



EGE ÜNİVERSİTESİ



E. Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETONARME KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM
NOKTALARININ GÜÇLENDİRİLMESİ**

Ömer Burak ERTEM

Tez Danışmanı : Öğretim Görevlisi Dr. Emre ERCAN

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Bilim Dalı Kodu : 624.03.00
Sunuş Tarihi : 11.05.2015**

Bornova-İZMİR

2015

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**BETONARME KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM
NOKTALARININ GÜÇLENDİRİLMESİ**

Ömer Burak ERTEM

Tez Danışmanı : Öğretim Görevlisi Dr. Emre ERCAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 624.03.00

Sunuş Tarihi : 11.05.2015

Bornova-İZMİR

2015

Ömer Burak ERTEM tarafından Yüksek lisans tezi olarak sunulan "Betonarme Kiriş-Kolon Birleşim Noktalarının Güçlendirilmesi" başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 11.05.2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı

: Doç. Dr. Muhiddin Bağcı

Raportör Üye

: Öğr. Gör. Dr. Emre Erman

Üye

: Y. Doç. Dr. Ayhan VUKOĞIU



EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “Betonarme Kiriş-Kolon Birleşim Noktalarının Güçlendirilmesi” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

11/ 05 / 2015

İmzası

Adı-Soyadı

Ömer Burak ERTEM

ÖZET**BETONARME KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM NOKTALARININ
GÜÇLENDİRİLMESİ**

ERTEM, Ömer Burak

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Öğretim Görevlisi Dr. Emre ERCAN

Mayıs 2015, 128 sayfa

Bu çalışmada, hasarlı veya hasarsız mevcut binalarda betonarme kolon-kiriş birleşim noktasının farklı CFRP(Carbon-fiber-reinforced polymer) ve çapraz çelik ankrajlarla güçlendirilmesi ve dayanım,davranış,rijitlik ve enerji tüketümüne etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışması deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci olarak hedef,referans ve güçlendirilecek elemanların iç demir dizaynları güçlendirme çeşidine göre hazırlanmıştır ve güçlendirilecek zayıf deney elemanlarına CFRP ve çapraz çelik ankrajlarla güçlendirme uygulanmıştır. Deney içerisinde CFRP ile güçlendirilmiş düğüm noktaları ve çapraz çelik ankrajlarla güçlendirilmiş düğüm noktaları ayrı olarak hazırlanmış ve bir adet deney elemanına da hem CFRP hemde çapraz ankraj uygulanarak, elemanlar birbirleriyle karşılaştırılması sağlanmıştır. Güçlendirme kolon-kiriş bölgesini esas alarak yapılmıştır. Güçlendirme uygulanmış elemanlar ile referans elemanlar karşılaştırılmış ve hedef elemana yakın davranış göstermelerine değinilmiştir.

Böylece hasarlı yada hasarsız betonarme yapılarda kolon ve kiriş birleşim yerlerinin CFRP ve çapraz çelik ankrajlarla güçlendirilmesi konusunda dayanım, uygulanabilirlik, rijitlik ve enerji tüketimi bakımından değerlendirmeler yapılmıştır. Hedef elemana yakınlıkları ve uygulanılabilirlikleri tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: betonarme, CFRP, çapraz çelik ankrajlar, güçlendirme, güçlendirilmiş betonarme kolon-kiriş birleşim noktası.

ABSTRACT

STRENGTHENING OF R.C.

BEAM-COLUMN JOINTS

ERTEM, Ömer Burak

MSc in Civil Eng.

Supervisor: Teaching Assistant Dr. Emre ERCAN

May 2015, 128 pages

In this study, to strengthen the damage or undamaged existing reinforcing concrete beam-column joints with CFRP and crosswise steel anchorage.

The study of thesis was performed experimental. First of all, experimental specimens which was designed according to strengthening type, were strengthened with CFRP and crosswise steel anchorage. On the joints, there are two type of strengthening. First is strengthening with CFRP and second is crosswise steel anchorage. Two of them was designed separately for comparing each other. Strengthened specimens and reference specimens compared each other and then we investigated to reach target specimen's treatment.

Thereby, some evaluations were made on especially in terms of strength, applicability, stiffness and energy consumption about the damage or undamaged existing reinforcing concrete beam-column joints with CFRP and cross steel.

Keywords: reinforced concrete, CFRP, crosswise steel anchorage, strengthening, reinforcing concrete beam-column joints.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince değerli bilgi, tecrübe ve zamanını esirgemeyen Sayın Öğretim Görevlisi Dr. Emre ERCAN başta olmak üzere, Dr.Fethi ŞERMET'e , BATI PREFABRİK çalışanlarına, Kutay İNCE'ye, Aykut LEVENT'e , Ömer Yasin SÜLÜN'e ve her zaman desteğini sürdüren aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLERSayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	8
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	20
3.1. Deney Elemanları	20
3.2. Malzemeler	29
3.2.1. Donatı	30
3.2.2. Beton	30
3.2.3. CFRP	32
3.2.4. Epoksi	32
3.3. Deney Elemanlarının Üretilmesi	34

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4. CFRP Uygulanması	38
3.5. Deney Düzeneği	39
3.6. Veri Toplama Sistemi.....	41
3.7. Potansiyometrik Cetveller ve Yerleşimi.....	42
3.8. Birim Deformasyon Ölçerler ve Yerleşimleri	43
4. BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLEMELERİ.....	47
5. BULGULAR	50
5.1. Hedef Eleman	50
5.2. Referans-1 Elemanı	54
5.3. Referans Eleman-2	59
5.4. Deney Elemanı-4	63
5.5. Deney Elemanı-5	70
5.6. Deney Elemanı-6.....	77
5.7. Deney Elemanı-7	84
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	88
6.1. Dayanım ve Davranış	88
6.2. Rijitlik.....	93

İÇİNDEKİLER(devam)Sayfa

6.3. Enerji Tüketimi.....	96
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	101
ÖZGEÇMİŞ	104

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Türkiye deprem haritası.....	1
1.2 Çatlaklara epoksi enjeksiyonu uygulanması	3
1.3 Betonarme mantolamanın temele uygulanması	4
1.4 Çelik mantolama uygulanması	5
1.5 Kolon-kiriş birleşim bölgelerine CFRP uygulanması	6
2.1 FRP ve FRP'siz numune çekme ve basınç dayanımları değişimi.....	10
2.2 Hasar görmüş birleşim noktasında CFRP güçlendirmesi (Ghobarah ve Said,2002).....	11
2.3 Deney Düzeneği (Mahini ve arkadaşları, 2009).....	13
2.4 CFRP ile GFRP sünek eğriliği karşılaştırılması (Mahini ve arkadaşları ,2009).....	14
2.5 Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde CFRP güçlendirme şekilleri (Le-Trung ve arkadaşları,2011).....	15
2.6 Deney Elemanlarının deney sonuçları ile analizleri karşılaştırılması (Le-Trung ve arkadaşları ,2011).....	16
2.7 Kolon-kiriş kesişim noktasına CFRP çubukları uygulanması(Sharbatdar ve Saatçioğlu,2011)	17
3.1.1 Hedef eleman geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları	22
3.1.2 Referans-1 elemanı geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları	23

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1.3 Referans-2 elemanı geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları	24
3.1.4 Deney elemanı-4 CFRP ve çapraz ankraj yerleşim detayı	25
3.1.5 Deney elemanı-5 CFRP ve çapraz ankraj yerleşim detayı	26
3.1.6 Deney elemanı-6 CFRP ve çapraz ankraj yerleşim detayı	27
3.1.7 Deney elemanı-7 geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları	28
3.1.8 Çapraz güçlendirme donatısı yerleşim detayı.....	29
3.2.1 Sikadur 330 epoksi	33
3.3.1 Deney elemanının kalıbının kurulması.....	34
3.3.2 Deney elemanı kalıbının kontrolü	35
3.3.3 Montaj donatılarının etriyelerle bağlanması.....	35
3.3.4 İmalatı tamamlanmış eleman iskeleti	36
3.3.5 Eleman kalıbı beton dökümüne hazır son hali	37
3.3.6 Eleman beton dökümü ve kalıp vibratör kullanılması.....	37
3.4.1 Zımpara ve taşlanma uygulanması	38
3.5.1 Deney düzeneği (yükleme çerçevesi)	39
3.5.2 Yatay pistonlar.....	40
3.5.3 (a) Hidrolik güç ünitesi	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.5.3 (b) ek yük piston actuator	41
3.6.1 Veri toplama sistemi ön panel görünümü ve arka panel görünümü	42
3.6.2 Veri toplama yazılımı.....	42
3.7.1 Potansiyometrik cetvellerin yerleşimi	43
3.8.1 Deney Elemanı-4'de birim deformasyon ölçer yerleşim detayı	44
3.8.2 Deney Elemanı-5 'de birim deformasyon ölçer yerleşim detayı	45
3.8.3 Deney Elemanı-6 'da birim deformasyon ölçer yerleşim detayı	46
4.1 Sap2000 yükleme düzeneği (yükleme kgf ile yapılmıştır.).....	47
4.2 +70 kN yük altına moment diyagramı.....	48
4.3 -70 kN yük altına moment diyagramı.....	48
4.4 +100 kN yük altına moment diyagramı.....	49
4.5 -100 kN yük altına moment diyagramı.....	49
5.1.1 Hedef eleman.....	50
5.1.2 Hedef eleman uygulanan yük ve çevrim grafiği	51
5.1.3 Eğilme çatlağı.....	51
5.1.4 Kesme çatlaklarının doğru etriye sayesinde durdurulması.....	52
5.1.5 (a),(b)Deney sonucunda Hedef elemanda meydana gelen çatlaklar	53

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1.6 Yük- Tepe deplasman grafiği	54
5.2.1 Referans-1 elamanı	54
5.2.2 Referans-1 elemanının yük-çevrim grafiği	55
5.2.3 Gözlemlenen ilk eğilme çatlakları	56
5.2.4 Ön yüz kesme ve dik çatlaklar.....	56
5.2.5 Eleman altındaki kesme çatlakları	57
5.2.6 Deney sonrasında Referans Elamanı-1'de meydana gelen çatlaklar	58
5.2.7 Yük-tepe deplasman grafiği	58
5.3.1 Referans Eleman-2 deney düzeneği	59
5.3.2 Referans elemanı-2'nin yük-çevrim grafiği	59
5.3.3 50 cm yukarıda oluşan kesme çatlakları	60
5.3.4 Deney sonrası gözlemlenen çatlak ve deformasyonlar	61
5.3.5 Deney sonrası gözlemlenen çatlak ve deformasyonlar	62
5.3.6 Yük-Tepe deplasman grafiği	62
5.4.1 Deney öncesi deney elemanı-4'ün görünüşü	63
5.4.2 Yük- Çevrim grafiği	63
5.4.3 Kesme çatlakları oluşumu ve ilerlemesi	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.4.4 Deney sonrası Deney elemanı-4'te oluşan kırılmalar	65
5.4.5 Deney sonrası deney elemanı-4'ün altında oluşan kırılmalar	65
5.4.6 Yük - Tepe deplasman grafiği	66
5.4.7 (a),(b)Deney elemanı-4'e ait yük-birim deformasyon eğrileri.....	67
5.4.7 (c),(d) Deney elemanı-4'e ait yük-birim deformasyon eğrileri.....	68
5.4.7 (e),(f) Deney elemanı-4'e ait yük-birim deformasyon eğrileri	69
5.5.1 Deney Elemanı-5 deney düzeneği	70
5.5.2 Deney elemanı-5 Yük-Çevrim grafiği.....	71
5.5.3 Deney sonrası zarar gören CFRP ve eğilme çatlağı bölgesi	72
5.5.4 Deney sonrası oluşan kesme çatlakları ve zarar gören CFRP kısımları .	73
5.5.5 Yük-Tepe deplasman grafiği	73
5.5.6 (a),(b),(c) Deney Elemanı-5'in Yük-Birim deformasyon grafikleri	74
5.5.6 (d),(e),(f) Deney Elemanı-5'in Yük-Birim deformasyon grafikleri.....	75
5.5.6 (g),(h) Deney Elemanı-5'in Yük-Birim deformasyon grafikleri	76
5.6.1 Deney elemanı-6'nın deney düzeneği.....	77
5.6.2 Yük-Çevrim grafiği	78
5.6.3 İlk eğilme çatlağı (sol taraf 40 cm yukarıda)	78

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.6.4 CFRP ile beton ayrılması.....	79
5.6.5 Deney sonucunda arka yüzde oluşan çatlaklar	80
5.6.6 Deney sonunda oluşan deformasyonlar	80
5.6.7 Deney Elemanı-6'da oluşan yük - tepe deplasman grafiği	81
5.6.8 (a) Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği.....	81
5.6.8 (b),(c),(d) Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği ...	82
5.6.8 (e),(f),(g) Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği	83
5.6.8 (h) Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği	84
5.7.1 Deney Elemanı-7 deney düzeneği	84
5.7.2 Deney Elemanı-7 için Yük-çevrim grafiği	85
5.7.3 Kolon-kiriş birleşim bölgesinde yatay çatlak	86
5.7.4 Deney sonrası ön ve arka yüzde düğüm noktasında oluşan çatlaklar	86
5.7.5 Deney sonrası ön ve arka yüzde eleman altında oluşan çatlaklar	87
5.7.6 Yük-Tepe deplasman grafiği	87
6.1.1. Güçlendirme sonrası dayanım artışı	90
6.1.2. Maksimum taşınan yük.....	91
6.1.3. Süneklik oranları	92
6.2.1. İlk eğilme çatlağında meydana gelen normalize rijitlik	94

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.2.2. Normalize rijitliklerin hedef eleman ile oranları	96
6.3.1. Kümülatif enerji tüketimi	98

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1.1 Deney Elemanları ve Güçlendirme Özellikleri	21
3.2.1 Kullanılan donatıların özellikleri.....	30
3.2.2 Deney elemanlarında kullanılan beton karışım oranı	31
3.2.3 Elemanlarında kullanılan betonun ortalama beton basınç dayanımları..	31
3.2.4 Deney elemanlarına uygulanan CFRP malzemenin mekanik özellikleri	32
3.2.5 Deney elemanlarında kullanılan epoksi malzemesinin özellikleri	33
6.1 Deney Elemanları ve Güçlendirmeleri	88
6.2 Dayanım ve Davranış sonuçları grafiği	89
6.3 Deney Elemanları ve Güçlendirmeleri	93
6.4 Deney Elemanları Rijitliği Tablosu.....	95
6.5 Deney Elemanları ve Güçlendirmeleri	97
6.6 Deney Elemanları Enerji Tüketimi.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
C	Karbon.
Si	Silisyum.
Mn	Mangan
P	Potasyum
S	Kükürt
μ	Mikro
$\emptyset$	Demir çapı (fi)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
gf	CFRP şeritlerin genişliği
DBYBHY	Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Polymer
PC	Potansiyometrik cetvel
S/Ç	Su/çimento oranı.
YH	Yük hücresi

1. GİRİŞ

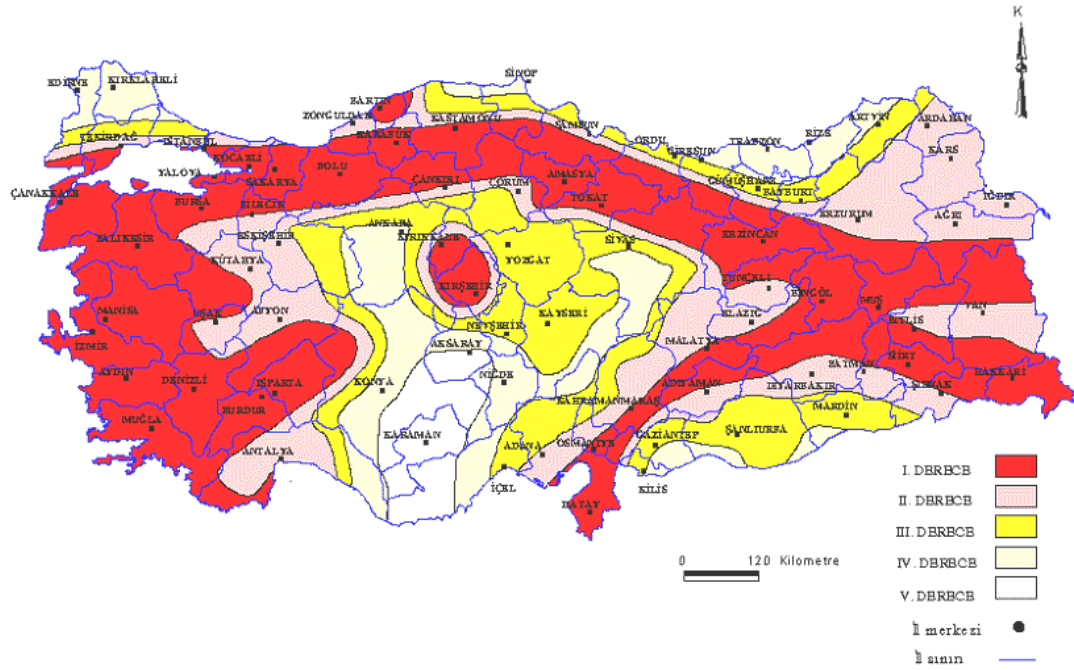
Dünyada 3 önemli ve yoğun deprem kuşağı bulunmaktadır. Bunlar;

1. Pasifik Deprem Kuşağı: Bu kuşakta yeryüzündeki depremlerin yüzde 81'i gerçekleştiği bu bölge Şili'den kuzeye doğru Güney Amerika kıyıları, Orta Amerika, Meksika, ABD'nin batı kıyıları ve Alaska'nın güneyinden Aleutian adaları, Japonya, Filipinler, Yeni Gine, Güney Pasifik adaları ve Yeni Zelanda'yı içine alır.

2. Alp-Himalaya Deprem Kuşağı: Bu kuşakta yeryüzündeki depremlerin yüzde 17 si gerçekleşir. Endonezya'dan başlayarak Himalaya'lar ve Akdeniz üzerinden Atlas Okyanusu'na ulaşır.

3. Atlantik Bölgesi: Bu kuşak ise Atlas Okyanusu sırtı boyunca uzanır. Dünyada ki depremlerin yüzde 2'si bu bölgede gerçekleşir.

Ülkemiz ise Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmaktadır ve Anadolu'nun önemli bir kısmı 1. ve 2. deprem bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 1.1). Bilimsel gerçeklerin yanında geçmişte yaşanmış ve günümüzde yaşanan depremler büyük can ve mal kaybına sebep olmuştur.



Şekil 1.1. Türkiye deprem haritası

Ülkemizin %92'si deprem bölgesinde yer almaktadır ve nüfusumuzun %95'i deprem bölgesinde yaşamaktadır (deprem.gov.tr).

Son yirmi yılda meydana gelen depremlerde verilen can ve mal kayıpları da bunun büyük bir göstergesidir. 17 Ağustos 1999 günü, Türkiye'nin nüfus ve sanayi yoğunluğu en yüksek olan İzmit Körfezi bölgesinde, yol açtığı zararlar açısından Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en büyük depremi ile karşılaşmıştır. Bolu, Bursa, Eskişehir, İstanbul, Kocaeli, Sakarya ve Yalova illerinde 113 bin konut ve işyeri ünitesinin yıkılması veya ağır hasar görmesi, 124 bin konut ve işyeri ünitesinin orta ve 140 bin konut ve işyeri ünitesinin hafif hasar görmesine yol açan bu depremde yaklaşık 18 bin kişi hayatını kaybetmiş, 50 bin kişi yaralanmıştır. Yaklaşık olarak 16 milyon nüfusu etkileyen bu depremde Türkiye, 15 milyar dolara yakın ekonomik zarara uğramıştır. Bu depremin henüz yaraları sarılmadan, 12 Kasım 1999 da Bolu ilinin Düzce Kaynaşlı, Gölyaka, Gümüşova ilçelerinde önemli hasar ve kayıplara yol açan 7,2 Büyüklüğünde ikinci bir deprem yaşanmış ve bu depremde de 845 kişi hayatını kaybetmiş, 4948 kişi yaralanmış ve 15500 civarında konut ve işyeri kullanılamaz hâle gelmiştir (deprem.gov.tr/DDK/Belgeler). Son 58 yıl içerisinde Türkiye'de meydana gelen depremlerde 58.202 kişi hayatını kaybetmiş, 122.096 kişi yaralanmış ve yaklaşık olarak 411.465 bina yıkılmış veya ağır hasar görmüştür (deprem.gov.tr/Veriler). Buradan sonuçla mevcut yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesi büyük önem kazanmıştır.

Depremin yanında çevresel etkiler ve artan kesit zorları etkisiyle de binalar hasara uğramaktadır ve bu da binalarda onarım ve güçlendirmeyi daha da önemli kılmaktadır. Deprem dışındaki etkileri de sıralamamız gerekirse ;

- Yerleşim alanları, tarihsel süreç içinde seçilmiş konumları ile sorunlu bir mirastır.

- Son 50-60 yıllık hızlı şehirleşme süreci, denetimden uzak biçimlerde ve güvensiz alanlarda gerçekleşmiştir

- Yapılaşma süreçlerinde başvuru alan betonarme teknolojisinin aldatıcı kolaylığı ve denetimsizlik ehliyetsiz üretimi körüklemiştir. Kayıt dışı işlemlerle oluşan kaçak yapı stokunun yaygınlığı ve bunların defalarca aflara konu edilmesi, kentlerimizde riskleri özellikle yükseltmiş, ülkenin her köşesinde kendiliğinden çökerek büyük kayıplara neden olan yapı örnekleri çoğalmıştır.

- Kentsel yönetimler ve toplum, farklı tehlikelere karşı önlem alma konusunda bilgi, kültür ve uygulama alışkanlıklarından yoksundur.

- Hızlı kentleşme ve kentsel büyümeye odaklanmış imar düzenlemeleri, risk azaltma yöntemlerini içeren planlama yaklaşımı ve pratiğinden uzak kalmıştır (depem.gov.tr/DDK/Belgeler/Kentleşme_surası_2009).

Yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı mevcut binalardaki onarım ve güçlendirme çalışmaları hayati önem kazanmıştır. Deprem kuvvetleri ve çevresel etkiler altında yeterli dayanımı, rijitlik ve sünekliği sağlayamayan yapılar çeşitli güçlendirme yöntemleri ile güçlendirilmektedir. Bu güçlendirme yöntemleri ise, betonarme yapının mevcut taşıyıcı yapı elemanlarının güçlendirilmesi ve taşıyıcı sistemin yeni elemanlarla güçlendirilmesi olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Kesme problemlerine karşı güçlendirme yetersiz donatı, donatı korozyonu vb. sebeplerden dolayı gerekmektedir.

Günümüzde uygulanan yaygın güçlendirme ve onarım teknikleri ise;

1.)Epoksi ile tamir; Çukur, çatlak, kırık, segregasyon gibi hatalar da güçlendirme veya tamir epoksi astar ve epoksi harç ile yapılır. 4-5 mm den daha derin ve büyük alanlı tamiratlar epoksi kaplamaya uygun çimento esaslı tamir harçları ile de yapılabilir. Epoksi yüzey tamiraty yapılması çatlakların derin olması veya zeminden su gelme tehlikesi var ise epoksi enjeksiyon yapılarak çatlak kesitinin doldurulması gereklidir.Epoksi yüzey tamiraty yapılması çatlakların zaman içinde hareket ederek kaplamaya yansması olasılığı var ise, cam elyaf ile güçlendirerek tamirat yapılması konusu değerlendirilmelidir.



Şekil 1.2. Çatlaklara epoksi enjeksiyonu uygulanması

2.) Betonarme mantolama; Bu yöntem genellikle kolonlarda uygulanır. Bu yöntem ile kolonun hem aksel yük kapasitesi hem de sünekliği artırılabilir. Manto içerisine yerleştirilen boyuna donatıların katlar arasında sürekliliği sağlanırsa, kolonun eğilme kapasitesi de artıyor. Mevcut kolon ile yeni dökülecek manto betonunun aderansının yüksek olabilmesi için mevcut kolonun donatıları ortaya çıkıncaya kadar kabuk betonu kırılmaktadır. Betonarme mantolamada temellerdeki güçlendirme gereği iki ayrı biçimde ortaya çıkmaktadır. Birincisi temel boyutlarının gelen yükleri taşımada, yetersiz olması, diğeri ise yapılm güçlendirilmesi için eklenen yeni elemanlar için yeni temel yapılması ya da mevcut temelin genişletilmesidir. Temellerin güçlendirilmesinde eski ve yeni bölümlerin birlikte çalışması, eski elemandan yeni elemana yük aktarılmasının sağlanması gerekmektedir. Perdenin temeli mevcut kolonların temeli ile bağlantısız yapılmalıdır. Perde duvarın temelinin boyutları perdenin bir deprem sırasında taşıyabileceği en büyük eğilme momentini güvenle taşıyabilecek güçte seçilmelidir. Mantolanarak en kesidi genişletilmiş bir kolonun temeli yeterli olabilir, diğeri bir deyişle temel kolonun aksine projesine göre yapılmıştır. Bu durumda temeli büyötmeye gerek olmayabilir. Mantolanarak genişletilen kolonun yeni donatıları eski temelde ankrajlanabilir ya da sömel biraz genişletilerek yeni eklenen donatılar genişletilen bölgede ankrajlanabilir (Şekil 1.3). Sömelin genişletilen bölümüne konulan donatılar eski bölümün donatılarına kaynakla bağlanmalıdır. Burada genişletilen sömel tabanına konulan, kolonun uzatılmış boyuna donatıları mevcut sömelin kenarları kırılarak ortaya çıkarılmış donatılarına kaynakla bağlanmalıdır. Perde duvarlara eklenen perdeler gelen depremde gelecek yatay kuvvetlerin temelde yapacağı dönme ve temele aktarılacak gerilmelerin, kolonlarda gelen düşey yüklerin karşı yöndeki baskı etkisi ile azalacağı sanılmaktadır. Kolonlardan gelen düşey yük momentin yaratacağı dönme karşı koyacaktır.



Şekil 1.3. Betonarme mantolamanın temele uygulanması

3.) Betonarme yığma eleman mantolama; Genellikle restorasyon amaçlı uygulanarak yapılarda kullanılma biçimine göre güçlendirme yapılır. Bu uygulama genellikle duvara ankraj edilen demirlere kaynakla tutturulan çelik hırsırların üstüne püskürtme beton uygulanması ile gerçekleştirilir.

4.) Çelik mantolama ve dıştan ek çelik elemanların eklenmesi; Bu yöntem ile kolon ve kiriş içinde olması gereken sargı donatısı, bantlar kullanılarak elemanın dışında sağlanıyor. Bu şekilde kolonun hem eksenel yük kapasitesi artırılıyor hem de daha yüksek süneklik elde ediliyor. Çelik manto, katlar arası süreklilik sağlamadığı için kolonun eğilme kapasitesine bir katkı sağlamamaktadır. Ayrıca binaya ek bir yük getirdiği için ek olarak temel güçlendirmesi de yapılması gerekmektedir. Çelik çaprazlı sistemlerde kuvvetlerin kattan kata iletilmesi gerekmektedir, Bunun için çelik elemanların katlar arası sürekliliğinin sağlanması gerekmektedir. Çelik elemanların rijitliği betonarmeye göre düşük olduğundan, beklenen işlevin sağlanması büyük kesitli çelik elemanların kullanılması ile mümkündür (Şekil 1.4). Buda maliyeti ve binaya gelen ek yükü artırır.



Şekil 1.4. Çelik mantolama uygulanması

5.) Fiber takviyeli polimerler (FRP) ; Düşey taşıyıcı elemanların eksenel yük, kesme kuvveti, eğilme momenti taşıma kapasiteleri ile sünekliklerini olumsuz etkilemekte, bunun sonucunda yapıların deprem karşısındaki davranışı öngörülenden çok daha başarısız olabilmektedir. FRP kompozit malzemelerin bu eksikliklerin giderilmesi amacı ile yapı mühendisliğinde de kullanımı günden güne artmaktadır. FRP malzemeleri karbon, aramid, kevlar ve cam olmak üzere 4 gruba ayrılırlar. Bu malzemeler çok düşük ağırlıklarına rağmen çok yüksek mukavemetlere, anti-korozif özelliklere , yüksek mekanik ve fiziksel değerlere sahiptirler. FRP kompozit malzemeler tek yönlü plakalar, kumaşlar, çubuklar ve çift yönlü örtüler olarak üretilmektedir.



Şekil 1.5. Kolon-kiriş birleşim bölgelerine CFRP uygulanması

Depremde en fazla hasar gören kiriş kolon birleşim bölgeleri, taşıyıcı sistemin en çok zorlanan ve güçlendirilmesi en zor olan kısımlarını oluşturur. Birleşim bölgesinde farklı doğrultudaki elemanlar birleşerek, kesit etkileri birbirleriyle dengelenir. Deprem yükleri altında bu bölgede kesme kuvveti dayanımının ve donatı kenetlenmelerinin yeterli olmaması en çok rastlanan hasar türlerini oluşturur. Ayrıca, büyük şiddetteki depremlerde birleşim bölgesine birleşen kesitlerde meydana gelen plastik mafsallar sonucu büyük dönmeler, donatıda aderans çözülmesi sonucu kaymalar ve geniş çatlaklar oluşabilir. Yapıda kesme kırılmasının oluşması, yapıdaki elemanların gevrek kırılmasına yol açmaktadır. Bunun önlenmesi için mantolama, CFRP uygulaması ve elemanı dıştan çelik levhalarla destekleme yöntemleri uygulanmaktadır. Çalışmanın da temasını oluşturan CFRP uygulamasının, kolay uygulanabilir olması, yapının ağırlığını arttırmaması, yapıyı kimyasallara, korozyona karşı koruması ve en

önemlisi de çekme mukavemetini yaklaşık 5-10 kat arttırması, diğer güçlendirme yöntemlerine göre olan avantajlarıdır.

Bu çalışmada hasar görmüş yada görmemiş mevcut binalarda kolon-kiriş birleşim noktalarında CFRP ve İlave Çapraz Demir Donatılarla güçlendirme yöntemi uygulanmıştır. Toplam 7 adet T-şekilli numune üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ve sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

2.LİTERATÜR ÖZETİ

Mevcut yapılarda onarım ve güçlendirme uygulamaları günümüzde çok çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bu çalışmada 1975 ve 2014 yılları arasında raporlanmış, deprem etkisi olmadan dizayn edilmiş betonarme kolon-kiriş birleşimlerinde onarım ve güçlendirme tekniklerinin performanslarının kapsamlı ve sıralı literatür çalışmasını içermektedir . Bu teknikler : 1.) Epoksi ile tamir; 2.) Sökme ve değiştirme; 3.) Beton mantolama; 4.) Betonarme yığma eleman mantolama; 5.) Çelik mantolama ve dıştan ek çelik elemanların eklenmesi; 6.) Fiber takviyeli polimerler (FRP) ile güçlendirme uygulamalarıdır. Bu tez çalışmasında en yaygın yöntem olan CFRP ve çelik çapraz ankrajlar uygulayarak güçlendirme çalışmaları yapılmıştır.

Ghabarah ve arkadaşlarının (1997) yaptığı başka bir çalışmada iki adet, kirişi devamsız olan düğüm noktasında çelik mantolama yapılmıştır. Bunlardan birisi referans numunesidir. Diğerinde ise korge çelik levhalarla mantolama uygulanmış boşluklara ise rötre yapmayan grout ile doldurulmuştur. Referans numunesinde kiriş alt donatıları sıyrıldığından bunu engellemek için ek olarak korge çelik levha kirişe cıvatalanmıştır. Bu çalışmada güçlendirme sistemi alt çekme donatıları sıyrılmasına engel olamamış ve cıvatalar kesmede kırılmasına rağmen sistem tahminen %38 dayanımda ve %180 enerji sönümleme kapasitesinde artış sağlamıştır. French, C. W. ve arkadaşları (1990) Epoksi tamiri ise ilave donatının tutturulmasında, çatlakların doldurulmasında ve tek yönlü düğümlerde kesme dayanımını restore edilmesinde sınırlı başarı göstereceği bazı yazarlar bu yöntemin güvenilir ve yetersiz olduğuna inanmaktadırlar.

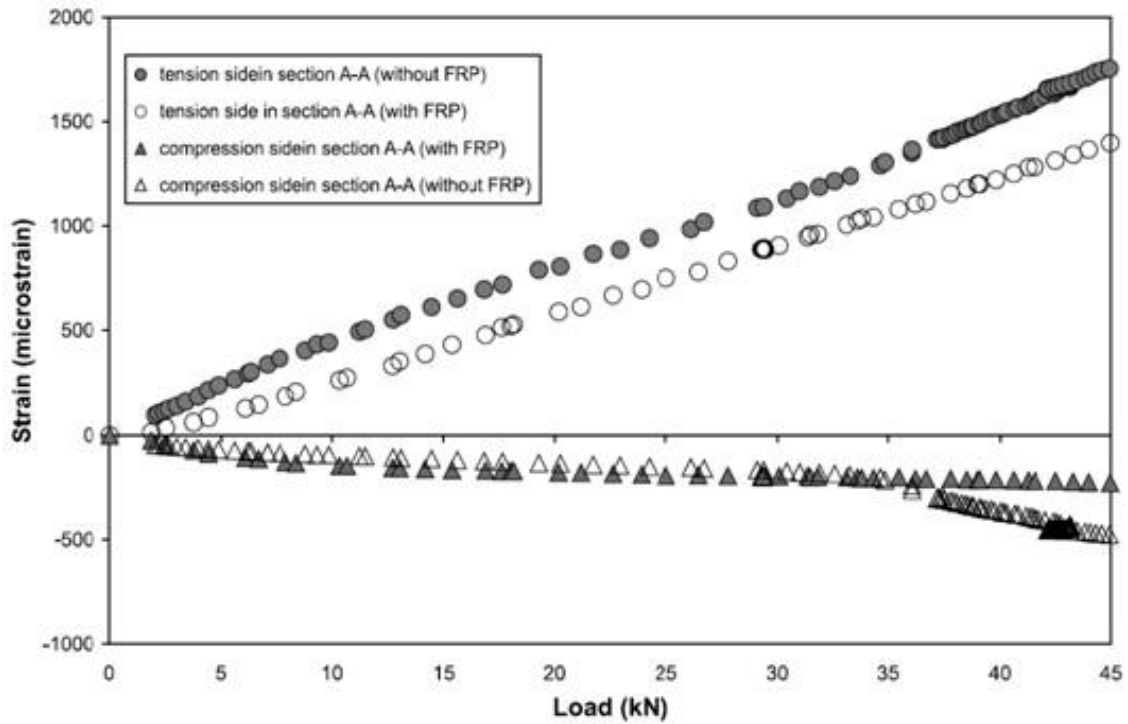
Geng ve arkadaşları (1998) yapmış oldukları çalışmalarda betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesini çalışmışlardır. Çalışmanın amacı; betonarme yapılarda stabilite için oldukça önem arz eden kolon-kiriş eleman bağlantılarında süneklik düzeyinin artırılması ve donatıları yeterli kenetlenme boyuna sahip olmayan birleşim bölgelerinin güçlendirilmesidir. İyileştirme işlemleri için kullanılan CFRP takviye elemanlarının iki farklı uygulama hali mevcuttur. Sünekliğin artırılması için CFRP takviyesi kolonun etrafına katmanlar halinde sarılmıştır. Güçlendirme için yapılan çalışmada ise takviye elemanları kolon üzerine boyuna doğrultuda yapıştırılmış ve/veya katmanlar halinde bir dizi çelik köşebent ve çelik donatılar ile birlikte kolonun enine doğrultusunda sarılmıştır. Her iki yöntem kolonlarda, kolon-kiriş birleşim yerine yakın olarak uygulanmıştır. Süneklik numuneleri için yükle-boşalt işlemi tekrarlanmış ve bu

sayede sismik yüklerin simülasyonu yapılmıştır. Güçlendirme numuneleri sabit yüklemeye maruz bırakılmış olup toplamda 19 kolon-kiriş birleşim numunesi bu deneye tabi tutulmuştur. Süneklik düzeyinin artırılması için takviye yapılan numunelerin deney sonuçlarından kayda değer bir süneklik artışı gözlemlenirken taşıma kapasitesinde $24\pm35\%$ civarında bir artış söz konusudur. Birleşim bölgesinin güçlendirilmesi için yapılan ikinci çalışmada ise yapılan CFRP takviyesinin nihai taşınabilecek yük kapasitesini $154\pm172\%$ oranında artırdığı ispatlanmıştır. Deney sonuçları, dıştan yapıştırılarak uygulanan CFRP takviyesinin hem kolon-kiriş birleşimlerinin süneklik düzeyinde hem de yetersiz donatı bulunduran düğüm noktasının yük taşıma kapasitesinde önemli bir artış sağladığını kanıtlamıştır. 19 deney $\frac{1}{4}$ ölçekli ve tam ölçekli numuneler ile tamamlanmıştır. Süneklik açısından, düğüm noktasına bitişik olarak kaplanan CFRP katmanları sistem sünekliğinde önemli bir artışa yol açmıştır. Takviye edilmiş numunelerin süneklik düzeyi kontrol numunelerine kıyasla 3 kat daha fazla çıkmıştır. Eğer toplam deplasmana bakılırsa, küçük boyutlu numuneler L/9'luk bir sehim oranına sahiptir. Ayrıca bu takviye moment taşıma kapasitesinde $\%24\text{-}\%35$ civarında bir artış sağlamıştır. Güçlendirme için yapılan takviyelerde küçük boyutlu numunelerin taşıma kapasitelerinde $\%150$ kadar artış elde edilmiştir. Sünekliğin büyük ölçüde arttığı büyük boyutlu güçlendirme numunelerin moment kapasitesindeki artış $\%17$ ile sınırlı kalmıştır. Bunun sebebi olarak CFRP malzemesinin numune boyutları yanında çok küçük kalması ve harici olarak eklenen çelik profil ve çubukların pek katkıda bulunmaması gösterilebilir. Ancak şu belirtilmelidir ki hiçbir numunedeki CFRP eleman bağlarında bir kopmaya rastlanmamıştır.

Li ve arkadaşlarının çalışmalarında (1999) düzlem çerçevelerdeki kolon kiriş bağlantılarını gösteren protatip boyutlardaki güçlendirilmiş beton numuneleri üzerindeki testlerin sonuçlarını açıklar. Bu test, kolon kiriş bileşimlerine komşu dış yüzeylere uygulanan FRP takviyesinin, statik yükler altında test numunesinin davranışındaki etkisini incelemek için planlanmıştır. Statik yük altındaki en önemli nokta, FRP takviyesinin düğüm noktasındaki dayanım ve sertlik üzerindeki etkisidir. Test sonuçlarına göre, FRP takviyesi ile beton çerçevesi kritik kesit şartlarının iyileştirilmesi yoluyla düğüm noktasına rijitlik ve dayanım anlamında katkı sağlarken, farklı yükleme çeşitleri altında malzemenin davranışını olumlu yönde etkiler. FRP çeşitlerinin seçiminin güçlendirmedeki dayanım ve bağ gücü açısından önemi de ayrıca tartışılmıştır. Bu çalışmaları sonucunda ; FRP sayesinde yapılan güçlendirme ile yük taşıma kapasitesi ve rijitlikte önemli

miktarda artış gözlenmiştir. Düşük elastisite modülüne sahip FRP'ler yapıştırıcı özellik açısından oldukça uygundur ve tabakalaşmayı önler.

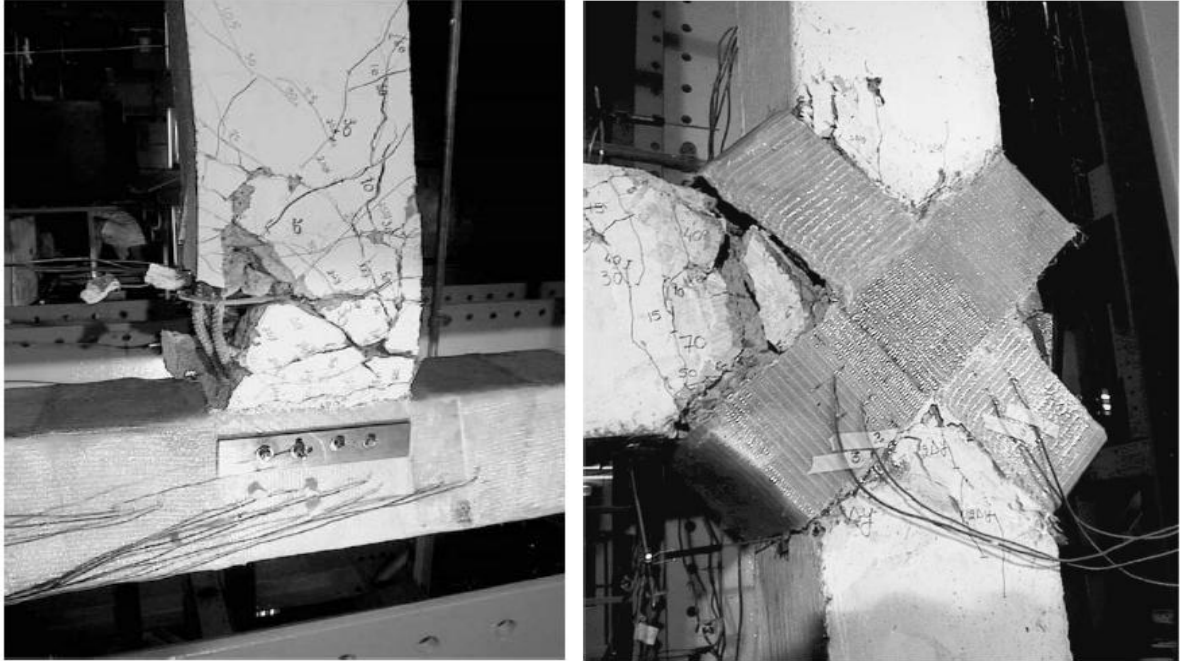
Li ve Bakoss bir başka çalışmalarında (2002) FRP takviyeli betonarme kolon kiriş birleşim noktalarının dizaynında modelleme yapılırken deneysel verilerden destek alınarak bazı bileşenlerin davranışlarının oldukça iyi anlaşılması, yenileme ve kusurların düzeltilmesi amacıyla gereklidir. Kapsamlı bir deneysel çalışma ile düzlem çerçevelerdeki düğüm noktalarının temsili için üretilen güçlendirilmiş beton çerçeve numunelerinin davranışları incelenmiştir. Bir önceki çalışmanın devamı olarak bu çalışma deneysel analizlerin detayları üzerinde yoğunlaşmıştır. Analiz sonuçlarına göre, dizayn edilen FRP güçlendirme ile yük taşıma kapasitesi ve rijitlik derecesi oldukça yükseltilebilir. Ayrıca FRP güçlendirmesi sayesinde sarılan bileşim yerindeki kırılma süresi uzatılabilir (Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. FRP ve FRP'siz numunede çekme ve basınç dayanımları değişimi(Li ve Bakoss, 2002)

FRP takviyeli ve takviyesiz deneysel çalışmalar sonucunda betonarme kolon kiriş bağlantıları için şu sonuçlara ulaşılmıştır; Numunede FRP güçlendirmesi nedeniyle önemli ölçüde rijitlik ve yük taşıma kapasitesi artışı gözlenmiştir. Eğer FRP ile güçlendirilmiş beton yapılarda düşük maliyetle iyi sonuçların alınması isteniyorsa optimizasyon işlemi çok büyük önem taşımaktadır.

Ghobarah ve Said (2002) yapmış oldukları çalışmada kolon kiriş düğüm noktalarında meydana gelen kesme dayanıksızlığı deprem anında moment etkisine çalışan çerçeve yapılarıdaki göçmenin esas nedeni olduğunu belirtmişlerdir. Bu önemli faktör sebebiyle düğüm noktalarındaki kesme dayanımının etkili ve ekonomik bir iyileştirme tekniği ile geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışmanın amacı GFRP ileri düzey kompozit malzemeleriyle betonarme kolon kiriş birleşim düğüm noktalarının güçlendirilmesinde etkili ve ayırıcı iyileştirme şemalarının geliştirilmesidir. Çeşitli betonarme düğüm noktalarının imal edildiği deneyde düğüm noktaları öncü sismik kod (pre-seismic code) yapısı detaylandırılarak gevrek olarak tasarlanmıştır (Şekil 2.2.). Çalışmada kiriş uçlarından uygulanan tekrarlı/devirli yükleme sonucu numune düğüm noktalarında kesme göçmeleri meydana gelmiştir. Düğüm noktalarına farklı fiber-sarma (fiber-wrap) iyileştirme şemaları uygulanmıştır. Deneyde tabakalanan düğüm noktalarının kesme dayanımlarının arttığı ve düğüm noktalarının sünekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.2. Hasar görmüş birleşim noktasında CFRP güçlendirmesi (Ghobarah ve Said,2002)

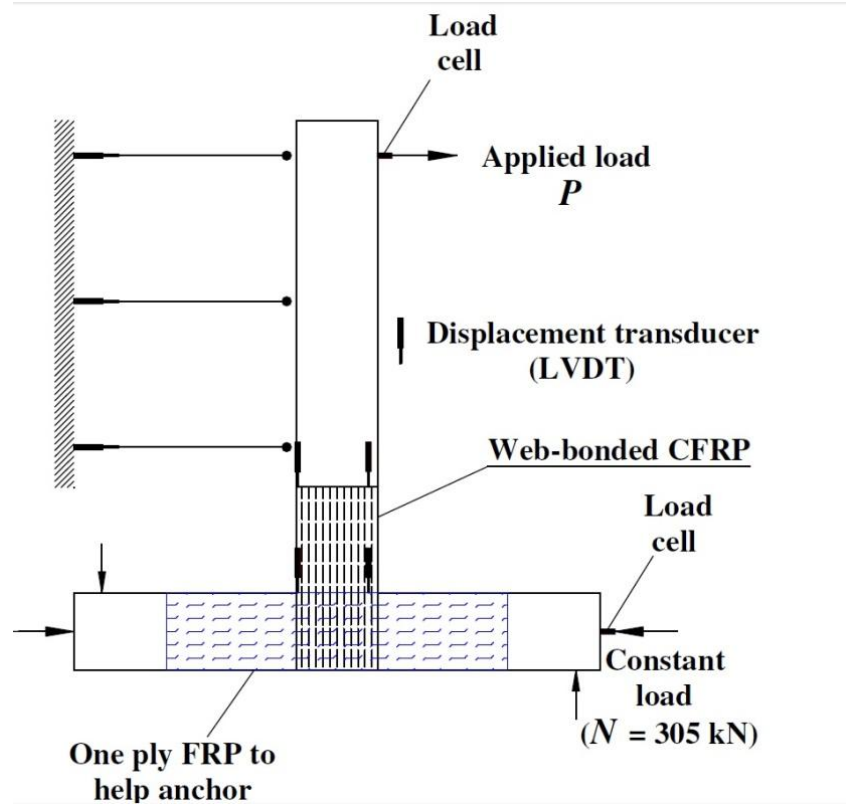
Deney sonuçları kompozit malzemeler aracılığı ile yapılan iyileştirmenin düğüm noktalarındaki kesme dayanımına katkısı olduğunu göstermiştir. Kontrol numuneleri ile GFRP ile yapılan iyileştirilme numuneleri arasında hem kesme dayanımı kazancı hem de bağlantı noktasının sünek davranış performansı bakımından ciddi bir fark olduğu gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş numunelerin kontrol numunelerinden daha iyi bir enerji sönümleme karakteristiği sergilemiştir. FRP düğüm noktası iyileştirme sistemleri kullanırken FRP tabakalarının köşelerini kenetlemek kompozit elemanların düğüm noktasına olan sarılma davranışını sağlamıştır. Ayrıca bu işlem zaten küçük olan düğüm noktası alanında lif elemanların dayanımını artırmaya yarayacaktır. FRP elemanlarının kullanımı ile kolon-kiriş düğüm noktası iyileştirilmesinde bir sorun da FRP sarımlarının şişmesidir. Bu bölgeler çatlak oluşumuna müsaade eder. Çatlaklar kolon kesitinin kısıtlı sarılma bölgesinden dolayı liflerin altından genişlemeye devam eder. FRP iyileştirme şemalarının tasarımında liflerdeki azami birim şekil değiştirme ile yüksüz durum altındaki şekil değiştirme farkı betonun ezilme birim şekil değiştirmesine karşılık gelir. Liflerdeki ölçüm cihazlarından bu sınır değer 0,0035 bulunmuştur. Fakat şişmeden dolayı sarılarak uygulanan lifler yüksüz konumuna geri dönememiştir. Ölçülen azami birim şekil değiştirme 0,0055 olarak kaydedilmiştir.

Mukherjee ve Joshi'nin (2005) yaptığı çalışmalarda CFRP ile güçlendirilen numuneler GFRP ile güçlendirilen numunelere göre daha rijit davranış göstermiştir. Enerji sönümleme kapasitesi küçük miktarda kompozit kullanımı ile artırılabilir fakat akma değeri, başlangıç katılığında da kayda değer artış olabilir.

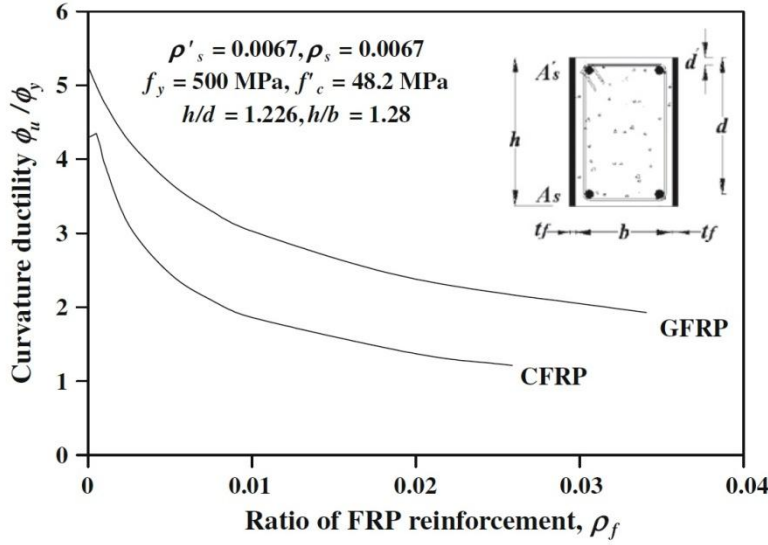
Le-Trung ve arkadaşları (2009) ise 2 içeriği aynı numunenin birincisinde düğüm noktasına X biçimli sargı yapıp ikincisinde hem düğüm noktasına X-biçimli sargı hemde kirişin alt ve üst yüzeyine L-biçimli CFRP uygulamışlardır. Deneyler sonucunda birincisinde maksimum taşıma kapasitesinde yanal dayanım %17.5'lik artış göstermiştir. İkincisi ise %15.7 artış göstermiştir. Ve bu sonuçlar gösteriyor ki kirişin altına ve üstüne L biçimli CFRP eklemek dayanımı ve sünekliği çok yükseltmemiştir.

Mahini ve arkadaşlarının 2009 yaptıkları çalışmalarda kolon-kiriş bağlantılarının önemine dikkat çekmişlerdir. Kolon kiriş bağlantıları, güçlendirilmiş ve yanal yüklere maruz kalan yapıların kritik elemanlarıdır. Bu yapılarda güçlü kolon zayıf kiriş dizayn felsefesine göre özel tasarlama işlemlerine ihtiyaç duyulur. Deprem bölgelerinde, birleşim noktaları büyük

miktarda enerjinin fazla dayanım ve süneklilik kaybı olmaksızın komşu elemanlara dağıtılabildiği şekilde dizayn edilmelidir. Çerçeveler güçlü kolon-zayıf kiriş konseptine göre dizayn edilmiş ve bağlantı yerleri dikkate alınarak detaylandırılmıştır. Yetersiz detaylandırılan bölgenin zarar görmesi bu bölgenin yapısal dayanımının bozulmasına neden olur. Bu nedenle detaylandırmanın yetersiz olduğu durumlarda güçlendirme yöntemlerinden biri olan gövde bağlantılı FRP takviyesi kullanılabilir. Bu çalışmada FRP ile güçlendirilmiş numuneler üzerindeki bazı testlerin sonuçları belirtilmiştir ve deney düzeneği bizim çalışmamızla benzerlik göstermektedir (Şekil 2.3). Sonuçlara göre bu metod, sistem dayanımını yükseltme ve onarma anlamında oldukça etkilidir. Bu çalışmada gövde bağlantılı FRP güçlendirme sistemine ait bazı test sonuçları verilmiştir. Test sonuçlarına bakarak birleşimin güçlendirilmesi ve onarımı açısından etkili bir yöntem olduğu söylenebilir. Denge ve uyumluluk temel ilkelerini kullanarak güçlendirme planının dizayn ve analizini kolaylaştırıcı nitelikte bir analitik model sunulmuştur. Modelin esasında, mevcut bileşim noktasının istenilen moment kapasitesine kadar iyileştirilebilmesi için gerekli olan FRP miktarı ve türü için sunulan grafiklerin bir oranı vardır. Grafiklerin yakınlığı ve oluşturulan model, grafiklerin dizayn mühendislerince güvenle kullanılabileceğini kanıtlamaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Deney Düzeneği (Mahini ve arkadaşları, 2009)



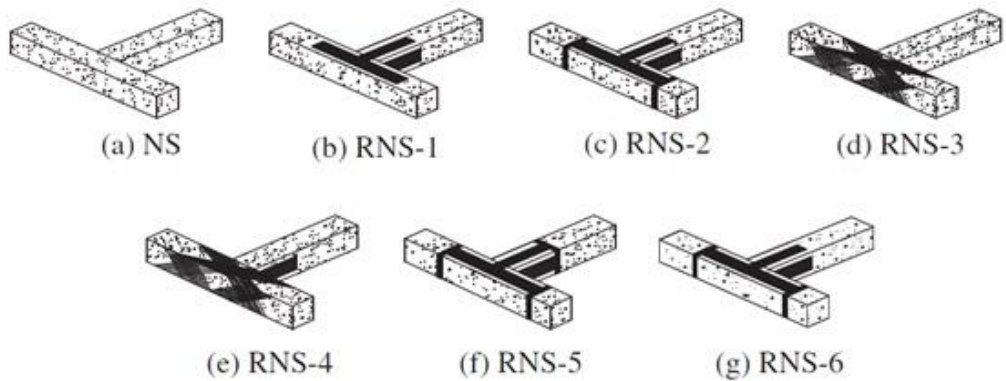
Şekil 2.4. CFRP ile GFRP sünek eğriliği karşılaştırılması (Mahini ve arkadaşları ,2009)

Sasmal ve arkadaşlarının çalışmalarında (2011) , hasar görmüş beton kolon kiriş birleşim numuneleri için periyodik yüklemeler altında güçlendirme teknikleri ve onarım hususlarının tartışıldığı bir çalışma yapılmıştır. Sismik yüklemeler dikkate alınarak ve sünek detaylandırma yapılmaksızın Hindistan standartlarına göre dizayn edilen bir numune tersinir yükler altında araştırılmıştır. Zarar görmüş numune epoksi hamuru ve düşük viskoziteli polimer ile onarılarak, kolon kiriş birleşim bölgelerinde FRP ve çelik plaka ile kaplama yapılmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, güçlendirme yapılan numune yalnızca eski dayanımını ve rijitliğini kazanmakla kalmayıp ayrıca sünek olmayan detaylandırma eksikliklerinin üstesinden gelinmiştir. Bu çalışma bize, hasarlı bölgelerin iyileştirilmesi ve güçlendirme için uygun onarım ve yeterli güçlendirme tekniklerinin kullanılabileceğini gösterir.

Çalışma sonucunda, Hindistan standartlarına göre dizayn edilmiş numune ile sünek olmayan ve güçlendirme yapılmış numuneler arasındaki karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır. Yeterli onarım ve makul güçlendirme yardımıyla zarar görmüş yapının eski dayanımını geri kazanması imkanı vardır. İlk olarak daha iyi güçlendirme işlemi için uygun güçlendirme stratejisi zorunluluğu vardır. Bu nedenle yüzey hazırlama, gevşek betonun temizlenmesi, boşlukların doldurulması ve en önemlisi epoksinin enjekte edilmesi sırasında dikkatli olunmalıdır. Daha iyi güçlendirme yapabilmek için kesme hattı boyunca GFRP ve çelik levha kaplaması birleşme yeri boyunca iyi dağılımlı olmalıdır. Hatta, bu işlem sayesinde sünek olmayan numunelerin sınırları aşılabılır. Güçlendirilmiş

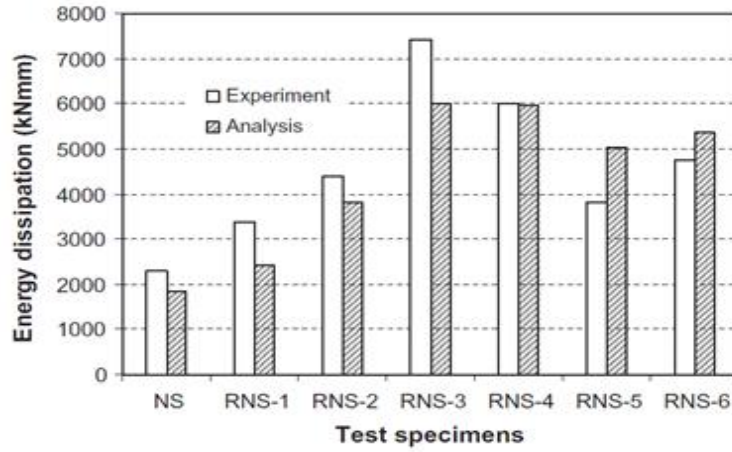
numuneden elde edilen toplam enerji dağılımı orijinal numuneden elde edilenden %25 daha fazladır. Güçlendirilmiş numuneden elde edilen periyodik enerji dağılımı başına yüksek sürüklenme oranlarında sürekli olarak artış gösterir. Periyodik yükler altındaki dayanım bozulması miktarının sınırsız orijinal numuneden önemli ölçüde daha düşük olduğu görülmektedir. GFRP ve çelik levha kaplamasını içeren güçlendirme teknikleri ile ilgili malzemelerin iyi bilinen kısıtlamalarını en aza indirmek mümkündür. Önerilen tasarlama da ayrıca ekonomik sorunlarda dikkate alınmıştır ve buda önemli bir noktadır.

Le-Trung ve arkadaşları ise 2011'de CFRP ile güçlendirilmiş kolon ve kiriş bağlantılarının modelleme ve analitik değerlendirilmesini yapmışlardır (Şekil 2.5). Bu çalışma, dıştan güçlendirilmiş betonarme kolon-kiriş birleşimlerinin güçlendirilmesinde kullanılan ve yanal yüklere maruz kalan CFRP modellenmesi üzerine analitik bir çalışmadır. Genel bağlantı davranışlarını simüle edebilmek için, geliştirilmiş analitik model, birleşim yerinin kesme davranışını, boyuna kiriş donatısının kayma ilişkisini ve CFRP kaplamasının çeşitli konfigürasyonlarını göz önüne alır. Özellikle, yapıştırılan önceki analitik çalışmaların hiçbirinde modellenmemiş CFRP ucundaki destek etkileri geliştirilen modele dahil edilmiştir. Test edilen yedi adet kolon-kiriş bağlantısı numunesi için analitik ve deneysel çalışmalardan alınan sonuçlar rijitlik, maksimum dayanım, rijitlik azalması, mukavemet azalması ve enerji dağılımı açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçlarına göre analitik sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında uyum sağlanmıştır. Bu nedenle geliştirilen makro ölçekli bağlantı modeli, uygun doğruluk sadelikte CFRP ile güçlendirilen kolon-kiriş birleşimlerine sahip yapıların performans değerlendirmeleri için kullanılabilir.



Şekil 2.5. Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde CFRP güçlendirme şekilleri (Le-Trung ve arkadaşları, 2011)

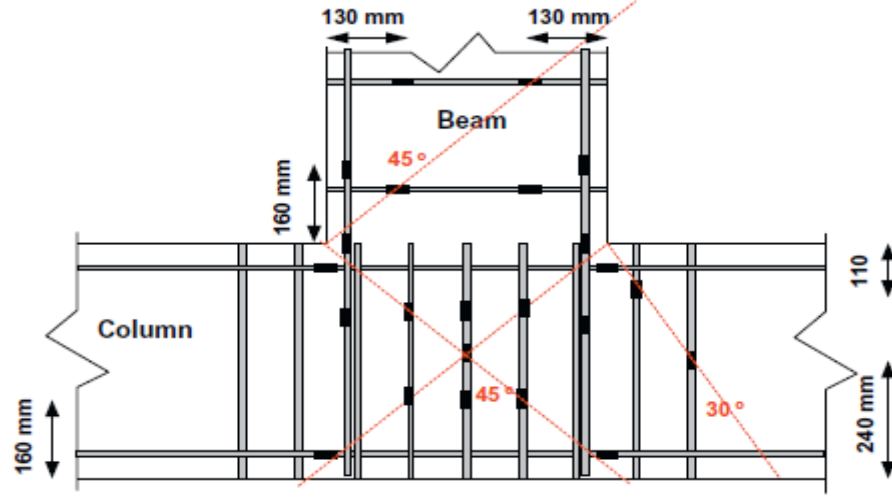
Söz konusu çalışmada, CFRP kullanılarak güçlendirilen dış kolon-kiriş bağlantılarının doğrusal olmayan histeretik davranışını simüle edebilmek için basit bir analitik model geliştirildi. Geliştirilen model, elemanların az sayıda olduğu ve DRAIN-2D programının kullanıldığı makro ölçekli bir modeldir. Bu yüzden analizin zaman-tanım aralığında çok verimli olması beklenir. Model ortak kesme davranışı, boyuna kiriş donatılarının kayma dayanımı, CFRP tabakalarının farklı konfigürasyonlarının etkileri, CFRP ve betonarme yüzeyleri arası kayma dayanımı etkisinin ve CFRP tabakalarının uç kısımlarındaki bağların etkileri gibi ana mekanizmaları yeterince simüle edebilir. Geliştirilen modelin basitliği ve yeterli hassasiyeti nedeniyle kolon kiriş birleşimleri CFRP takviyesiyle güçlendirilmiş yapıların performans analizleri için kullanılabileceğine ortaya koymuştur (Şekil 2.6.)



Şekil 2.6. Deney Elemanlarının deney sonuçları ile analizleri karşılaştırılması (Le-Trung ve arkadaşları, 2011)

Sharbatdar ve Saatçioğlu yapmış oldukları çalışmada (2011), betonarme çeliğinin beton içerisinde paslanmasının yapıların yıpranmasıyla sonuçlanması, liflerle güçlendirilmiş polimerlerin yeni yapılan inşaatlarda beton elemanların güçlendirilmesi için kullanımı konusuna dayandırmıştır. FRP elemanlar, özellikle korozyona yol açabilecek çevre koşullarında deprem yüklerine maruz kalan yapılarda daha fazla olumlu avantajlara sahiptir. Bu çerçevede sismik yüklemeler altında betonarme birleşim noktalarının FRP güçlendirilmesi ile bu güçlendirmenin detaylandırılması ve tasarımı hakkında çalışmalar yapılmıştır. 3 adet büyük FRP ile güçlendirilmiş beton yapısal düğüm noktası tasarlanmış, imal edilmiş ve tekrarlı yükleme koşulları altında deney gerçekleştirilmiştir. Numuneler iki kolon ve bir kirişten oluşan T biçimindedir (Şekil 2.7). Kolonlar sabit eksenel yüke maruz bırakılırken kiriş eleman ters tekrarlı yüke maruz

bırakılmıştır. Güçlendirme kafesi boyuna donatı olarak CFRP çubuklarından, enine donatılar ise CFRP ızgaralarından meydana gelmiştir. Sonuçlar göstermektedir ki FRP güçlendirmesi/donatılandırılması yeni yapılan yapılarda etkili bir şekilde kullanılabilir.



Şekil 2.7. Kolon-kiriş kesişim noktasına CFRP çubukları uygulanması(Sharbatdar ve Saatçioğlu,2011)

Söz konusu hedefi çelik donatıların korozyonu sonucu yapısal elemanlarda oluşan yıpranmanın önüne FRP güçlendirmesi ile geçmektir. FRP güçlendirmesi uygulanmış düğüm noktaları depreme dayanıklı yapılarda istenilen dayanım ve şekil değiştirme gereksinimlerini sağlamak amacıyla tasarlanabilmektedir. Deney sonuçları göstermiştir ki tersinir yük altında düğüm noktalarının eğilim kapasiteleri %3'ten fazladır. FRP güçlendirmesi elastik olmayan deformasyon oluşumunu sınırlayabilmektedir. Ayrıca sabit basınç ve çekme-basınç devirli yüklemesine karşı tehlikeli bir durum yaratmayacak şekilde dayanmıştır. Basınçta FRP elemanların elastisite modülü ve basınç dayanımı çekme altındaki değerlerin

yaklaşık %20'sine eşittir. Çekme anındaki kopma birim uzaması %0,1 olarak kaydedilmiştir. FRP ile güçlendirilen beton elemanların FRP eleman özelliklerini kaybetmediği andaki azami moment kapasitesi normal kapasiteden %15 daha azdır. Buradan hareketle moment direnci 0,85 katsayısı kullanılarak normal kapasiteden elde edilebilir. Bu tip düğüm noktasının dezavantajlarını önlemek için daha düşük bir katsayı kullanılmalıdır.

Diğer taraftan , Roberto Realfonzo ve arkadaşları (2013) FRP ile kolon-kiriş birleşim noktalarının güçlendirilmesini yapmıştır ve mekanik olarak güçlendirilmemiş numuneden çokta fazla dayanım artışı sağlamaması nedeni FRP sıyrılması nedeniyle oluşan olağan çökmenin erken oluşmasına bağlıdır.

Bo Li ve arkadaşları (2013) ise kolon-kiriş birleşim noktalarına 12 mm'lik diyagonal ek donatılar yerleştirdiklerinde , yükleme kapasitesinin de çekmede %9.6 , itmede ise %6.4 iyileşme ve sünek yerdeğiştirme de ise %17'lik artış gerçekleştirdiğini görmüşlerdir.

Ha ve arkadaşları 2013 yılında yapmış oldukları çalışmalarda betonarme kolon-kiriş düğüm noktalarının altıgen biçimli CFRP çubukları ile birleştirilmiş CFRP levhaları kullanımı ile sismik iyileştirilmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada betonarme ankastre kolon-kiriş birleşimlerinin uygulanan CFRP çubuklarıyla birleştirilmiş CFRP levhaları takviye edilerek sismik dayanımını ve performansını iyileştirmek için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. CFRP çubukları altıgen en kesitlidir. Yeni tasarım yaklaşımıyla uygulanan iyileştirme yöntemi tekrarlı sismik yükler altında hasarı en aza indirip tüm yapı performansını artırabilmiştir. CFRP levhalarının ankastre CFRP çubuklarıyla desteklendiği betonarme kolon-kiriş düğüm noktalarında iyileştirme yönteminin şantiyede dahi kolayca ve basitçe uygulanabilirliği gözlemlenmiştir. Ankastre CFRP çubuklarının CFRP levhaları ile bağlanması ile sadece yük taşıma kapasitesini artırmamış ariyeten depreme çalışmayacak şekilde tasarlanmış betonarme kolon-kiriş bağlantılarının deplasman sünekliği, enerji yayılım kapasitesini artırmıştır. CFRP levhaları eğilme çatlaklarını ve düğüm noktası etrafındaki hasarı azaltmıştır. CFRP levhaları kullanılan numuneler arasında CFRP çubuk elemanları ile de takviye edilen birleşimler daha elverişli bir yük taşıma ve deformasyon karakteristiği sergilemiştir.

Varinder Singh ve arkadaşları(2014) başka bir çalışmada ise başlangıç basıncını %100'den %85 ve %50 'ye düşürdüklerinde, elastik bölgede CFRP ile

yenilenmiş kiriş-kolon birleşim noktasının rijitliğinde sırasıyla %17.36 ve % 26.94'lük artış görmüşlerdir.

Beton kılıflama ile yapılan deneylerde ise, Muhammad N.S. Hadi ve arkadaşları (2014) yapıştırılmış parçasal ve dairesel beton kılıfların yalnızca CFRP'nin etkisini arttırmaya yardım etmekle kalmayıp ayrıca düğüm noktasındaki mevcut betonla da kesmeye karşı koyma hususunda beraber çok iyi çalıştıkları görülmüştür.

Mohamed H. Mahmoud çalışmalarında ise (2014) düğüm bölgesi sargılarının eksikliğinden kaynaklanan kusurları güçlendirmede çapraz örtülerek kullanılan FRP'nin daha iyi performans sergilediği gözlenmektedir. Diğer taraftan yetersiz kolonlarda iki ucu birleştirilerek yan yüzeye yapıştırılmış CFRP tabakaları en yüksek performansı göstermiştir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez deneysel bir çalışmadır. Toplam 7 adet deney elemanı üretilmiştir ve 1 eleman hedef eleman olarak düşünülüp, deprem yönetmeliği ve TS 500 standartlarına göre planlanıp tasarlanmıştır. 2 adet referans elemanı yapılmıştır ve bunlardan biri dayanıksız imal edilmiş diğeri ise günümüzde hala yapılan yapı kusuru düğüm noktasında eksik yada yetersiz etriye ile sarılıp üretilmiştir. 4 adet numune ise CFRP ve çapraz ankraj güçlendirme uygulamaları için düşünülüp referans elemanlarla aynı dizaynda üretilip farklı güçlendirme yöntemleri uygulanmıştır. Bu kısımda deney elemanları, kullanılan malzeme ve ekipmanlar, deney elemanlarının üretilmesi aşamaları anlatılmıştır.

3.1. Deney Elemanları

Deney elemanları betonarme çerçeve bir binada kolon ve kiriş birleşim yerlerini temsil edecek şekilde seçilmiştir. Kirişin kolona bağlantısının tam olması için kolon ve kiriş genişlikleri aynı alınmıştır. Deneyler için 1/1 ölçekli 7 adet betonarme konsol kolon-kiriş birleşim noktalı deney elemanı üretilmiştir. Deney elemanlarının geometrik boyutları aynıdır, fakat donatı düzenlemeleri farklıdır. 7 deney için toplamda 3 çeşit donatı düzeni vardır. Bunlar;

- Kolon ve kiriş 10 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında ise iki yönde de etriyelerle sıklaştırılmıştır. **Hedef** numunesi olarak kullanılacaktır.

- Kolon ve kiriş 30 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında hiç etriye yoktur. **Referans ve güçlendirme** numuneleri olarak kullanılacaktır.

- Kolon ve kiriş 10 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında etriye konulmamıştır.

Günümüzde ve geçmişte yapılan binaların çoğunda gözlenen durumdur ve **referans** numunesi olarak kullanılacaktır.

Tüm numunelerde yükün uygulanacağı kiriş uç bölgesinde lokal çatlama ve kırılmaların önlenmesi amacıyla 8 mm çapında 5 cm aralıklı 4 adet etriye yerleştirilmiştir.

Deney elemanlarından 1 tanesi '**Hedef**' , 2 tanesi '**Referans**' ve 4 tanesi ise farklı **CFRP** ve **çapraz demir** yerleştirmesi güçlendirmeleri için kullanılacaktır. Deney elemanları ve güçlendirmeler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.1.1. Deney Elemanları ve Güçlendirme Özellikleri

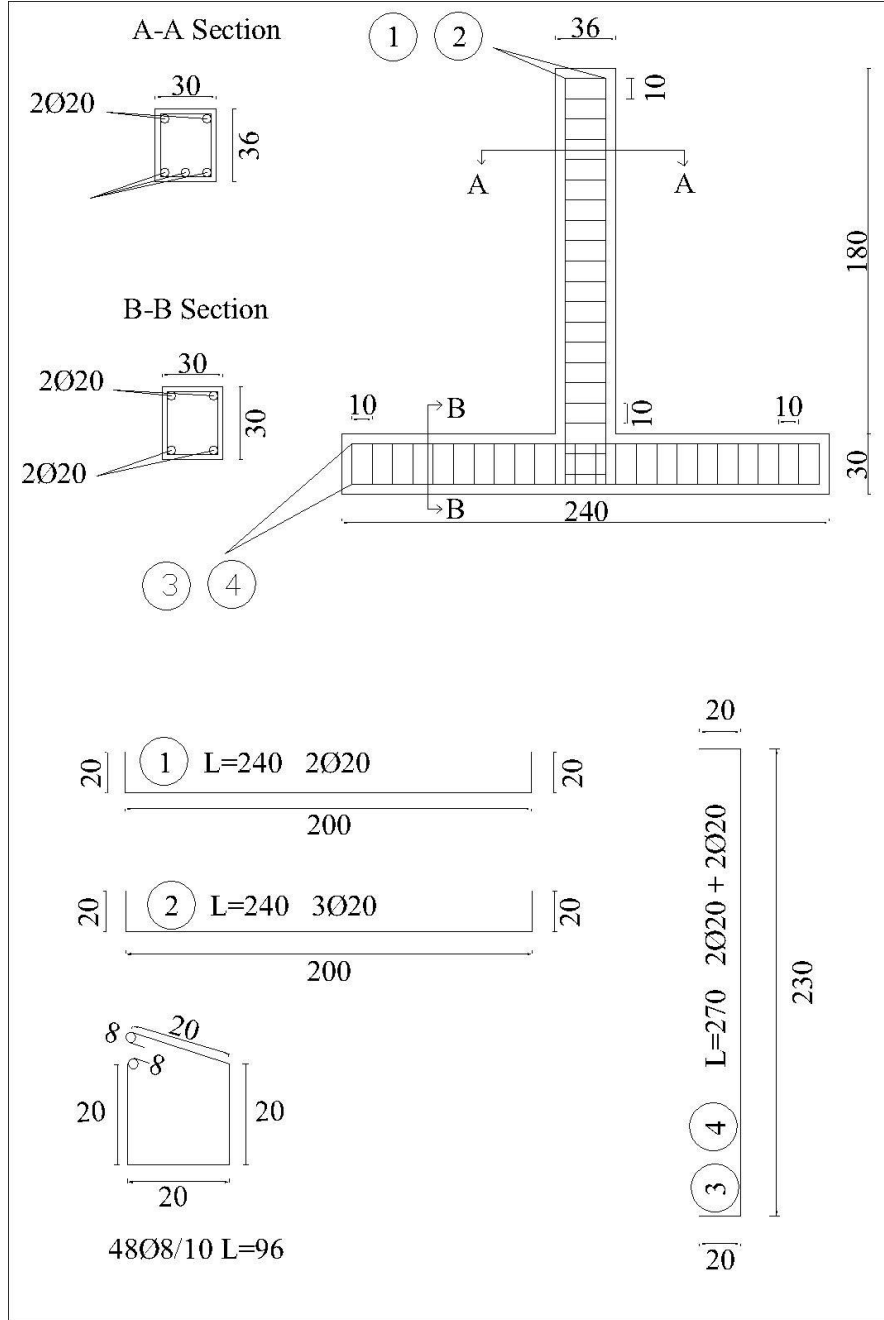
Numune No	Güçlendirme Tipi	Güçlendirme Bölgesi	gf* (mm)	CFRP Düzenlemesi	Ankraj Tipi
1	Hedef	-	-	-	-
2	Referans-1	-	-	-	-
3	Referans-2	-	-	-	-
4	CFRP ve Ankraj	Düğüm Noktası hariç Tüm kolon ve kiriş CFRP , Düğüm noktası çapraz ankrajlı	-	Düz Sargı	8 adet ø12 demir
5	CFRP	Tüm Eleman	-	Düz Sargı	-
6	CFRP	Düğüm Noktası	150	45 ° Düz Sargı	-
7	Ankraj	Düğüm Noktası	-	-	8 adet ø12 demir

gf* : CFRP şeritlerin genişliği

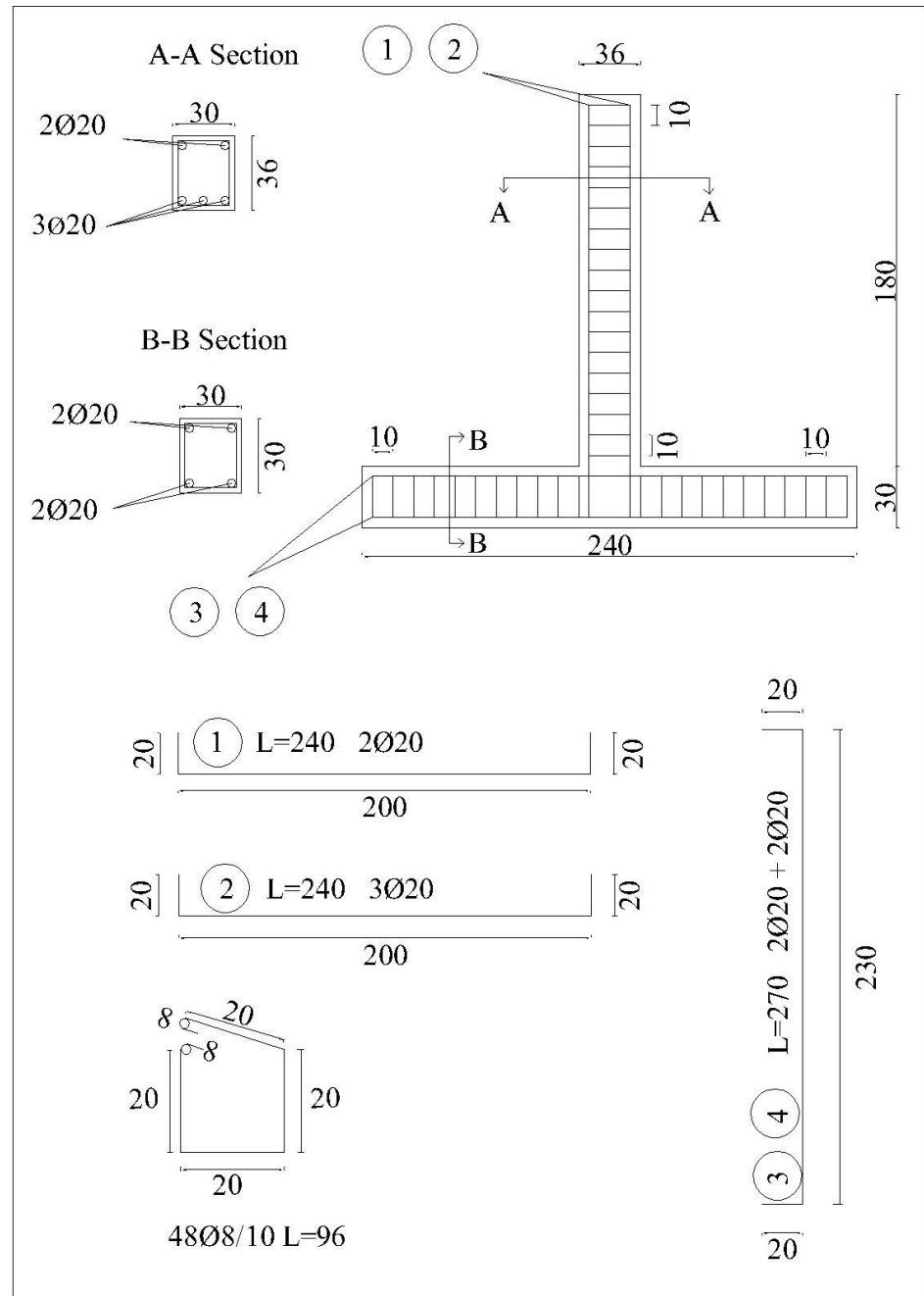
Deney programında yer alan deney elemanlarına ilişkin detaylar aşağıda verilmiştir.

Hedef ; Hedeflenen dayanım ve güçlendirilen deney elemanları ile karşılaştırmak için üretilmiş elemandır. Kolon ve kiriş 10 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında ise iki yönde de etriyelerle sıklaştırılmıştır. Eleman geometri,donatı düzenlemeleri ve kesit detayı Şekil 3.1.1' de verilmiştir.

Referans 1 ; Kolon ve kiriş 10 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna $\text{Ø}20$ 'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna $\text{Ø}20$ 'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna $\text{Ø}20$ 'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında etriye konulmamıştır. Günümüzde ve geçmişte yapılan binalarda uygulamadaki zorluklardan dolayı eksik yapılan etriyenin sonuçları açısından önemli bir deney elemanıdır. Eleman geometri, donatı düzenlemeleri ve kesit detayı Şekil 3.1.2' de verilmiştir.

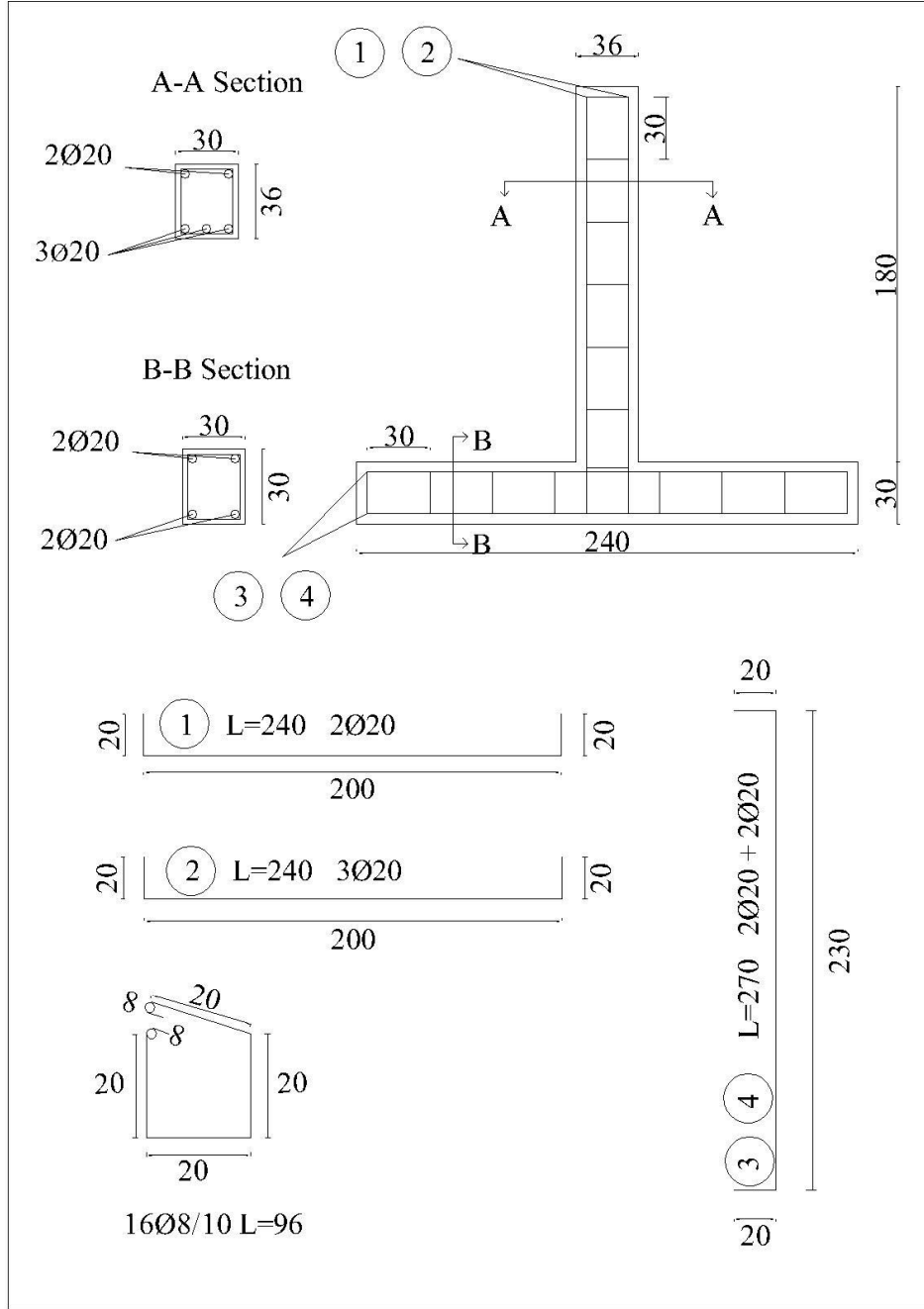


Şekil 3.1.1 Hedef eleman geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları



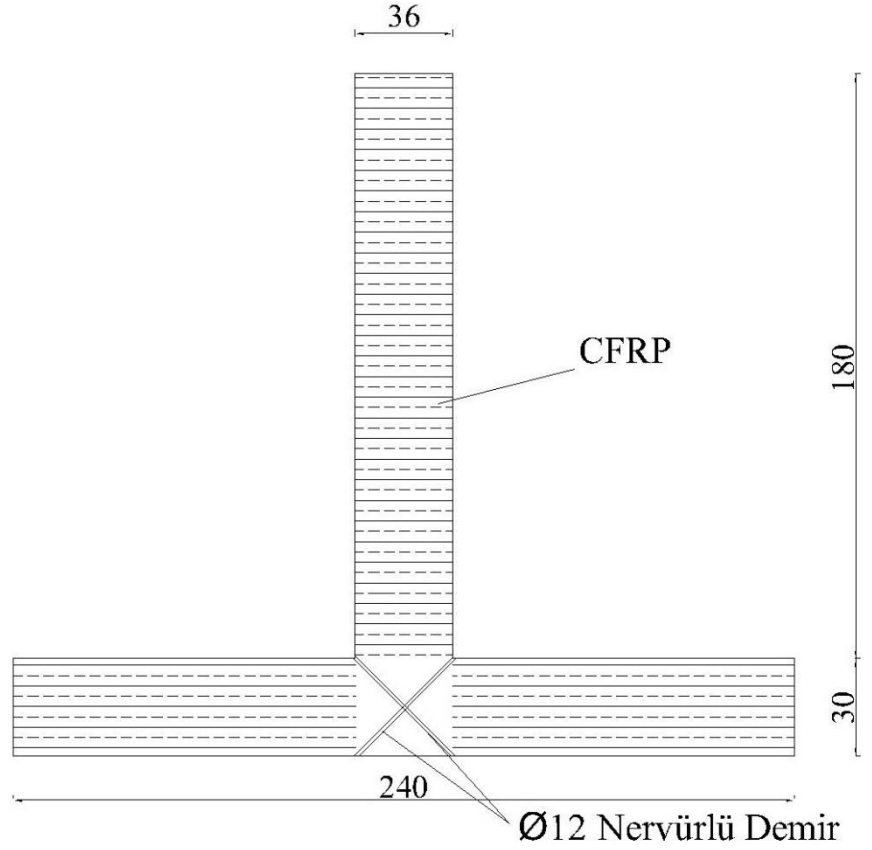
Şekil 3.1.2. Referans-1 elemanı geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları

Referans-2 ; Kolon ve kiriş 30 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında hiç etriye yoktur. Özellikle eski betonarme yapılarda sıklıkla karşılaşılan açık aralıklı etriyenin etkileri için önemli bir numunedir. Eleman geometri,donatı düzenlemeleri ve kesit detayı Şekil 3.1.3' de verilmiştir.



Şekil 3.1.3. Referans-2 elemanı geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları

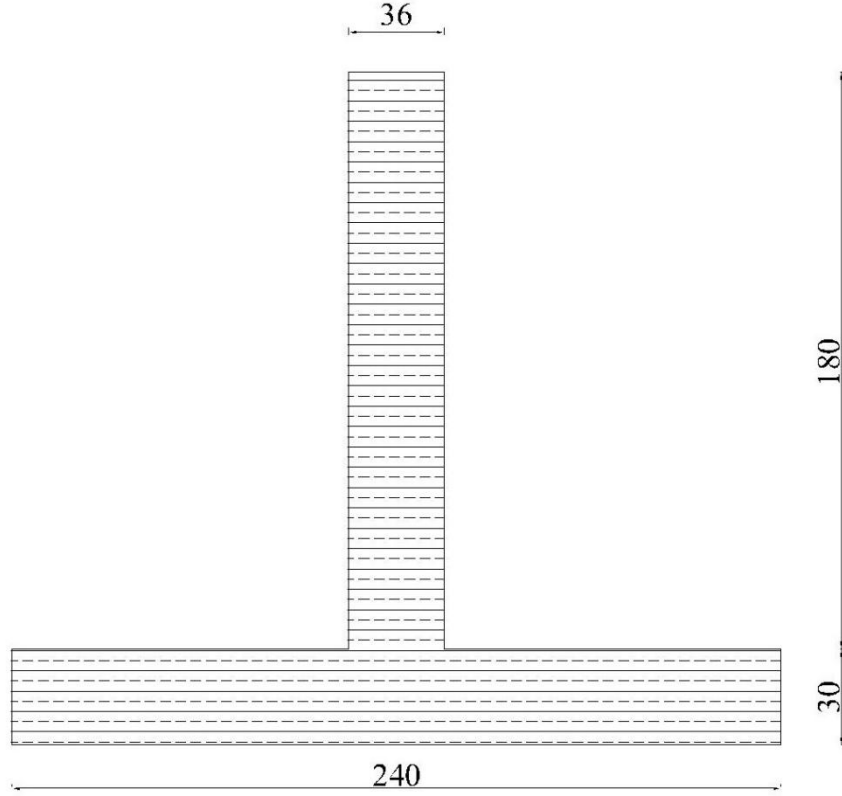
Deney Elamanı 4 ; Kolon ve kiriş 30 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasına 4 adet sağ alt köşeden sol üst köşeye , 4 adet sol alt köşeden sağ üst köşeye 12'lik nervürlü demirler ankre edilmiştir. Kolon-kiriş düğüm bölgesi hariç tüm eleman CFRP ile kaplanmıştır. Eleman geometri,donatı düzenlemeleri ve kesit detayı Şekil 3.1.3' de verilmiştir. CFRP ve çapraz donatı yerleşim detayı ise Şekil 3.1.4'te verilmiştir.



Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi Hariç
Komple CFRP

Şekil 3.1.4. Deney elemanı-4 CFRP ve çapraz ankraj yerleşim detayı

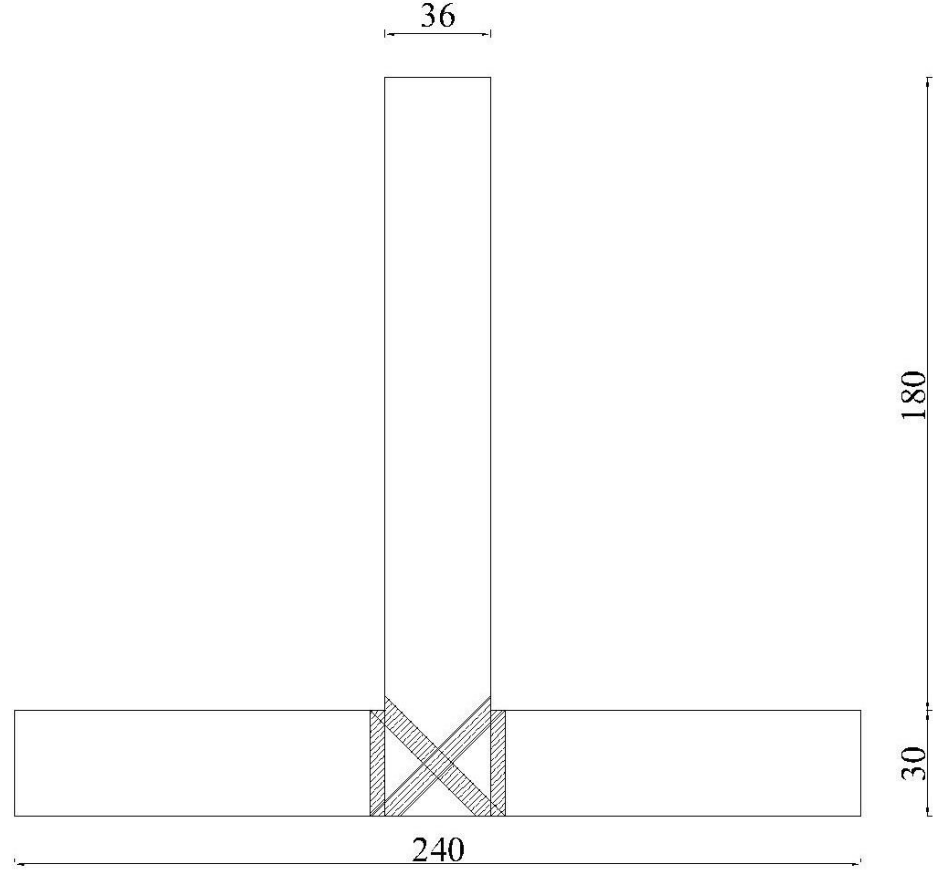
Deney Elemanı 5 ; Kolon ve kiriş 30 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Tüm eleman CFRP ile kaplanmıştır. Eleman geometri,donatı düzenlemeleri ve kesit detayı Şekil 3.1.3' teki ile aynıdır. CFRP yerleşim detayı ise Şekil 3.1.5'da verilmiştir.



Komple CFRP

Şekil 3.1.5. Deney elemanı-5 CFRP ve çapraz ankraj yerleşim detayı

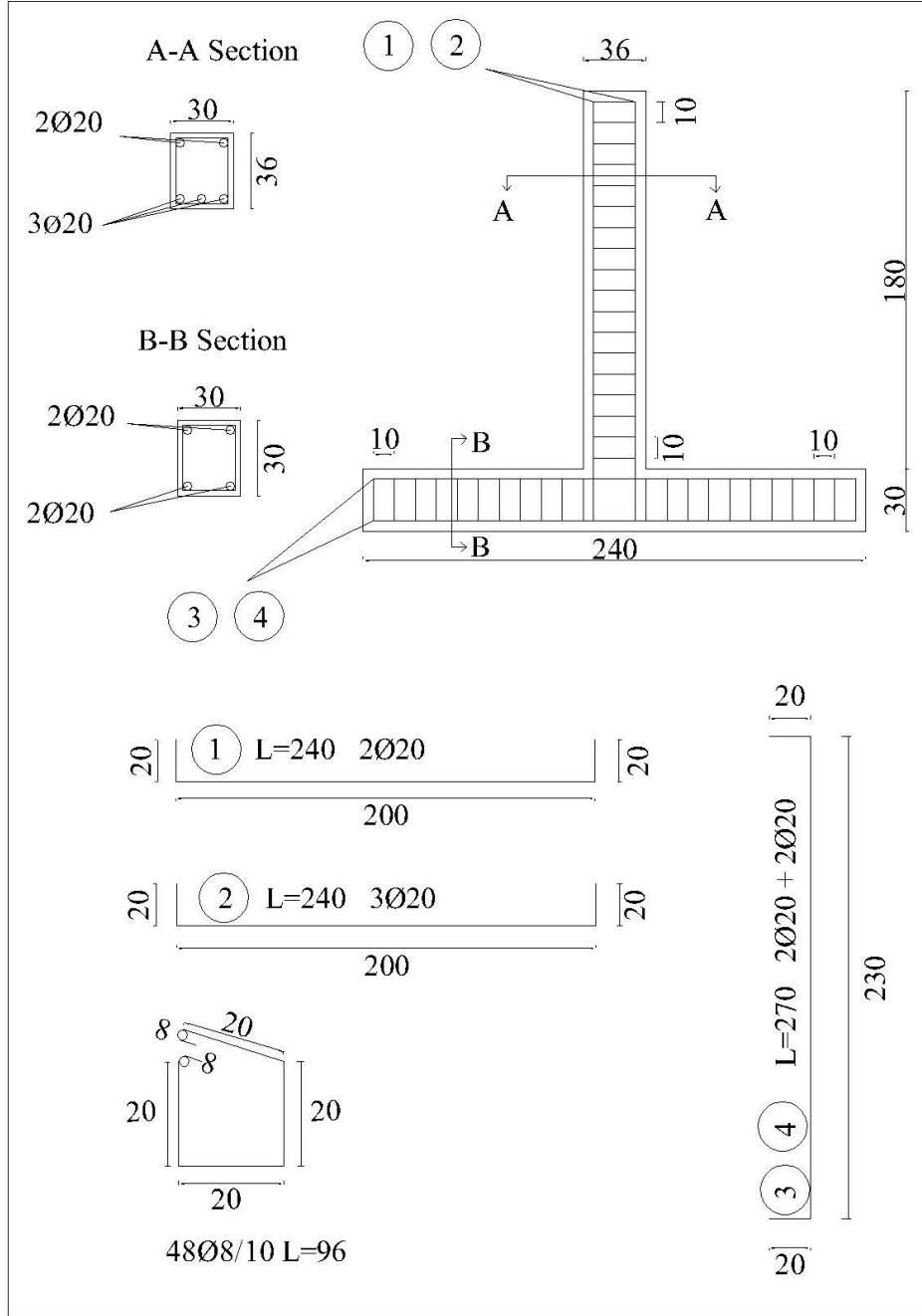
Deney Elemanı 6 ; Kolon ve kiriş 30 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında etriye konulmamıştır. Kolon-kiriş düğüm bölgesi 45^0 açıyla 150 mm genişliğinde CFRP sarılmıştır. Eleman geometri,donatı düzenlemeleri ve kesit detayı Şekil 3.1.3' teki ile aynıdır. CFRP yerleşim detayı ise Şekil 3.1.6'de verilmiştir.



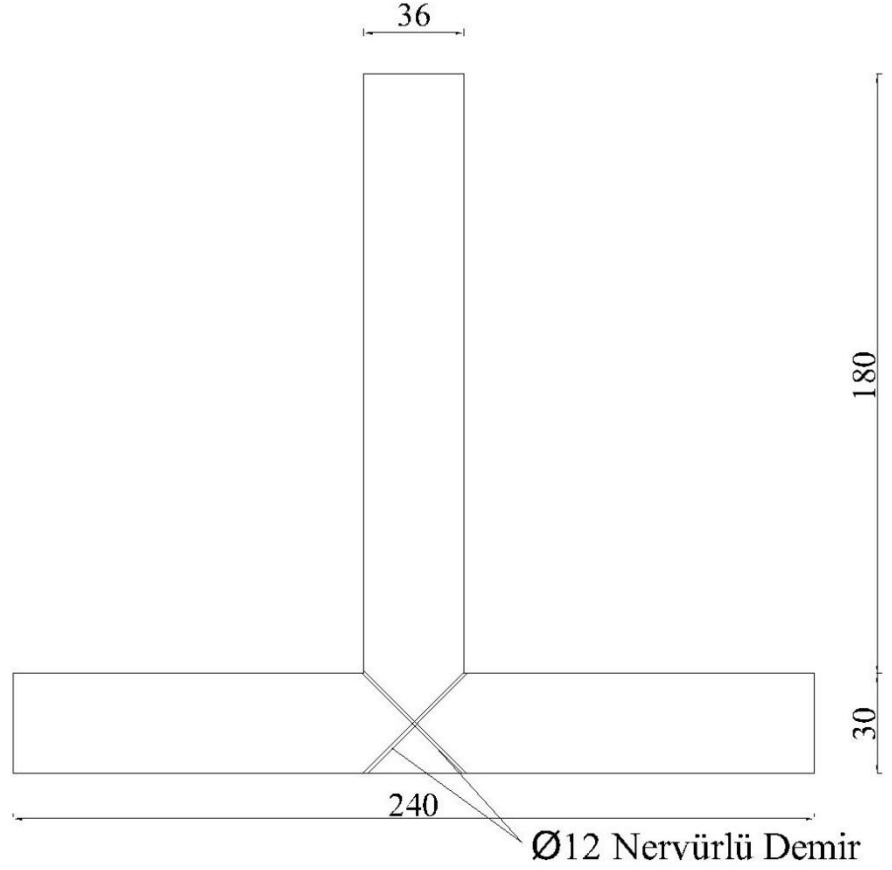
Düğüm Noktası 45°-135°'lik CFRP Güçlendirme

Şekil 3.1.6. Deney elemanı-6 CFRP ve çapraz ankraj yerleşim detayı

Deney elemanı-7 ; Kolon ve kiriş 10 cm etriye ile sarılmıştır. Kirişin üst ana donatısında 2 adet boyuna Ø20'lik, alt ana donatısında ise 3 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demirler kullanılmıştır. Kolonda ise toplamda 4 adet boyuna Ø20'lik nervürlü demir donatılar kullanılmıştır. Düğüm noktasında etriye konulmamıştır. Kolon-kiriş birleşim noktasına 4 adet sağ alt köşeden sol üst köşeye , 4 adet sol alt köşeden sağ üst köşeye 12'lik nervürlü demirler ankre edilmiştir. Eleman geometri,donatı düzenlemeleri ve kesit detayı Şekil 3.1.7'de ve çapraz güçlendirme donatısı yerleşim detayı ise Şekil 3.1.8'da verilmiştir.



Şekil 3.1.7. Deney elemanı-7 geometrisi, donatı detayları ve kesit detayları



Düğüm Noktası 45°-135°'lik Demir
Ankraj Güçlendirme

Şekil 3.1.8. Çapraz güçlendirme donatısı yerleşim detayı

3.2. Malzemeler

Deney elemanlarının üretilmesinde donatı, beton ve CFRP malzemesi kullanılmıştır. Donatı ve beton malzemelerinin karakteristik özellikleri numuneler üzerinde gerçekleştirilen testlerle belirlenmiştir. Deney elemanlarının üretilmesinde aynı özellikte beton ve bir seferde ve aynı üretimden temin edilen inşaat demiri kullanılmıştır. Deney elemanların kesmeye karşı güçlendirilmesinde SİKA firmasının ürettiği Sika Wrap 300C karbon lif donatılı polimer ve SİKADUR 330 epoksi kullanılmıştır.

3.2.1. Donatı

Deney elemanlarında kullanılan donatılar bir seferde ve aynı üretimden alınmıştır. Donatıların özelliklerinin belirlenmesi için her çaptaki donatıdan üçer adet numune alınarak çekme deneyleri yapılmıştır. Donatı özellikleri Tablo 3.2.1’de verilmiştir.

Tablo 3.2.1. Kullanılan donatıların özellikleri

GENEL			MEKANİK TEST				KİMYASAL BİLEŞİM(%)				
Çap (mm)	Kesit Alanı (mm ²)	Kalite	Akma Mukave meti (N/mm ²)	Çekme Muk. (N/mm ²)	Çekme Akma	Uzama (%)	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
6	50,3	IIIA	573	628	1,1	8,3	0,190	0,180	0,630	0,019	0,021
8	78,6	IIIA	510	624	1,2	27,5	0,270	0,200	0,640	0,012	0,023
16	201,1	IIIA	489,6	654,2	1,3	25	0,310	0,210	0,650	0,035	0,044
20	314,3	IIIA	490,0	604,4	1,2	19,3	0,200	0,180	0,660	0,018	0,038

3.2.2. Beton

Deney elemanlarının betonları Batı Prefabrik A.Ş Tire Tesislerinde hazırlanarak dökülmüştür. Beton karışımında 16-32 mm, 4-6 mm ve 0-4 mm dane çaplarında üç grup agrega kullanılmıştır. Kullanılan agrega için elek analizi yapılmıştır. C 25/30 MPa beton basınç dayanımı elde etmek amacıyla 1 m³ beton karışımında 0-4 mm dane çapındaki malzemeden %47 oranında, 4-16 mm dane çapındaki malzemeden %25 oranında ve 16-32 mm dane çapındaki malzemeden %28 bulunması gerektiği hesaplanmıştır. 1 m³ beton üretiminde 420 kg çimento kullanılmıştır. Deney elemanlarında çimento olarak Çimentoş CEM I 42.5 R kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.647’dir. 1 m³ betonun hazırlanması için karışım oranları Tablo 3.2.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2.2. Deney elemanlarında kullanılan beton karışım oranı

Malzemeler	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça oranı (%)
Çimento	420,00	17,4
No 2 agrega (16- 32)	480,80	19,8
No 1 agrega (4- 6)	428,80	17,7
No 0 agrega (0 – 4)	819,00	33,8
Su	271,80	11,2
Katkı	6,3	-
Toplam	2426,7	100

Deney elemanlarının beton dökümü sırasında beş adet standart küp numunesi alınmıştır. Alınan numunelere deney elemanı ile aynı şartlarda kür uygulanmıştır. Küp numunelerinden elde edilen 28 günlük ortalama beton basınç dayanımları Tablo 3.2.3’de verilmiştir.

Tablo 3.2.3. Elemanlarında kullanılan betonun ortalama beton basınç dayanımları

Deney Elemanı Adı	Beton Basınç Dayanımı f_c (MPa)
Hedef	30,8
Referans-1	31,5
Referans-2	30,5
Deney Elemanı-4	30,9
Deney Elemanı-5	31,2
Deney Elemanı-6	31,0
Deney Elemanı-7	30,3

3.2.3. CFRP

Çalışmada deney elemanlarının kesme dayanımlarını arttırmak için karbon lif donatılı polimer malzemesi (tek yönlü Sika Wrap 300C) kullanılmıştır. Sika Wrap 300C malzemesinin malzemenin üretici firma tarafından belirtilen özellikleri Tablo 3.2.4’da verilmiştir.

Tablo 3.2.4. Deney elemanlarına uygulanan CFRP malzemenin mekanik özellikleri

Sika Wrap 300C Karbon Lifli Dokuma Malzemesi	
Lif Yapısı	%99 Ana doğrultuda,%1 Destekleyici doğrultuda lifli
Ağırlığı	300 gr/m ²
Kalınlığı	0,166 mm
Liflerin Çekme Dayanımı	3900 N/mm ²
Liflerin Elastisite Modülü	230000 N/mm ²
Kopmadaki Uzama	%1,5
Dokuma Uzunluğu	50 m
Dokuma Genişliği	600 mm

3.2.4 Epoksi

CFRP şeritlerin deney elemanlarına yapıştırılmasında Sikadur 330 (Epoksi) (Şekil 3.2.1) yapıştırıcı kullanılmıştır. Sikadur 330 iki bileşenli, suya dayanıklı, yüksek dayanımlı solventsiz yapıştırma harcıdır. Karışımında; yapıştırıcı madde olan epoksi reçinesi ve priz süresini düzenleyen sertleştirici bulunmaktadır. Sika Wrap sistemi ile uyumludur. Epoksi harcının hazırlanmasında bileşenler üretici firmanın önerdiği oranlarda kullanılmıştır. 4 birim reçine ve 1 birim sertleştirici dakikada 100 devirli bir karıştırıcıyla bir dakika süre ile karıştırılmış ve epoksi kullanıma hazır hale getirilmiştir. CFRP uygulamasından sonra epoksinin priz alması için deney elemanı bir hafta süre ile laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Sikadur 330’un üretici firma tarafından belirtilen özellikleri Tablo 3.2.5’de verilmiştir.

Tablo 3.2.5. Deney elemanlarında kullanılan epoksi malzemesinin özellikleri

Sikadur 330 Doyurma Reçinesi	
Yoğunluk	1,31 kg/l
Karışım Oranı	A bileşeni(reçine) : B bileşeni(sertleştirici) =4:1
Uygulama Sıcaklığı	" +10 C° - +35 C°
Çekme Mukavemeti	30 N/mm2 (+23 C° 7 gün kür aldıktan sonra)
Eğilmede Elastisite Modülü	3800 N/mm2 (+23 C° 7 gün kür aldıktan sonra)

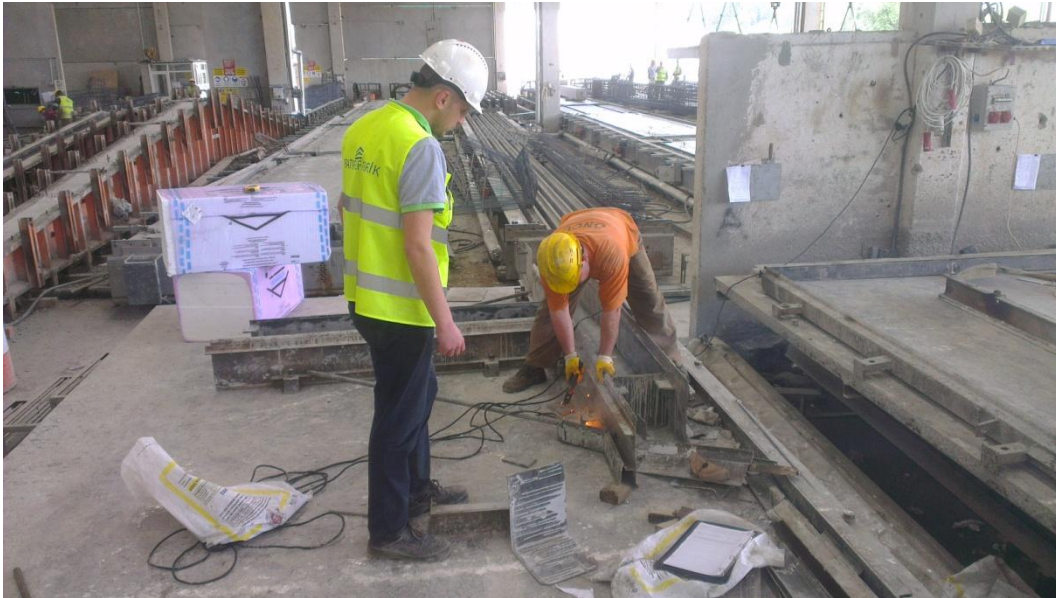


Şekil 3.2.1 Sikadur 330 epoksi

3.3. Deney Elemanlarının Üretilmesi

Deney elemanları Batı Prefabrik A.Ş. Tire Üretim Tesisleri'nde üretilmiştir. Deney elemanlarının üretimi, donatı kafesinin ve kalıbının hazırlanması, beton dökümü ve güçlendirme aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalardan sonra deney elemanları teste hazır hale gelmektedir.

Deney elemanlarının üretilmesinde 30 cm yüksekliğinde 1 mm kalınlığındaki saçtan kalıplar kullanıldı. Kalıplar üretim tesisi a holünde 8 numaralı cephe paneli kalıbının üstüne kuruldu. Alt kenar gönyeli bir şekilde kaynatıldıktan sonra 30 cm genişliğindeki kolon kalıbı ve daha sonra 36 cm genişliğindeki kiriş kalıbı gönyeli olarak kaynatıldı. Daha sonra çapraz şekilde destekler atılarak gönyeler sabitlendi. Kalıp genişlikleri her 10 cm'de bir daha ölçüldü ve yere kalıbı sabitleyecek vidalar kaynatıldı. Kalıp vidalarla sabitlendiği için 7 defa bir daha kurmaya gerek kalmadan aynı yere vidalatılarak ve kontrolü yapılarak hızlı bir biçimde üretime devam edildi. En son işlem olarak 1,5 cm'lik pah çitalarıyla kenarlar dönüldü. Bunun nedeni hem numuneyi kalıptan ve yerleştirme işlemlerindeki hasarlardan korumak hem de CFRP işlemini kolaylaştırmak için yapılmıştır. Üretim aşamaları Şekil 3.3.1 ve Şekil 3.3.2 gösterilmiştir.



Şekil 3.3.1 Deney elemanının kalıbının kurulması



Şekil 3.3.2 Deney elamanı kalıbının kontrolü

Deney elemanlarının donatıları da Batı Prefabrik A.Ş. 'de imal edilmiştir. Demir donatılar 3 çeşit projede yazılan ölçü boyları ve sayıları uyularak ve gönyeleri bırakılarak kesilmiştir. Etriyeler projeye uygun ve gönyeleri makine yardımıyla 135^0 lik gönyeleme uygulanmıştır. Önce kiriş yada kolonun montaj donatılarına etriyeler geçirilerek donatılar bu etriyelere bağ telleriyle bağlanmıştır. Etriye aralıkları ve özellikle düğüm noktası boş yada dolu olacak projeleri 7'sininde planlanan şekilde imalata ona göre devam edilmiştir. İmalat aşamaları Şekil 3.3.3 ve Şekil 3.3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3.3 Montaj donatılarının etriyelerle bağlanması



Şekil 3.3.4 İmalatı tamamlanmış eleman iskeleti

Donatı kalıba yerleştirilmeden önce kalıp yağlanmıştır. Donatıların kalıp ile temasını önlemek için 2.5 cm'lik plastik pas payları kullanılmıştır. Donatı kalıba yerleştirilirken, donatının yağlanmış yüzeylere temas etmemesine özen gösterilmiştir.

Kalıp hazırlanıp , yağlama işleminden sonra pas payı bırakılmış eleman iskeleti kalıba yerleştirilmiştir ve beton dökümünde kalıp vibratörü ile sıkıştırılma yapılmıştır. Deney elemanlarının beton dökümü sırasında beş adet standart küp numunesi alınmıştır. Alınan numunelere deney elemanı ile aynı şartlarda kür uygulanmıştır. Beton dökümünden bir gün sonra kiriş kalıplarının yan yüzleri açılmış, aynı gün beton küp numuneleri de kalıptan alınmıştır. Deney elemanları ve küp numuneler ıslak çuvallarla sarılmış, üzerleri naylonla örtülmüştür. Deney elemanları ile küp numuneler aynı şartlarda 28 gün kür ortamında tutulmuştur. Deney elemanlarının hazırlanışına ait şekiller aşağıda verilmiştir. (Şekil 3.3.5 ve Şekil 3.3.6)



Şekil 3.3.5 Eleman kalıbı beton dökümüne hazır son hali



Şekil 3.3.6 Eleman beton dökümü ve kalıp vibratör kullanılması

3.4. CFRP Uygulanması

Kürü tamamlanan deney elemanlarının CFRP uygulamasına giriş yüzey hazırlığı ile başlanmıştır. Deney elemanlarının beton yüzeyi taşlanmış ve pürüzsüz hale getirilmiştir (Şekil 3.4.1). Taşlama işlemi sona erdikten sonra beton yüzeyindeki artık maddeler basınçlı hava püskürtülerek temizlenmiştir. Daha sonra beton yüzeyi ıslak süngerle silinerek temizlenmiş ve tekrar basınçlı hava püskürtülerek tozdan arındırılmıştır.



Şekil 3.4.1 Zımpara ve taşlanma uygulanması

Daha sonra CFRP şeritlerin beton yüzeyine yapıştırılmasında kullanılacak epoksi hazırlanmıştır. Epoksi için Sikadur 330 malzemesinin her iki bileşeni (reçine ve sertleştirici) karıştırılarak yapıştırmaya hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan epoksi yaklaşık 1.5 mm kalınlığında uygulanacak bölgelere sürülmüştür. Daha sonra planlanan genişlikte ve boyda kesilen CFRP şeritler, lif yönlerinin bozulmamasına dikkat edilerek betonarme kirişe yapıştırılmıştır. CFRP şeritlere lifler doğrultusunda baskı uygulayarak epoksiye doyurulmuş lifler arasından epoksinin yüzeye çıkması sağlanmıştır. Daha sonra CFRP şeritlerin üzerine yaklaşık 1.5 mm kalınlığında epoksi lifler doğrultusunda tekrar sürülmüştür. Yüzey mala yardımı ile düzgün bir hale getirildikten sonra deney elemanı kuruması için bir hafta bekletilmiştir.

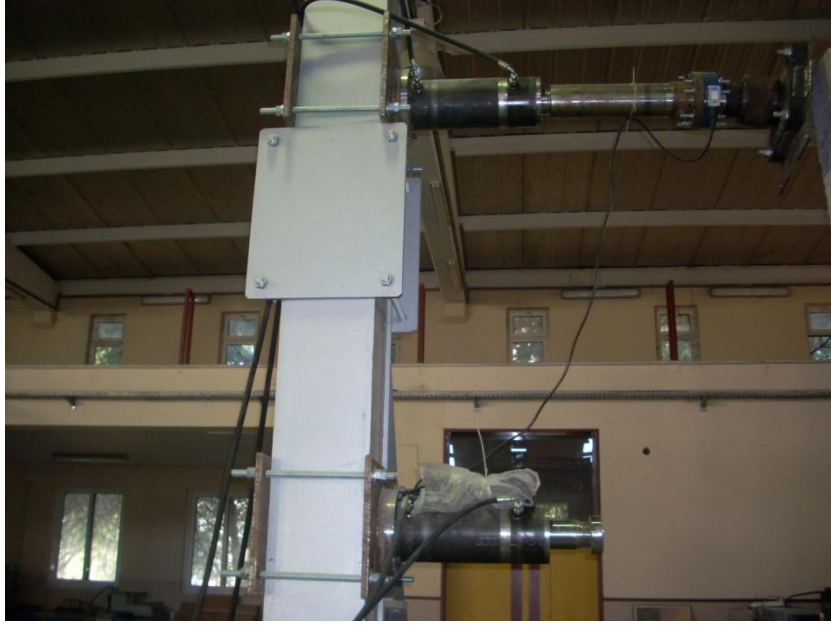
3.5. Deney Düzeneği

Laboratuarda deney süresince kullanılacak olan yükleme çerçevesi, S235JR (St37) kalitesindeki çelikten imal yapma kutu profillerden oluşan ve ayrıca yapma dolu gövdeli I kesitli diyagonal kirişlerle desteklenmiş rijit bir çerçeve sisteminden oluşmaktadır. (Şekil 3.5.1)



Şekil 3.5.1 Deney düzeneği (yükleme çerçevesi)

Yükleme düzeneği 500kN kapasiteli iki adet 30cm stroklu yatayda çalışan (Şekil 3.5.2) ve bir adet 50cm stroklu düşeyde çalışan pistonlar ile iki adet 200 bar kapasiteli menvel hidrolik güç ünitesinden ve ek yük piston frekans düzenleyici (Şekil 3.5.3) oluşmaktadır.

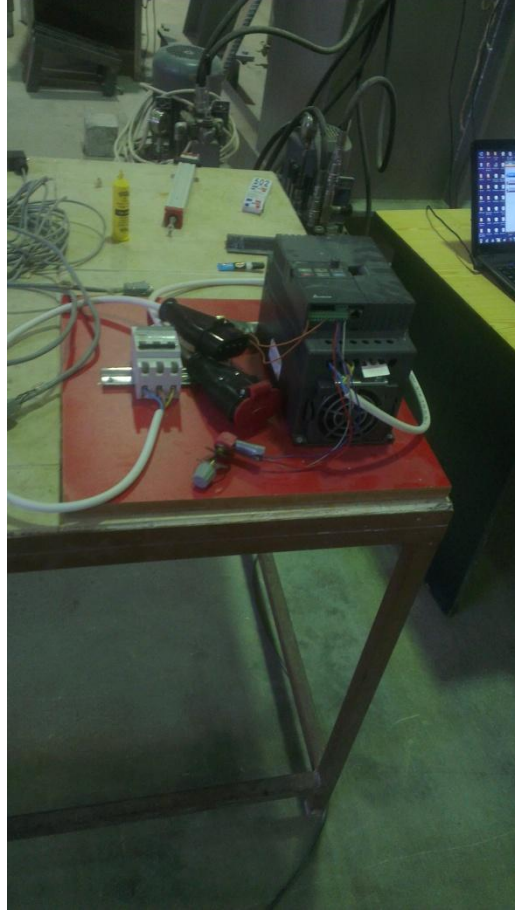


Şekil 3.5.2. Yatay pistonlar



(a)

Şekil 3.5.3. (a) Hidrolik güç ünitesi



(b)

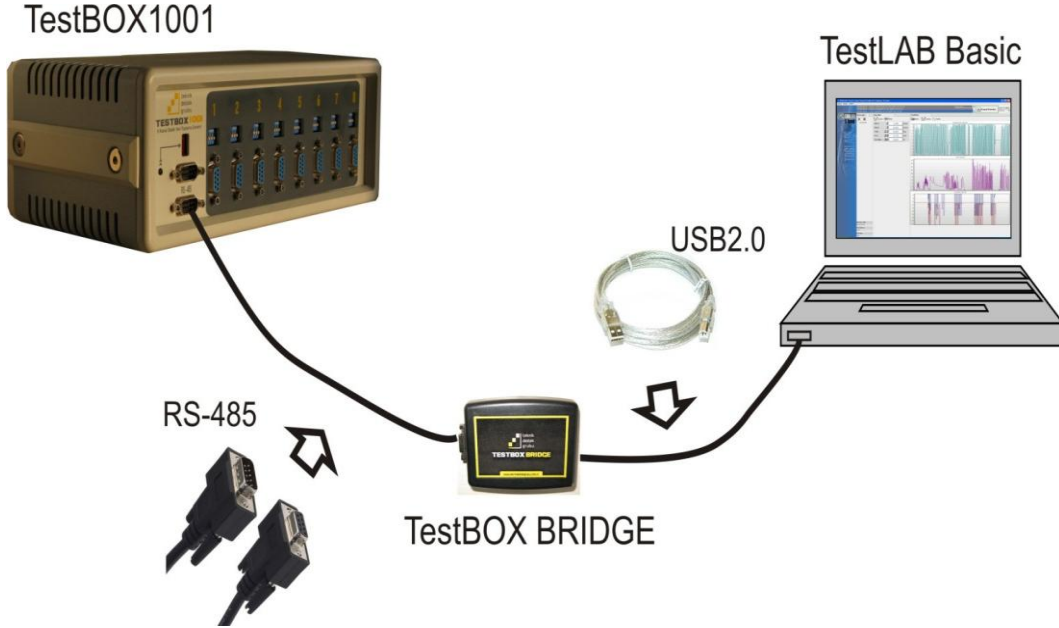
Şekil 3.5.3. (b) ek yük piston frekans düzenleyici

3.6. Veri Toplama Sistemi

Test edilen yapı modelinin deneysel davranışını elde etmek amacıyla model yapıların farklı noktalarından deplasman ölçümleri alınmıştır. Bunların bazıları doğrusal sistem deplasmanları için kullanılmış bazıları da elemanların deformasyonlarının hesaplanabilmesi amacıyla kullanılmışlardır. Deneylerde, deplasmanların ölçümü için doğrusal potansiyometrik cetveller (PC) kullanılmıştır. Deplasman ve yük ölçümlerinin toplanmasında TDG firması tarafından üretilen 8 kanallı TestBOX1001 statik veri toplama sistemi (Şekil 3.6.1) ve TestLAB-BASIC veri toplama yazılımı kullanılmıştır (Şekil 3.6.2). Çalışmalarımızda toplamda 3 adet TestBOX1001 kullanarak 24 kanallı sistem elde edilmiştir.



Şekil 3.6.1. Veri toplama sistemi ön panel görünümü ve arka panel görünümü



Şekil 3.6.2. Veri toplama yazılımı

3.7. Potansiyometrik Cetveller ve Yerleşimi

Referans yapı ve güçlendirilmiş yapı modellerinde, sistemde oluşacak ötelenmelerin ve hasarların belirlenebilmesi için potansiyometrik cetveller (PC) yerleştirilmiştir. Potansiyometrik cetveller potansiyometrik (rezistif) prensiple lineer olarak çalışarak çok hassas olarak pozisyon ve hareketlerini elektronik olarak ölçebilmektedir. Ölçümler bir veri toplayıcısı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayarda deney sırasında deplasman ölçümlerini düzenli olarak alan, bilgisayarın sabit hafızasına kaydeden ve istenilen deplasman ölçümünün yüke karşı grafiğini çizerek deneyin takibini kolaylaştıran bir yazılım mevcuttur. Yerleşim bölgeleri ve isimleri ; arka yüz diyagonal deplasman (PC1) ,

ön yüz diyagonal deplasman (PC2) , Sol düğüm yatay deplasman (PC3), Sağ düğüm yatay deplasman (PC4), sol yan sabiti (PC5), tepe deplasman (PC6) , tepe deplasman ipli (PC7)'dir.



Şekil 3.7.1. Potansiyometrik cetvellerin yerleşimi

3.8. Birim Deformasyon Ölçerler ve Yerleşimleri

Deneyler sırasında ayrıca CFRP şeritlerden birim deformasyon ölçümleri alınmıştır. Deney programında 120 ohm'luk 10mm uzunluğunda standart birim deformasyon ölçerler kullanılmıştır. Birim deformasyon ölçerler yerleştirildikleri doğrultudaki mekanik hareketleri elektronik sinyallere dönüştüren deneysel ölçüm aletleridir. Ölçümler bir veri toplayıcısı ile bilgisayara aktarılmaktadır. Deney sırasında volt cinsinden okunan birim deformasyon değerleri aşağıda verilen formülasyon (Formül 3.1) kullanılarak birim deformasyona dönüştürülmüştür.

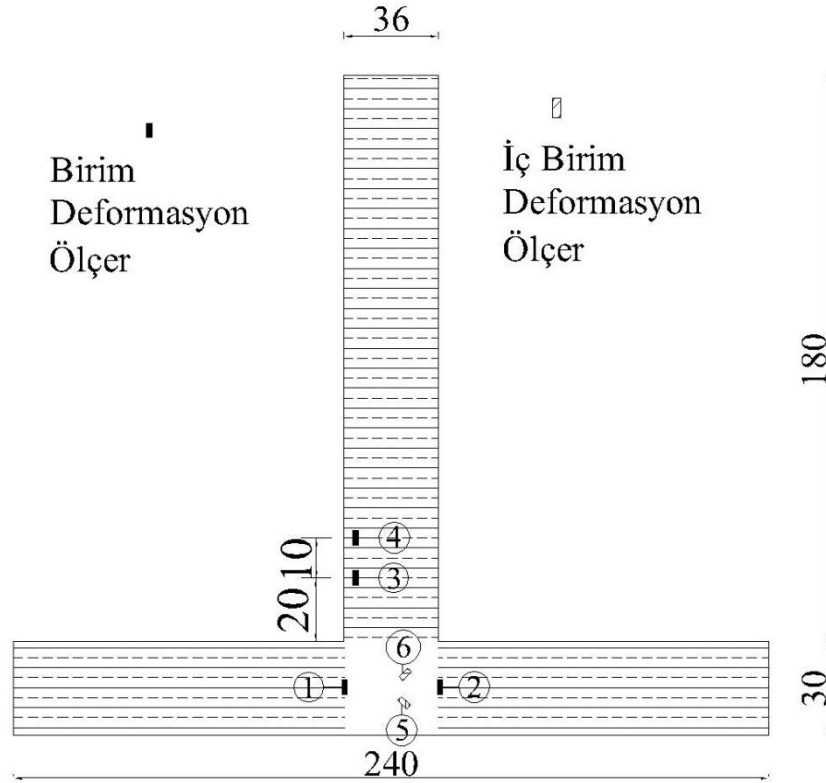
$$V_o = -\frac{GF \times \varepsilon}{4} \left(\frac{1}{1 + GF \times \frac{\varepsilon}{2}} \right) \times V_i \times GAIN \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Bu eşitlikte;

- V_o : Okunan mili volt değeri
 V_i : Uygulanan gerilim
 GF : Birim deformasyon faktörü (= 2)
 $GAIN$: Kanal kazanç değeri (= 890)
 ε : Birim deformasyon değeri
 temsil etmektedir.

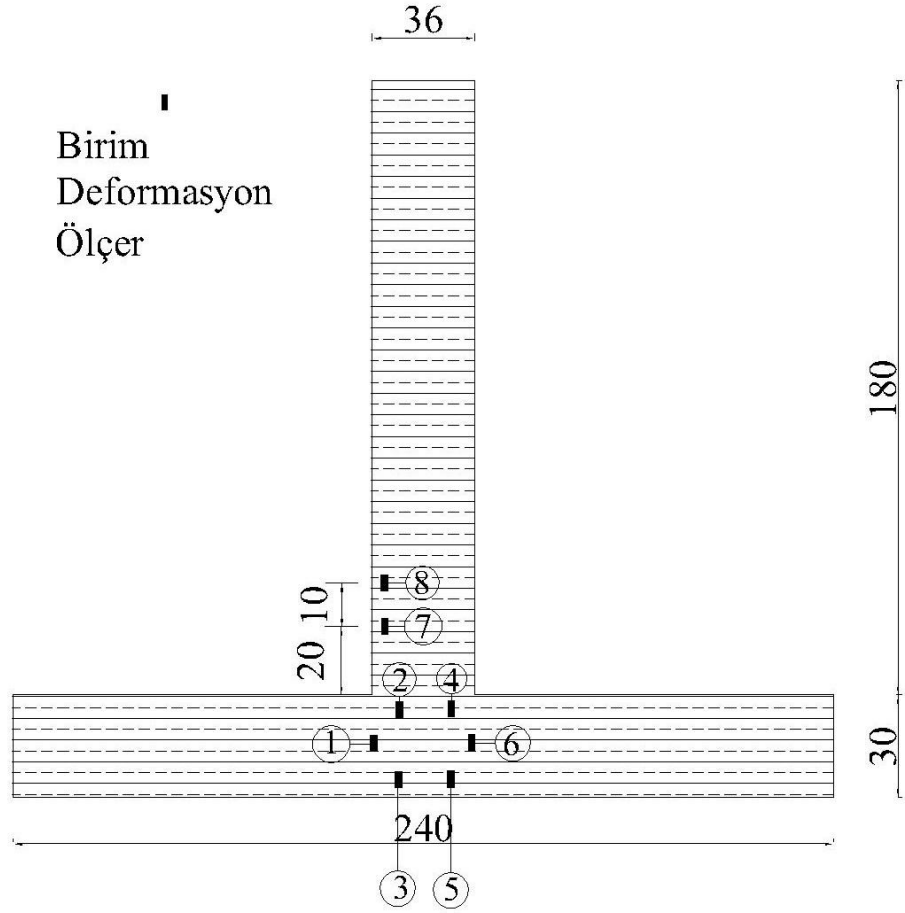
Birim deformasyon ölçerler kiriş gövdesinin yan yüzünde CFRP şeritlerin ortasına yerleştirilmiştir. Birim deformasyon ölçerler CFRP şeritlerin yüzeyleri pürüzsüz hale getirildikten sonra yapıştırılmıştır. Yapıştırılan birim deformasyon ölçerlerin dirençleri kontrol edilerek veri toplayıcıya bağlanmıştır. Birim deformasyon ölçerlerin yerleşim detayları aşağıda verilmiştir.

Deney elemanı-4 için toplamda 6 adet birim deformasyon ölçer kullanılmıştır. 1 ve 2 nolu ölçerler yan yüz deformasyon için konulmuştur. 3 ve 4 nolu birim deformasyon ölçerler kiriş kesme etkisi için 20 ve 30 cm'ye yerleştirilmiştir. 5 ve 6 nolu ölçerler ise ankraj yapılan demirin üstüne diyagonal yerleştirilmiştir ve iç etkilerin görülmesi düşünülmüştür. Tüm deformasyon ölçerler aynı numaralı kanallara yerleştirilmiştir.



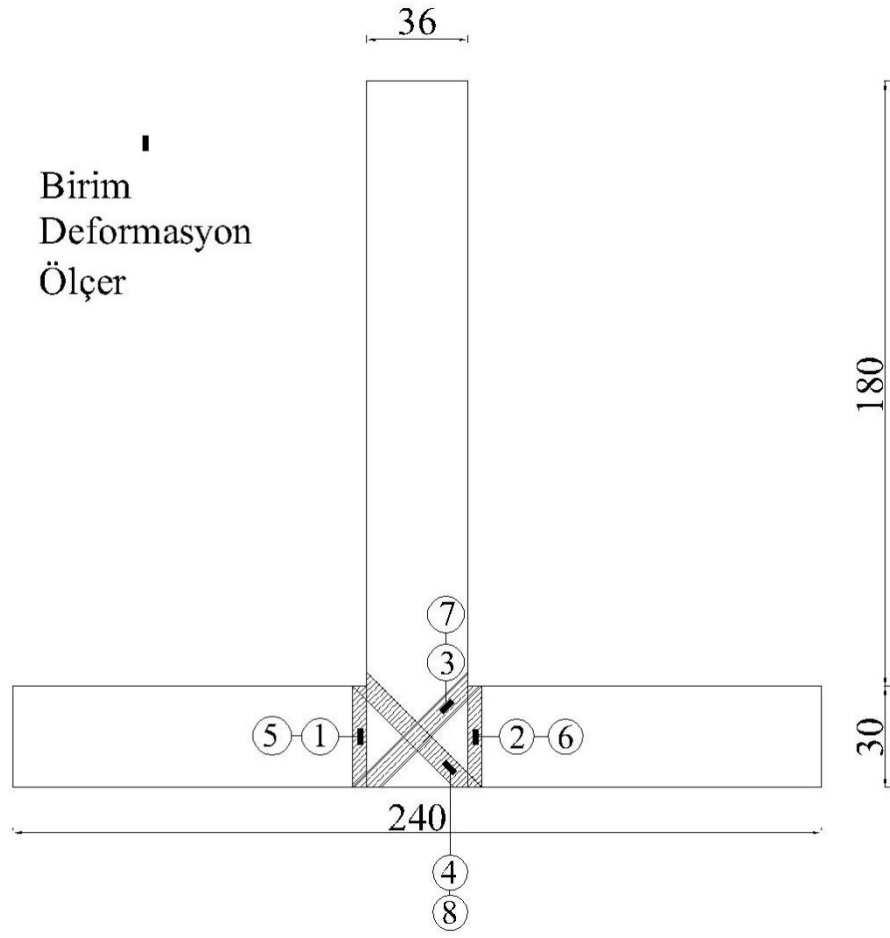
Şekil 3.8.1. Deney Elemanı-4'de birim deformasyon ölçer yerleşim detayı

Deney elemanı-5 için toplamda 8 adet birim deformasyon ölçer kullanılmıştır. 1 ve 6 nolu ölçerler yan yüz deformasyon için konulmuştur. 2,3,4 ve 5 nolu birim deformasyon ölçerler kolon-kiriş birleşim bölgesindeki deformasyonlar için yerleştirilmiştir. 7 ve 8 nolu birim deformasyon ölçerler kiriş kesme etkisi için 20 ve 30 cm'ye yerleştirilmiştir. İçte deformasyon ölçer yoktur. Tüm deformasyon ölçerler aynı numaralı kanallara yerleştirilmiştir.



Şekil 3.8.2. Deney Elemanı-5 'de birim deformasyon ölçer yerleşim detayı

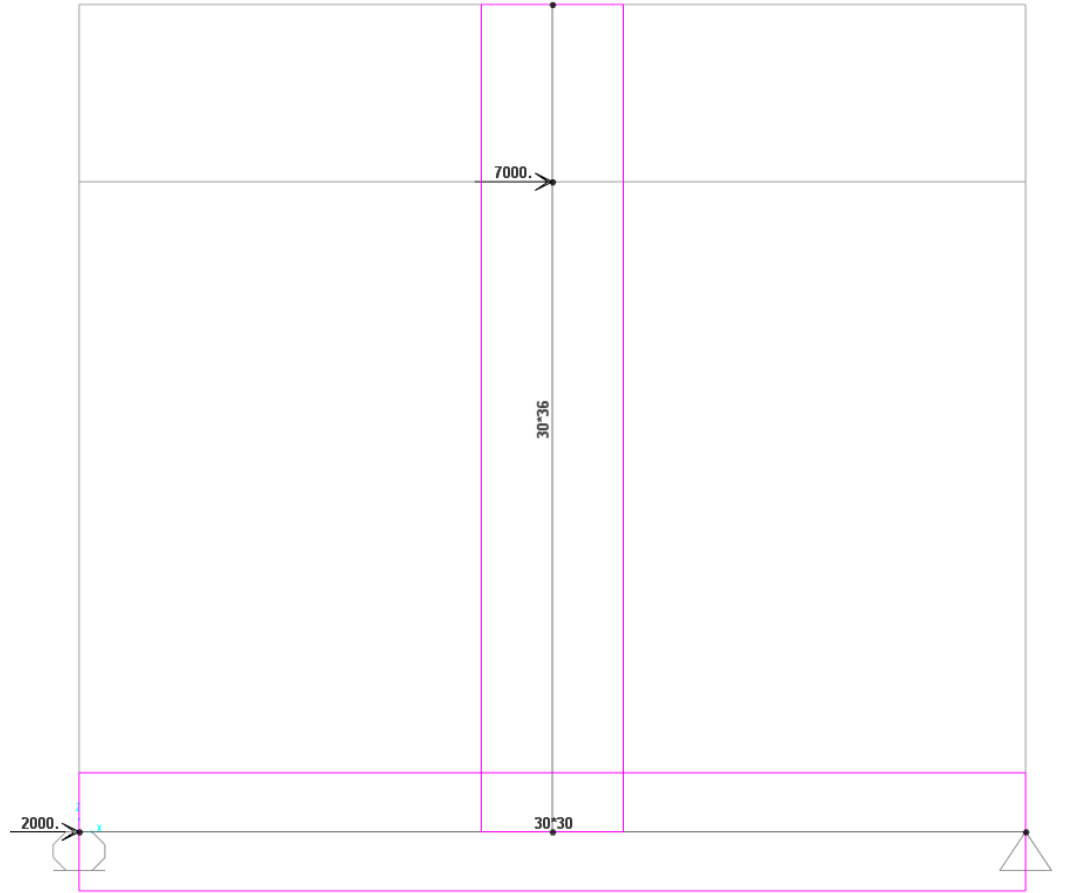
Deney elemanı-6 için toplamda 8 adet birim deformasyon ölçer kullanılmıştır. 1 ve 2 nolu ölçerler yan yüz deformasyon için konulmuştur. 5 ve 6 nolu deformasyon ölçerler aynı amaçlıdır ve arka yüzde bulunmaktadır. 3 ve 4 nolu deformasyon ölçerler ön yüz diyagonal deformasyon için kullanılmıştır. 5 ve 6 nolu deformasyon ölçerler aynı amaçlıdır ve arka yüzde bulunmaktadır. 7 ve 8 nolu deformasyon ölçerler aynı amaçlıdır ve arka yüzde bulunmaktadır. Tüm deformasyon ölçerler aynı numaralı kanallara yerleştirilmiştir.



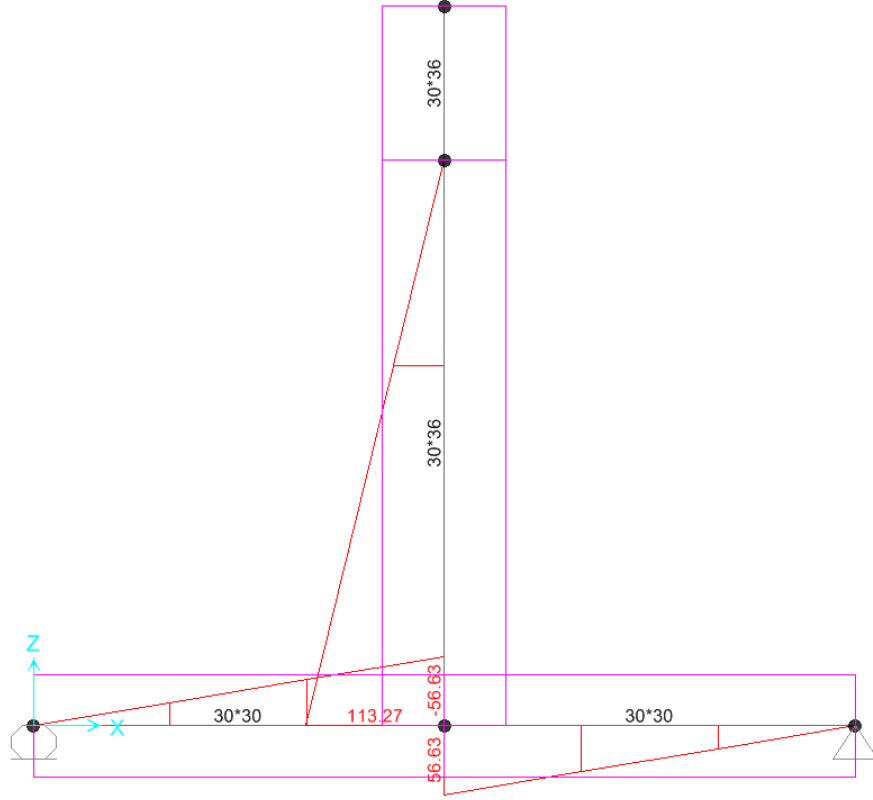
Şekil 3.8.3. Deney Elemanı-6 'da birim deformasyon ölçer yerleşim detayı

4. BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLEMELERİ

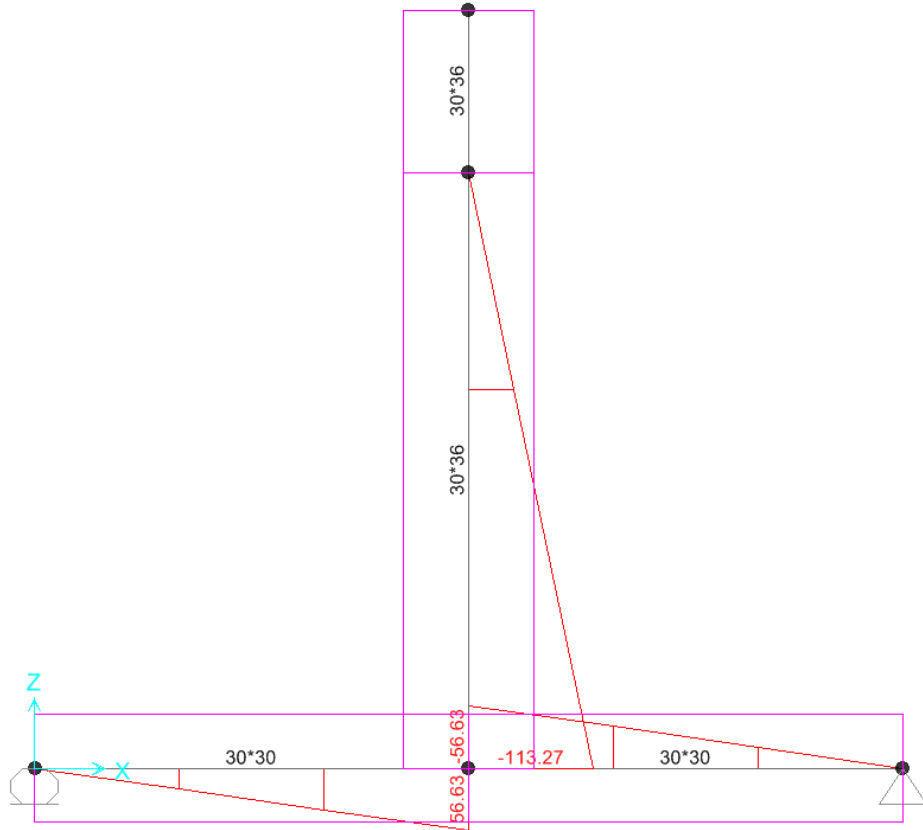
Tez çalışmam deneysel bir çalışmadır. Program ile karşılaştırılması yapılmayacaktır. Moment değerleri ve gerilimlerin oluşacağı yerlerin kolay tespiti için bilgisayar çözümü yapılmıştır. Elemana Sap2000 programında 70 kN, -70 kN, 100 kN ve -100 kN P yükü mesnet bölgesinden uygulanmıştır. Ayrıca kolon eksenel yükü +20 kN olarak kabul edilip çözümleme yapılmıştır. Alınan sonuçlar Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5'te verilmiştir.



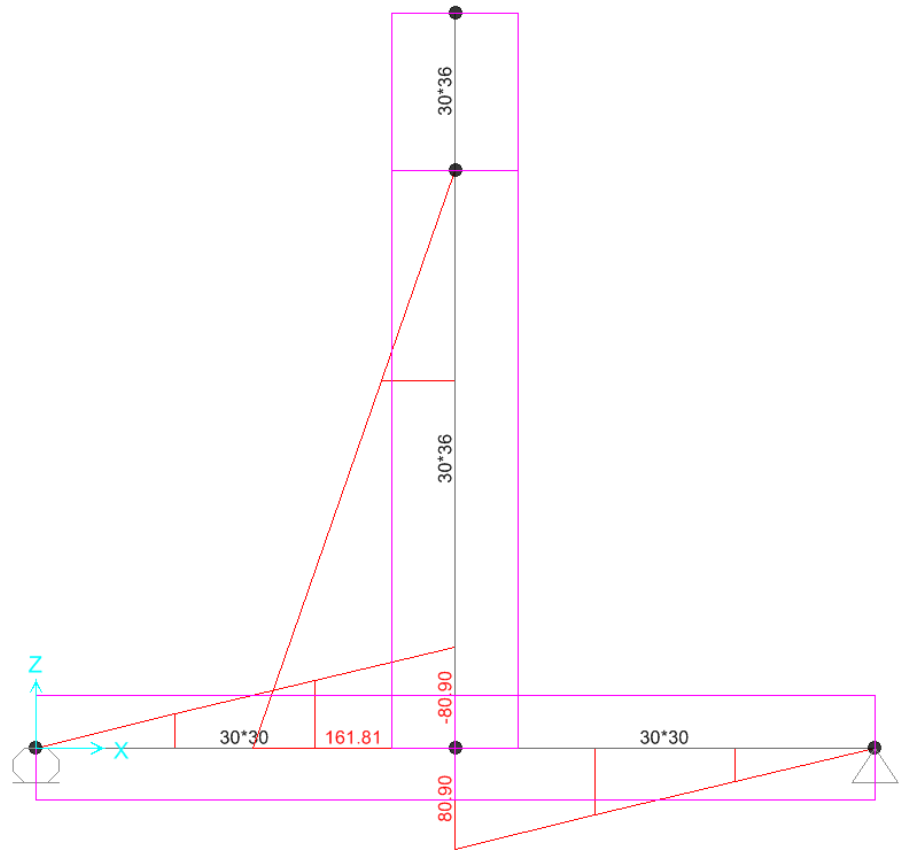
Şekil 4.1. Sap2000 yükleme düzeneği (yükleme kgf ile yapılmıştır.)



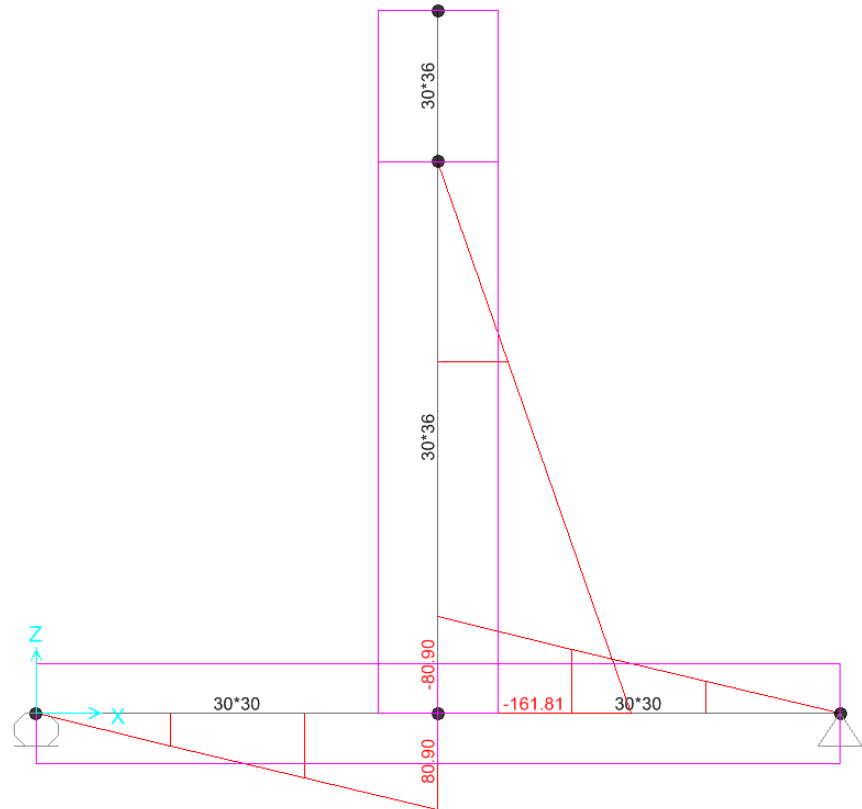
Şekil 4.2. +70 kN yük altında moment diyagramı



Şekil 4.3. -70 kN yük altında momentler



Şekil 4.4. +100 kN yük altındaki momentler



Şekil 4.5. -100 kN yük altında momentler

5. BULGULAR

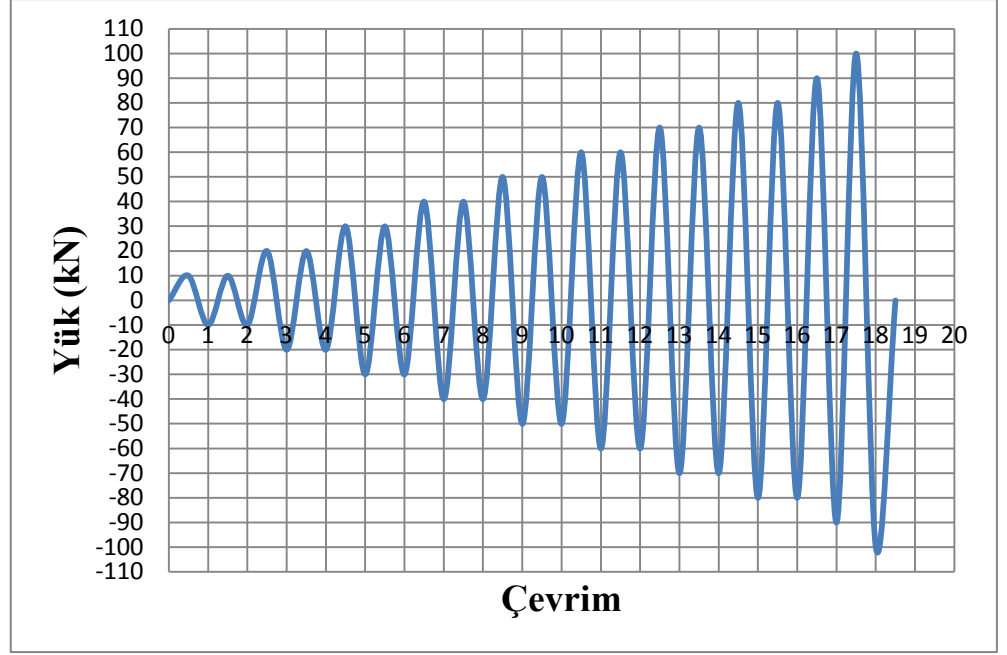
5.1. Hedef Eleman

Güçlendirmeler sonucu elde etmek istediğimiz maksimum sonuç ve türk standart ve yönetmeliklerin uygun gördüğü kolon-kiriş düğüm noktası için üretilen güçlendirilmemiş numunedir (Şekil 5.1.1).



Şekil 5.1.1. Hedef eleman

Deney elemanının uygulanan yük - çevrim grafiği Şekil 5.1.2’de gösterilmiştir. Deney elemanına 18 tam yük 1 yarım yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 5.1.2. Hedef eleman uygulanan yük ve çevrim grafiği

Deney sırasında gözlemlenenler ve gözlem anı aşağıda özetlenmiştir.

8. *çevrim* (-40 kN); Eğilme çatlağı mesnet yüzeyinden 25 cm yukarıda oluşmaya başlamıştır .Başlama esnasında yük değeri -5 kN'dur. Eğilme çatlağı önyüzde yavaş yavaş ilerlediği ve orta bölgede merkeze doğru yöneldiği gözlenmiştir. Eğilme çatlağı kolon kiriş bölgesine girmiş durumdadır(Şekil 5.1.3).



Şekil 5.1.3. Eğilme çatlağı

9. döngü (+50 kN); Gövdede kesme çatlağı ilerlemesi gözlemlendi. Düğüm noktasına geçmek üzere olan kesme çatlağı düğüm noktasına sık ve doğru etriyeler sayesinde geçemiyor. Mesnet yüzeyinde eğilme çatlakları oluşmuştur.

9. döngü (-50kN) ; Eğilme çatlakları devam ediyor.

11. döngü (-60 kN); Eğilme çatlağı düğüm noktasına doğru devam ediyor. Kesme çatlaklarının ise etriyelerde durduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.1.4).



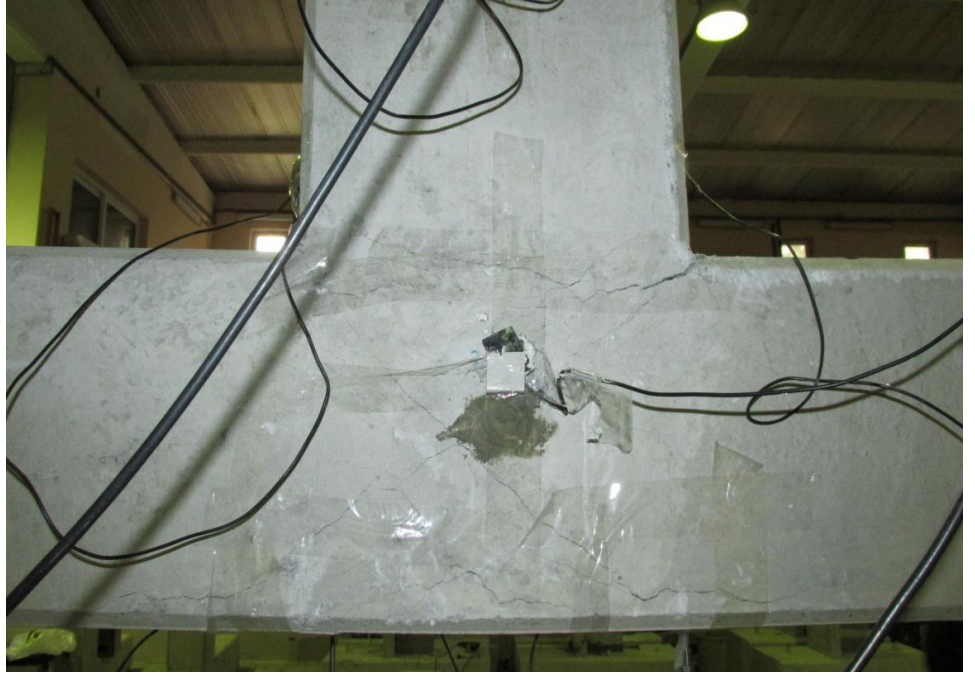
Şekil 5.1.4. Kesme çatlaklarının doğru etriye sayesinde durdurulması

13. döngü (+70 kN); Mesnetten 40 cm yukarıda yeni eğilme çatlakları oluştu.

13. döngü (-70 kN) ;Yük -67.266 kN'da tepe deplasmanda 20,12 mm deplasman görülmüştür. -70 kN'da 23,59 mm deplasman görülmüştür.

15. döngü (-80 kN) ; -73,77 kN yükte akma meydana geldi. Tepe deplasmanda -28.44 mm deplasman ölçülmüştür.

18. döngü (+100 kN) ; +97,8 kN yükte ters yöndede donatıların akması gerçekleşti. Tepe deplasman -50.12 mm gerçekleşmiştir.



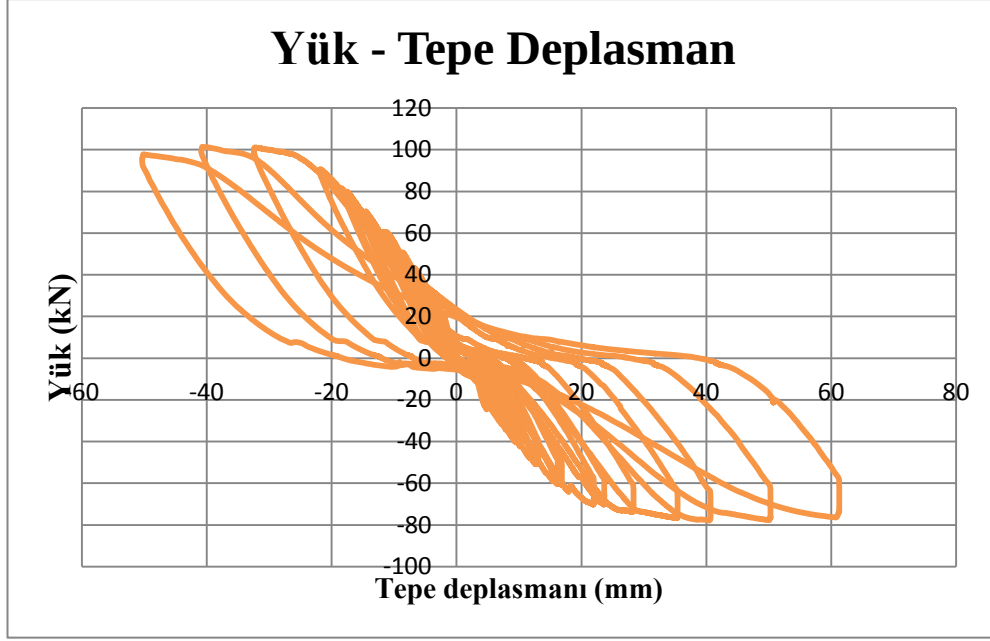
(a)



(b)

Şekil 5.1.5.(a),(b) Deney sonucunda Hedef elemanda meydana gelen çatlaklar

Deney sonrasında Hedef elemanda meydana gelen yük-tepe noktası deplasman (Şekil 5.1.6) grafik aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.1.6. Yük- Tepe deplasman grafiği

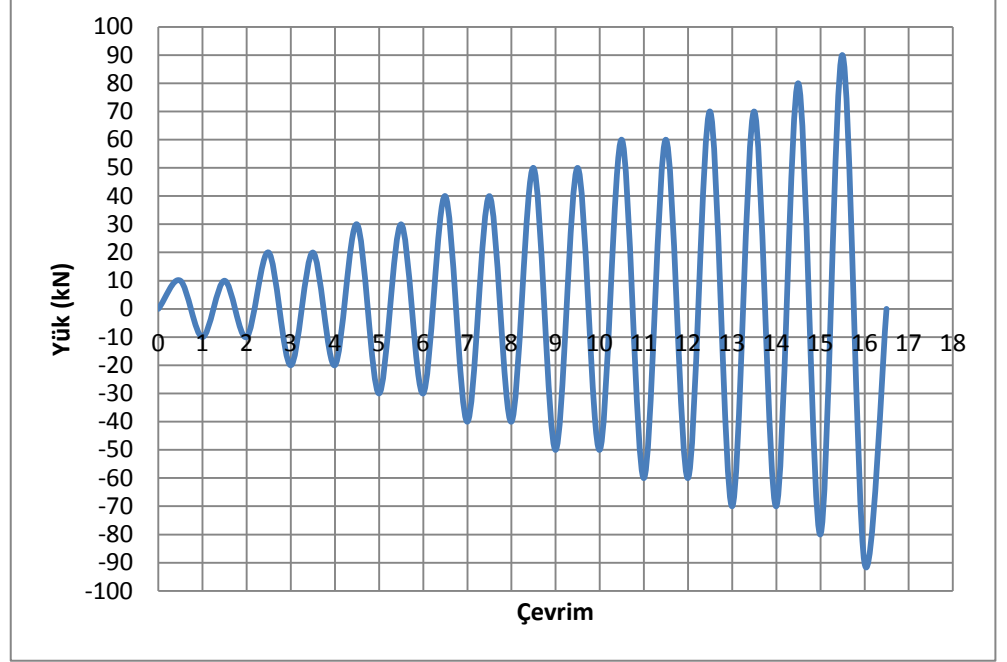
5.2. Referans-1 Elemanı

Düğüm noktasında etriye bulunmayan ve günümüzde de pek çok binada halen yapılmakta olan bir yapı kusurudur. Hedef eleman ve güçlendirilmiş elemanlarla karşılaştırılması açısından önemli bir numunedir.



Şekil 5.2.1. Referans-1 elemanı

Deney elemanının uygulanan yük - çevrim grafiği Şekil 5.2.2’de gösterilmiştir. Deney elemanına 16 tam yük çevrimi 1 adet yarım çevrim uygulanmıştır.



Şekil 5.2.2. Referans-1 elemanının yük-çevrim grafiği

Deney sırasında gözlemlenenler ve gözlem anı aşağıda özetlenmiştir.

4. çevrim (+20 kN); Numune altında ilk kesme çatlakları oluşmaya başladı.

5. çevrim (+30 kN); Gövdenin sol üst tarafında kesme sol üst köşede diyagonal çatlak oluşumları başladı.

5. çevrim (-30 kN); Gövdenin sağ tarafında 5 cm'lik diyagonal çatlak meydana geldi. Sağ üst köşede ise 12 cm uzunluğunda 1 mm genişliğinde düz çatlak meydana gelmiştir.

6. çevrim (-30 kN); İlk eğilme çatlağı (Şekil 5.2.3) sağ üstten 30 cm yukarıda 2 adet meydana geldi. Arka yüzdede diyagonal çatlaklar meydana gelmeye başlamıştır.



Şekil 5.2.3. Gözlemlenen ilk eğilme çatlakı

7. çevrim (+40 kN); Mesnet sol yukarıda 28 cm yükseklikte eğilme çatlakı görülmüştür.

7. çevrim (-40 kN); Mesnet sağ ön bölgesinde 5 cm boyunda 1 mm kalınlığında kesme çatlakı oluşumu gözlenmiştir(Şekil 5.2.4).



Şekil 5.2.4. Ön yüz kesme ve dik çatlaklar

10. *çevrim* (+50 kN); Sol taraf kesme çatlakları 2'ye ayrıldı. Bir uç aşağı doğru inerken diğer uç sağa doğru harekete devam etmiştir.

10. *çevrim* (-50 kN); Sağ taraf diyagonallerde ikiye ayrıldı ama çatlaklar hala 1 mm. Düğüm bölgesi 12 cm yukarısında yeni bir eğilme çatlağı meydana gelmiştir.

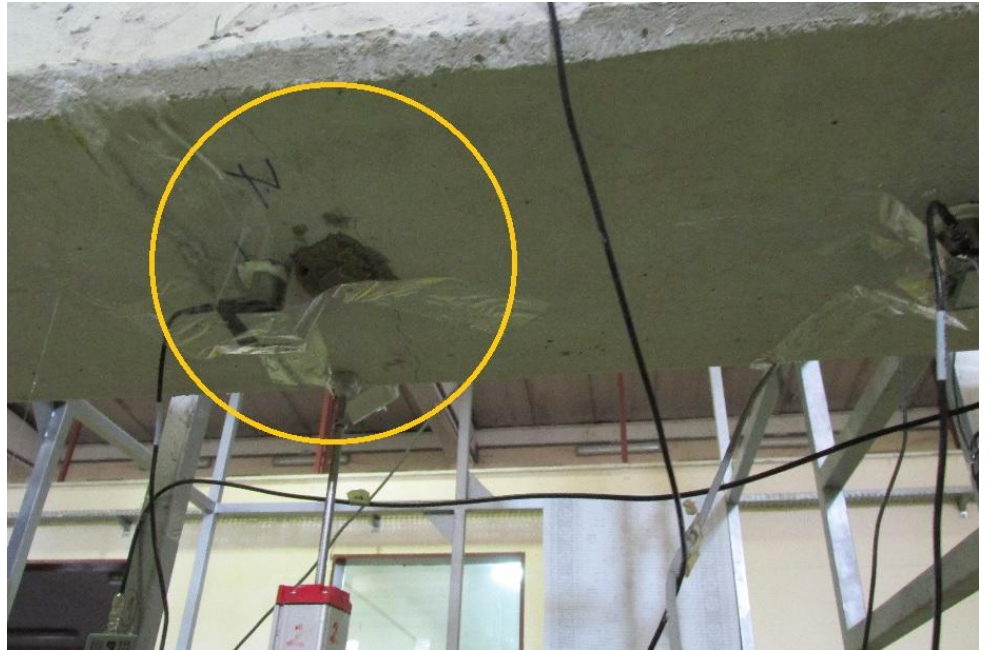
13. *çevrim* (+60 kN); Diyagonal kesme çatlağı sol alt köşeden sağa alt köşeye kadar uzanmakta olup, eğilme çatlakları sol yüzde 3 adettir. Buna ek olarak üstte, 60 cm yukarıda yeni bir eğilme çatlağı meydana gelmiştir. Bu durumda toplamda 4 adet eğilme çatlağı vardır.

13. *çevrim* (-60 kN); Kesme çatlağı kolon kiriş birleşiminde elemanın altında boylu boyunca yarma meydana getirdi(Şekil 5.2.5).

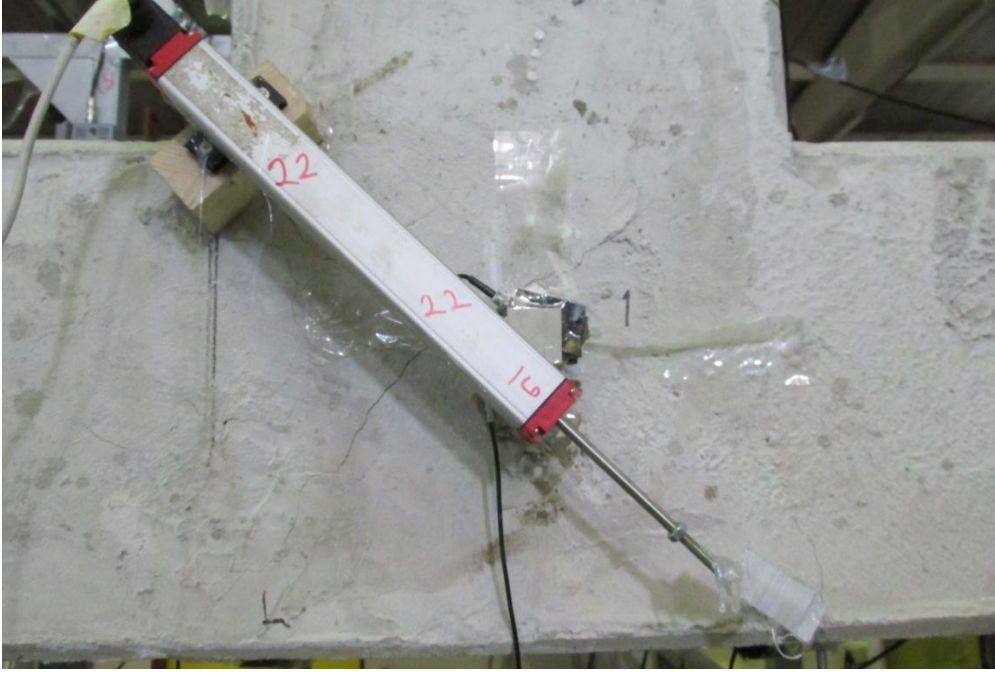
14. *çevrim* (-70 kN); Sağ üst köşedeki diyagonal kesme çatlağı çatallaşarak 1.5 mm kalınlığında kiriş iç bölgesine ilerlemeye başlamıştır.

16. *çevrim* (-80 kN) ; Eleman donatıları -79,24 kN yük düzeylerinde akmaya başladı. Tepe deplasmanı 33,68 mm ölçüldü.

17. *çevrim* (-90 kN) ; Eleman yaklaşık -53 kN'da göçmüştür.

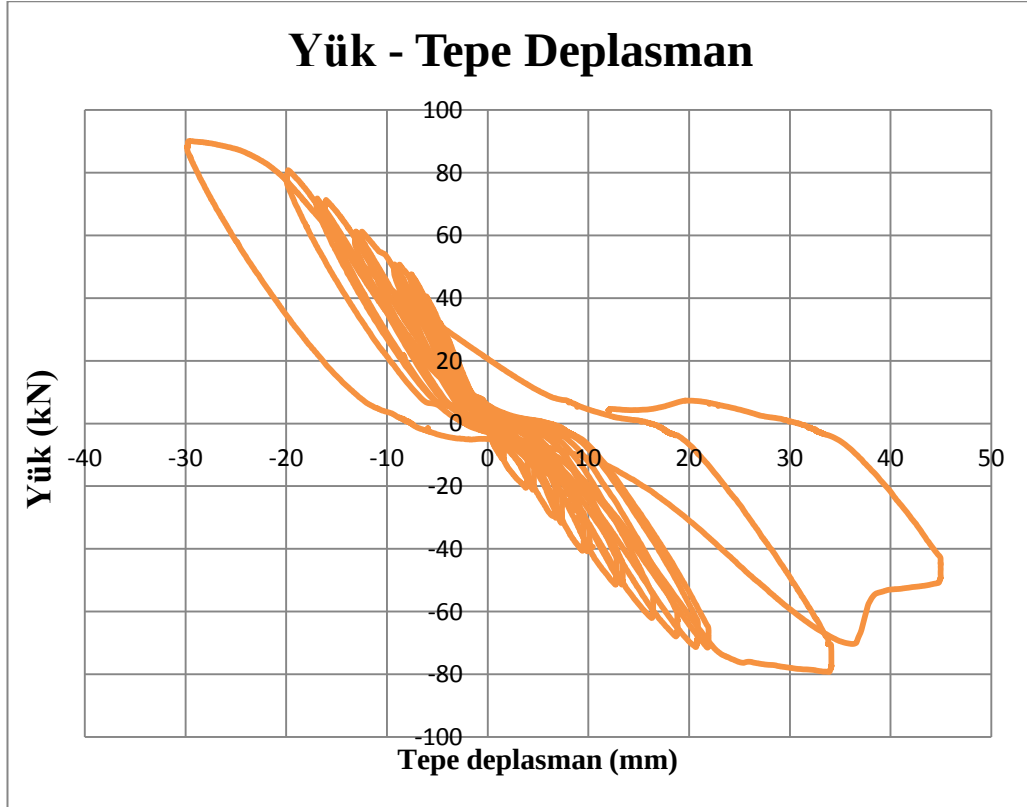


Şekil 5.2.5. Eleman altındaki kesme çatlağı



Şekil 5.2.6. Deney sonrasında Referans Elamanı-1'de meydana gelen çatlaklar

Deney sonrasında referans eleman-1'de meydana gelen yük-tepe deplasman (Şekil 5.2.7) grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.2.7. Yük-tepe deplasman grafiği

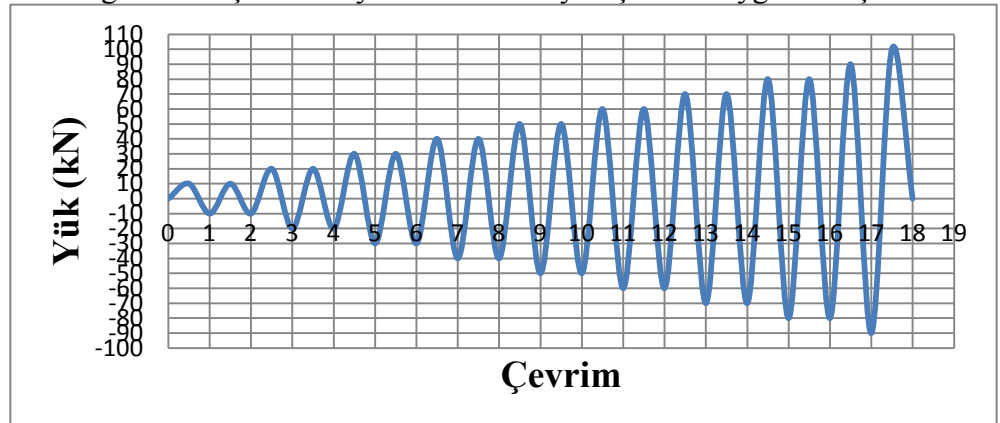
5.3. Referans Eleman-2

Ülkemizde nerdeyse tüm şehirlerimizde 50 yılı aşkın süre önce yapılmış ve hala aktif olarak kullanılan betonarme binalar bulunmaktadır. Bu eleman etriye aralığı en düşük ve düğüm noktası boş elamanımızdır. Böylelikle eski yapıları ve hala kullanılan kentsel dönüşüm kapsamındaki binalar için önemli sonuçlar verebilmesi amacıyla üretilmiştir (Şekil 5.3.1).



Şekil 5.3.1. Referans Eleman-2 deney düzeneği

Deney elemanının uygulanan yük - çevrim grafiği Şekil 5.3.2’de gösterilmiştir. Deney elemanına 18 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 5.3.2. Referans Elemanı-2'nin Yük-çevrim grafiği

Deney sırasında gözlemlenenler ve gözlem anı aşağıda özetlenmiştir.

6. *çevrim* (+30 kN); Mesnet bölgesinde kolon-kiriş birleşiminde ilk eğilme çatlağı görülmüştür.

6. *çevrim* (-30 kN); Kesme çatlakları gözlemlenmeye başlandı.

7. *çevrim* (+40 kN); Kolon-kiriş birleşiminden 50 cm yukarıda kesme çatlağı meydana geldi. Düğüm bölgesinde ufak kesme çatlakları oluşmaya başlamıştır.

8. *çevrim* (-40 kN); Kolon-kiriş birleşiminden 50 cm yukarıda kesme çatlağı 1mm genişliğe ulaştığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.3.3).



Şekil. 5.3.3. 50 cm yukarıda oluşan kesme çatlağı

10. *çevrim* (-50 kN); Sol taraf kolon-kiriş birleşimi 20 cm üzerinde kiriş üstünde 2. eğilme çatlağı oluşmuştur.

11. *çevrim (+60 kN)*; Düğüm bölgesi kiriş altında kesme çatlağı 1 mm civarındadır. Düğüm noktası sağ alt köşeden sol üst köşeye çıkan bir kesme çatlağı oluşumu başlamıştır.

13. *çevrim (+70 kN)*; düğüm noktası sağ kesişimden 15 cm solda dik kesme çatlağı oluşumu görülmüştür.

15. *çevrim (+80 kN)*; -71,1 kN'da akma meydana gelmiştir. Tepe deplasman 22,38 mm ölçülmüştür.

18. *çevrim (+100 kN)*; -52,8 kN yükte düğüm noktası çökmesi meydana gelmiştir. Yapı güç kaybederek -44,3 mm deplasman yapmıştır. Bu esnada yapının taşıyabildiği yük 31 kN olarak ölçülmüştür.

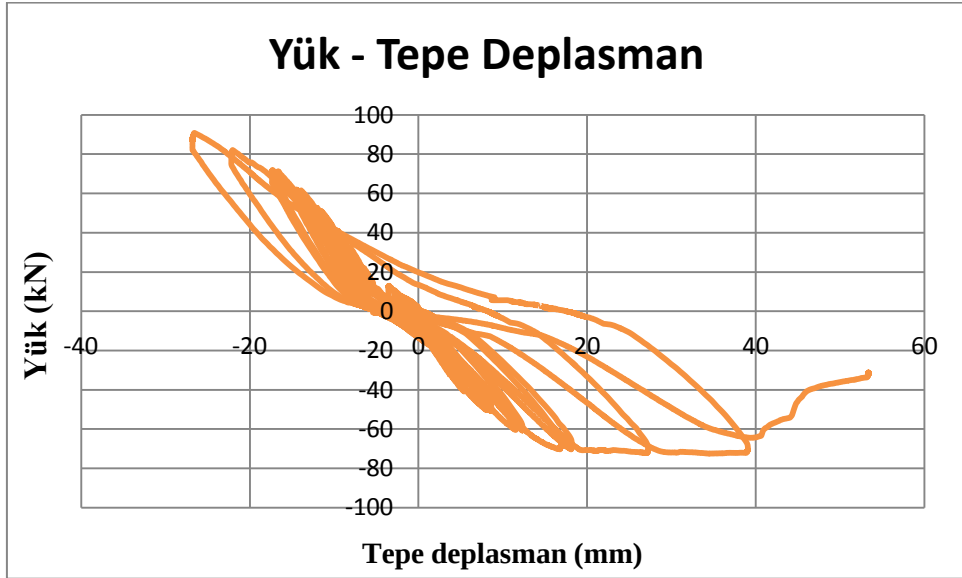


Şekil 5.3.4. Deney sonrası gözlemlenen çatlak ve deformasyonlar



Şekil 5.3.5. Deney sonrası gözlemlenen çatlak ve deformasyonlar

Deney sonrasında referans eleman-2'de meydana gelen yük-tepe deplasman (Şekil 5.3.6) grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.3.6. Yük-Tepe deplasman grafiği

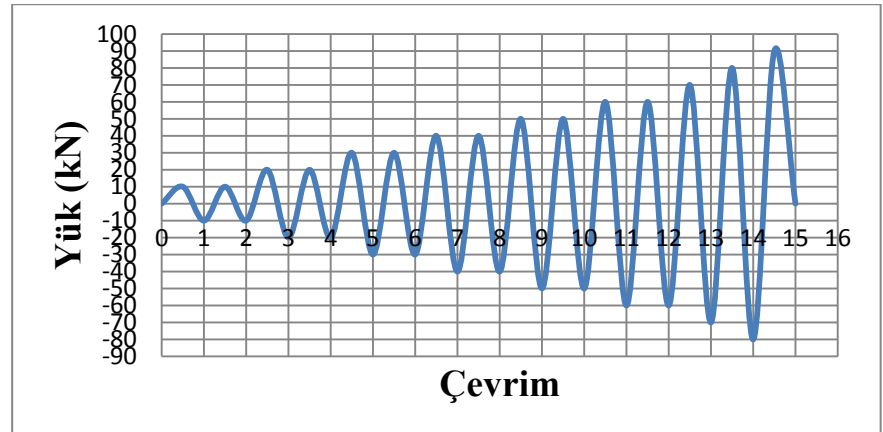
5.4. Deney Elemanı-4

Boyutları aynı etriye aralıkları 30 cm'de bir ve düğüm noktası etriyesiz olarak dizayn edilmiş numunedir. Bu elemanın kolon-kiriş birleşim noktasında çapraz şekilde 4 adet 45^0 'de , 4 adet 135^0 'de demir ankrajı yapılmıştır ve düğüm noktası hariç tüm numune CFRP sarılmıştır.



Şekil 5.4.1. Deney öncesi deney elemanı-4'ün görünüşü

Deney elemanının uygulanan yük - çevrim grafiği Şekil 5.4.2'de gösterilmiştir. Deney elemanına 15 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 5.4.2. Yük- Çevrim grafiği

Deney sırasında gözlemlenenler ve gözlem anı aşağıda özetlenmiştir.

7. *çevrim* (-40 kN); Herhangi bir çatlak oluşumu gözlenmemiştir. Düğüm noktasında hafif hareketlenmeler vardır.

8. *çevrim* (+40 kN) ; Kirişin kolona bağlandığı bölgede çok hafif bir kesme çatlağı meydana gelmiştir.

9. *çevrim* (+50 kN); Kesme çatlağında genişlik 2 mm'yi bularak daha belirgin olmuştur .

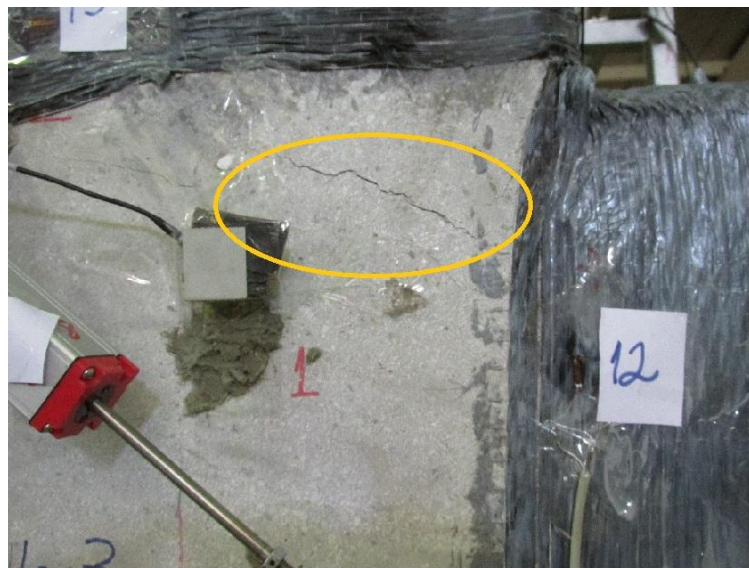
9. *çevrim* (-50 kN); Kesme çatlağı orta bölgeden sağ aşağıya doğru 45⁰'lik açıyla inmeye başladığı gözlemlenmiştir (Şekil 5.4.3).

11. *çevrim* (-60 kN); Kesme çatlağı 2-3 mm arasında ve belirginleşmiştir.

12. *çevrim* (+60 kN); İçteki 45⁰'lik strainde deformasyon artışı başlamıştır.

12. *çevrim* (-60 kN); -56,17 kN yükte eleman donatıları akmaya uğradı. Tepe deplasmanda 19,81 mm deplasman tespit edilmiştir.

15. *çevrim* (+90 kN); +89,26 kN yükte diğer donatılarda aktı, göçme meydana geldi ve tepe deplasman -28,78 mm ölçülmüştür (Şekil 5.4.4 ve Şekil 5.4.5).



Şekil 5.4.3. Kesme çatlağı oluşumu ve ilerlemesi

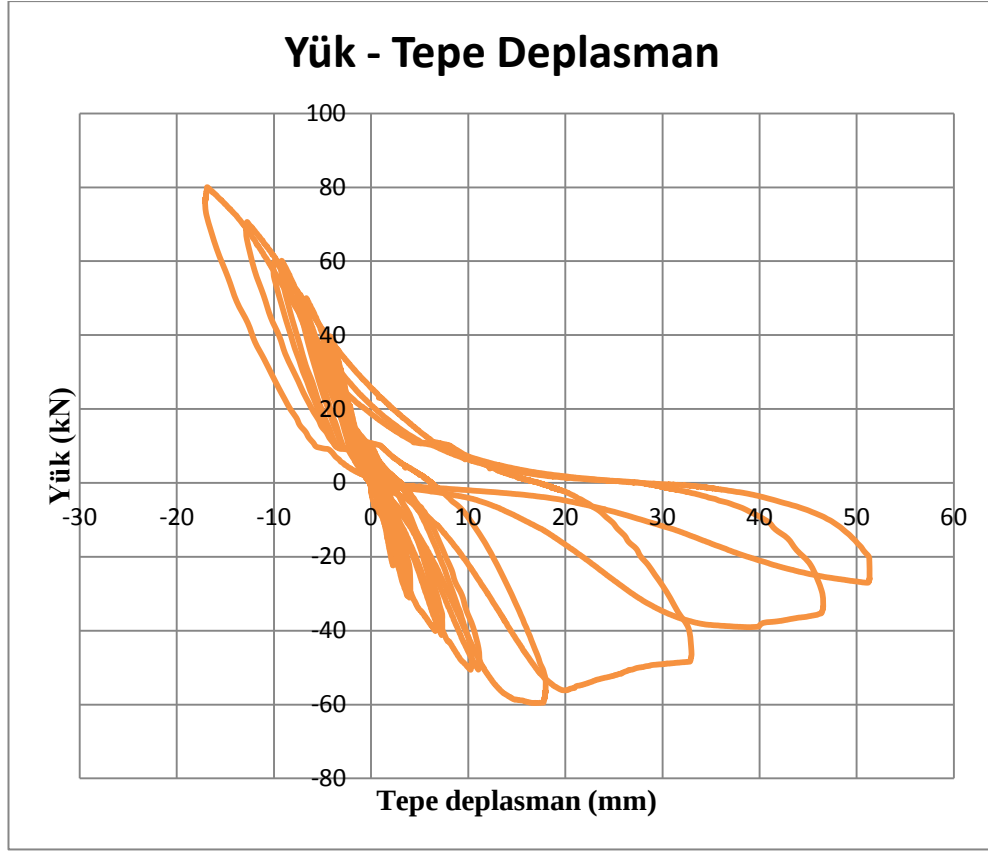


Şekil 5.4.4. Deney sonrası Deney elemanı-4'te oluşan kırılmalar



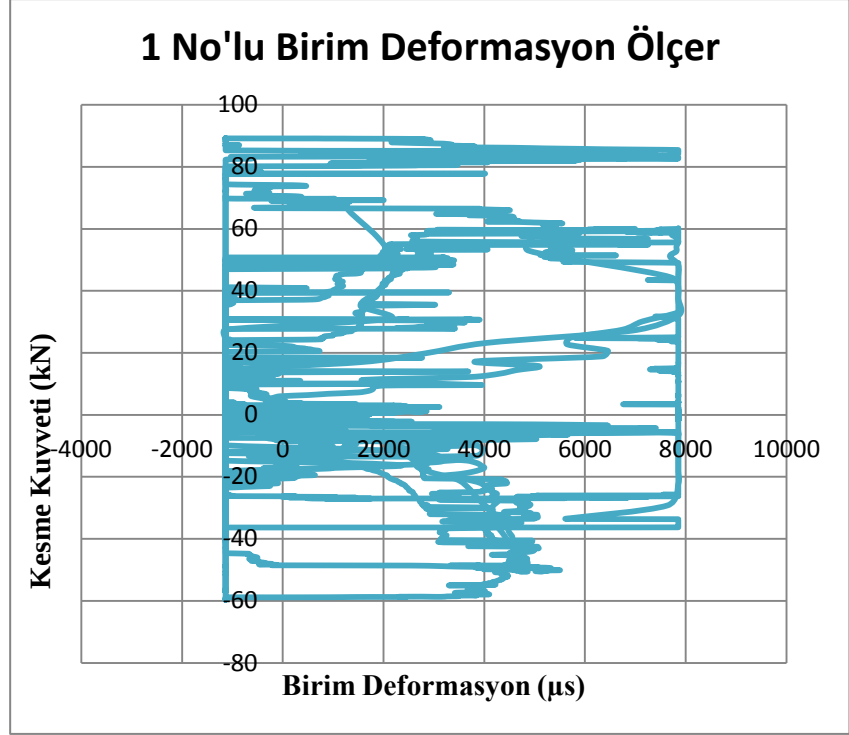
Şekil 5.4.5. Deney sonrası deney elemanı-4'ün altında oluşan kırılmalar

Deney sonrasında deney elemanı-4'de meydana gelen yük-tepe deplasman (Şekil 5.4.6) grafiği aşağıda verilmiştir.

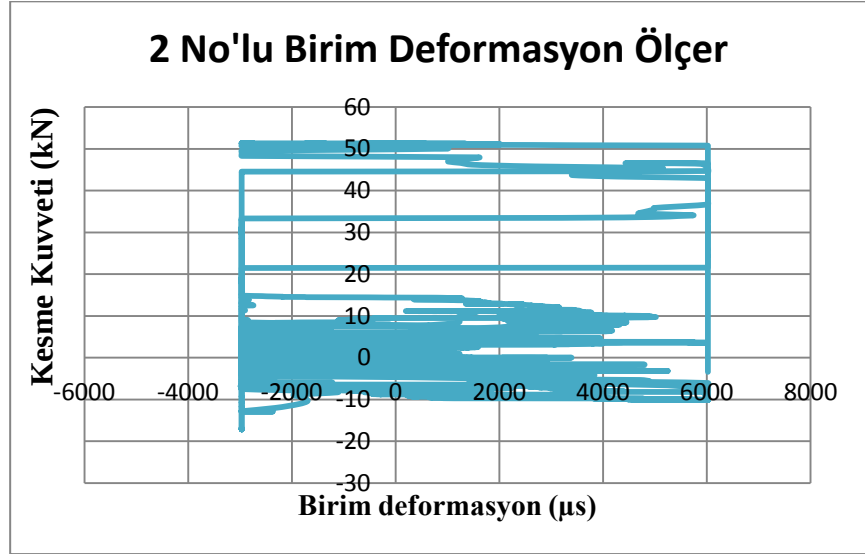


Şekil 5.4.6. Yük - Tepe deplasman grafiği

Deney Elemanı-4'te toplam 6 adet birim deformasyon ölçer kullanılmıştır. Yük ve birim deformasyon ölçerlerin grafiği aşağıda verilmiştir. 5 ve 6 no'lu ölçerler elemanın içinde açılı olarak yerleştirilmiştir ve renkleri farklı olarak gösterilmiştir.

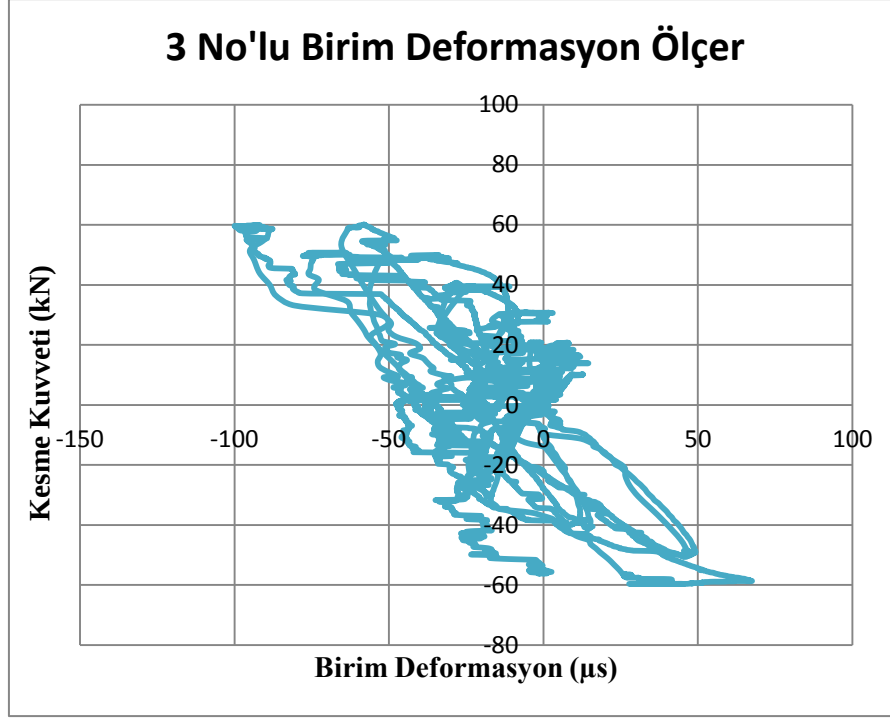


(a)

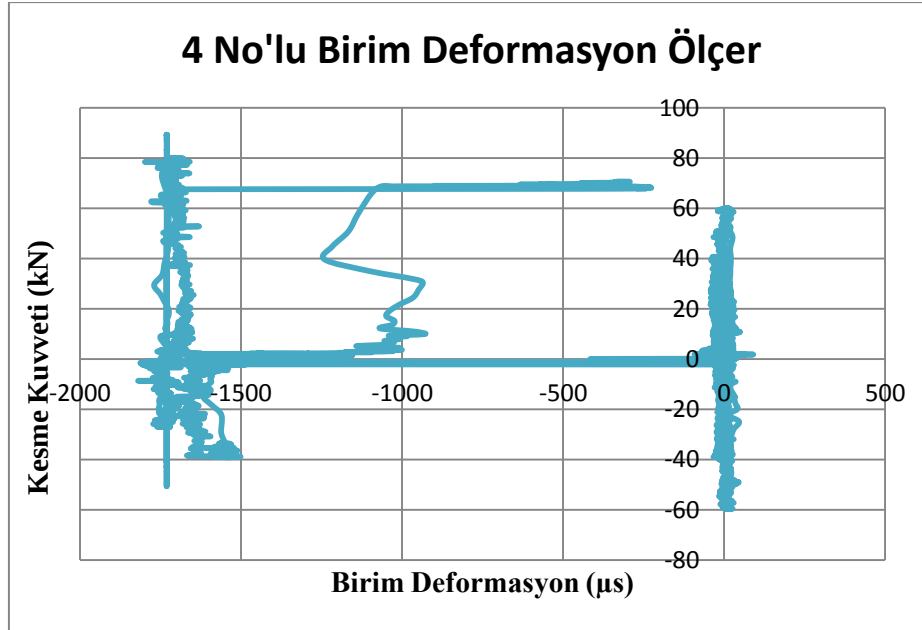


(b)

Şekil 5.4.7.(a),(b) Deney elemanı-4'e ait yük-birim deformasyon eğrileri

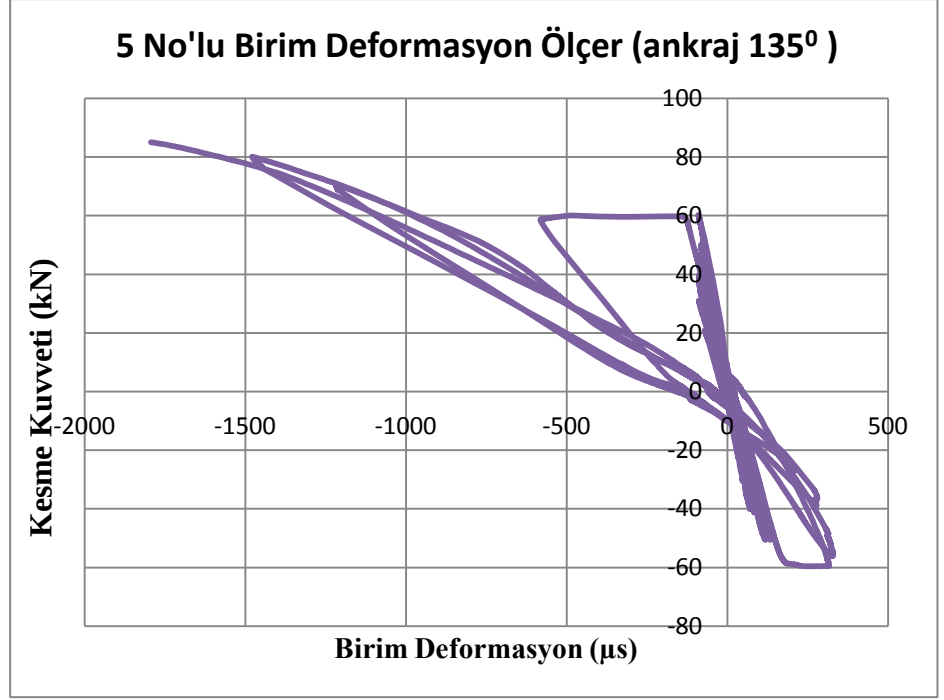


(c)

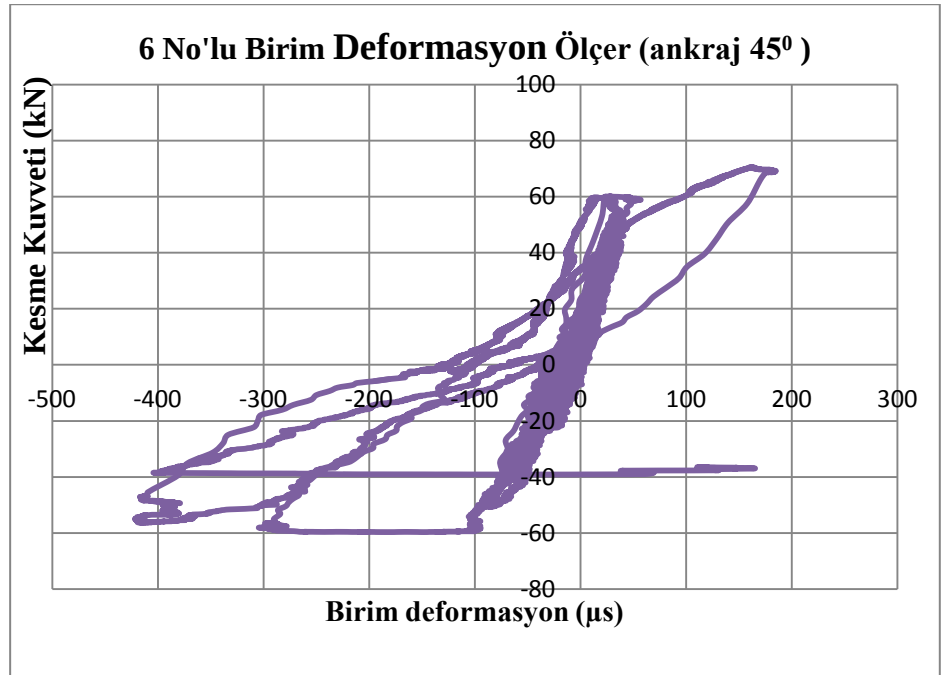


(d)

Şekil 5.4.7.(c),(d) Deney elemanı-4'e ait yük-birim deformasyon eğrileri



(e)



(f)

Şekil 5.4.7.(e),(f) Deney elemanı-4'e ait yük-birim deformasyon eğrileri

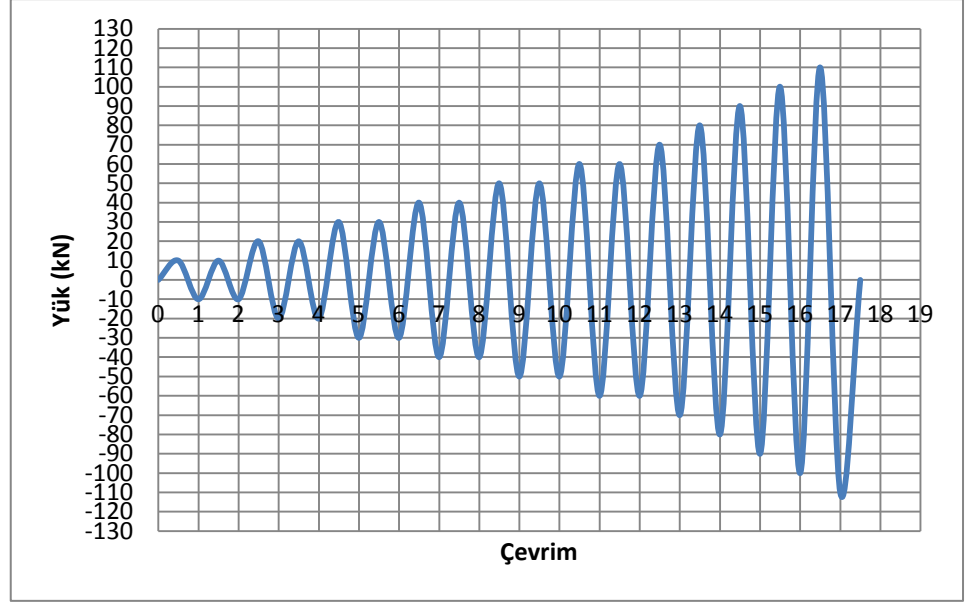
5.5. Deney Elemanı-5

Boyutları aynı etriye aralıkları 30 cm'de bir ve düğüm noktası etriyesiz olarak dizayn edilmiş numunedir. Bu elemanımızda tüm numune CFRP sarılmıştır (Şekil 5.5.1).



Şekil 5.5.1. Deney Elemanı-5 deney düzeneği

Deney elemanının uygulanan yük - çevrim grafiği Şekil 5.5.2’de gösterilmiştir. Deney elemanına 15 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 5.5.2. Deney elemanı-5 Yük-Çevrim grafiği

Deney sırasında gözlemlenenler ve gözlem anı aşağıda özetlenmiştir.

5. çevrim (+30 kN); Tabandan yukarıda 50-60 cm aralığında ufak çatlaklar duyulmaya başlanmıştır.

7. çevrim (-40 kN); 4 nolu birim deformasyon ölçerde değer -0.2 mm'ye çıktı.

8. çevrim (-40 kN); 4 nolu birim deformasyon ölçerde değer -0.8 mm'ye çıktığı gözlemlenmiştir.

9. çevrim (+50 kN); 2 nolu birim deformasyon ölçerde değer 2 mm'ye çıktı. Buradan sonuçla %20'lik deformasyon oluştuğu yani kalıcı deformasyon olduğu gözlemlenmiştir.

9. çevrim (-50 kN); 4 nolu birim deformasyon ölçerde değer -1.56 mm'ye çıkmıştır.

11. çevrim (+60 kN); 2 nolu birim deformasyon ölçerde değer -3.56 mm'ye çıkmıştır.

11. çevrim (-60 kN); 4 nolu birim deformasyon ölçerde değer -4 mm'ye çıkmıştır.

13. çevrim (+70 kN); 8 nolu birim deformasyon ölçerde değer -2 mm'ye çıktı. 67 kN'da akma meydana geldiği görülmüştür.

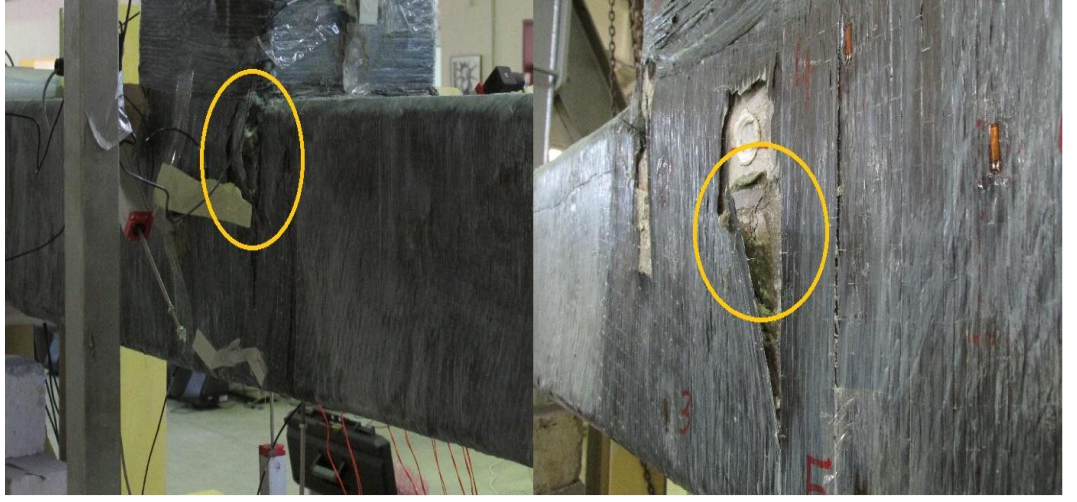
13. çevrim (-70 kN); 3 ve 7 nolu birim deformasyon ölçerlerde kalıcı deformasyon oluştu. -67,64 kN'da akma meydana gelmiştir ve deplasman 15,23 mm ölçülmüştür.

15. çevrim (+90 kN); 8 nolu birim deformasyon ölçerde -5 mm okunmuştur ve kalıcı deformasyon oluştuğu gözlemlenmiştir.

16. çevrim (-100 kN); 5 nolu birim deformasyon ölçerde değer -5 mm'ye çıktı ve kalıcı deformasyon oluşmuştur. -94 kN'da akma meydana gelmiştir. Deplasman -31,85 mm olarak ölçülmüştür.

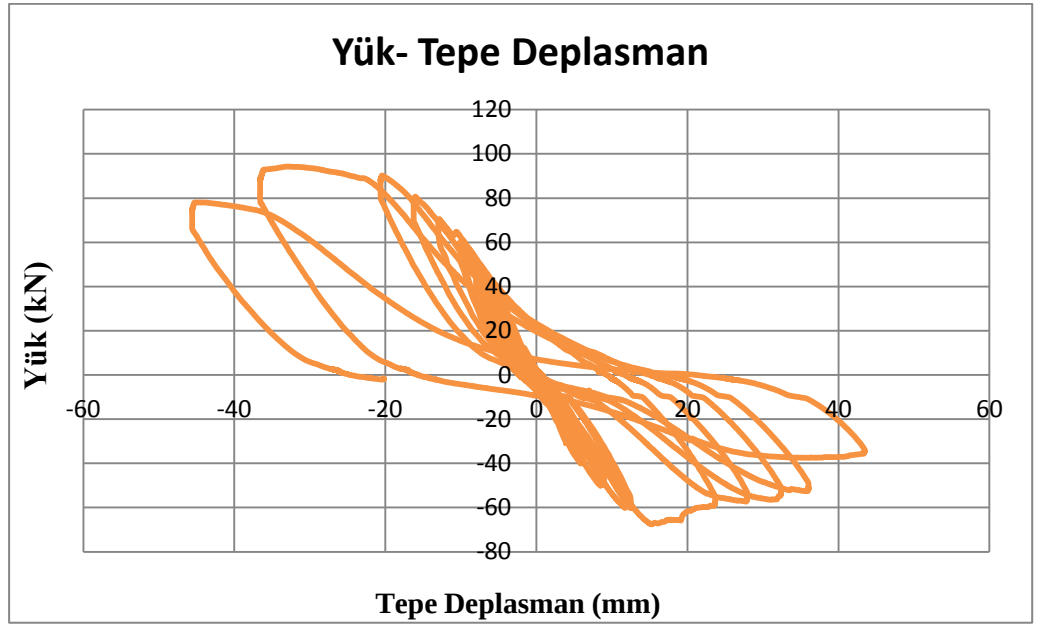


Şekil 5.5.3. Deney sonrası zarar gören CFRP ve eğilme çatlağı bölgesi



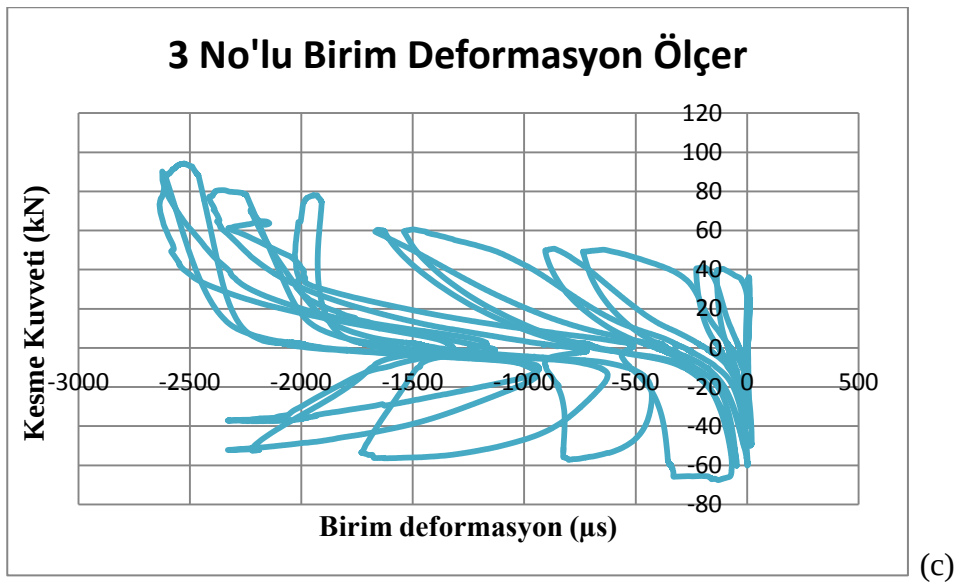
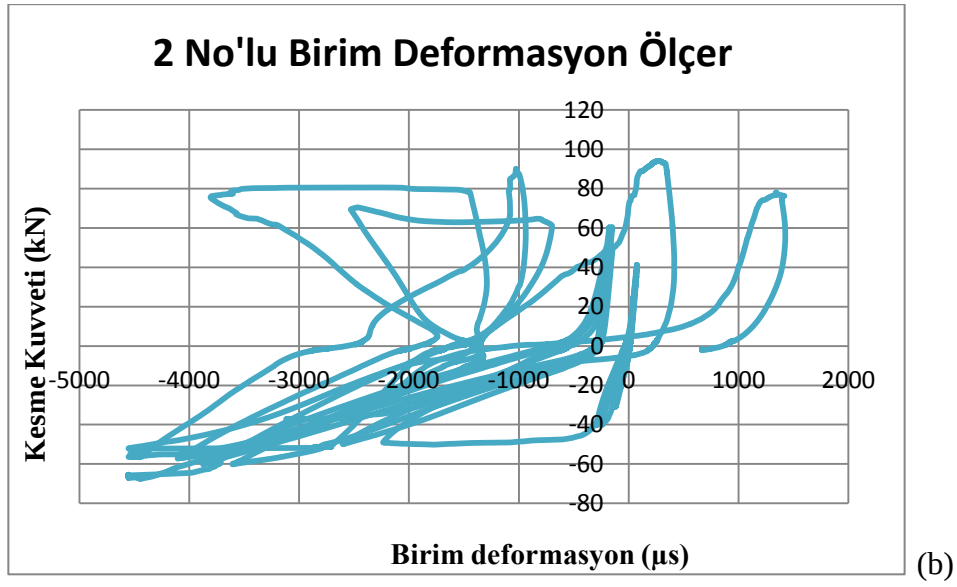
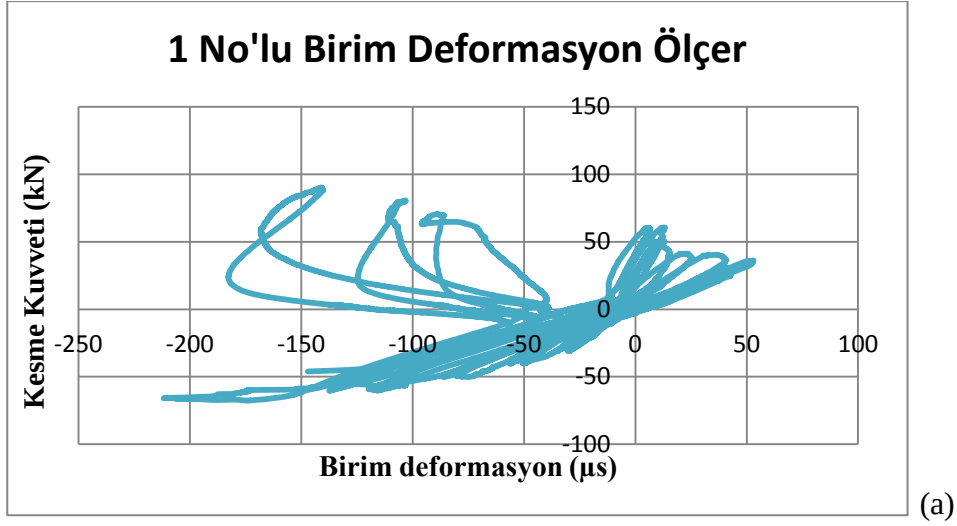
Şekil 5.5.4. Deney sonrası oluşan kesme çatlakları ve zarar gören CFRP kısımları

Deney sonrasında deney elemanı-5'te meydana gelen yük-tepe deplasman(Şekil 5.5.5) grafiği aşağıda verilmiştir.

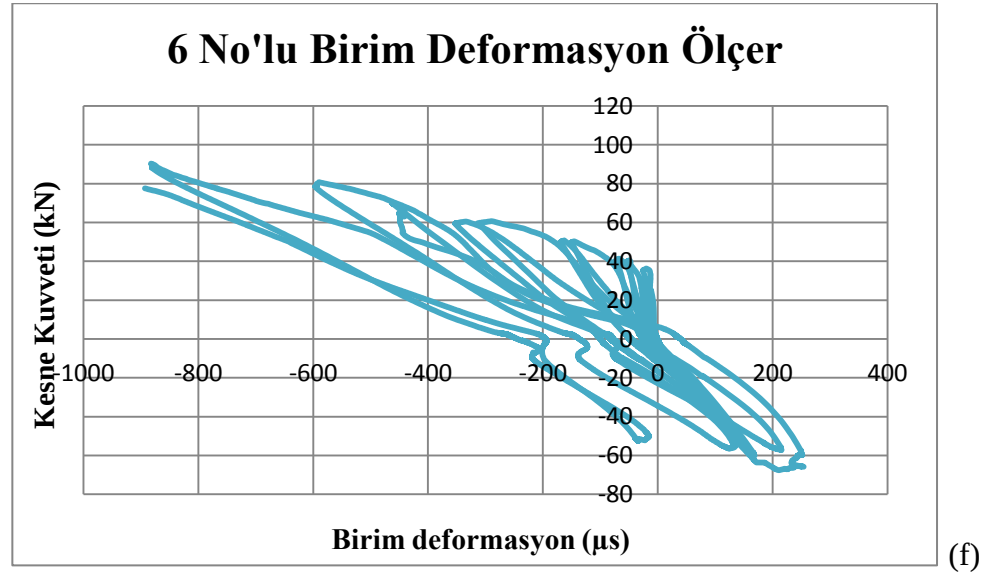
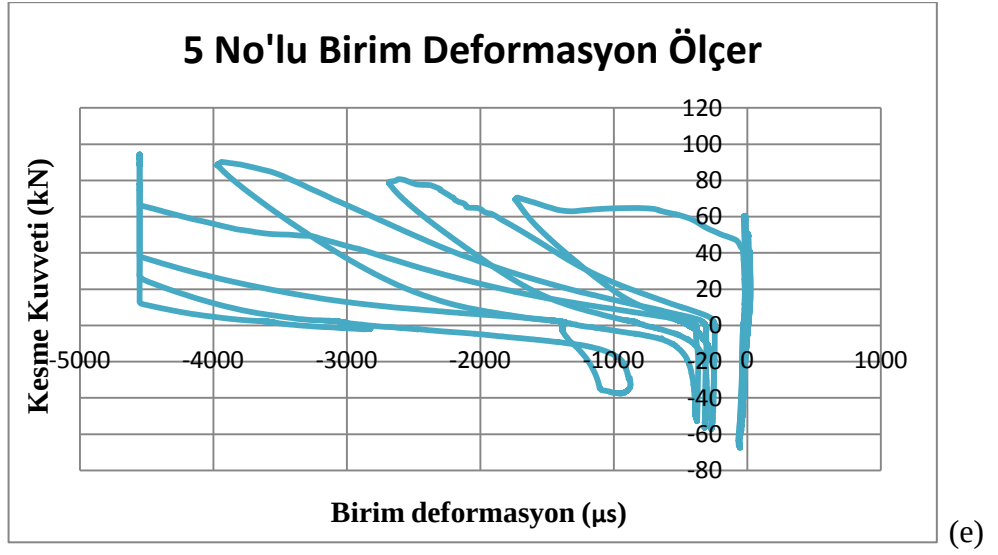
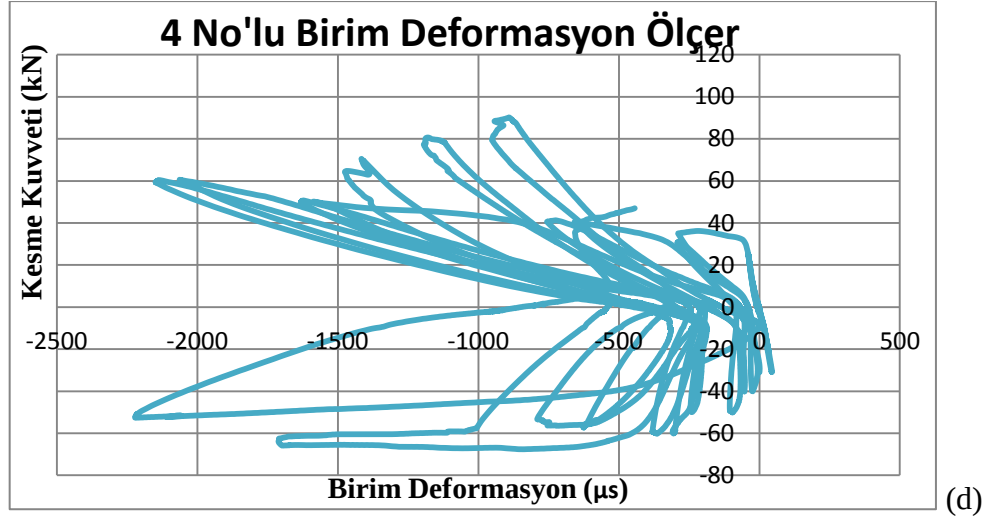


Şekil 5.5.5. Yük-Tepe deplasman grafiği

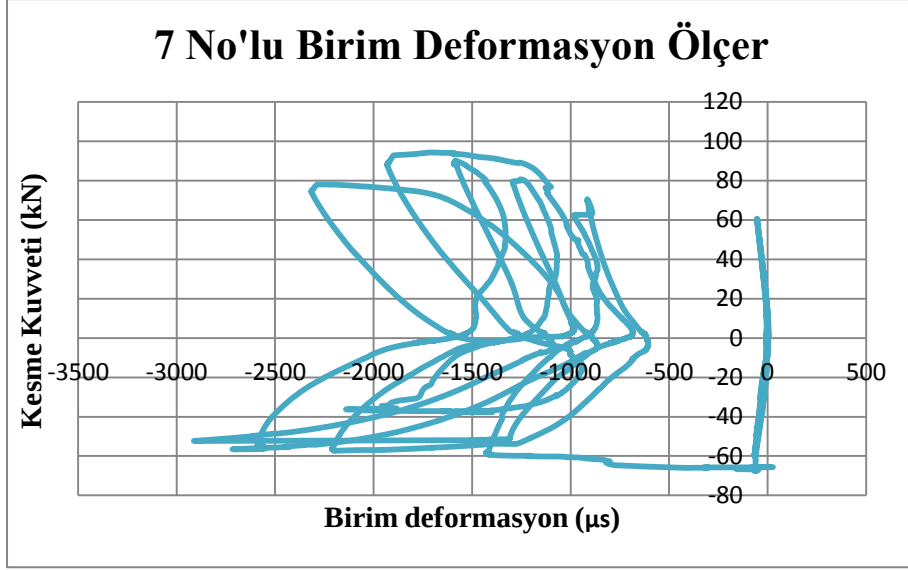
Deney Elemanı-5'te toplam 8 adet birim deformasyon ölçer kullanılmıştır. Yük ve birim deformasyon ölçerlerin grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 5.5.6).



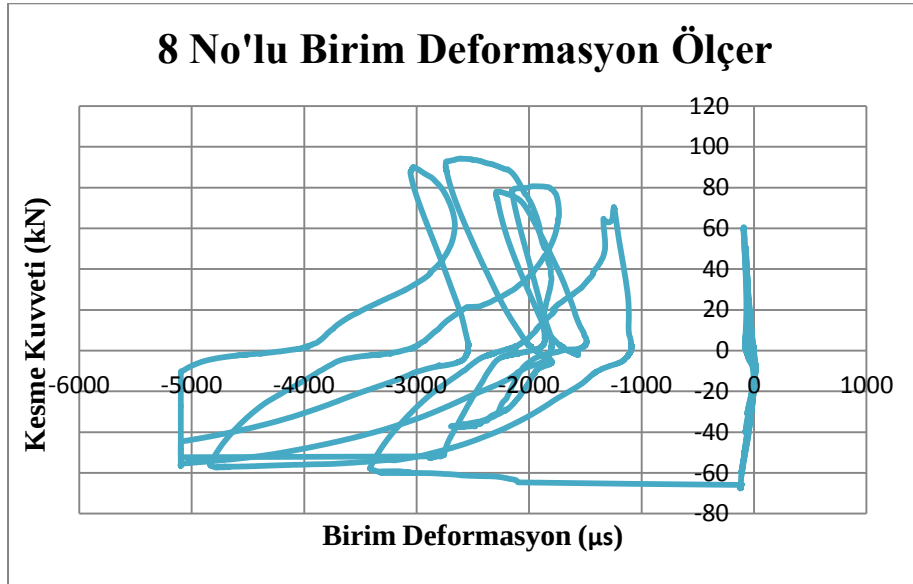
Şekil 5.5.6.(a),(b),(c) Deney Elemanı-5'in Yük-Birim deformasyon grafikleri



Şekil 5.5.6.(d),(e),(f) Deney Elemanı-5'in Yük-Birim deformasyon grafikleri



(g)



(h)

Şekil 5.5.6. (g),(h) Deney Elemanı-5'in Yük-Birim deformasyon grafikleri

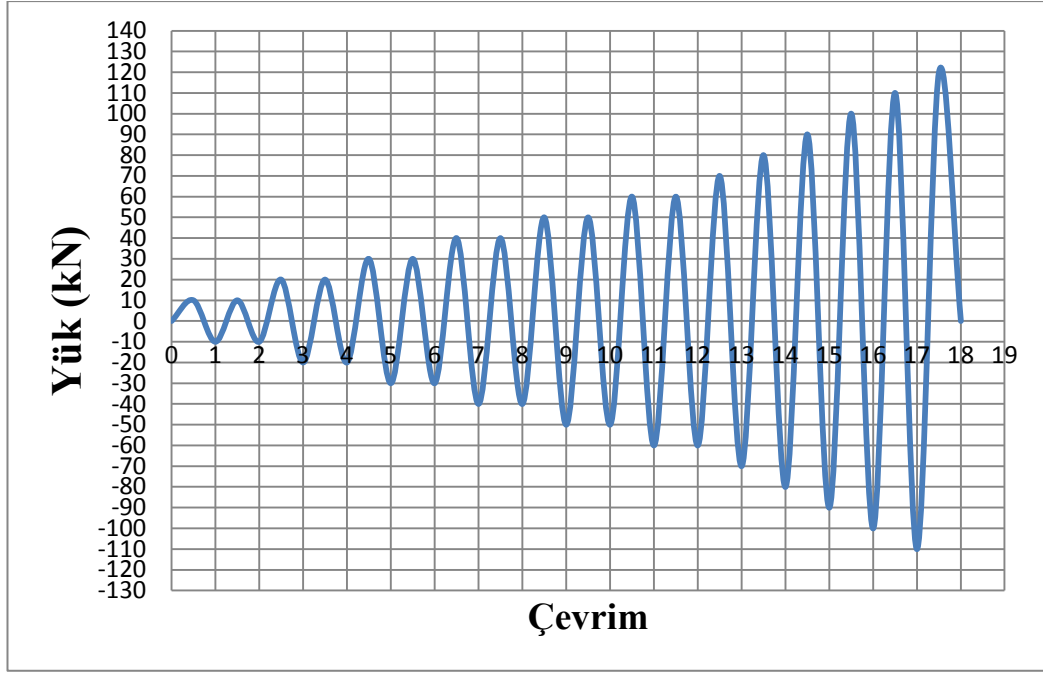
5.6. Deney Elemanı-6

Boyutları aynı etriye aralıkları 30 cm'de bir ve düğüm noktası etriyesiz olarak dizayn edilmiş numunedir (Şekil 5.6.1). Düğüm bölgesinde 45^0 lık açıyla çapraz CFRP sarılmış ayrıca eğilme kırılması görülen kolon ve kiriş kısımları da CFRP ile sarılmıştır.



Şekil 5.6.1. Deney elemanı-6'nın deney düzeneği

Deney elemanının uygulanan yük - çevrim grafiği Şekil 5.6.2'de gösterilmiştir. Deney elemanına 18 yük çevrimi uygulanmıştır.

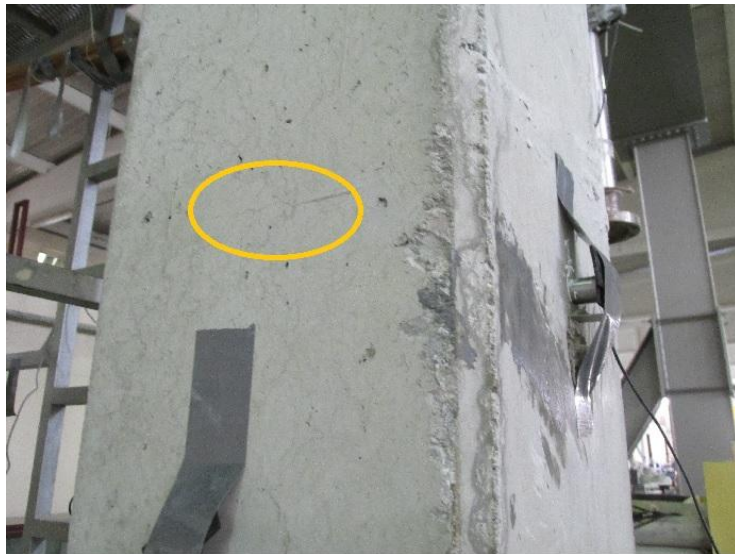


Şekil 5.6.2. Yük-Çevrim grafiği

Deney sırasında gözlemlenenler ve gözlem anı aşağıda özetlenmiştir.

3. çevrim (+20 kN); Sol taraf kiriş üstünde yaklaşık 20 cm yukarıda ufak çatlaklar görülmeye başlanmıştır.

6. çevrim (+30 kN); İlk eğilme çatlağı sol tarafta ve kiriş üstünde 40 cm'de oluşmuştur (Şekil 5.6.3).



Şekil 5.6.3. İlk eğilme çatlağı (sol taraf 40 cm yukarıda)

7. *çevrim* (-40 kN); İkinci eğilme çatlağı yine 40 cm'de ama bu sefer sağ tarafta oluşmuştur.

8. *çevrim* (+40 kN); 7 nolu birim deformasyon ölçerinde -1.6 mm deformasyon ölçülmüştür.

9. *çevrim* (-50 kN); Sağ tarafta çekme esnasında fazla donatı olduğu için diğer yüze oranla fazla çatlak oluşumu görülmemiştir.

11. *çevrim* (+60 kN); Solda kiriş üzerinde 10 cm yukarıda 1 mm genişliğinde eğilme çatlağı oluşmuştur.

11. *çevrim* (-60 kN); CFRP ile beton arka yüzde 7 nolu deformasyon ölçerin orda ayrılmıştır (Şekil 5.6.4).



Şekil 5.6.4. CFRP ile beton ayrılması

13. *çevrim* (+70 kN); -67 kN'da akma başlamıştır. Tepe deplasmanı 14,47 mm ölçülmüştür. Eğilme çatlağı genişliği yaklaşık 2 mm'ye ulaşmıştır.

14. *çevrim* (+80 kN); 7 nolu strain 0.7 mm'de , 5 nolu strain -0.5 mm'de kalıcı deformasyona uğradığı görülmüştür.

15. *çevrim* (-90 kN); 83,1 kN yükte göçme meydana geldi. Tepe deplasman -28,72 mm ölçülmüştür. CFRP arka yüzde betondan tamamen ayrılmış durumdadır. Solda 15 cm yukarıda kesme çatlağı meydana gelmiştir.

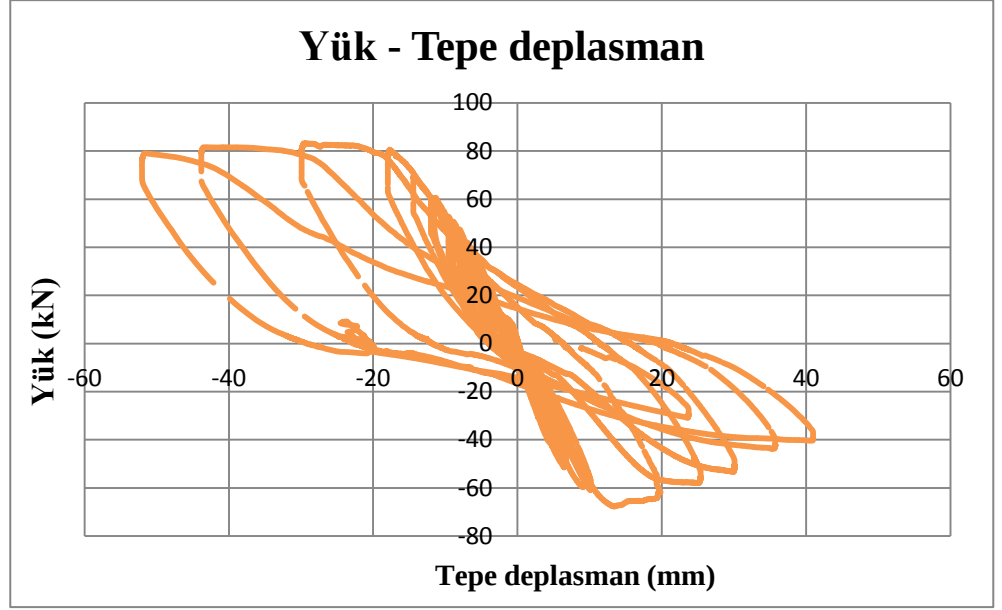


Şekil 5.6.5. Deney sonucunda arka yüzde oluşan çatlaklar



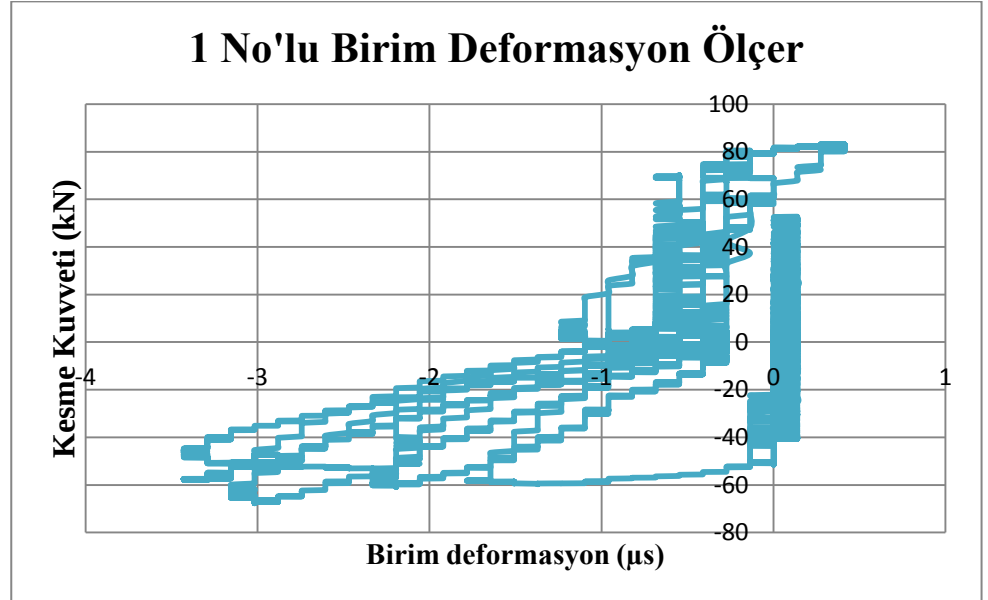
Şekil 5.6.6. Deney sonunda oluşan deformasyonlar

Deney sonrasında deney eleman-6'da meydana gelen yük-tepe deplasman (Şekil 5.6.7) grafiği aşağıda verilmiştir.



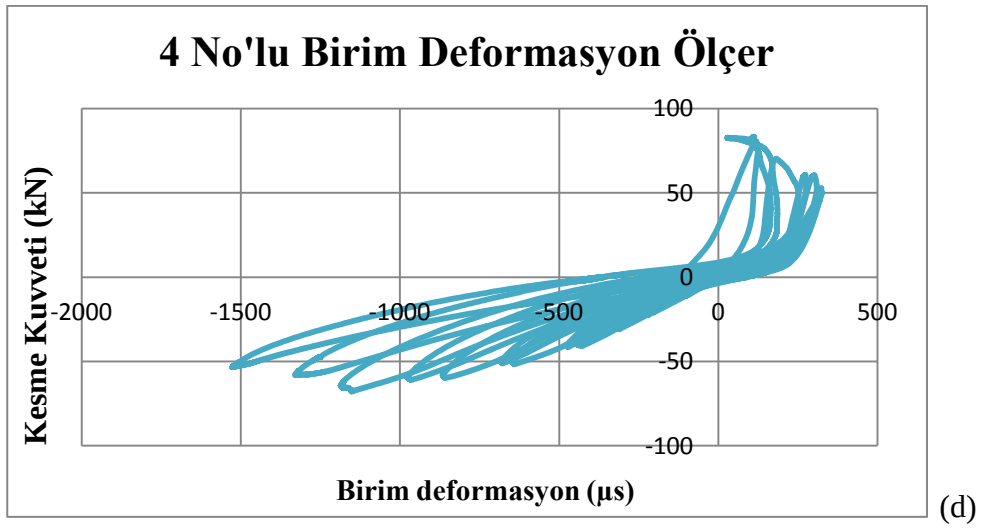
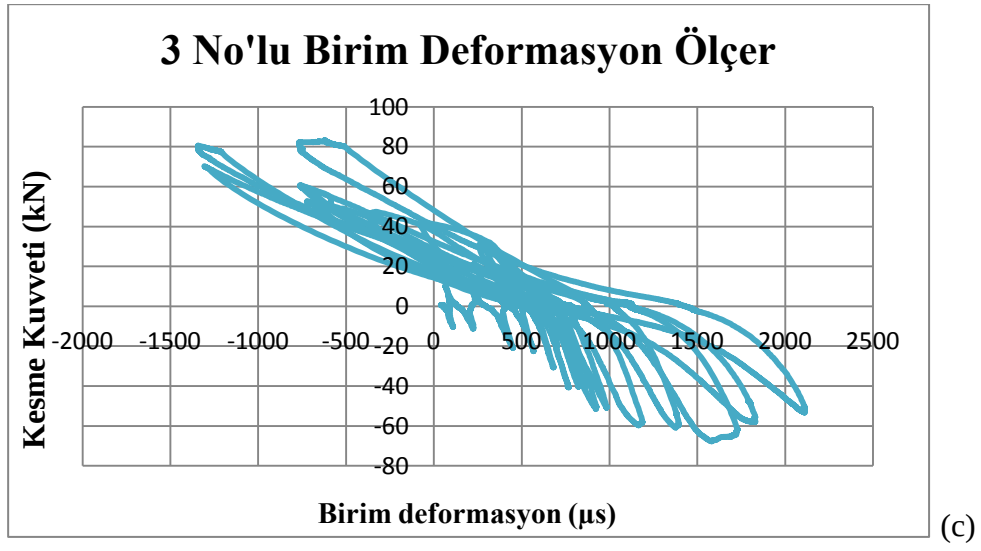
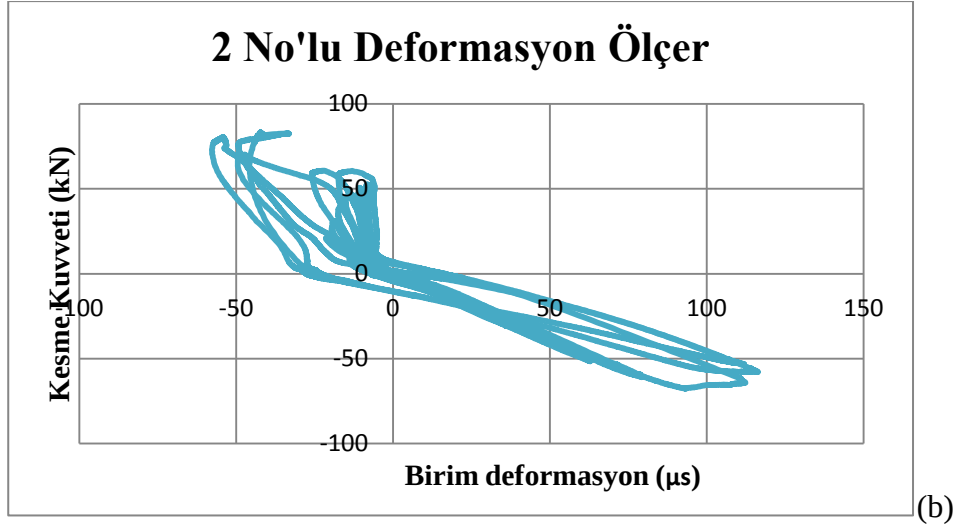
Şekil 5.6.7. Deney Elemanı-6'da oluşan yük - tepe deplasman grafiği

Deney Elemanı-6'te toplam 8 adet birim deformasyon ölçer kullanılmıştır. Yük ve birim deformasyon ölçerlerin grafiği aşağıda verilmiştir (Şekil 5.6.8).



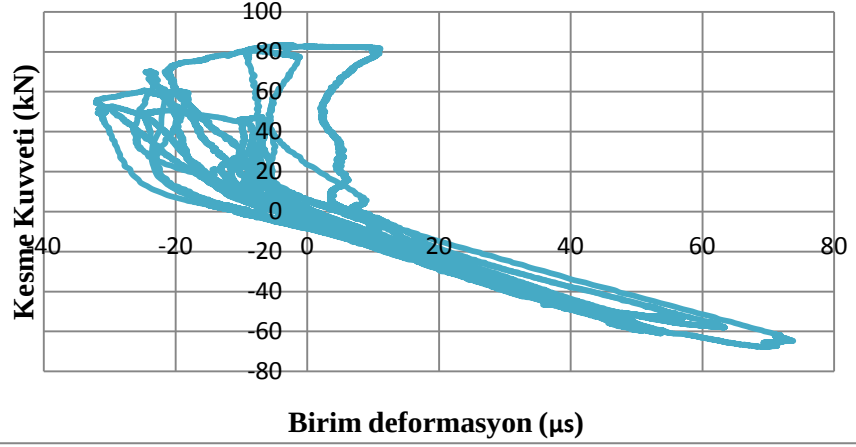
(a) (Ölçerden doğru veri alınamamıştır.)

Şekil 5.6.8. Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği (a)



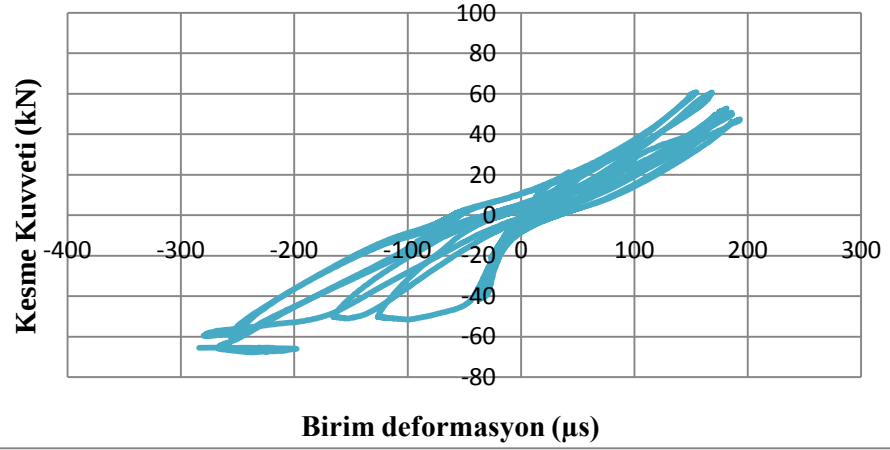
Şekil 5.6.8. Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği (b),(c),(d)

5 No'lu Birim Deformasyon Ölçer



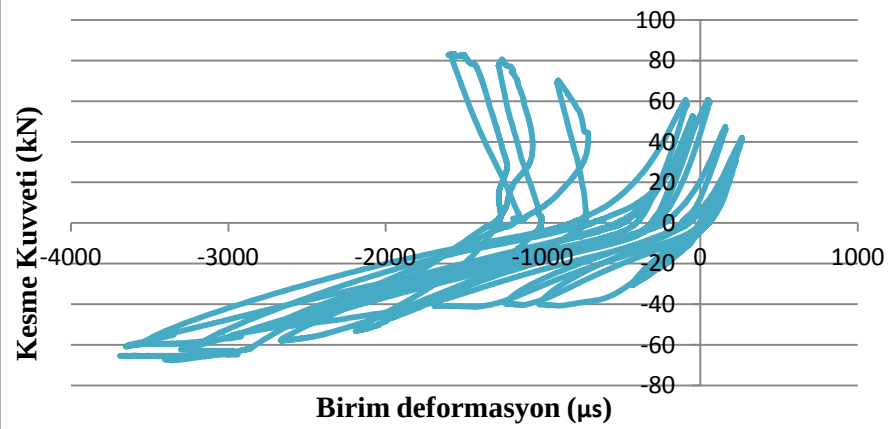
(e)

6 No'lu Birim Deformasyon Ölçer



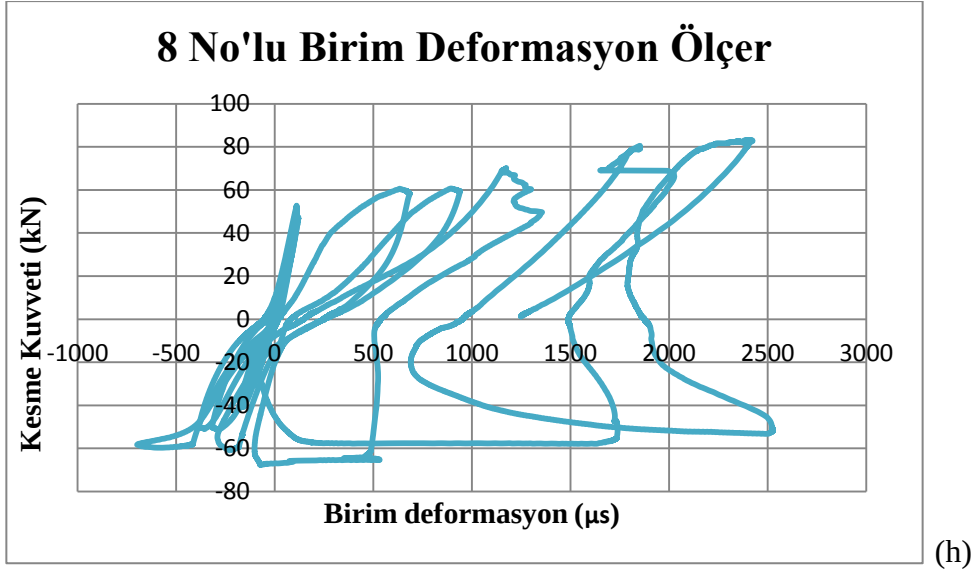
(f)

7 No'lu Birim Deformasyon Ölçer



(g)

Şekil 5.6.8.(e),(f),(g) Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği



Şekil 5.6.8. (h) Deney Elemanı-6'da yük-birim deformasyon ölçer grafiği

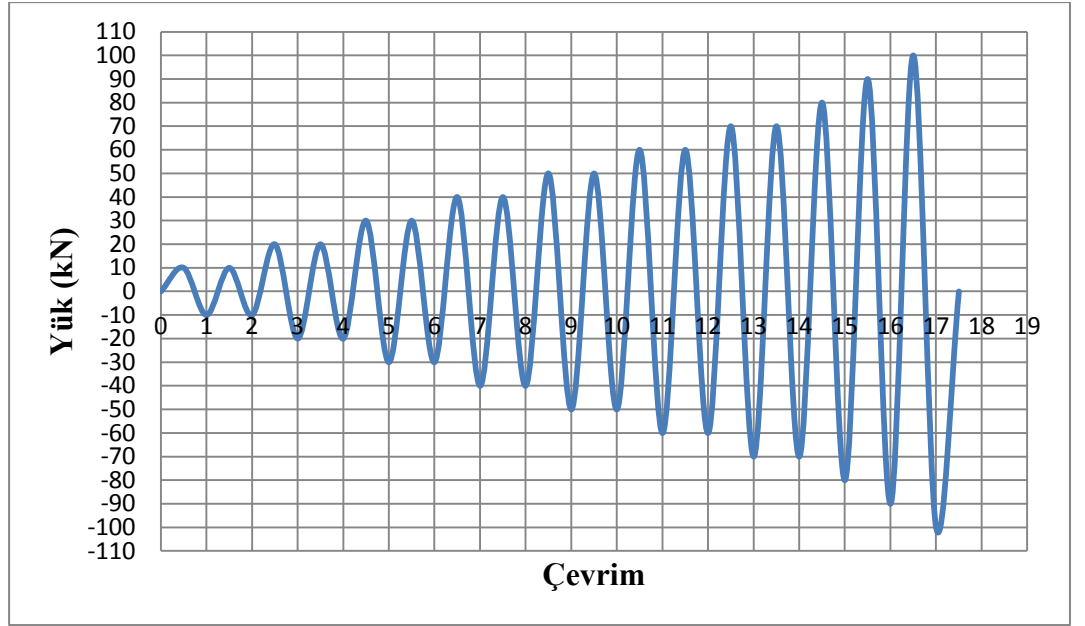
5.7. Deney Elemanı-7

Elemanda kolon ve kiriş 10 cm etriye ile sarılmıştır. Düğüm noktasında etriye konulmamıştır. Kolon-kiriş birleşim noktasına 4 adet sağ alt köşeden sol üst köşeye , 4 adet sol alt köşeden sağ üst köşeye 12'lik nervürlü demirler ankre edilmiştir. Herhangi başka bir güçlendirme yapılmamıştır. Referans-1'e çapraz ankrajlar kullanıldığındaki farklılıklar tespit edilmesi beklenmiştir.



Şekil 5.7.1. Deney Elemanı-7 deney düzeneği

Deney elemanının uygulanan yük - çevrim grafiği Şekil 5.7.2’de gösterilmiştir. Deney elemanına 18 yük çevrimi uygulanmıştır.



Şekil 5.7.2. Deney Elemanı-7 için Yük-çevrim grafiği

Deney sırasında gözlemlenenler ve gözlem anı aşağıda özetlenmiştir.

4. çevrim (+20 kN); İlk eğilme çatlağı sol yüzde 45 cm yukarda 0.5 mm genişliğinde oluşmuştur.

5. çevrim (+30 kN); Eğilme çatlağı 45 cm'den 40 cm'ye doğru inmeye başladığı görülmüştür.

5. çevrim (-30 kN); Sağ yüzde 47 cm yukarıda ilk eğilme çatlağı oluşumu gözlemlenmiştir.

8. çevrim (-40 kN); 47'nci cm'deki eğilme çatlağı aynen devam ediyor. Ayrıca kolon-kiriş birleşim bölgesinde boylu boyunca yatay bir çatlak oluşumu vardır (Şekil 5.7.3). Yüzeyde de orta bölgede diyagonal çatlak köşeden başlayıp 12 cm içeriye ilerlediği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7.3. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde yatay çatlak

9. çevrim (-50 kN); 2. eğilme çatlakı 70 cm yukarıda meydana gelmiştir. Kesme çatlakı sağ üst bölgeden sola gelmiştir ve 45⁰lik çaprazlardan dolayı aşağıya indiği görülmüştür.

12. çevrim (-60 kN); 3. eğilme çatlakının 100 cm yukarıda oluşumu gözlemlenmiştir.

14. çevrim (-70 kN); -63,33 kN'da kesme çatlakı gözlenmiştir. 21,95 mm deplasman ölçüldüğü ve kalıcı hasar oluşmuştur.

16. çevrim (+90 kN); 88,14 kN'da -20.84 mm deplasman ölçülmüştür.

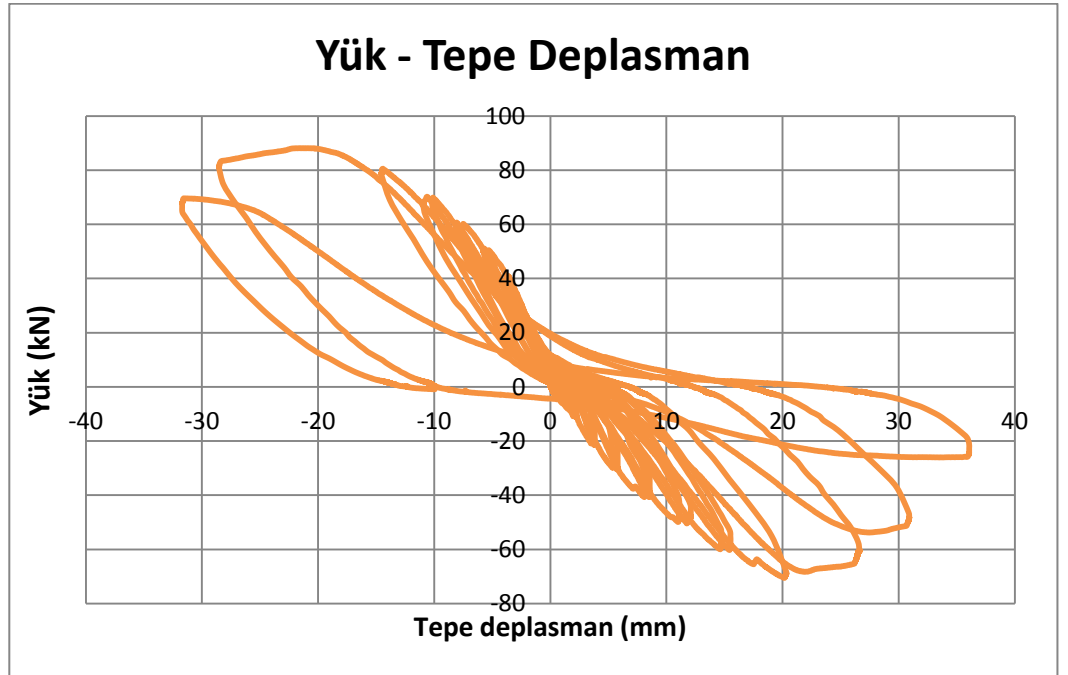


Şekil 5.7.4. Deney sonrası ön ve arka yüzde düğüm noktasında oluşan çatlaklar



Şekil 5.7.5. Deney sonrası ön ve arka yüzde eleman altında oluşan çatlaklar

Deney sonrasında deney eleman-7'de meydana gelen yük-tepe deplasman (Şekil 5.7.6) grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.7.6. Yük-Tepe deplasman grafiği

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney sonuçları; dayanım ve davranış, rijitlik ve enerji tüketimi başlıkları altında değerlendirilmiştir.

6.1. Dayanım ve Davranış

Dayanım , uygulanan çeşitli güçlendirme yöntemlerinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Deney elemanlarının dayanımlarını değerlendirmek için, deney sonucunda elde edilen yük-deplasman eğrileri kullanılmıştır. Dayanım artışları, akma yük ve deplasmanları, göçme yük ve deplasmanları, süneklik oranları Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Çalışmada Hedef çalışması kolon ve kirişi 10 cm etriyeli deprem ve TS500 şartnamesine göre yapılmış ve düğüm noktasında etriye bulunmaktadır. Referans-1 ise yine Hedef ile aynı etriye aralığına sahiptir fakat düğüm noktasına etriye konulmamıştır. Referans-2 ise kolon ve kiriş 30 cm etriyeli ve düğüm noktası etriyesizdir. Deney Elemanı 4, 5, 6 ise referans-2 elemanı ile aynı iç dizayna sahiptir ve güçlendirme uygulanmıştır. Güçlendirme detayları aşağıda tabloda verilmiştir (Tablo 6.1).

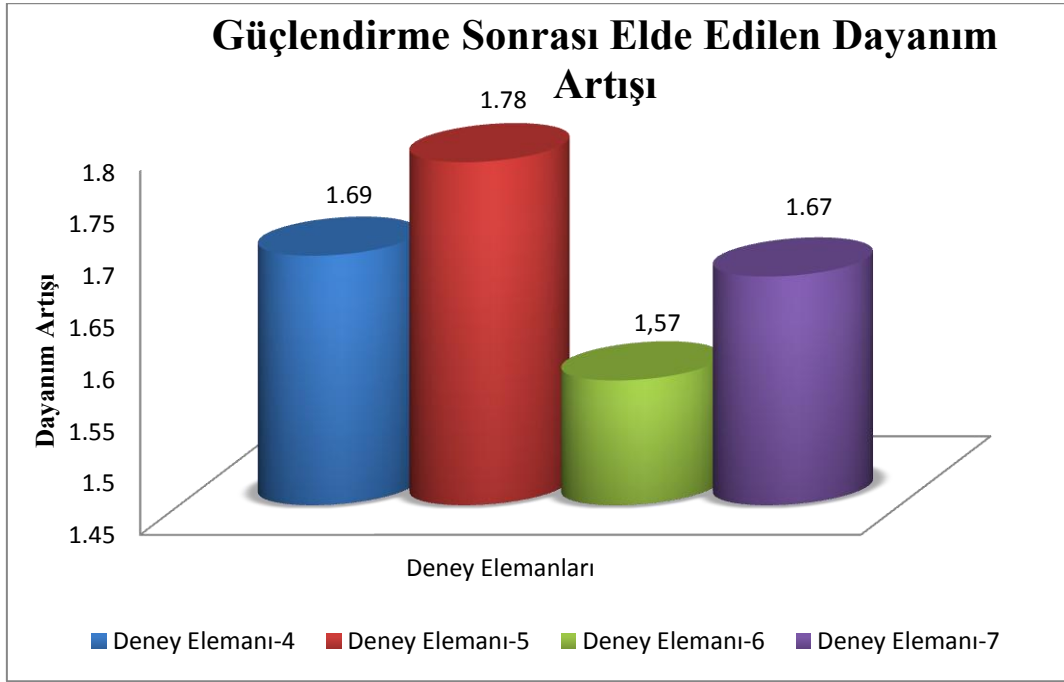
Tablo 6.1. Deney elemanları ve güçlendirmeleri

Numune #	Güçlendirme Tipi	Güçlendirme Bölgesi	gf* (mm)	CFRP Düzenlemesi	Ankraj Tipi
1	Hedef	-	-	-	-
2	Referans-1	-	-	-	-
3	Referans-2	-	-	-	-
4	CFRP ve Ankraj	Düğüm Noktası hariç Tüm kolon ve kiriş CFRP , Düğüm noktası çapraz ankrajlı	-	Düz Sargı	8 adet ø12 demir
5	CFRP	Tüm Eleman	-	Düz Sargı	-
6	CFRP	Düğüm Noktası	150	45 ° Düz Sargı	-
7	Ankraj	Düğüm Noktası	-	-	8 adet ø12 demir

Deney Elemanı	Sol akma yükü (kN)	Sol akma deplasman (mm)	Sağ akma yükü (kN)	Sağ akma deplasman (mm)	Göçme yükü (kN)	Göçme deplasman (mm)	Ölçülen maksimum yük değeri (kN)	Süneklik oranı	Güçlendirme sonrası elde edilen dayanım artışı	Göçme mekanizması
Hedef	-73,77	28,44	97,83	-50,12	-	-	101.41	>7	-	Sağ ve sol Eğilme
Referans1	-79,24	33,68	-	-	-52,64	41,23	90,07	1,22	-	Düğüm noktası göçmesi
Referans 2	-71,1	22,38	-	-	-52,8	44,3	90,81	1,98	-	Düğüm noktası göçmesi
4	-56,17	19,81	-	-	89,26	-28,78	89,29	2,59	1,69	Düğüm noktası göçmesi
5	-67,64	15,23	94,09	-31,85	-	-	94,23	>7	1,78	Sağ ve Sol eğilme
6	-67,04	14,47	-	-	83,1	-28,72	83,23	3,83	1,57	Eğilme ve düğüm noktası göçmesi
7	-63,33	21,95	88,14	-20,84	88,14	-20,84	88,13	3,06	1,67	Eğilme ve düğüm noktası göçmesi

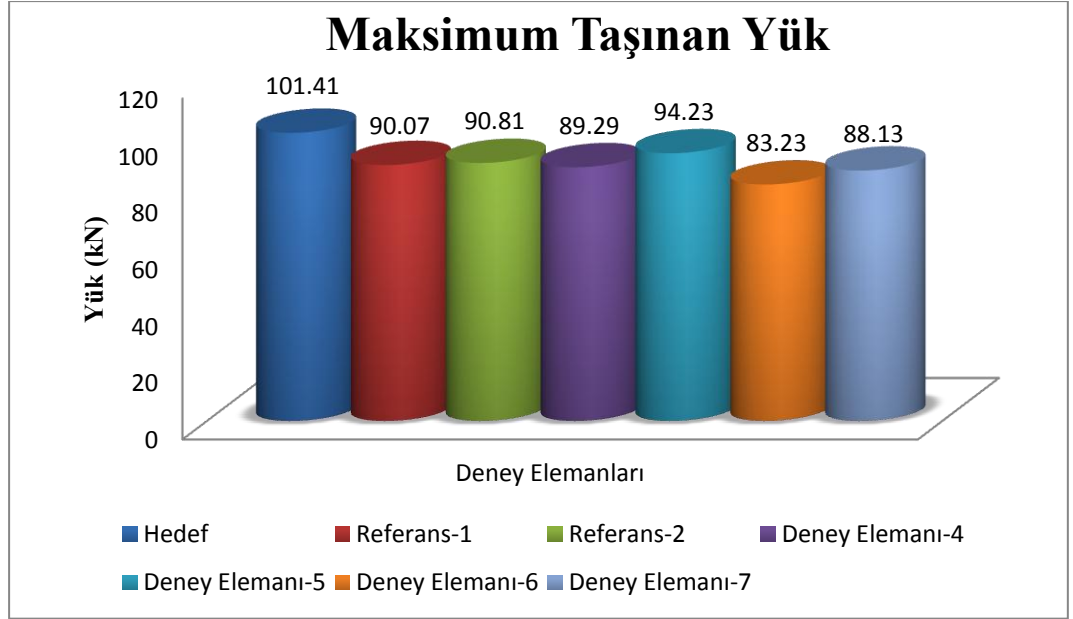
Tablo 6.2. Dayanım ve Davranış sonuçları grafiği

CFRP ile güçlendirilen deney elemanlarında referans-2 elemanına göre 1,57 ile 1,78 arasında değişen oranlarda bir artış sağlanmıştır. Düğüm noktası hariç tüm eleman CFRP sarılı numunemiz 1,69 değerinde, tüm elemanda CFRP sarılı numunemizde 1,78 ve çapraz CFRP sarılı numunemizde ise 1,57 oranında artış sağlanmıştır(Şekil 6.1.1). Elde edilen dayanım artışı her ne kadar küçük görülse de güçlendirmede amaç daha fazla dayanım artışı sağlamak değil, gerçekleştirilen güçlendirme yöntemi ile elemanın davranışını sünekleştirmektir.



Şekil 6.1.1. Güçlendirme sonrası dayanım artışı

Deney elemanları 4,5 ve 6 CFRP sarılı numunelerdir. Bu numunelerde çatlakların oluşumu olan yerlerde CFRP'nin deney elemanından ayrıldığını ve göçme meydana getirdiğini gözlemledik. Yük ve deplasman eğrilerine baktığımızda en efektif olanının deney elemanı 5 olduğu gözlenmiştir. Güç kaybı ve ani tükenme deney elemanı-5 ile deney elemanı-6'da yok denecek kadar azdır.



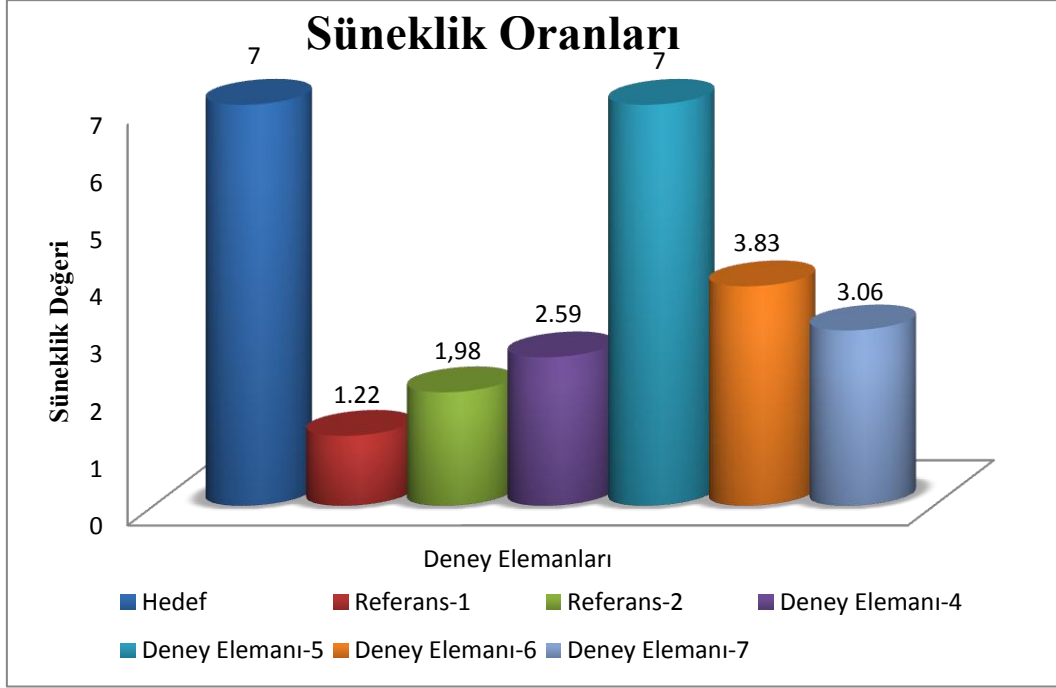
Şekil 6.1.2. Maksimum taşınan yük

Deney elemanı-4'te düğüm noktası hariç tüm eleman CFRP sarılmış olup düğüm noktasına çapraz ankrajlar eklenmiştir ve 1,69 oranında bir artış görülmüştür. Çapraz bölgesi ankrajsız ve tüm eleman CFRP sarılı olan deney elemanı-5'te ise 1,78 oranında artış görülmüştür. Bu numuneleri karşılaştırılmasını yaptığımız zaman düğüm elemanında CFRP'nin ankraja göre daha yüksek dayanım sağladığını fakat deney elemanı-6'daki çapraz CFRP sargının ankraja göre daha az dayanım kazandırdığını görüyoruz. Bu durumda en iyi performansı veren sistemin düğüm noktasında komple CFRP olduğunu söyleyebiliriz.

Deney elemanı-7 de ise yapmış olduğumuz çapraz ankrajların 1,67 oranında dayanım artışı sağladığını görüyoruz. Buradan da sadece ankraj güçlendirmesinin rijit bir elemanda önemli bir dayanım artışı sağladığını söyleyebiliriz.

Referans-1 ile referans-2 arasında süneklik oranlarında bir karşılaştırma yapabiliriz. Referans-1'in süneklik oranı 1,22 iken referans-2'nin süneklik oranı 1,98 olduğu görülüyor. Bu sonuçtan yola çıkarak referans-1'de sık olan etriye aralığından dolayı daha rijit kolon ve kirişten yükün düğüm noktasına indiğini ve bundan dolayı düğüm noktasında ani olarak göçme meydana geldiği görülmüştür. Buradan yola çıkarak kısmi güçlendirmenin veya bir kısmi rijit bir kısmi dayanıksız yapılarda rijit kısımların yapı için tehlike oluşturduğunu söyleyebiliriz.

10 cm etriyeli 2 eleman olan referans-1 ile deney elemanı-7'yi süneklik açısından karşılaştırdığımızda ; çapraz ankrajların süneklik oranını 2,59'dan 3,06'ya çıkararak % 18 oranında artış sağlandığı görülmüştür(Şekil 6.1.3).



Şekil 6.1.3. Süneklik oranları

Referans-1 ile referans-2 arasında süneklik oranlarında bir karşılaştırma yapabiliriz. Referans-1'in süneklik oranı 1,22 iken referans-2'nin süneklik oranı 1,98 olduğu görülüyor. Bu sonuçtan yola çıkarak referans-1'de sık olan etriye aralığından dolayı daha rijit kolon ve kirişten yükün düğüm noktasına indiğini ve bundan dolayı düğüm noktasında ani olarak göçme meydana geldiği görülmüştür. Buradan yola çıkarak kısmi güçlendirmenin veya bir kısmı rijit bir kısmı dayanıksız yapılarda rijit kısımların yapı için tehlike oluşturduğunu söyleyebiliriz.

Deney elemanı 4'te düğüm noktası çapraz ankrajların ve düğüm noktası hariç CFRP sarılmasının sünekliği referans-2'den yani 1,98'den 2,59'a çıkararak yüzde 30,8 oranında artış sağlanmıştır. Aynı şekilde düğüm noktası çapraz CFRP sarılı deney elemanı-6'da ise 3,83 süneklik oranı sağlanmış ve yüzde 93 oranında bir artış görülmüştür. Tüm eleman CFRP sarılı olan deney elemanı-5'te ise bu oran çok artmıştır ve bu güçlendirme sonrası hedef elemana en çok yaklaştığımız eleman olmuştur ve en sünek davranış gösteren elemanımızdır. Ölçülen maksimum yük değeri açısından da bu eleman hedef elemana en yakın yük değerini taşımış ve yüzde 5 oranında bir artış görülmüştür.

6.2. Rijitlik

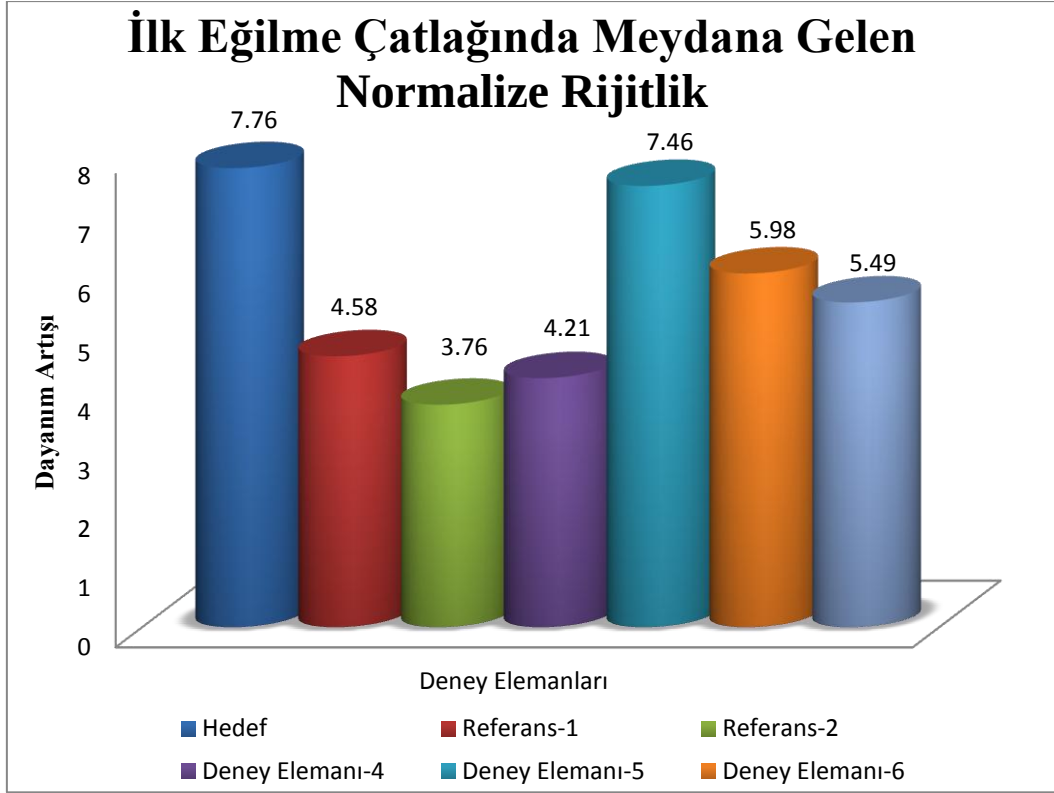
Çalışmada Hedef çalışması kolon ve kirişi 10 cm etriyeli deprem ve TS500 şartnamesine göre yapılmış ve düğüm noktasında etriye bulunmaktadır. Referans-1 ise yine Hedef ile aynı etriye aralığına sahiptir fakat düğüm noktasına etriye konulmamıştır. Referans-2 ise kolon ve kiriş 30 cm etriyeli ve düğüm noktası etriyesizdir. Deney Elemanı 4, 5, 6 ise referans-2 elemanı ile aynı iç dizayna sahiptir ve güçlendirme uygulanmıştır. Güçlendirme detayları aşağıda şekilde verilmiştir.

Tablo 6.3. Deney elemanları ve güçlendirmeleri

Numune #	Güçlendirme Tipi	Güçlendirme Bölgesi	gf* (mm)	CFRP Düzenlemesi	Ankraj Tipi
1	Hedef	-	-	-	-
2	Referans-1	-	-	-	-
3	Referans-2	-	-	-	-
4	CFRP ve Ankraj	Düğüm Noktası hariç Tüm kolon ve kiriş CFRP , Düğüm noktası çapraz ankrajlı	-	Düz Sargı	8 adet ø12 demir
5	CFRP	Tüm Eleman	-	Düz Sargı	-
6	CFRP	Düğüm Noktası	150	45 ° Düz Sargı	-
7	Ankraj	Düğüm Noktası	-	-	8 adet ø12 demir

Elemanlar karşılaştırılırken kendi referansları ile karşılaştırılma yapılmıştır. Yük-tepe deplasman grafiklerinden akma ve göçme yüklerinin orjine birleştirilmesiyle elde edilen eğimleri kullanarak tablo 6.4 hazırlanmıştır.

Hedef elemanımız beklendiği gibi en rijit elemanımız olmuştur ve Referans-1 ve Referans-2 ile karşılaştırılmıştır(Şekil 6.2.1). Bu karşılaştırma sonucunda; Referans-1'den 1,69 kat , Referans-2'den 2,06 kat daha rijit davranış göstermiştir. Buradan da yönetmelik ve şartnamelere uyularak yapılan yapıların diğer yapılara oranla çok daha sağlam ve rijit olduğunu söylemek mümkündür.



Şekil 6.2.1. İlk eğilme çatlağında meydana gelen normalize rijitlik

Deney elemanı-5 tamamen CFRP sarılıdır ve Hedef elaman ile karşılaştırsak %5 hedef eleman daha rijit çıkmıştır ve buradan sonuçta Hedef elemanına yakın bir davranış sergilemektedir.

Deney Elemanı-5'i deney elemanı-4 ve deney elemanı-6 ile karşılaştırdığımızda en rijit davranışı sergilemiştir. Deney elemanı-4'te kolon-kiriş birleşim noktası boştur ve bu bölgeye çapraz ankrajlar yapılmıştır. Deney Elemanı-6'da ise düğüm bölgesine çapraz CFRP uygulanmıştır. Rijitlik bakımından ikiside referansa göre daha iyi davranış göstermiştir fakat ikisini karşılaştırdığımız zaman çapraz CFRP daha rijit davranış göstermiştir.

Deney elemanı-6 'da yani düğüm noktası çapraz CFRP eleman referansa göre %20 daha iyi sonuç vermiştir. Uygulama basitliği ve maliyet düşüklüğü sebebiyle bu elemanda uygulanan güçlendirme oldukça olumlu sonuçlar vermiştir.

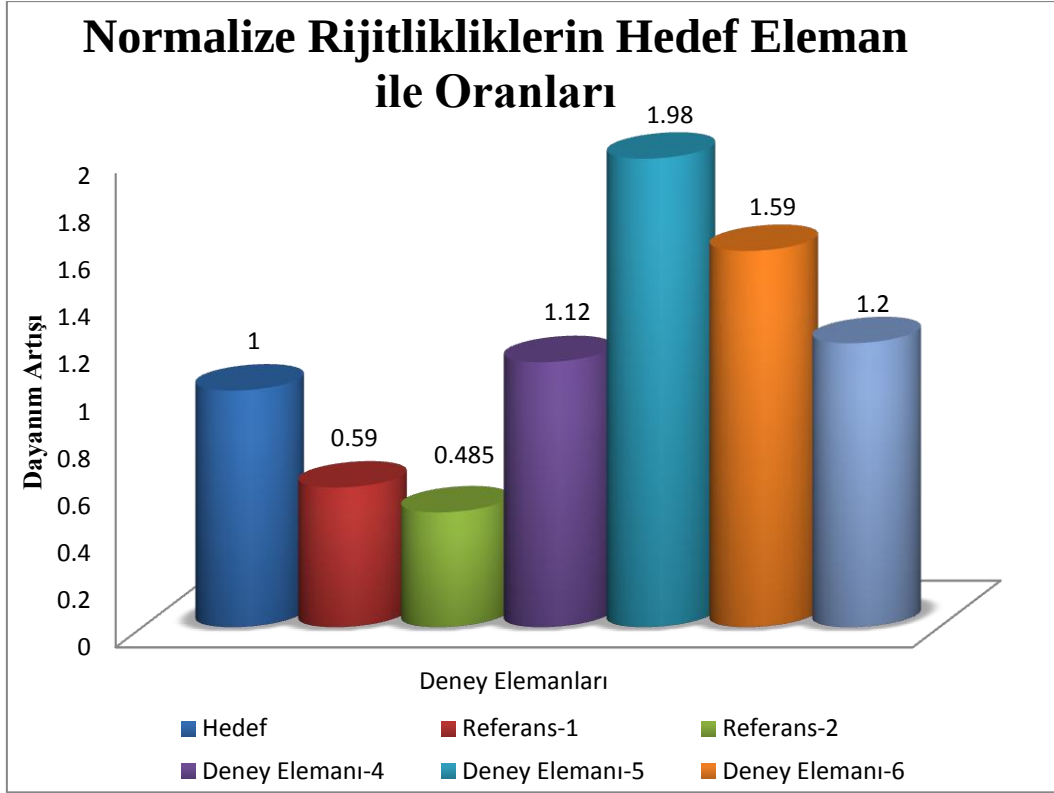
Tablo 6.4. Deney Elemanları Rijitliği Tablosu

Deney Eleman No	İlk Eğilme çatlağında meydana gelen normalize rijitlik (kN/mm)	Maksimum Yük			(K _n ¹ /K _R) Oranı	
		İleri Çevrim (kN/mm)	Geri Çevrim (kN/mm)	Ortalama (kN/mm)	İlk Eğilme çatlağında meydana gelen normalize rijitlik	Maksimum Yük
Hedef	7,76	2,49	1,93	2,21	-	-
Referans-1	4,58	3,05	2,34	2,69	0,59	1,22
Referans-2	3,76	3,41	2,097	2,75	0,485	1,24
4	4,21	3,56	3,12	3,34	1,12	1,21
5	7,46	4,44	2,85	3,64	1,98	1,32
6	5,98	5,03	2,85	3,94	1,59	1,43
7	5,49	4,22	3,47	3,85	1,20	1,43

Not: K_n¹ = n numaralı deney elemanının rijitliği

Deney elemanı-4 ile deney elemanı-7 karşılaştırdığında ikisinde de düğüm noktasında ankraj uygulanmıştır. Deney elemanı-4 kolon ve kirişi CFRP sarılmıştır. Deney elemanı -7 , deney elemanı-4'e göre %30 daha rijitlik göstermiştir. Bunun nedeni CFRP sarılı kolon ve kirişteki yoğunlaşan yük düğüm noktasına gitmiştir ve bu ekstra yükten dolayı tüm yer değiştirmeler düğüm bölgesi yoğunlaşmıştır ve deney elemanı-7'ye göre daha dirençsiz kalmıştır.

Tüm verilere bakıldığı zaman hedef elemana en yakın rijitlik davranışını deney elemanı-5 vermiştir. Daha sonra deney elemanı-6 güçlendirme bakımından iyi davranış gösterdiği görülmüştür. Önerdiğimiz çapraz ankrajlar CFRP'ye yakın sonuç vermiştir(Şekil 6.2.2).



Şekil 6.2.2. Normalize rijitliklerin hedef eleman ile oranları

6.3. Enerji Tüketimi

Enerji tüketimi, deney elemanlarına uygulanan ve göçmeye kadar devam eden her yük çevrimi için yük- tepe deplasman grafiklerinde oluşan kapalı alanın hesaplanmasıyla elde edilir. Her çevrimde tüketilen enerjinin birikimli olarak toplanmasıyla deney elemanının birikimli enerji tüketimi elde edilmiştir ve tablo 6.6'te gösterilmiştir.

Çalışmada Hedef çalışması kolon ve kirişi 10 cm etriyeli deprem ve TS500 şartnamesine göre yapılmış ve düğüm noktasında etriye bulunmaktadır. Referans-1 ise yine Hedef ile aynı etriye aralığına sahiptir fakat düğüm noktasına etriye konulmamıştır. Referans-2 ise kolon ve kiriş 30 cm etriyeli ve düğüm noktası etriyesizdir. Deney Elemanı 4, 5, 6 ise referans-2 elemanı ile aynı iç dizayna sahiptir ve güçlendirme uygulanmıştır. Güçlendirme detayları aşağıda şekilde verilmiştir.

Tablo 6.5. Deney elemanları ve güçlendirmeleri

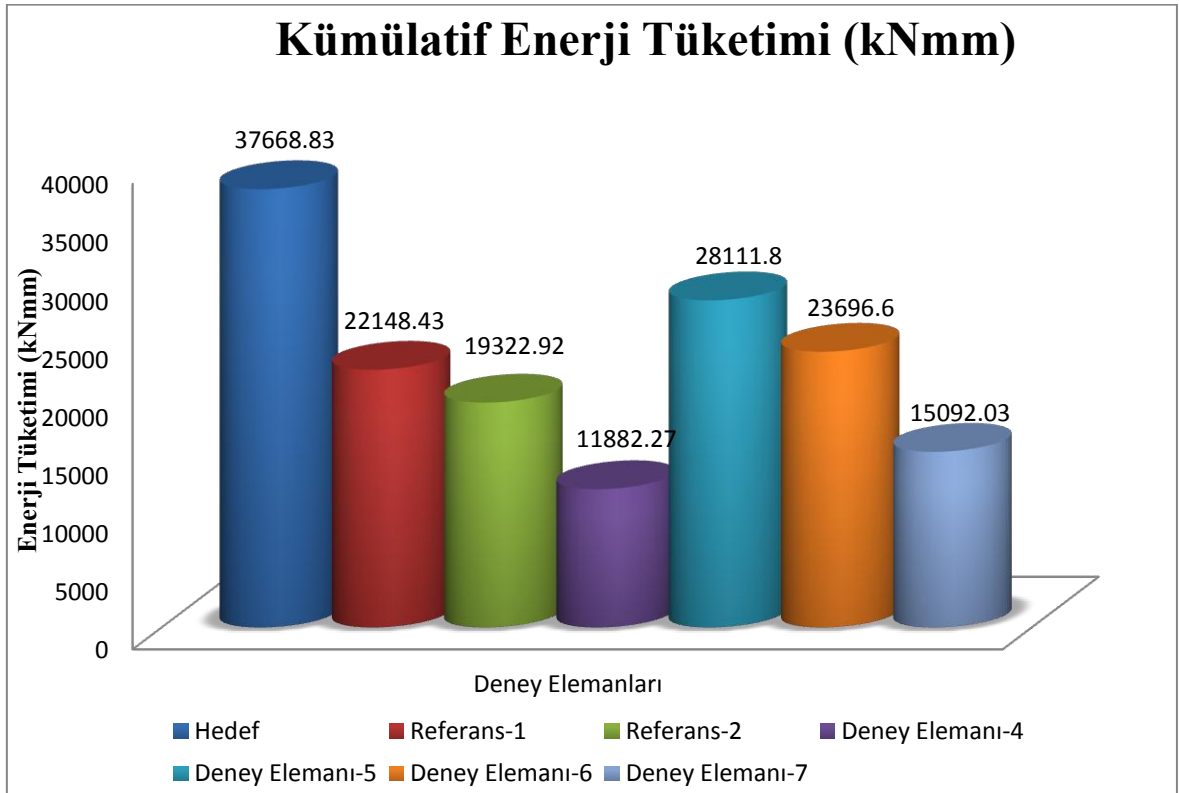
Numune #	Güçlendirme Tipi	Güçlendirme Bölgesi	gf* (mm)	CFRP Düzenlemesi	Ankraj Tipi
1	Hedef	-	-	-	-
2	Referans-1	-	-	-	-
3	Referans-2	-	-	-	-
4	CFRP ve Ankraj	Düğüm Noktası hariç Tüm kolon ve kiriş CFRP , Düğüm noktası çapraz ankrajlı	-	Düz Sargı	8 adet ø12 demir
5	CFRP	Tüm Eleman	-	Düz Sargı	-
6	CFRP	Düğüm Noktası	150	45 ° Düz Sargı	-
7	Ankraj	Düğüm Noktası	-	-	8 adet ø12 demir

Hedef ve referans elemanlar karşılaştırıldığında en az enerjiyi 30 cm ve en az enerjili referans-2 elemanı tüketmiştir (Şekil 6.3.1). Deney elemanları içerisinde ise en az enerjiyi deney elemanı-4 tüketmiştir. Bunun nedeni ise CFRP sargılardan düğüm noktasına ilerleyen yük erken göçmeye sebep olması söylenilebilir. Deney Elemanı-5 CFRP sargılı elemanlar arasında en fazla enerji tüketen eleman olmuştur ve Hedef elemana diğer kriterlerdeki gibi en yakın davranışı sergilemiştir. Deney Elemanı-6 ile deney elemanı-7 karşılaştırıldığında ise çapraz CFRP'nin düğüm noktasında çapraz ankrajlara göre daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.

Deney elemanı-5 referans-2 elemanına göre %45 daha fazla enerji tüketmiştir. Deney Elemanı-6 ise yine referans eleman-2'ye göre %22 daha fazla enerji tüketmiştir.

Tablo 6.6. Deney Elemanları Enerji Tüketimi

Deney Elemanı	Kümülatif enerji tüketimi (kNmm)
Hedef	37668,83
Referans-1	22148,43
Referans-2	19322,92
4	11882,27
5	28111,80
6	23696,6
7	15092,03



Şekil 6.3.1. Kümülatif enerji tüketimi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez kapsamında ele alınan kolon-kiriş düğüm noktalarındaki güçlendirme çalışmaları olumlu ve pozitif sonuçlar verdiği görülmüştür. Güçlendirme için CFRP ve düğüm noktalarına atılan 45^0 ve 135^0 'lik çaprazlar kullanılmış ve ikisinden de olumlu sonuç değerleri elde edilmiştir. Başka güçlendirme yöntemleride vardır. Örneğin çelik ile yapılan güçlendirmelerde yapının ağırlığı arttırılmış olur ve bunun için temele fazladan güçlendirme yapılması gerekebilir. Ayrıca maliyetli ve işçiliği zor bir yöntemdir. Bunun yanında CFRP ve çapraz ankrajların verdiği olumlu değerler dikkate alındığında daha uygun yöntemler oldukları söylenebilir. İşçilikleri daha pratiktir ve binaya ek yük vermezler. Doğal olarak ağırlığı az olan bina depremde daha az eylemsizlik yüküne maruz kalır ve bu da istenilen bir durumdur. Ayrıca uygulama türüne göre ekonomiklik sağlar ve bu da kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Güçlendirmede esas amaç daha fazla dayanım artışı sağlamaktan önce, gerçekleştirilen güçlendirme yöntemi ile elemanın davranışını geliştirmektir. Deney değerlendirmelerinin de bu göze alınarak yapılması daha doğrudur.

Bir yapının güçlendirilmesi kararı alınmadan önce o binanın mevcut taşıma kapasitesi kontrol edilmeli ve yeni yönetmeliklerin öngördüğü minimum taşıma kapasitesinin üstünde olmasına dikkat edilmelidir. Eski ve önemi büyük olan yapılarda güçlendirme ilk sırada düşünülen yöntemdir ve yapının öneminin yanında yapılacak güçlendirmenin maliyetinin de sonrasında oluşacak performans artışına göre değerlendirilmesi gereklidir.

Bu çalışmada ele alınan ve tamamen CFRP sarıli olan numune, günümüzde uygulanana en yakın deney elemanından yani referans-1'den daha fazla dayanım vermiştir. Dayanım anlamında %78 artış sağlanmıştır ve rijitlik konusunda ise 2 kata yakın artış sağlanmıştır. Hedef elemanına en yakın davranışı gösteren eleman yine tamamen CFRP sarıli deney elemanı-5'tir ve en iyi sonuçları vermiştir. Bundan dolayı güçlendirilen elemanlar içinde en uygundur.

Düğüm noktası hariç kolon ve kirişleri tamamen CFRP ile sarmak CFRP güçlendirmeli elemanlar arasında dayanım, rijitlik ve enerji tüketimi açısından daha düşük sonuçlar vermiştir. Bunun nedeni ise CFRP sarıli kolon ve kirişteki yoğunlaşan yük düğüm noktasına gelmesi ve bu ekstra yükten dolayı tüm yer değiştirmeler düğüm bölgesi yoğunlaşması ve düğüm noktasının göçmesine neden olmasıdır. Bu nedenle tercih edilebilecek bir yöntem olmadığı değerlendirilmiştir.

Tamamen CFRP sarılı elemanımızdan sonra en iyi sonucu veren CFRP sargı yöntemi düğüm noktasına çapraz atılan CFRP'ler olmuştur. Az miktarda CFRP ve epoksi ile , malzemeyi yeterli ve doğru yerlere uygulanılarak üretilen bu numune maliyeti tamamen CFRP sarılı numuneden daha azdır. Performans olarak davranışını ele alırsak sadece kolon ve kiriş bölgesi CFRP sarılı numuneye göre çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Diğer uygulanan güçlendirme yöntemi kolon-kiriş düğüm noktasına yerleştirilen çapraz demirler ise beklenenden daha iyi sonuç vermiştir. Deney elemanı-7 %67 dayanım artışı vermiştir. Çapraz CFRP güçlendirmesine dayanım açısından % 6 daha fazla dayanım sağlamıştır. Fakat % 30 daha az rijitlik sağlamıştır ve enerji tüketmeside % 57 daha az sonuç vermiştir. Çapraz atılan ankrajların kesme çatlaklarını gözle görülür bir şekilde azaltması ile ek güçlendirme olarak kullanılabilir.

Tez kapsamında yapılan güçlendirmelerin tümü dayanım,rijitlik ve enerji tüketimi bakımından iyi sonuçlar vermiştir. Ancak hiçbiri Hedef Elemanının performansını geçememiştir. Yönetmeliklere ve şartnamelere uygun üretilen Hedef Eleman tekniğine uygun yapılan yapının her zaman güçlendirmeden daha iyi sonuç verdiğini ortaya koymuştur.

Diğer taraftan bakıldığında ise tamamen CFRP sarılı numunemiz dayanım, rijitlik ve enerji tüketimi açısından hedef elemana en yakın sonuç ve davranışları sergilemiştir. En doğru yöntem olarak tamamen CFRP sarılması önerilmelidir. Diğer CFRP yöntemlerinin ise çapraz ankrajdan daha iyi davranış sergiledikleri görülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Alver, N., Tanarslan, M., Ercan, E., Karcılı, M. , Sülün, Ö. Y. ,2014, "Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerde CFRP İle Beton Arasındaki Kırılma Mekanizmasının AE-SiGMA Yöntemi İle Belirlenmesi", Vol.67,Part B .

Benavent , A., Enrique, C. , Gallego,A., 2010, " Evaluation of Low-cycle Fatigue Damage in RC Exterior Beam-Column Subassemblages by Acoustic Emission" , Construction and Building Materials , Volume 24, Issue 10,1830-1842pp,March 2010.

Bo, L. , Eddie, S., Lam , B., Wu, Ya-yong W., 2013," Experimental Investigation on Reinforced Concrete Interior Beam–Column Joints Rehabilitated by Ferrocement Jackets" , Engineering Structures , volume 56, 897-909pp.

Clyde,C. , Pantelides,C.P. , 2002, " Seismic Evaluation and Rehabilitation of R/C Exterior Building Joints" U.S. National Conference on Earthquake Engineering , July 2002.

Engindeniz, M., Lawrence, F. K., and Abdul-Hamid, Z. , 2005 , " Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Beam-Column Joints: State of the Art" , ACI Structural Journal, V. 102, No. 2, 187-197pp.

French, C. W. , Thorp, G. A. , Tsai, W. J., 1990, “Epoxy Repair Techniques for Moderate Earthquake Damage,” ACI Structural Journal, V. 87, No. 4, 416-424 pp.

Ghobarah, A. , Said, A., 2002, “Shear Strengthening of Beam-Column Joints,” Engineering Structures: The Journal of Earthquake, Wind and Ocean Engineering; V. 24, No. 7, 881-888 pp.

Ghobarah, A. , Aziz, T. S. , and Biddah, A., 1997, “Rehabilitation of Reinforced Concrete Frame Connections Using Corrugated Steel Jacketing,” Journal of Earthquake Engineering, V. 1, No. 4, 651-673 pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Geng, Z.J., Chajes, M.J., Chou, T.W., Pan, D.Y., 1998, " The Retrofitting of Reinforced Concrete Column-to-Beam Connections", Composites Science and Technology 58 , 1297-1305pp.

Ha, G.J., Cho, C.G., Kang, H.W., Feo, L., 2013 , " Seismic Improvement of RC Beam–Column Joints Using Hexagonal CFRP Bars Combined with CFRP Sheets", Composite Structures 95 , 464–470pp.

Kien, L., Kihak, L., Jaehong, L., Do, H. L. , Sungwoo, W. , 2009 , " Experimental Study of RC Beam–Column Joints Strengthened Using CFRP Composites " , Composites Part B: Engineering , V. 41, Issue 1, 76–85pp.

Kien, L., Kihak, L., Myoungsu, S., Jaehong, L., 2011, " Analytical Assessment and Modeling of RC Beam-Column Connections Strengthened with CFRP Composites", Composites: Part B 42 (2011) 1786–1798pp.

Li, J., L, B.S., Samali, B., Ye, L., 1999 , " Reinforcement of Concrete Beam-Column Connections with Hybrid FRP Sheet", Composite Structures 47 , 805-812pp.

Li, J., L, B.S., Samali, B., Ye, L., 2002 , " Behaviour of Concrete Beam–Column Connections Reinforced with Hybrid FRP Sheet", Composite Structures 57, 357–365pp.

Mohamed, H. M., Hamdy, M. A. , Nesreen, M. K., Tarek, M. F., 2014, " Strengthening of Defected Beam–Column Joints Using CFRP" , Journal of Advanced Research , Volume 5, Issue 1, January, Pages 67–77pp.

Muhammad, N.S., Hadi , Tung, M.T. , 2014 , " Retrofitting Nonseismically Detailed Exterior Beam–Column Joints Using Concrete Covers Together with CFRP Jacket" , Construction and Building Materials , Vol. 63, 161-173 pp.

Mukherjee, A., Mangesh, J. , 2005, " FRPC Reinforced Concrete Beam-Column Joints Under Cyclic Excitation" , Composite Structures 70 , Volume 70, Issue 2, Pages 185–199pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Realfonzo , R. , Annalisa, N. , Pinilla, J. G. R. , 2013, " Cyclic Behavior of RC Beam-Column Joints Strengthened with FRP Systems" , Construction and Building Materials, Volume 54, 282–297pp.

Saptarshi, S.,Ramanjaneyulu, K. , Novák, B., Srinivas, V., Saravana, K. K., Korkowski,C., Roehm,C., Lakshmanan, N. , Nagesh R. I., 2011, " Seismic Retrofitting of Nonductile Beam-Column Sub-assembly Using FRP Wrapping and Steel Plate Jacketing", Construction and Building Materials 25 , 175–182pp.

Seyed, S. M., Hamid, R. R., 2009 , " Strength and Ductility of FRP Web-bonded RC Beams for the Assessment of Retrofitted Beam–Column Joints", Composite Structures 92 ,1325–1332pp.

Sharbatdar, M.K., Saatçioğlu, M., Benmokrane, B., 2011, " Cyclic Flexural Behaviour of Concrete Connections Reinforced with CFRP Bars and Grids" Composite Structures 93 , 2439–2449pp.

Singh, V., Bansal, P.P., Kumar, M. , Kaushik , S.K. , 2014 , " Experimental Studies on Strength and Ductility of CFRP Jacketed Reinforced Concrete Beam-Column Joints " , Construction and Building Materials , v 55 , 194–201pp.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı : Ömer Burak ERTEM

Doğum Yeri ve Yılı : İZMİR, 1989

Uyruğu : T.C.

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl):

Lise : İZMİR Milli Piyango Anadolu Lisesi (09/1999-06/2003)

Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
(09/2008-07/2012)

İş Deneyimleri (Kurum ve Yıl):

İZBAY Yapı Denetim (09/2012-09/2013)

BATI Prefabrik A.Ş. (09/2013-06/2014)

ARŞİPEL Mimarlık ve İnşaat (09/2014-02/2015)

ATHER Mühendislik Taahhüt (03/2015-Devam Ediyor.)

Program Bilgisi:

Sta4cad

Sap2000

AutoCad

MS Project

SketchUp