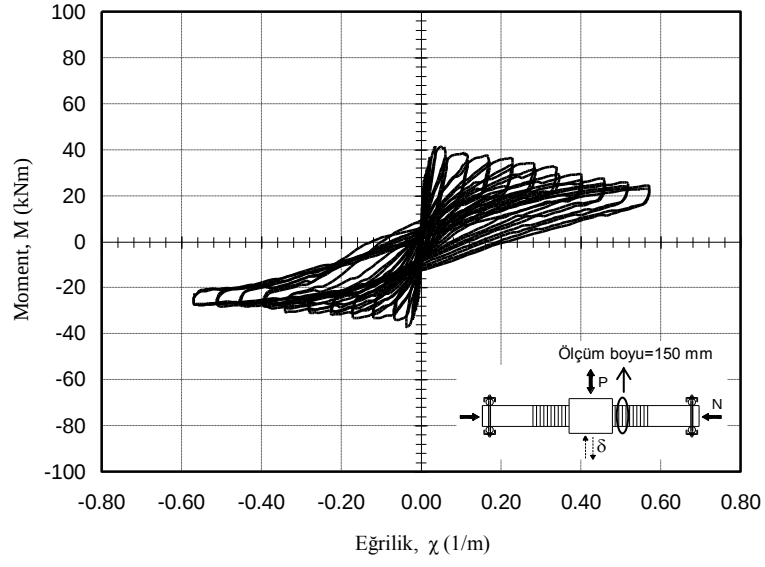


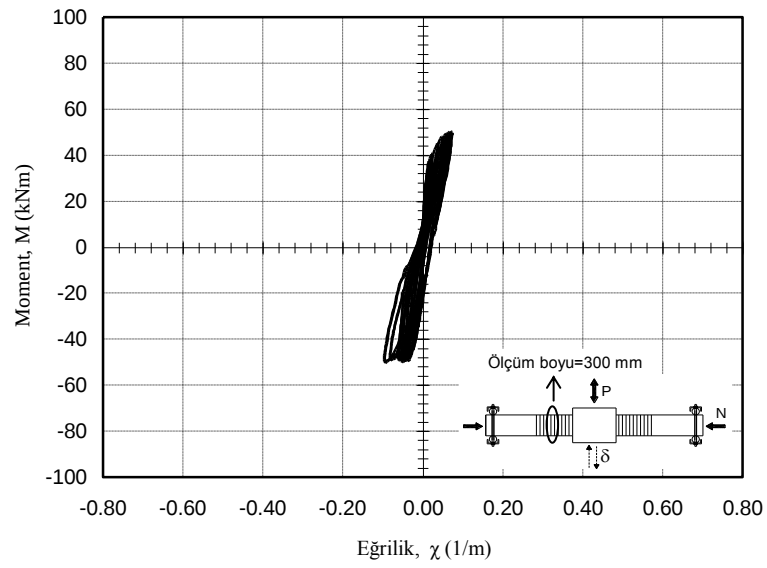
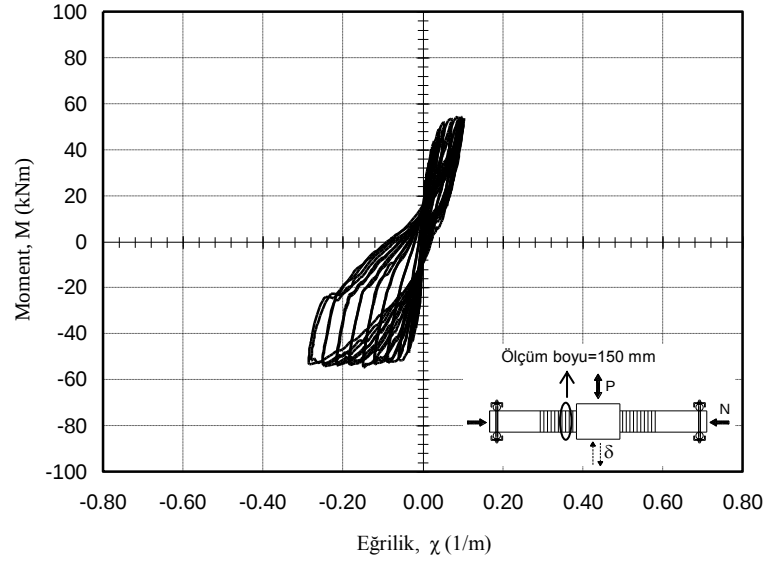


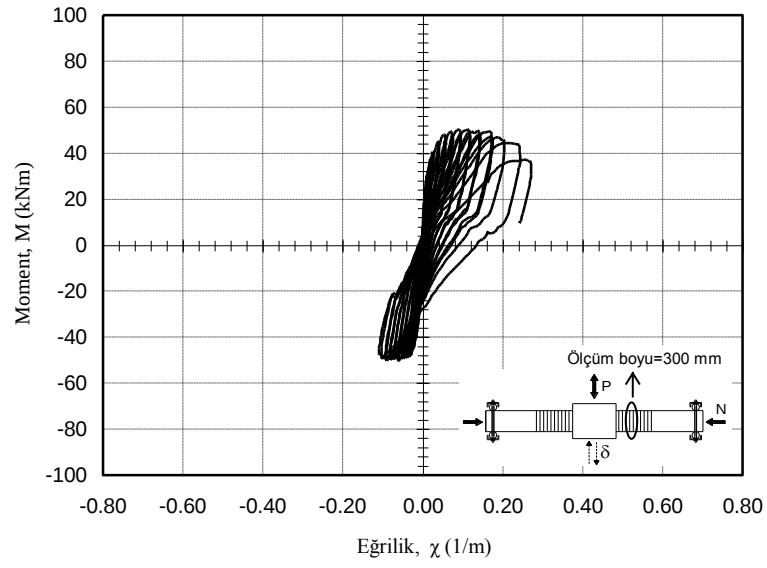
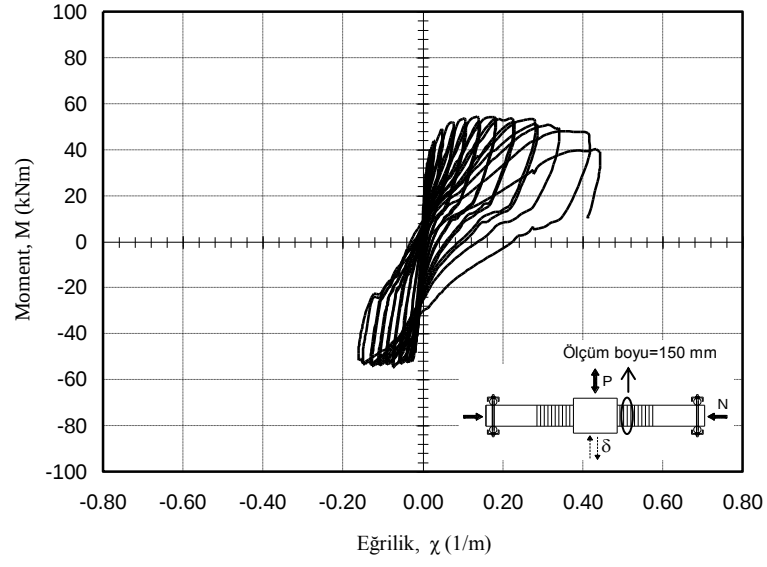
Şekil B.25. R-LS-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

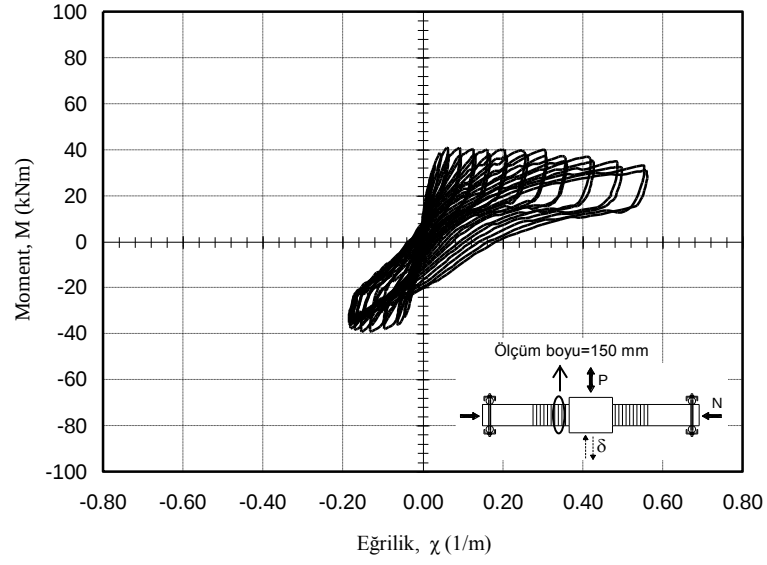


Şekil B.26. R-LS-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi

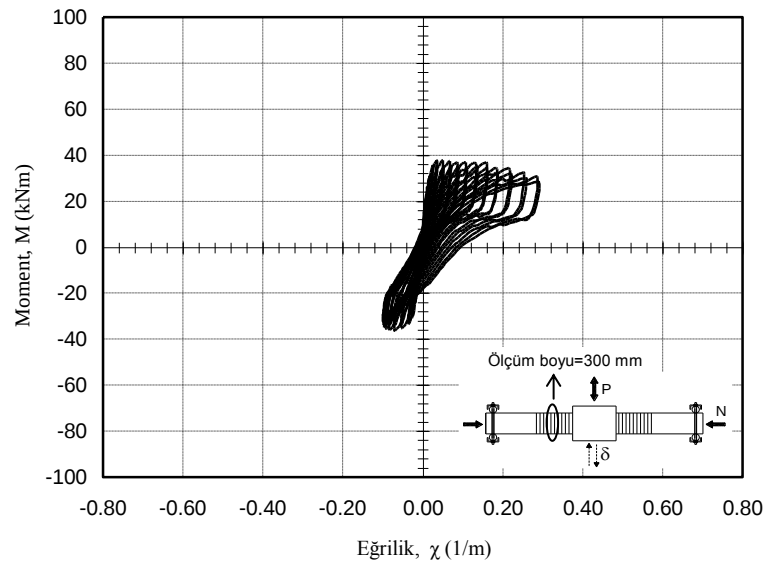




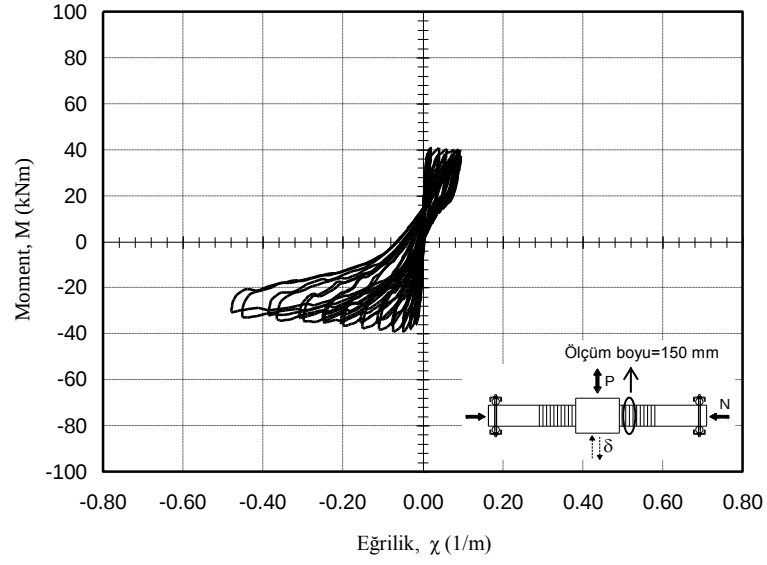




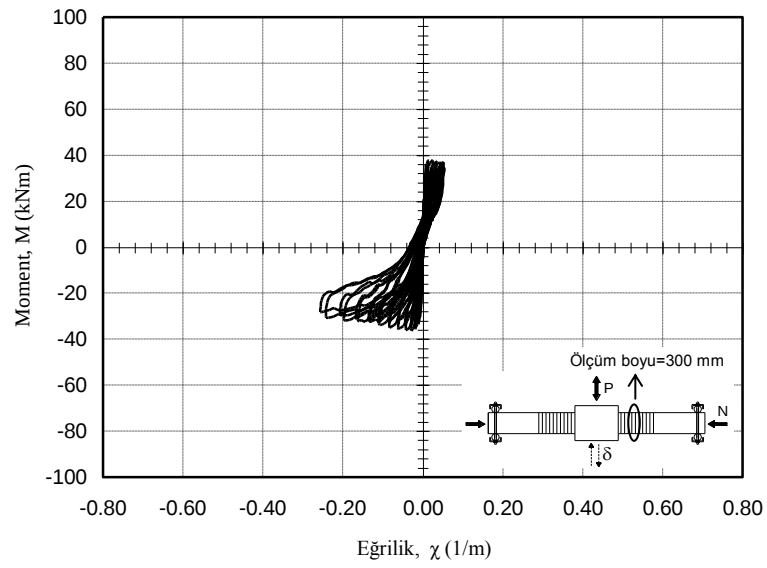
Şekil B.33. R-R-LS-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



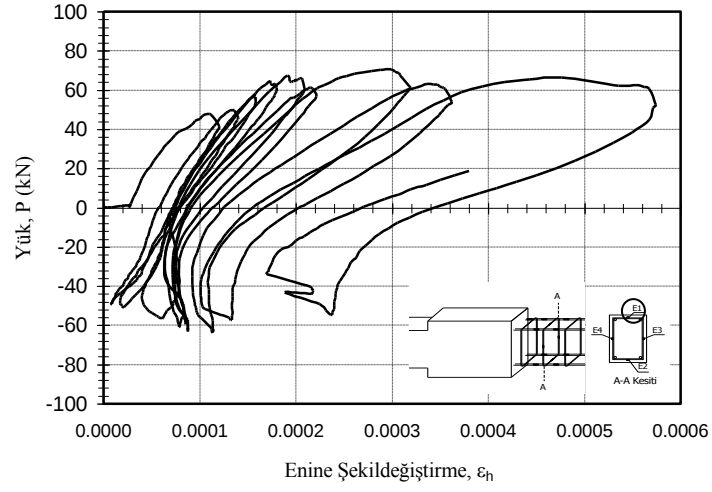
Şekil B.34. R-R-LS-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



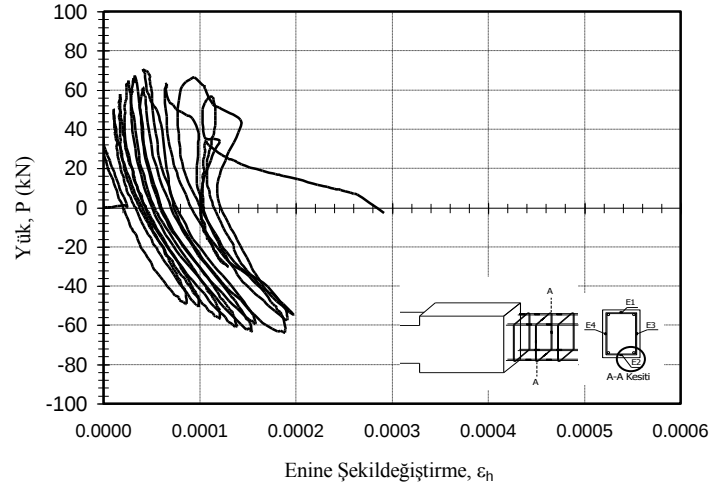
Şekil B.35. R-R-LS-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



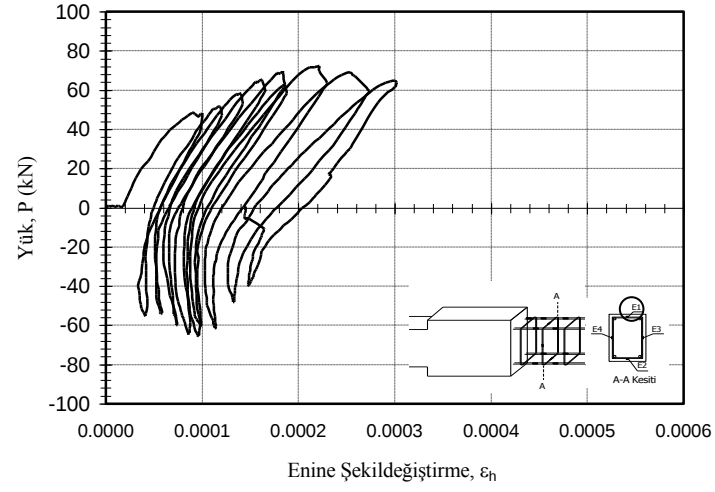
Şekil B.36. R-R-LS-C-6 Numunesinin Yerdeğiştirmeölçerlerden Elde Edilen Moment-Eğrilik İlişkisi



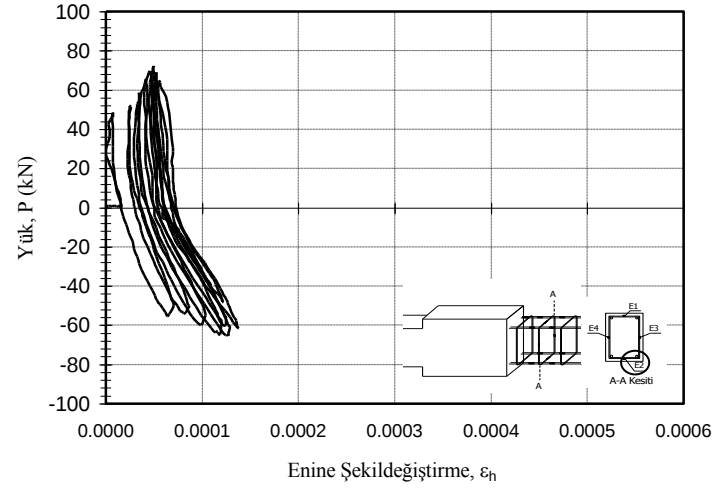
Şekil C.1. C-O-1 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



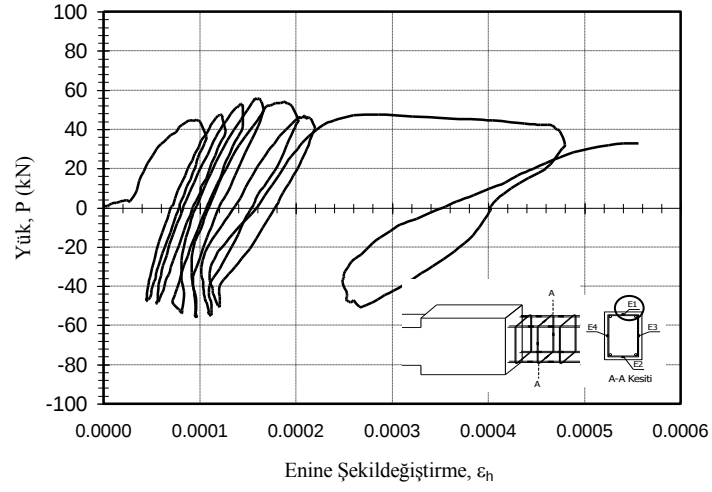
Şekil C.2. C-O-1 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



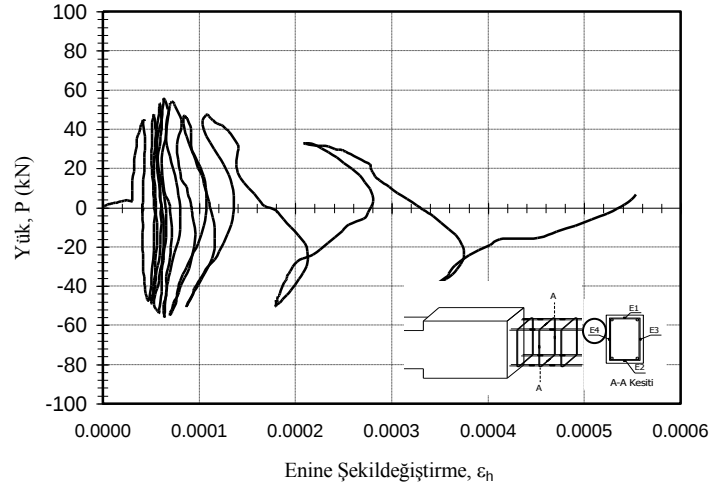
Şekil C.3. C-O-2 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



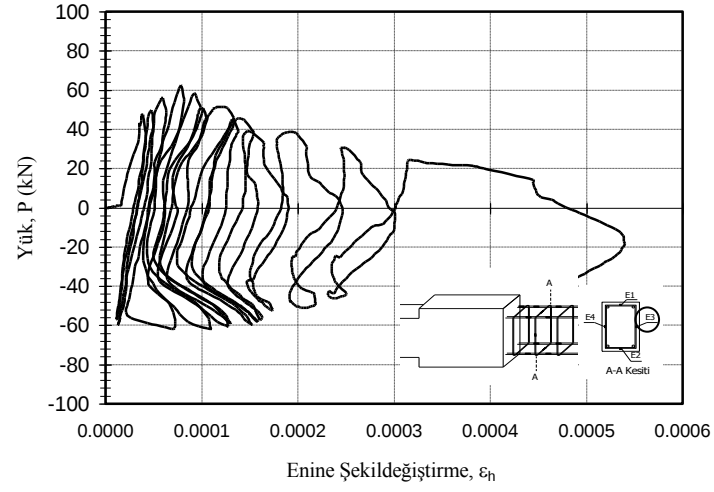
Şekil C.4. C-O-2 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



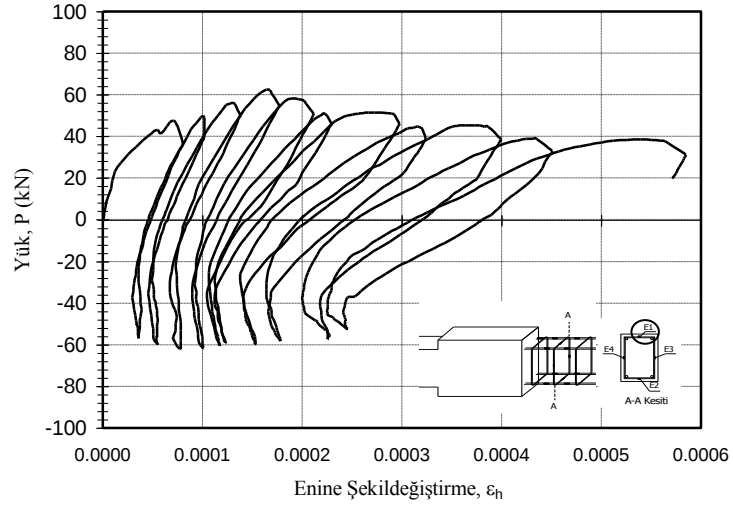
Şekil C.5. LS-O-1 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



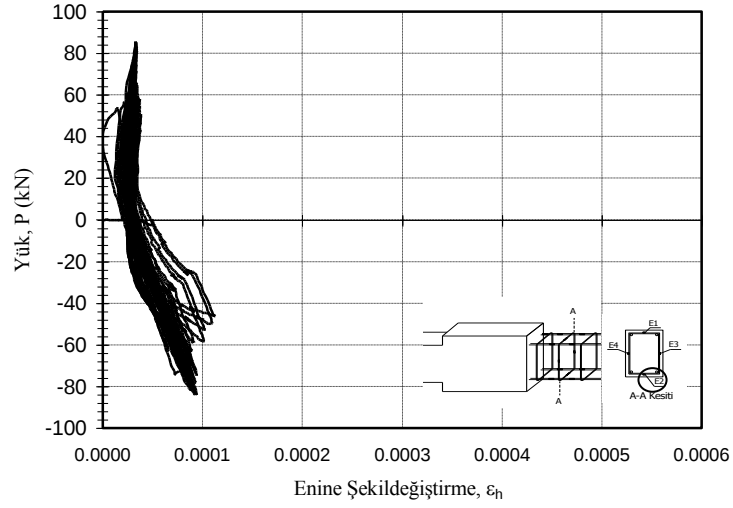
Şekil C.6. LS-O-1 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



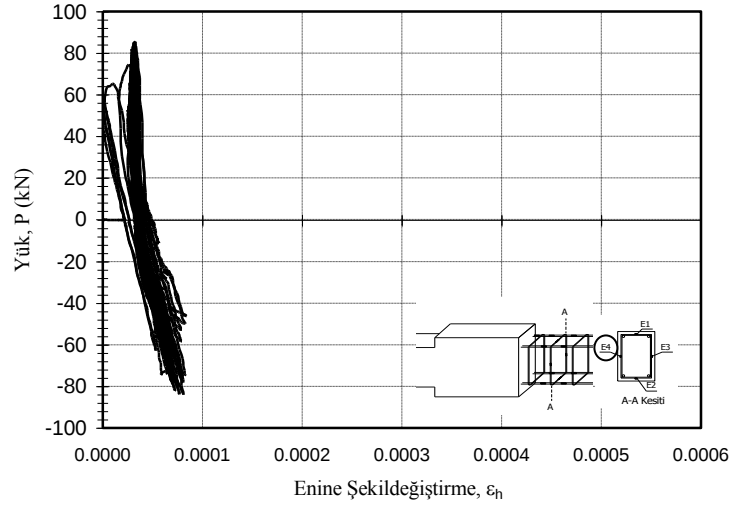
Şekil C.7. LS-O-2 Numunesine Ait Yük-Enine Şekil değiştirme İlişkisi



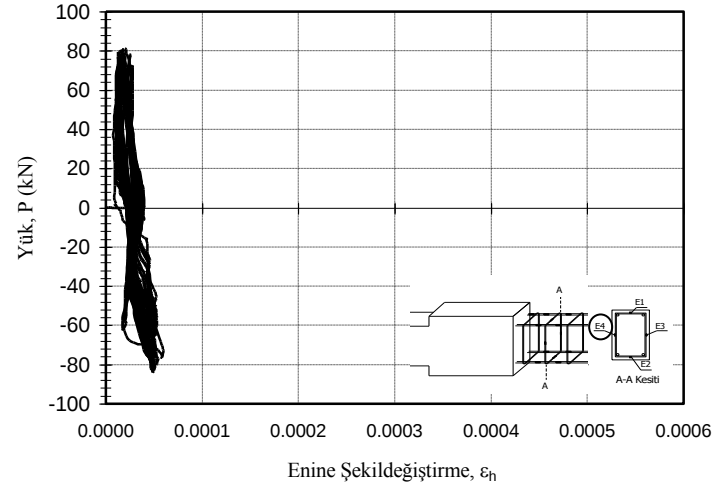
Şekil C.8. LS-O-2 Numunesine Ait Yük-Enine Şekil değiştirme İlişkisi



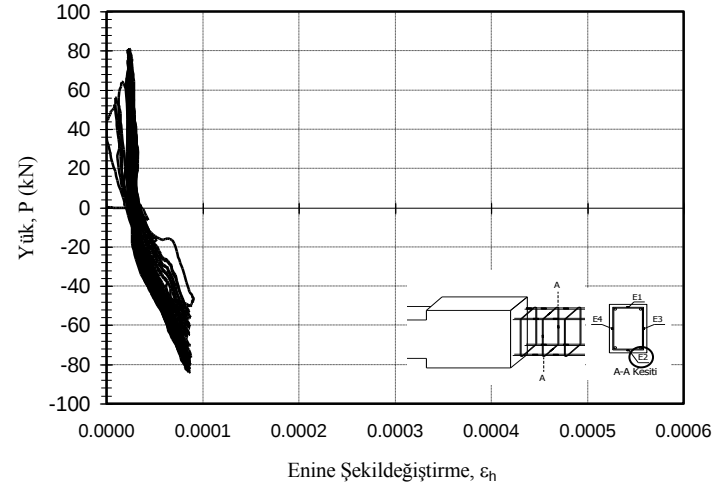
Şekil C.9.R-C-C-3 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



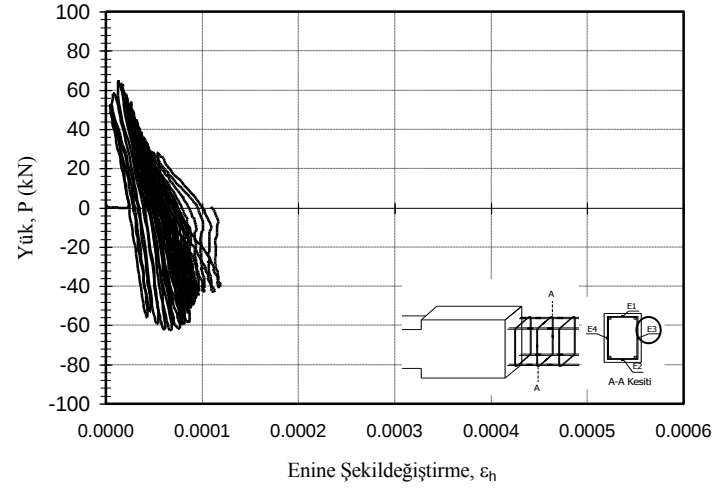
Şekil C.10.R-C-C-3 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



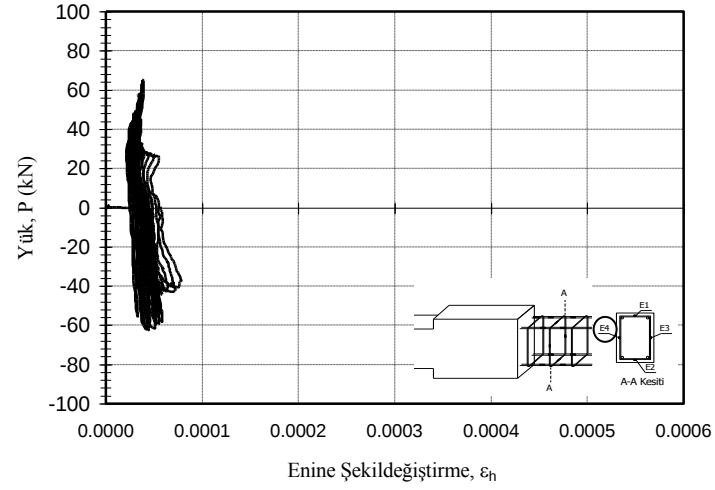
Şekil C.11.R-C-C-6 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



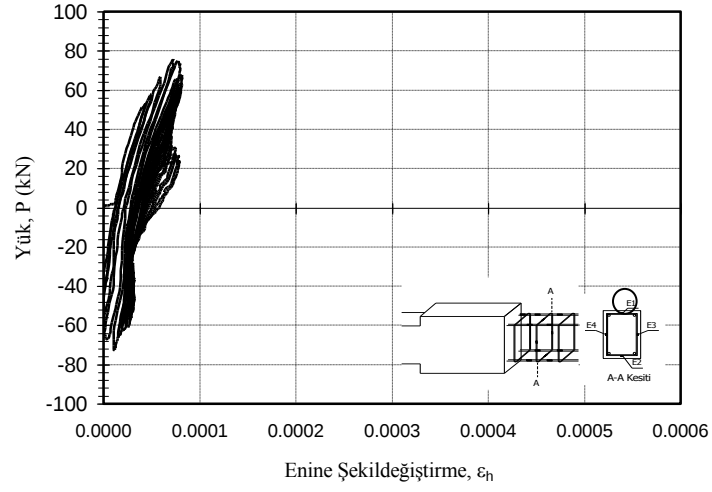
Şekil C.12.R-C-C-6 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



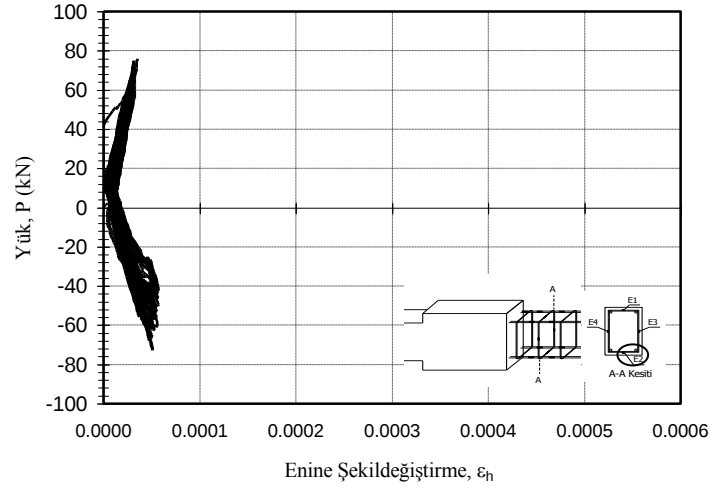
Şekil C.13.R-LS-C-3 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil C.14.R-LS-C-3 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil C.15.R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil C.16.R-LS-C-6 Numunesine Ait Yük-Enine Şekildeğiştirme İlişkisi

ÖZGEÇMİŞ

Aynur TEZCAN, 9 Mayıs 1977 yılında Razgrat'ta doğmuş, lise öğrenimini Lüleburgaz Lise'sinde tamamlamıştır, (1994). 1995 yılında girdiği İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 1999 yılında mezun olmuştur. Yaklaşık 1.5 yıl Avcılar'da bulunan proje müşavirlik bürosunda onarım ve güçlendirme projeleri, imara açık yerlerde villa ve konut projeleri üzerine çalışmıştır. 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Yapı (Deprem Mühendisliği) Programı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır.