İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÖLME DUVARLI ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE ALTERNATİF CFRP UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Davut TAŞTAN

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BÖLME DUVARLI ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE ALTERNATİF CFRP UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Davut TAŞTAN
501061208

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 9 Haziran 2008

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

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak bölme duvarlı betonarme çerçevelerin CFRP ile değişik formlarda güçlendirilmesi araştırılmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerine başvurduğum hocam Yard.Doç.Dr. Ercan Yüksel'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmada beraber çalıştığım İnş.Y.Müh. Hasan Özkaynak'a, Araş.Gör. Kıvanç Taşkın'a ve İnş.Y.Müh. Hakan Saruhan'a yardımlarından ötürü teşekkür ederim.

Bu tez çalışması 106M050 numaralı TÜBİTAK projesi ile 31966 numaralı İTÜ BAP projelerinin sağladığı fiziksel imkanlar ile gerçekleştirilmiştir. Her iki kuruluşa da vermiş oldukları destek için teşekkürü bir borç bilirim.

HAZİRAN 2008 Davut TAŞTAN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **x**
ÖZET **xi**
SUMMARY **xiii**

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI **1**
1.1. Önceki Çalışmalar 2

2. DENEYLERİN HAZIRLIĞI **9**
2.1. Genel 9
2.2. Deney Numuneleri 9
2.2.1. BF1 Numunesi 11
2.2.2. IF1 Numunesi 11
2.2.3. IF3-FRP(X) Numunesi 12
2.2.4. IF2-FRP(K) Numunesi 14
2.2.5. IF4-FRP(OD) Numunesi 15
2.3. Deney Numunelerinin Üretimi 16
2.4. Malzeme Dayanımları 22
2.4.1. Beton 22
2.4.1.1. 28 Günlük Beton Silindir Basınç Deneyi 22
2.4.2. Donatı 25
2.4.2.1. Enine Donatı Çekme Deneyi 25
2.4.2.2. Boyuna Donatı Çekme Deneyi 25
2.4.3. CFRP Malzeme Özellikleri 28
2.5. Deney Düzeneği 29
2.5.1. Yükleme Düzeneği 29
2.5.2. Ölçüm Düzeneği 31
2.5.3. Ölçümlerin Değerlendirilmesi 36

3. DENEYLER **38**
3.1. BF1 Numunesi Deneyi 39
3.1.1. Hasar Dağılımı 45
3.2. IF1 Numunesi Deneyi 48
3.2.1 Hasar Dağılımı 53
3.3. IF3-FRP(X) Numunesi Deneyi 57
3.3.1. Hasar dağılımı 64

3.4. IF2-FRP(K) Numunesi Deneyi 67
3.4.1. Hasar Dağılımı 73
3.5. IF4-FRP(OD) Numunesi Deneyi 76
3.5.1. Hasar Dağılımı 82

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 86
4.1. Dayanım ve Davranış 86
4.2. Rijitlik 92
4.3. Enerji Tüketme Kapasiteleri 94
4.4. Hasar Durumu 97

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 100

KAYNAKLAR 102

ÖZGEÇMİŞ 103

KISALTMALAR

CFRP	: Karbon Lif Takviyeli Polimer
FRP	: Lif Takviyeli Polimer
GFRP	: Cam Lif Takviyeli Polimer

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	28 günlük numune silindir basınç dayanımları ..……	22
Tablo 2.2	CFRP Özellikleri …….	28
Tablo 2.3	Ölçümlerde kullanılan kanal numaraları ve kodları ……	35
Tablo 3.1	BF1 numunesi tepe yerdeğiştirmesi-yatay yük değerleri ……	40
Tablo 3.2	BF1 numunesi itme durumunda oluşan çatlak genişlikleri …..…...	46
Tablo 3.3	BF1 numunesi çekme durumunda oluşan çatlak genişlikleri …..…	46
Tablo 3.4	IF1 numunesi tepe yerdeğiştirmesi-yatay yük değerleri …….	49
Tablo 3.5	IF1 numunesi itme yönünde oluşan çatlak genişlikleri …..…….....	54
Tablo 3.6	IF1 numunesi çekme yönünde oluşan çatlak genişlikleri ……	55
Tablo 3.7	IF3-FRP(X) numunesi tepe deplasmanı-yatay yük değerleri ……..	58
Tablo 3.8	IF3-FRP(X) numunesi itme yönünde oluşan çatlak genişlikleri ….	65
Tablo 3.9	IF3-FRP(X) numunesi çekme yönünde oluşan çatlak genişlikleri ..	65
Tablo 3.10	IF2-FRP(K) numunesi tepe deplasmanı-yatay yük değerleri ……..	68
Tablo 3.11	IF2-FRP(K) numunesi itme yönünde oluşan çatlak genişlikleri ….	74
Tablo 3.12	IF2-FRP(K) numunesi çekme yönünde oluşan çatlak genişlikleri ..	74
Tablo 3.13	IF4-FRP(OD) numunesi tepe yerdeğiştirmesi-yatay yük değerleri	77
Tablo 3.14	IF4-FRP(OD) numunesi itme yönünde oluşan çatlak genişlikleri ..	83
Tablo 3.15	IF4-FRP(OD) numunesi çekme yönünde oluşan çatlak genişlikleri	84
Tablo 3.16	IF4-FRP(OD) numunesi K' çatlağının sıvada ve tuğlada genişlikleri ……...	84
Tablo 4.1	Tüm deney numunelerinin özeti ……..	87
Tablo 4.2	Deney Numunelerinin Rijitlik Değerleri …….	92
Tablo 4.3	Güçlendirilmiş Çerçevelerin Yalın Çerçeveye Göre Rijitlik Değişimi ……..	93
Tablo 4.4	Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması ……..	95

ŞEKİL LİSTESİ

			Sayfa No
Şekil 1.1	**:**	Bölme duvarlara FRP'lerin uygulanma biçimi ……	3
Şekil 1.2	**:**	Deney numunelerine ait zarf eğrisi ……..	4
Şekil 1.3	**:**	CFRP uygulama biçimleri ve genişlikleri ……	5
Şekil 1.4	**:**	Kontrol numunesi ve güçlendirilmiş numunelere ait zarf eğrileri ……..	6
Şekil 1.5	**:**	Numune boyutu, donatı şeması ve II.Numunenin FRP uygulama biçimi ……...	7
Şekil 1.6	**:**	Numunelere ait zarf eğrileri …….	7
Şekil 2.1	**:**	Tüm deney numunelerine ait geometri ve donatı şeması ….	10
Şekil 2.2	**:**	BF1 numunesine ait genel geometri ve yükleme düzeni ….	11
Şekil 2.3	**:**	IF1 numunesine ait genel geometri ve yükleme düzeni …..	12
Şekil 2.4	**:**	IF3-FRP(X) numunesi CFRP uygulaması ve numune boyutları ……...	13
Şekil 2.5	**:**	IF2-FRP(K) numunesi CFRP uygulama biçimi ve ankraj boyutları ……...	14
Şekil 2.6	**:**	IF4-FRP(OD) numunesi CFRP uygulaması ……	16
Şekil 2.7	**:**	Deney numunelerinin kalıplarının kurulumu ……..	17
Şekil 2.8	**:**	Donatıların kalıplara yerleştirilmesi ……	17
Şekil 2.9	**:**	Beton döküm işlemi …….	18
Şekil 2.10	**:**	Numune kolon kiriş birleşim bölgesinde ölçüm elemanları	18
Şekil 2.11	**:**	Kullanılan özel tuğlalar ……	19
Şekil 2.12	**:**	Üretimi tamamlanan sıvalı ve sıvasız bölme duvarlı numuneler ……	19
Şekil 2.13	**:**	Duvarlara uygulanan CFRP ve Ankraj Fitilleri ….....	21
Şekil 2.14	**:**	Güçlendirilen numunelere ait CFRP uygulamaları ……..	21
Şekil 2.15	**:**	28 günlük beton basınç dayanımı deney düzeneği ……...	23
Şekil 2.16	**:**	Numune 1 gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi ……..	23
Şekil 2.17	**:**	Numune 2 gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi ……..	24
Şekil 2.18	**:**	Numune 3 gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi ……..	24
Şekil 2.19	**:**	28 günlük betonda gerilme-şekildeğiştirme ilişkisi karşılaştırılması ……	24
Şekil 2.20	**:**	Enine donatı numunelerine ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği ……...	25
Şekil 2.21	**:**	Donatıların deney düzeneğine yerleştirilmesi ……..	26
Şekil 2.22	**:**	Boyuna donatı numune 1'e ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği ……...	26
Şekil 2.23	**:**	Boyuna donatı numune 2'ye ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği ……...	27
Şekil 2.24	**:**	Boyuna donatı numune 3'e ait gerilme-şekildeğiştirme grafiği ……...	27
Şekil 2.25	**:**	Deney sonrası hasar görmüş numunelerin görünüşü ……...	27

Şekil 2.26 : Deney ve yükleme düzeneği …… 30
Şekil 2.27 : Deney ve yükleme düzeneği …… 31
Şekil 2.28 : Doğu yüzü yerdeğiştirme ölçerlerin yerleşimi ve kanal numaraları …… 33
Şekil 2.29 : Batı yüzü yerdeğiştirme ölçer düzeni ve kanal numaraları .. 34
Şekil 2.30 : Şekildeğiştirme ölçer yerleşim bölgeleri ve kanal numaraları …… 34
Şekil 2.31 : Şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik hesabında kullanılan geometri ……... 37
Şekil 3.1 : BF1 numunesinde normal kuvvetin adım sayısı ile değişimi …… 39
Şekil 3.2 : BF1 numunesi yükleme patronu …….. 40
Şekil 3.3 : BF1 numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi grafiği …… 41
Şekil 3.4 : BF1 numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi .. 43
Şekil 3.5 : BF1 numunesi enerji tüketme kapasitesi-göreli kat ötelemesi grafiği ……... 43
Şekil 3.6 : BF1 numunesi yatay yük-taban yerdeğiştirmesi grafiği ….. 44
Şekil 3.7 : BF1 numunesi şekildeğiştirme ölçer-kat göreli ötelemesi grafiği ……... 44
Şekil 3.8 : BF1 numunesi çatlak krokisi …… 45
Şekil 3.9 : BF1 numunesinin deney sırasındaki görünümü ……... 47
Şekil 3.10 : IF1 numunesi eksenel yük-adım sayısı grafiği ……..... 48
Şekil 3.11 : IF1 numunesi yükleme patronu …… 49
Şekil 3.12 : IF1 numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi grafiği …….. 50
Şekil 3.13 : IF1 numunesi yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi 52
Şekil 3.14 : IF1 numunesi enerji tüketme kapasitesi-göreli kat ötelemesi grafiği ……... 52
Şekil 3.15 : IF1 numunesi doğu yüzü çatlak krokisi ……... 53
Şekil 3.16 : IF1 numunesi batı yüzü çatlak krokisi ……. 54
Şekil 3.17 : IF1 numunesinin deney sırasındaki görünümü …… 56
Şekil 3.18 : IF3-FRP(X) numunesinde normal kuvvetin adım sayısı ile değişimi …… 57
Şekil 3.19 : IF3-FRP(X) numunesine uygulanan yükleme patronu …… 58
Şekil 3.20 : IF3-FRP(X) numunesi yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi grafiği ……... 60
Şekil 3.21 : IF3-FRP(X) numunesi yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi …….. 62
Şekil 3.22 : IF3-FRP(X) numunesi enerji tüketme kapasitesi – göreli kat ötelemesi grafiği ……. 63
Şekil 3.23 : IF3-FRP(X) numunesi yük – temel yerdeğiştirmesi grafiği 63
Şekil 3.24 : IF3-FRP(X) numunesi çatlak krokisi ……... 64
Şekil 3.25 : IF3-FRP(X) numunesinin deney sırasında görünümü ……. 66
Şekil 3.26 : IF2-FRP(K) numunesinde normal kuvvetin adım sayısı ile değişimi …… 67
Şekil 3.27 : IF2-FRP(K) numunesi yükleme patronu …….. 68
Şekil 3.28 : IF2-FRP(K) numunesi yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi grafiği ……... 71
Şekil 3.29 : IF2-FRP(K) numunesi yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi …….. 71

Şekil 3.30 : IF2-FRP(K) numunesi enerji tüketme kapasitesi-kat göreli ötelemesi grafiği ……... 72
Şekil 3.31 : IF2-FRP(K) numunesi yatay yük – temel yerdeğiştirmesi grafiği ……... 72
Şekil 3.32 : IF2-FRP(K) numunesi çatlak krokisi ……... 73
Şekil 3.33 : IF2-FRP(K) numunesinin deney sırasındaki görünümü ….. 75
Şekil 3.34 : IF4-FRP(OD) numunesinde normal kuvvetin adım sayısı ile değişimi …….. 76
Şekil 3.35 : IF4-FRP(OD) numunesi yükleme patronu ……... 77
Şekil 3.36 : IF4-FRP(OD) numunesi yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi grafiği ……... 79
Şekil 3.37 : IF4-FRP(OD) numunesi yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrisi …….. 80
Şekil 3.38 : IF4-FRP(OD) numunesi enerji tüketme kapasitesi-göreli kat ötelemesi grafiği ……. 80
Şekil 3.39 : IF4-FRP(OD) numunesi yatay yük – temel yerdeğiştirmesi grafiği ……... 81
Şekil 3.40 : IF4-FRP(OD) numunesi çatlak krokisi …… 82
Şekil 3.41 : IF4-FRP(OD) numunesinin deney sırasındaki görünümü ... 85
Şekil 4.1 : Deney numunelerine ait karşılaştırmalı zarf eğrileri …… 88
Şekil 4.2 : BF1 numunesi şekildeğiştirme ölçer ve yerdeğiştirme ölçer esaslı eğrilik grafikleri ……. 90
Şekil 4.3 : IF1 numunesi şekildeğiştirme ölçer ve yerdeğiştirme ölçer esaslı eğrilik grafikleri ……. 90
Şekil 4.4 : IF3-FRP(X) numunesi şekildeğiştirme ölçer ve yerdeğiştirme ölçer esaslı eğrilik grafikleri ……. 91
Şekil 4.5 : IF2-FRP(K) numunesi şekildeğiştirme ölçer ve yerdeğiştirme ölçer esaslı eğrilik grafikleri ……. 91
Şekil 4.6 : IF4-FRP(OD) numunesi şekildeğiştirme ölçer ve yerdeğiştirme ölçer esaslı eğrilik grafikleri ……. 91
Şekil 4.7 : Numunelerin rijitlik değişimleri ……... 93
Şekil 4.8 : Tüm deney numunelerine ait karşılaştırmalı enerji tüketim kapasitesi …….. 94
Şekil 4.9 : Yalın çerçeveye göre numunelerin enerji tüketme kapasiteleri oranı …….. 96
Şekil 4.10 : Bölme duvarlı çerçeveye göre numunelerin enerji tüketme kapasiteleri oranı …….. 97
Şeki 4.11 : Deney sonunda numunelerin hasar durumu ……. 99

SEMBOL LİSTESİ

ϕ	:	Donatı çapı
s	:	Etriye aralığı
σ	:	Gerilme
ε	:	Şekil değiştirme
P	:	Kuvvet
h	:	Yükseklik
d	:	Beton silindirin çapı
N	:	Normal Kuvvet
f_{ck}	:	Beton karakteristik basınç dayanımı
A_k	:	Kesit alanı
δ	:	Göreli kat yerdeğiştirmesi
w	:	Eşdeğer çapraz çubuğun genişliği
L	:	Eşdeğer çapraz çubuğun boyu
θ	:	Kesitteki dönme
χ	:	Kesitteki eğrilik
δ_1 ,δ_2	:	Kesitteki şekildeğiştirmeler

BÖLME DUVARLI ÇERÇEVELERİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE ALTERNATİF CFRP UYGULAMALARI

ÖZET

Bu çalışmada bölme duvarlı betonarme çerçevelerin CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) ile değişik formlarda güçlendirilmesi sonucu sistem davranışındaki değişim incelenmiştir. Bu amaçla 1/3 ölçekli tek katlı, tek açıklıklı yalın betonarme çerçeve, bölme duvarlı betonarme çerçeve ve güçlendirilmiş bölme duvarlı betonarme çerçeveler üretilerek depremi benzeştiren tersinir tekrarlı yatay yük ve sabit düşey yük etkisinde test edilmiştir.

Türkiye'de daha önce meydana gelmiş depremler göstermiştir ki kötü işçilik ve yetersiz mühendislik hizmeti almış yapılar büyük hasar görmüştür. Bu sebepten dolayı mevcut yapıların uygun biçimde güçlendirilmesi gerekmektedir. Yaygın olarak uygulanan betonarme perde ilavesi gibi güçlendirme yöntemlerinin yanında, özellikle bölme duvarlarının taşıyıcı elemanlara dönüştürüldüğü yapılarda, duvarları CFRP ile güçlendirmek yapıya ek kütle ilavesi olmadan ve yapıyı kullananlara rahatsızlık vermeden uygulaması bakımından öne çıkmaktadır. Bu avantajların yanında sahip olduğu yüksek dayanım, hafiflik ve şekil alabilme özellikleri, alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak kullanılmasını yaygınlaştırmaktadır.

Mimari sebeplerden ötürü betonarme taşıyıcı sisteme ilave edilen tuğla duvarlar her ne kadar taşıyıcı eleman olarak statik ve dinamik hesaplarda göz önüne alınmasa da çerçevenin yatay rijitliğini arttırmakta ve kütle artışı sebebiyle yapının dinamik özelliklerini etkilemektedir. Çerçevenin yatay rijitliğini önemli ölçüde arttırmasına rağmen bölme duvarlarda kullanılan tuğlanın gevrek bir malzeme olmasından dolayı, oluşan çatlaklar bu yatay rijitliği hızla azaltmakta bir süre sonra duvar tamamen devreden çıkarak yatay taşıma gücünü kaybetmektedir. Duvarın hasar görerek devreden çıkmasını engellemek, hem duvarın düzlem dışı hareketinin önüne geçmek hem de duvarın betonarme taşıyıcı elemanlarla birlikte çalışmasını sağlamak açısından önemlidir. Bunu sağlamak için yapıda mevcut olan duvarları güçlendirmek hem yapıdaki hasarı en aza indirmeyi sağlayacak hem de yapının yatay yük dayanımını önemli ölçüde arttıracaktır. Bu tez çalışmasında bölme duvarları CFRP ile güçlendirilmiş farklı numunelerin davranışı araştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, amaç ve daha önce yapılmış olan benzer çalışmalar anlatılmıştır.

İkinci bölümde, deney programındaki numunelerin üretilmesi, deney düzeneğinin oluşturulması, deneyler üzerinden alınacak ölçümlerin yazılım ve donanım açısından hazırlanması anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde, test edilen numunelerin hasar durumları ve davranışlarını anlayabilmek için gerekli grafik ve resimler sunulmuş, her numunede meydana gelen değişimler çevrim numaralarıyla birlikte anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmış, güçlendirme yöntemlerinin birbirleriyle ve kontrol numuneleriyle karşılaştırılmaları yapılarak her bir güçlendirme formunun avantajları ve dezavantajları yorumlanmıştır.

ALTERNATIVE CFRP APPLICATIONS FOR STRENGTHENING THE MASONRY INFILLED REINFORCED CONCRETE FRAMES

SUMMARY

Throughout this study the behavior of brick-infilled reinforced concrete frames strengthened with CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) is subject to research. In order to apprehend this behavior 1/3 scale, one story, one bay reinforced bare frame, masonry infilled RC frame and strengthened RC frames are constructed and tested under reversed cyclic loading to simulate earthquake and under axial loading to simulate dead load of the structure.

In Turkey recent earthquakes have demonstrated that seismically deficient designed reinforced concrete structures had significant damages. This is why existing structures have to be rehabilitated properly. Besides the strengthening techniques which are most commonly used such as RC infills, strengthening hollow clay blocks with CFRP brings out such benefits as not increasing the mass of the structure and without giving any disturbance to the occupants, in which masonry infilled reinforced concrete frames used as structural system. Furthermore, owing to its high strength, lightness and ductility makes us to test CFRP application on specimens as an alternative strengthening technique.

Hollow clay brick walls, which are applied to frames in consideration of architectural reasons, despite being neglected on dynamic and static estimations, have a significant effect on increasing lateral stiffness and changes the dynamic characteristics due to the mass increase of the structure. Although increasing the lateral stiffness, due to the fragility of hollow clay bricks used as infill, cracks occur on walls and infill walls have lost its lateral load carrying capacity. To prevent the failure of infill walls, is not only counteracting the out of plane movement but also important to obtain the collaboration of walls and frame, to enhance the lateral load carrying capacity. Retrofitting existing brick walls on infilled frames with a proper technique decrease the cracks occurring on structure and also achieve to increase lateral load carrying capacity of the structure considerably. In this experiment schedule as an alternative strengthening technique CFRP applied specimens are subjected to research.

In the first chapter, the aim of the study is illustrated and searched thoroughly recent studies which were identical to this subject were represented.

In the second chapter, construction of the specimens which were decided to test on experimental schedule, constitution of setup, preparation of the software and hardware measurements are represented.

In the third chapter, to distinguish the behavior of tested specimens, necessary charts and photographs are represented; also damage circumstances of the specimens are

attached. Changes which were occurred on each cycle are represented for each specimen by cycle numbers.

In the fourth chapter, the evaluation of the test results were made, comparison of the strengthened specimens relative to control specimens were commented also the advantages and disadvantages of the both strengthening techniques are disputed.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

Ülkemizde meydana gelmiş depremlerde çok sayıda betonarme yapı kısmen veya tamamen yıkılmıştır. Düşük beton dayanımı, kısa kolon, yetersiz işçilik, güçlü kiriş-zayıf kolon, yumuşak kat gibi yetersizlik ve düzensizlikler sebebiyle çok sayıda mal ve can kaybı meydana gelmiştir. Ülkemizdeki mevcut yapı stoğu incelendiğinde benzer düzensizliklere sahip çok sayıda betonarme yapı bulunmaktadır. Bu tür yapıların, deprem sırasında gerekli dayanımı gösterebilmesi dolayısıyla büyük hasarların ve can kayıplarının önüne geçilebilmesi için, uygun biçimde güçlendirilmesi gerekmektedir. Yapıya perde eklenmesi, kolon mantolanması, çelik çapraz eklenmesi yaygın olarak kullanılan güçlendirme tekniklerindendir. Ancak bu yöntemlerin uygulaması aşamasında yoğun iş gücü gerekmesi ve yapıda yaşayanların tahliyesinin gerekmesi güçlendirme süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Bu nedenle uygulanabilirliği daha kolay olan ve gerekli olan dayanım ve rijitlik artışını sağlayabilecek güçlendirme yöntemlerine ihtiyaç vardır.

Betonarme yapı sistemlerinde, bölme duvarları taşıyıcı eleman olarak hesaba katılmamakta statik ve dinamik hesaplarda yük ve kütle olarak dikkate alınmaktadır. Yapıya olan etkisi dikkate alınmasa da bölme duvarlar, deprem sırasında çerçeveye ek rijitlik kazandırarak yapının periyodunu azaltır ve kuvvet dağılımında etkili olur. Ayrıca duvarlar, ortaya çıkan kalıcı şekildeğiştirmeler sebebiyle deprem enerjisini sönümlemede çerçeveye önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Ancak, bölme duvarların tüm bu yararlı etkisi duvar çevresi ve üzerinde oluşan çatlaklarla beraber yavaş yavaş ortadan kalkacak ve duvarlar tamamen çatlayarak ve/veya düzlemleri dışına devrilerek devre dışı kaldığında, taşıyıcı sistem deprem etkilerine yalın çerçeve ile karşı koyacaktır. Bu aşamada bölme duvarların etkisi sadece kütle olarak sürecektir. Bölme duvarların yararlı etkilerinin deprem süresince devam etmesi bir başka deyişle gevrek kırılma sonucu çerçeveden ayrılmasının önüne geçilmesi, yapıya büyük bir dayanım, yanal rijitlik ve enerji yutma kapasitesi sağlayacaktır. Dolayısıyla bölme duvarların güçlendirilmesi alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle ülkemiz gibi yüksek risk grubundaki orta

katlı bölme duvarlı betonarme yapıların çoğunlukta olduğu bir ortamda mevcut bölme duvarları güçlendirmek, yapıya sınırlı ölçüde müdahale ederek, dayanım ve rijitliğin önemli ölçüde artırılması imkânını vermektedir.

Son yıllarda yeni bir güçlendirme tekniği olarak lif takviyeli polimerler (FRP) pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. FRP kompozitleri epoksi reçinesiyle uygulanarak yapı elemanlarına büyük dayanım ve rijitlik kazandırmaktadır. Bu özelliğinin yanında kolay uygulanabilirliği, uygulama hızı, hafifliği ve şekil alabilme yeteneği ile diğer güçlendirme yöntemlerine göre önemli avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada bölme duvarlı betonarme çerçevelerde FRP uygulamasıyla elde edilebilecek alternatif bir güçlendirme yöntemi aranmıştır. Duvara değişik formlarda uygulanan FRP şeritlerin sisteme kattığı yanal rijitlik, enerji sönüm kapasitesi, dayanım gibi özellikleri irdelenerek hızlı ve kolay uygulanabilen bir güçlendirme yöntemi önerilmiştir.

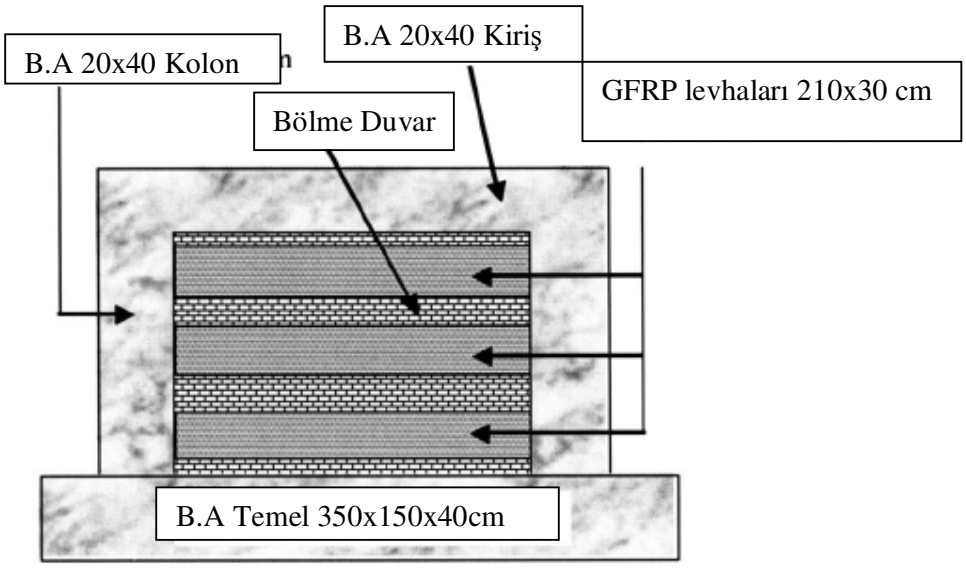
1.1. Önceki Çalışmalar

Bölme duvarların kompleks yapısını anlamak için ilk yaklaşımlar Polyakov [1] tarafından yapılmıştır. Önerdiği eşdeğer çubuk yönteminde, çerçeveye uçtan mafsallı çapraz basınç çubukları eklenmiştir.

Smith ve Carter [2], bu eşdeğer çubuk fikrini, bölme duvarların yatay rijitliğini eşdeğer çubuğun etkin genişliğini esas alarak gerilme analiziyle hesaplamıştır. Hesaplar sonucunda yalın çerçevelerin eğilme kırılması şeklinde, kolon uçlarında dört mafsal oluşarak göçme durumuna geldiği, bölme duvarlı çerçevelerin ise çekme kolonunda kayma kırılması şeklinde mekanizma durumuna geldiği görülmüştür.

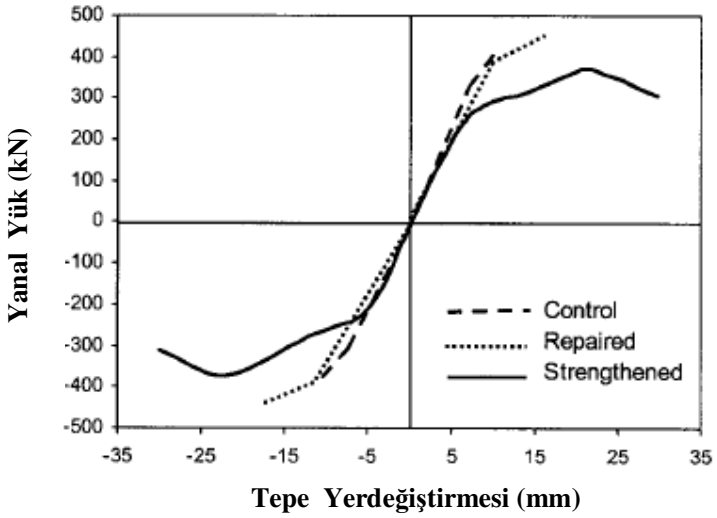
Almusallam ve Al-Salloum [3], yapmış olduğu çalışmada betonarme bölme duvarlı çerçevelerin FRP ile güçlendirilmesi konusu incelenmiştir. Bu çalışmada 1/2 ölçekli betonarme ve 1/1 ölçekli bölme duvarlar kullanılarak deney numuneleri hazırlanmıştır. I-C isimli ilk numune kontrol numunesi olarak oluşturulmuş ve bölme duvarlı betonarme çerçeve olarak tasarlanıp çevrimsel yanal yükler etkisinde göçme durumuna ulaşana dek denenmiştir. I-R isimli ikinci numune, kontrol numunesinin onarılıp GFRP (cam elyaflı lif takviyeli polimer) ile güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. I-S isimli üçüncü numune ise bölme duvarların GFRP ile güçlendirilmesi ile elde edilmiştir.

Bölme duvarın güçlendirilmesinde kullanılan GFRP'ler 300 mm genişliğinde harç derzlerine paralel olarak 2100x300 mm boyutlarında hazırlanmış ve epoksi reçinesi ile yapıştırılmıştır. Şekil 1.1'de FRP'lerin duvara uygulanma biçimi görülmektedir.



Şekil 1.1: Bölme Duvarlara FRP'lerin Uygulanma Biçimi

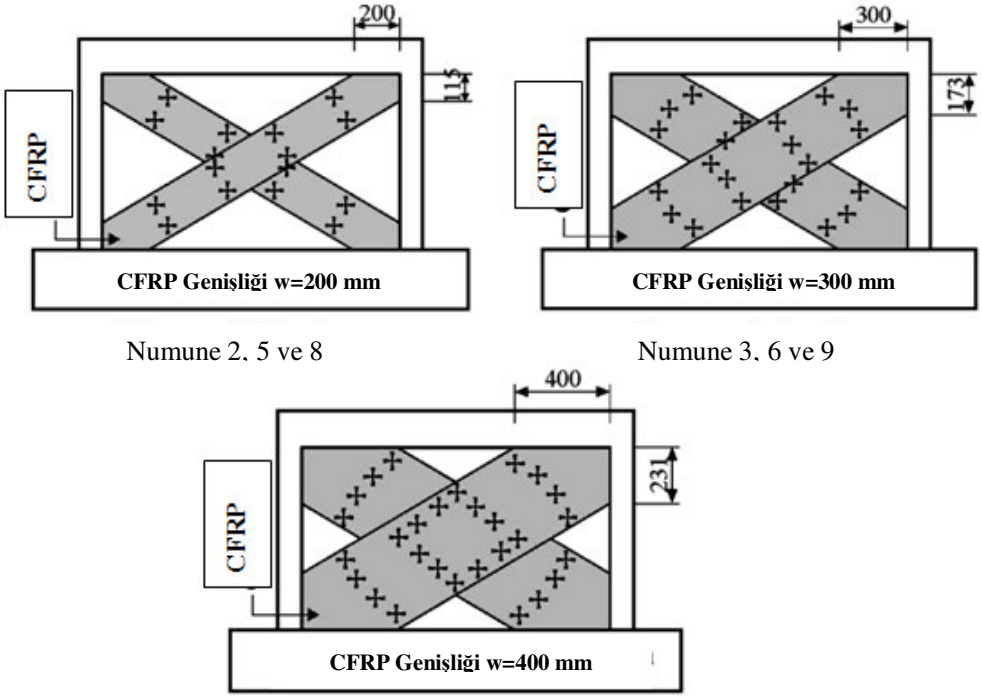
Bu numuneler ile yapılan deneyler sonucunda ulaşılan davranışa ait zarf eğrisi Şekil 1.2'de verilmiştir. Görüldüğü üzere kontrol numunesi I-C 417 kN yük taşıyabilirken 11 mm yerdeğiştirme yapmıştır. I-R numunesi ise 442 kN yük taşırken 16.2 mm yerdeğiştirme yapmıştır. Son olarak I-S numunesi 371 kN yük taşırken 21.8 mm yerdeğiştirme yapmıştır. Bu sonuçlar kontrol numunesine göre oranlanırsa sistemin sünekliği onarılıp güçlendirilen numunede (I-R) yaklaşık olarak 1.5 kat, güçlendirilen numunede (I-S) ise 2 kat artmıştır.



Şekil 1.2: Deney Numunelerine Ait Zarf Eğrileri

Deney sonuçlarından da görüldüğü üzere FRP uygulaması, bölme duvarın dayanımını ve sünekliğini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bunlara ek olarak FRP güçlendirmesi sonucu bölme duvarın deformasyon kapasitesi kontrol numunesine oranla 3 kat artmıştır. Tüm bu sonuçlar göstermiştir ki FRP ile güçlendirilmiş bölme duvarlı çerçevelerin sünekliği ve rijitliği güçlendirilmemiş bölme duvarlı çerçevelere oranla önemli ölçüde artış göstermiş, buna ek olarak da bölme duvarda ve çerçevede oluşan hasarların önemli ölçüde azalmasını sağlamıştır.

Altin ve diğerleri [4], yapmış oldukları çalışmada 1/3 ölçekli tek açıklıklı ve tek katlı bölme duvarlı betonarme çerçevelerin CFRP ile güçlendirilmesi konusunu incelemişlerdir. Numune boyutları, kolonlarda 100 x 150 mm ve kirişlerde ise 150 x 150 mm olarak seçilmiştir. Bölme duvarlar için kullanılan tuğlalar 1/3 ölçekli 65 x 95 x 95 mm boyutlarındadır. İlk numune kontrol numunesi olarak seçilmiş bölme duvarlı betonarme çerçevedir. Diğer 9 numune, farklı şekillerde bölme duvarlı çerçevelerin CFRP ile güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. 2, 3 ve 4. numuneler bölme duvarın her iki tarafına CFRP çaprazların uygulanmasıyla elde edilmiştir. Numune 2'de 200 mm genişlikli CFRP, numune 3'de 300 mm ve numune 4'de 400 mm genişlikli CFRP çaprazlar kullanılmıştır. Numune 5, 6, 7 sadece bölme duvarın ön yüzünün CFRP ile güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. Numune 8, 9, 10 ise sadece bölme duvarın arka yüzünün güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. Kullanılan CFRP genişliklerine göre uygulama biçimleri Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Numune 2, 5 ve 8

Numune 3, 6 ve 9

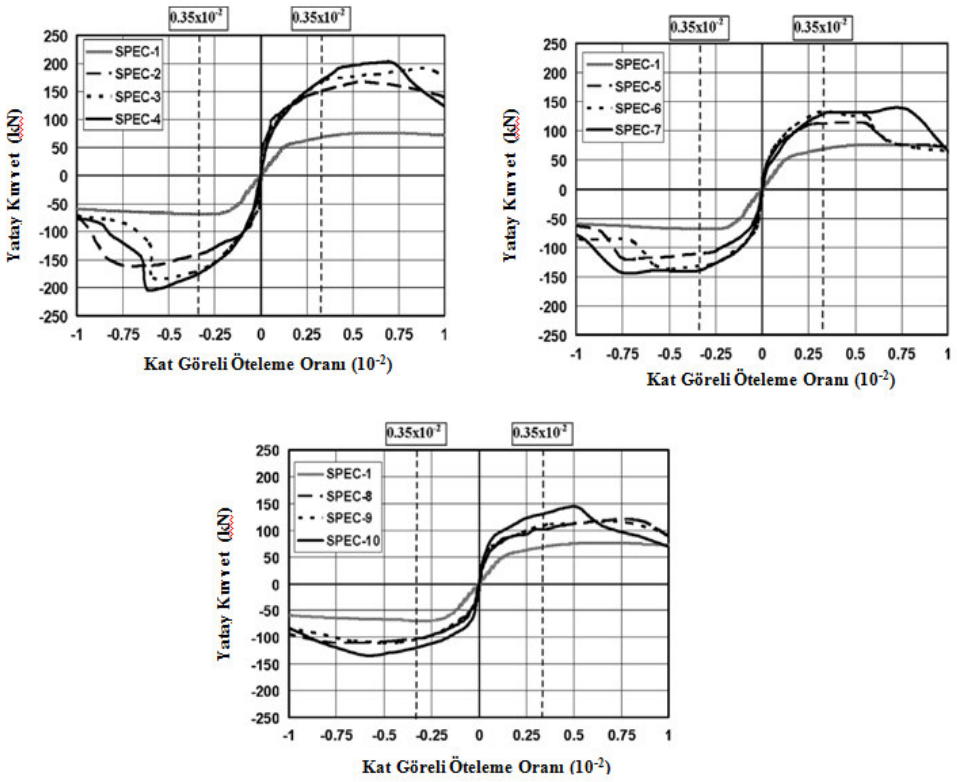
Numune 4, 7 ve 10

Şekil 1.3: CFRP Uygulama Biçimleri Ve Genişlikleri

Bu şekilde incelenen tüm numunelere ait zarf eğrileri Şekil 1.4'de verilmiştir. Görüldüğü üzere güçlendirme için kullanılan CFRP, bölme duvarlı betonarme çerçevelerin yanal dayanımını ve rijitliğini önemli ölçüde arttırmıştır. Bu dayanım artışının sağlanabilmesi için CFRP ile duvar ve çerçeve arasındaki ankrajların son derece dikkatli ve özenli uygulanması gerektiği belirtilmiştir.

Bölme duvarın her iki yüzü CFRP ile güçlendirilen numunelerin yanal dayanımı tek tarafı güçlendirilen numunelere göre 2.18 ile 2.61 katı daha fazladır, aynı şekilde yatay rijitliklerin de 4.00 ile 6.00 katı arasında arttığı gözlemlenmiştir. Bölme duvarın tek yüzünün CFRP ile güçlendirildiği numunelerin yanal yük taşıma kapasitesi kontrol numunesine göre 1.57 ile 1.85 katı arasında, rijitlikleri de 3.81 ile 5.70 katı arasında arttığı görülmüştür.

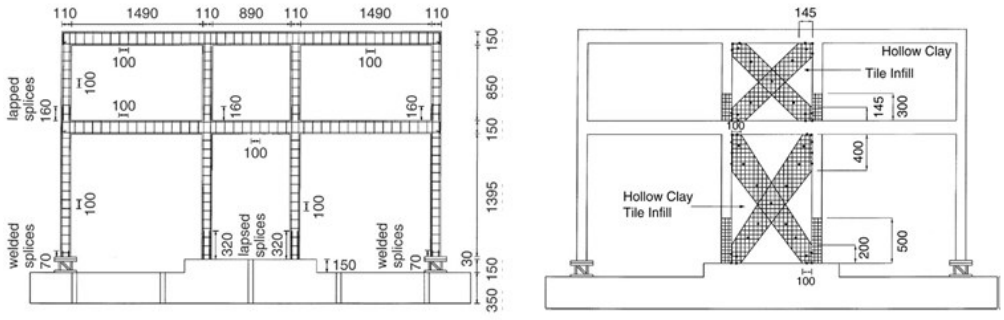
Uygulanan CFRP genişliklerine göre bakıldığında her iki yüzü güçlendirilen numunelerde, 200 mm genişlikli güçlendirilmiş numuneye (numune 2) göre 300 mm genişlikli numunedeki (numune 3) rijitlik artışı yaklaşık % 50 daha fazladır. Aynı şekilde bölme duvarın tek tarafı güçlendirilen numunelerde bu artış % 31 ile % 36 arasında değişmektedir.



Şekil 1.4: Kontrol Numunesi Ve Güçlendirilmiş Numunelere Ait Zarf Eğrileri

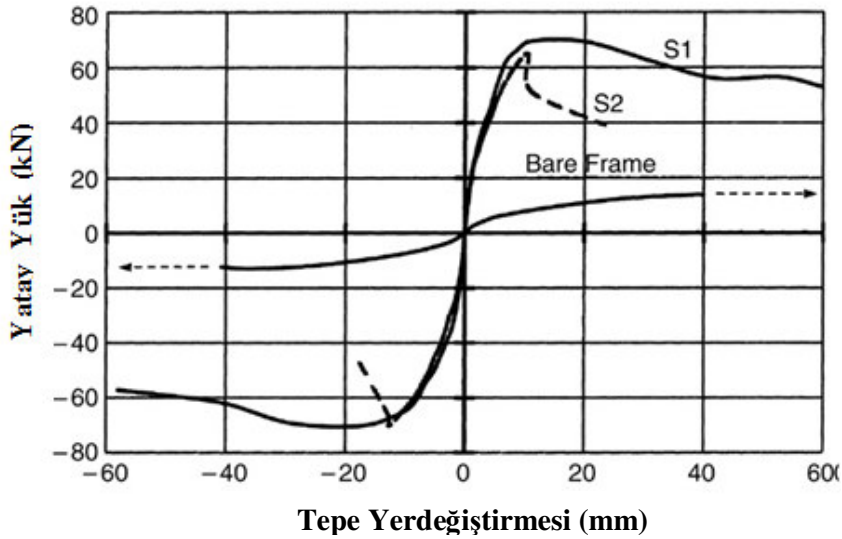
Ozcebe ve diğerleri [5], yapmış oldukları çalışmada iki farklı güçlendirme yöntemini, ülkemizin yapı stoğunun özelliklerini dikkate alarak, deprem açısından yetersiz betonarme numunelerde denemişlerdir. Bu amaçla iki katlı üç açıklıklı 1/3 ölçekli betonarme çerçeveler kullanılmıştır. İki farklı güçlendirme tekniğini uygulamak için; I. Numune (S1 Kodlu), hasır donatılı beton dolguyla güçlendirilmiştir. II. Numune (kodu S2) ise tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesiyle elde edilmiştir.

Numuneler Türkiye'deki betonarme yapıların yetersizlikleri dikkate alınarak düşük beton dayanımı, yetersiz filiz boyları, birleşim bölgelerinde sargı donatısı eksikliği, 90^0 lik etriye kancaları ve çok kötü beton kalitesiyle üretilmişlerdir. Bunların yanında yumuşak kat durumunu örneklemek üzere çerçevenin birinci katı ikinci kattan daha yüksek üretilmiştir. Numunedeki tüm kolonlar 110 x 110 mm ve tüm kirişler 110 x 150 mm boyutlarındadır. Beton basınç dayanımı yaklaşık olarak 10 MPa olarak seçilmiştir. Kolon donatısı 4ϕ8, etriye olarak da ϕ4/100 seçilmiştir. Numune boyutları ve donatı şeması Şekil 1.5'de görülmektedir.



Şekil 1.5: Numune Boyutu, Donatı Şeması Ve II.Numunenin FRP Uygulama Biçimi

İlk numune (S1) hasır donatılı beton bölme ile güçlendirilmiştir. Bölme ile çerçevenin beraber çalışabilmesi için ankraj donatısı olarak 10 mm'lik donatı, kolon, kiriş ve temele epoksi reçinesiyle uygulanmıştır. Hasır donatı olarak da 150 mm arayla 6 mm'lik donatı kullanılmıştır. Bölme için kullanılan betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak 30 MPa dır. II. Numune tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. CFRP tuğla duvarın her iki yüzüne çapraz olarak uygulanmış, kolon ve kirişlere ankre edilmiştir. CFRP uygulaması ve ankraj yerleri Şekil 1.5'de gösterilmiştir.



Şekil 1.6: Numunelere Ait Zarf Eğrileri

Numunelerin karşılaştırılabilmesi için zarf eğrileri Şekil 1.6'da verilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere güçlendirilmiş çerçevelerin dayanım ve rijitliği yalın çerçevenin çok üzerindedir. II. Numune'nin (S2) dayanımı ve başlangıç rijitliği I. Numuneye oldukça yakındır, ancak S2'nin pik yük taşıma değerinden sonra dayanımında ani bir

azalma meydana gelmiştir. Bunun sebebi CFRP ankrajların sıyrılarak devreden çıkmasıdır.

Sonuç olarak her iki güçlendirme yöntemi yanal dayanımın yaklaşık olarak % 50 artmasını, rijitliğin de yalın çerçeveye göre en az 10 kat artmasını sağlamıştır. Her ne kadar iki numunenin dayanımı aynı olsa da CFRP ile güçlendirilmiş numune de pik değerden sonra önemli bir dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Bu çalışmadan da görüldüğü üzere, CFRP ile bölme duvarlarının güçlendirilmesi yöntemi hem uygulama kolaylığı açısından hem de yapıda yaşayanlara rahatsızlık vermeden istenilen yatay rijitliği yapıya kazandırmaktadır.

2. DENEYLERİN HAZIRLIĞI

2.1 Genel

Dolgu duvarların CFRP kompozitleriyle güçlendirilmesi sonucu sistemin yatay yükler etkisindeki davranışı bu çalışmada incelenmiştir. Deney numuneleri olarak 1/3 geometrik ölçekli, bir katlı ve bir açıklıklı betonarme çerçeveler kullanılmıştır. Deneyler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında bulunan rijit deney platformu üzerine monte edilmiş özel bir çelik çerçeve içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri deprem yüklerini benzeştiren tersinir tekrarlı yanal yükler ve yapı üzerindeki sabit yükü temsil eden düşey yük etkisinde test edilmiştir. Düşey yük tüm deney numunelerinde, kolonların eksenel yük taşıma kapasitesinin yaklaşık %10'u olan 80 kN olarak alınmıştır. Deney numuneleri özel yükleme çerçevesine ankastre olarak bağlanmıştır.

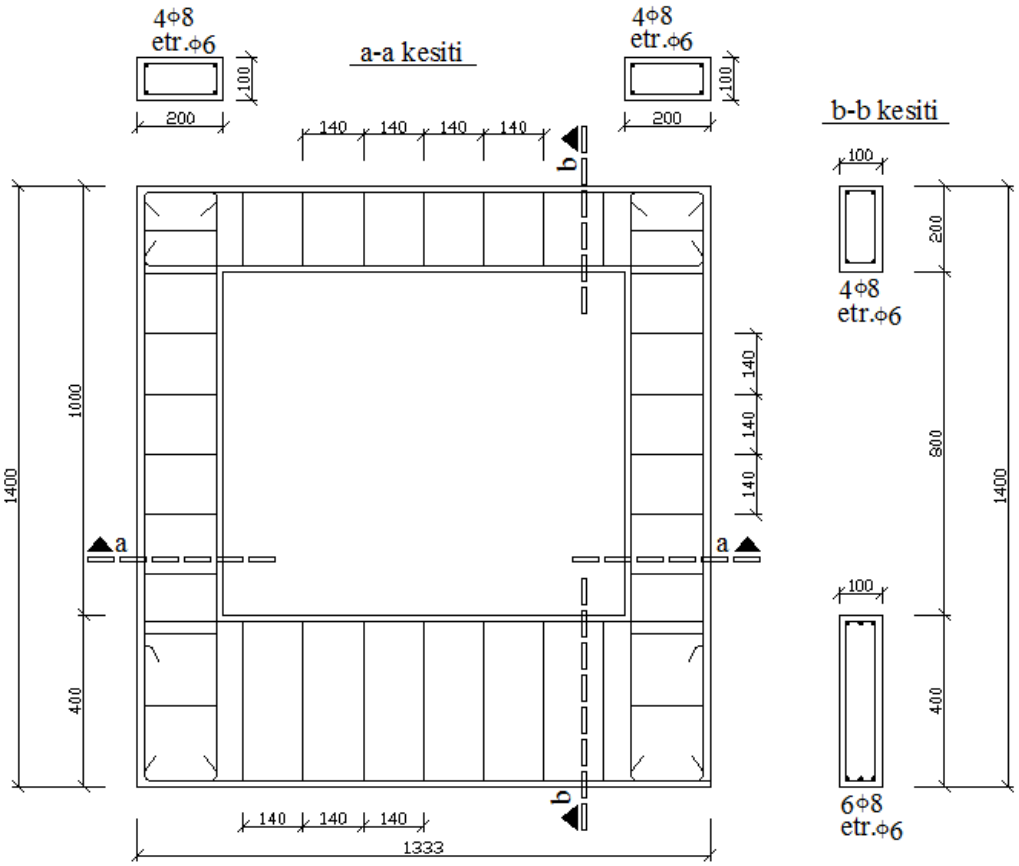
2.2 Deney Numuneleri

Deney programı için toplam 5 adet deney numunesi üretilmiştir. Tüm deney numunelerinin betonarme çerçeveleri hem geometri hem de donatı bakımından birbirlerine özdeştir. Deneysel çalışma için üretilen numunelerden ilk ikisi kontrol amaçlı tasarlanan numunelerdir. İlk numune BF1 olarak isimlendirilmiş ve betonarme yalın çerçeve olarak tasarlanmıştır. İkinci numune IF1 olarak isimlendirilmiş ve betonarme yalın çerçeveye boşluklu tuğla duvar örülerek üretilmiş dolgu duvarlı numunedir. Deney programındaki güçlendirilmiş deney numunelerinin davranışları bu iki numuneyle göreceli olarak karşılaştırılmıştır. Diğer üç numune CFRP kompozitleriyle dolgu duvarların güçlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Dolayısıyla hem güçlendirilmiş numunelerin birbirleriyle göreli olarak karşılaştırılması hem de kontrol numuneleriyle güçlendirilmiş numunelerin göreli olarak karşılaştırılabilmesi mümkün olmuştur. Üçüncü numune IF3-FRP(X), dördüncü numune IF2-FRP(K) ve beşinci numune de IF4-FRP(OD) olarak

isimlendirilip tuğla duvarlara CFRP kompozitlerinin daha sonra anlatılacağı şekillerde uygulanmasıyla elde edilmişlerdir.

Tüm deney numunelerinde dayanımı yaklaşık olarak 19 MPa olan beton ve dayanımı yaklaşık olarak 400 MPa olan donatı kullanılmıştır. Geometrik özellikler ve malzeme özellikleri her numunede aynı tutularak bu parametrelerin göreli karşılaştırmada bir fark yaratmasının önüne geçilmiştir.

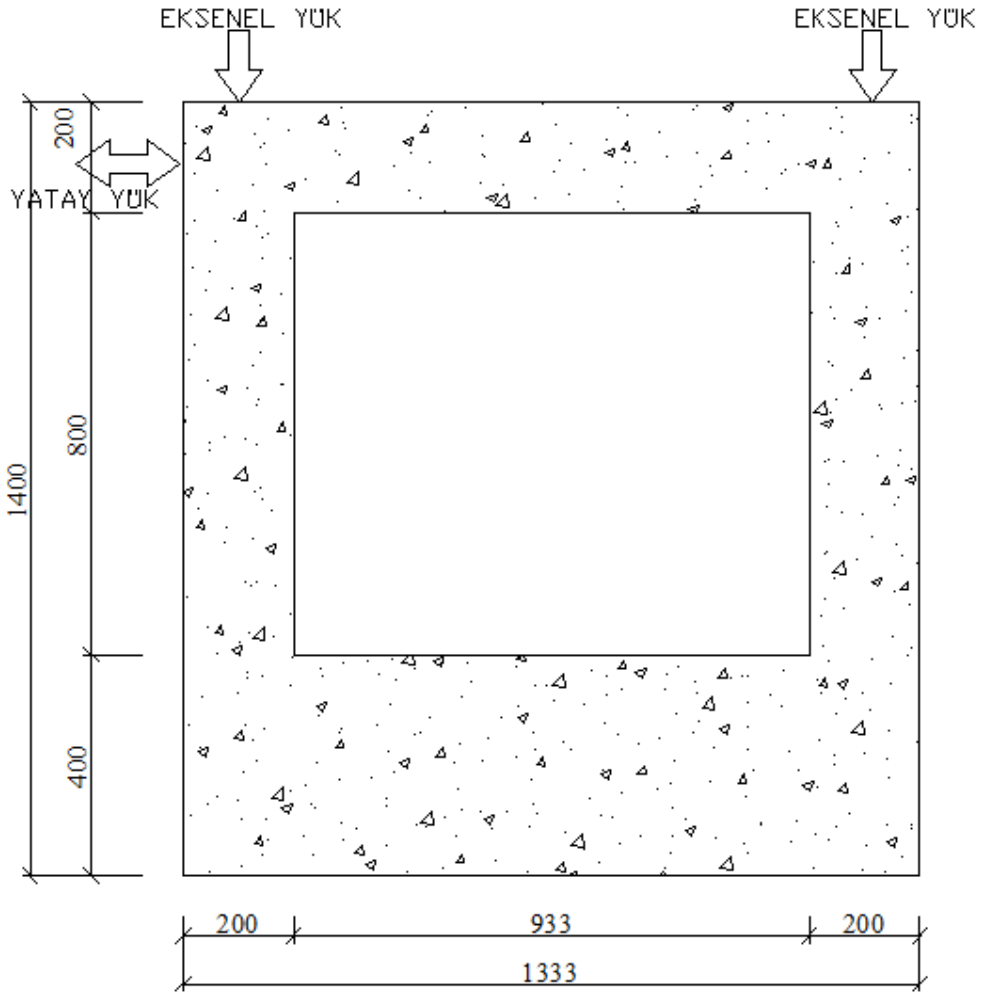
1/3 ölçekli deney numunelerinin yüksekliği 1400 mm ve açıklığı 1333 mm olarak seçilmiştir. Kolon boyutları 100x200 mm, kiriş boyutları 100x200 mm ve temel boyutları 100x400 mm olarak boyutlandırılmıştır. Kolon ve kirişlerde 4 adet Ø8 mm çapında boyuna donatı, temelde ise 6 adet Ø8 mm çapında boyuna donatı kullanılmıştır. Enine donatı olarak kolon, kiriş ve temelde 140 mm arayla Ø6 mm çapında donatı kullanılmıştır. Etriyeler kolon-kiriş birleşim bölgelerinde de aynı mesafede devam ettirilmiştir. Donatılar için bırakılan paspayı 15 mm olarak seçilmiş ve uygulamada paspayına dikkat edilmiştir. Tüm deney numunelerine ait donatı şeması ve geometrik özellikler Şekil 2.1'de görülmektedir.



Şekil 2.1: Tüm Deney Numunelerine Ait Geometri Ve Donatı Şeması

2.2.1 BF1 Numunesi

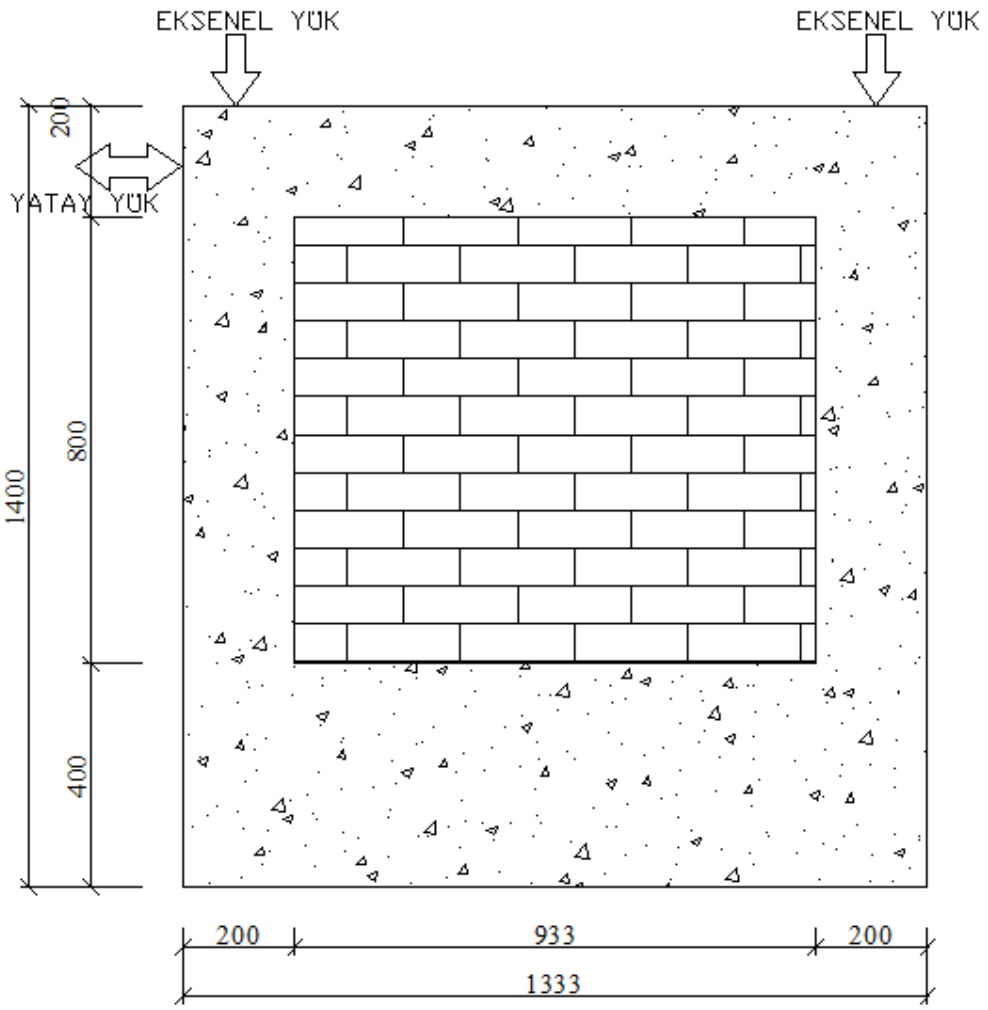
Betonarme yalın çerçeve olarak üretilen bu numune diğer numunelerle karşılaştırmaların yapılacağı kontrol numunesidir. Tüm geometrik özellikleri ve donatı özellikleri daha önce anlatıldığı şekildedir. Bu numuneye ait genel geometri ve yükleme düzeneği Şekil 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.2: BF1 Numunesine Ait Genel Geometri Ve Yükleme Düzeni

2.2.2 IF1 Numunesi

Betonarme yalın çerçeveye 1/3 ölçekli delikli tuğla duvarların örülüp, sıvanmasıyla elde edilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevedir. Dolgu duvarda kullanılan tuğla boyutları 60x85x85 mm'dir. Tuğla duvarlar numuneye örüldükten sonra 10 mm kalınlığında her iki yüze sıva yapılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Şekil 2.3'de numunenin geometrik özellikleri ve yükleme düzeneği verilmiştir.

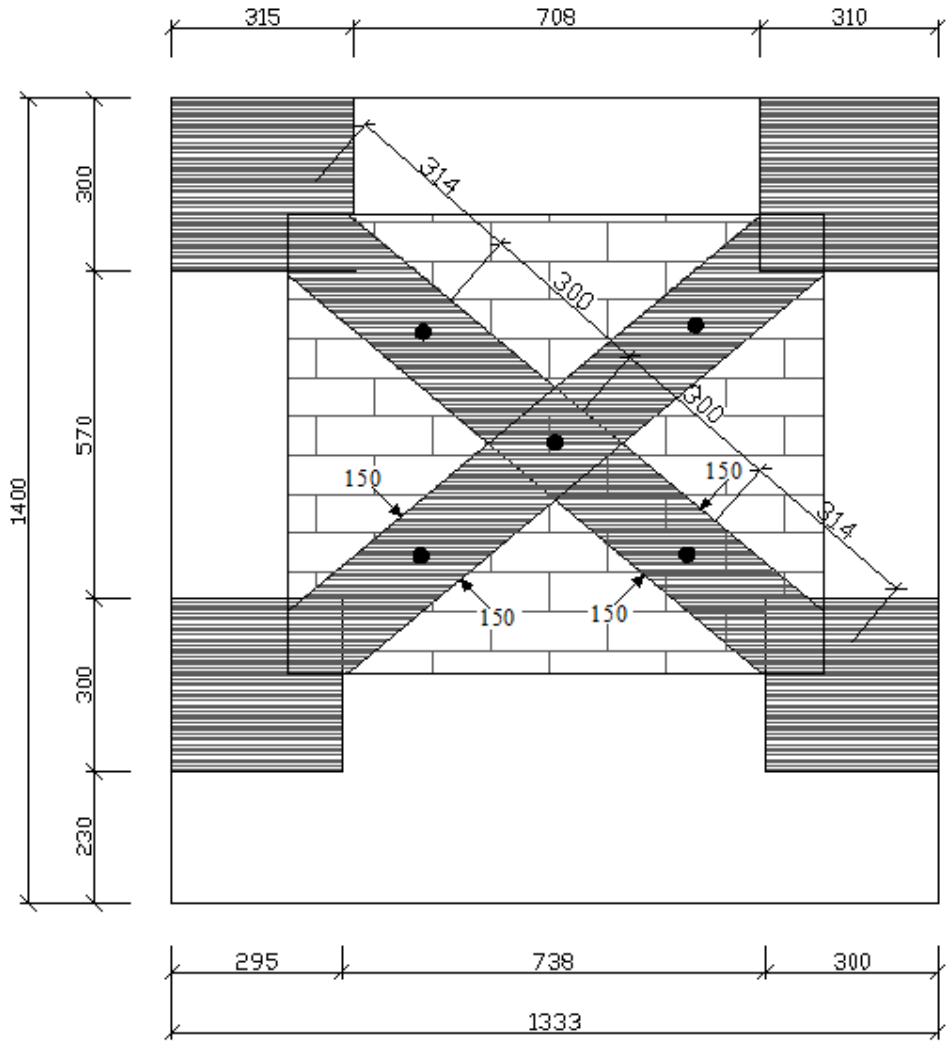


Şekil 2.3: IF1 Numunesine Ait Genel Geometri ve Yükleme Düzeni

2.2.3 IF3-FRP(X) Numunesi

Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin CFRP kompozitleriyle güçlendirilmesiyle elde edilmiş olan bir numunedir. Bu numunede kullanılan güçlendirme tekniğinde, dolgu duvarın yatay yükler altında yaptığı davranış dikkate alınarak çapraz şeritler kullanılmıştır. Birçok araştırmacı dolgu duvarlı çerçevelerin modellenmesinde duvarları eşdeğer çapraz çubuklarla temsil etmiştir. Zarnic [6]'nın çalışmasında dolgu duvarlar, L uzunluklu ve w genişlikli çapraz çubuklar ile idealleştirilmiştir. Aynı şekilde Ersin ve diğerleri [7]'nin yapmış oldukları çalışmada dolgu duvarlar uçlarından mafsallı çapraz çubuklarla modellenmiştir. Bu çubukların eksenel rijitliğinin duvarın elastisite modülüne, kalınlığına ve genişliğine bağlı olarak değiştiği saptanmıştır.

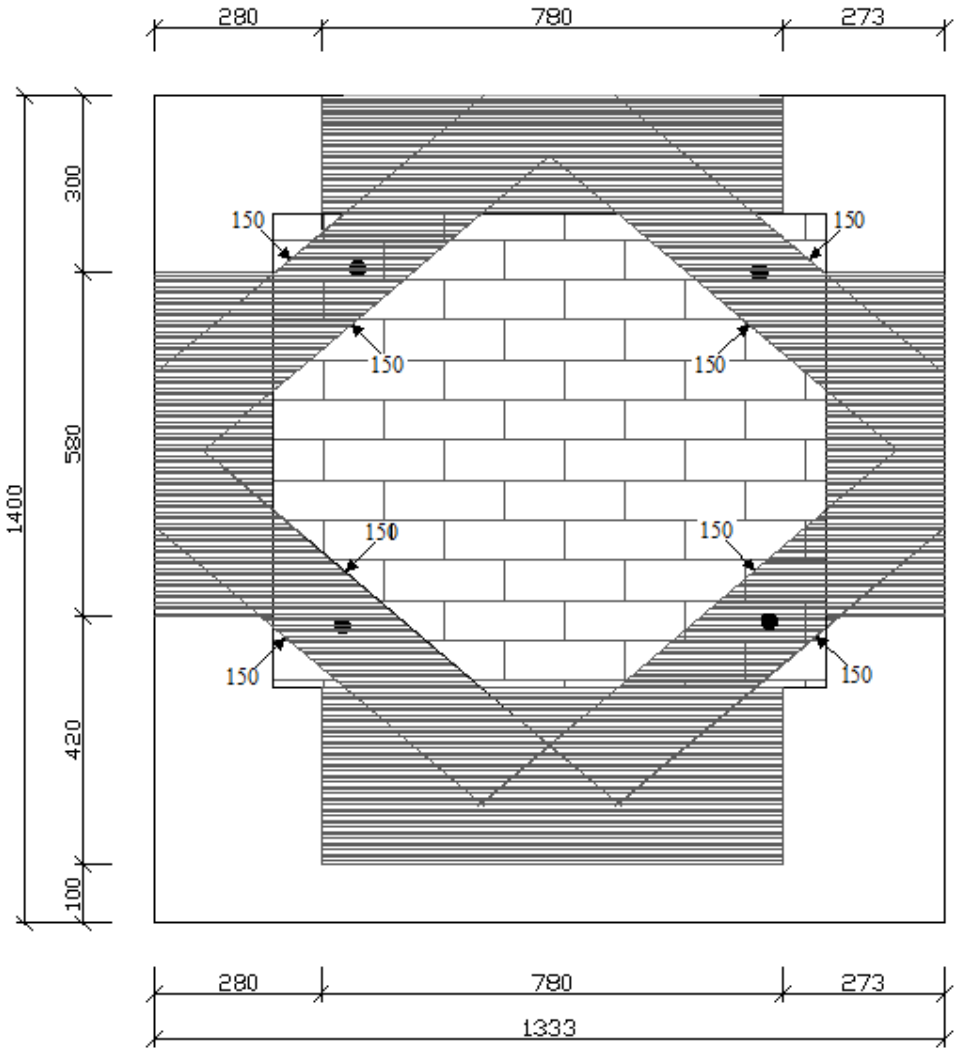
Tüm bu çalışmalar ışığında güçlendirilen ilk numune olan IF3-FRP(X)'de çapraz CFRP şeritleri, her iki yüze 150 mm genişliğinde uygulanmış ve betonarme çerçeveyle dolgu duvarın beraber çalışabilmesi amacıyla çerçeve birleşim bölgelerinden bağlantı elemanları uygulanmıştır. Bu bağlantı elemanlarının boyutları ve uygulama şekli numune üretimi kısmında ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Her iki yüzdeki CFRP şeritlerinin beraber çalışabilmesi amacıyla duvarda delikler açılarak CFRP ankraj fitilleri uygulanmıştır. Betonarme taşıyıcı elemanlarda ise ankraj yapılmamıştır. Bu numuneye ait CFRP uygulaması ve boyutları Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4: IF3-FRP(X) Numunesi CFRP Uygulaması ve Numune Boyutları

2.2.4 IF2-FRP(K) Numunesi

Deney programında güçlendirilen 2. numune olan IF2-FRP(K) numunesinde CFRP şeritleri K kuşatması (Knee bracing) şeklinde uygulanmıştır. Tüm güçlendirilen numunelerde olduğu gibi bu numunede de amaç tersinir tekrarlı yükler etkisinde sistemin yatay yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini arttırmak, duvarda oluşacak hasarları minimum düzeye indirmektir. Maheri ve diğerleri [8]'nin yapmış oldukları çalışmada payanda kuşaklı güçlendirme yöntemlerinin yapının sünekliğini arttırdığı ortaya koyulmuştur. Ayrıca Zahrah [9], yapmış olduğu çalışmada K kuşaklı sistemlerin daha fazla enerji sönümü sağladığını ifade etmesi üzerine Şekil 2.5'deki güçlendirme yöntemi deney programına alınmıştır.

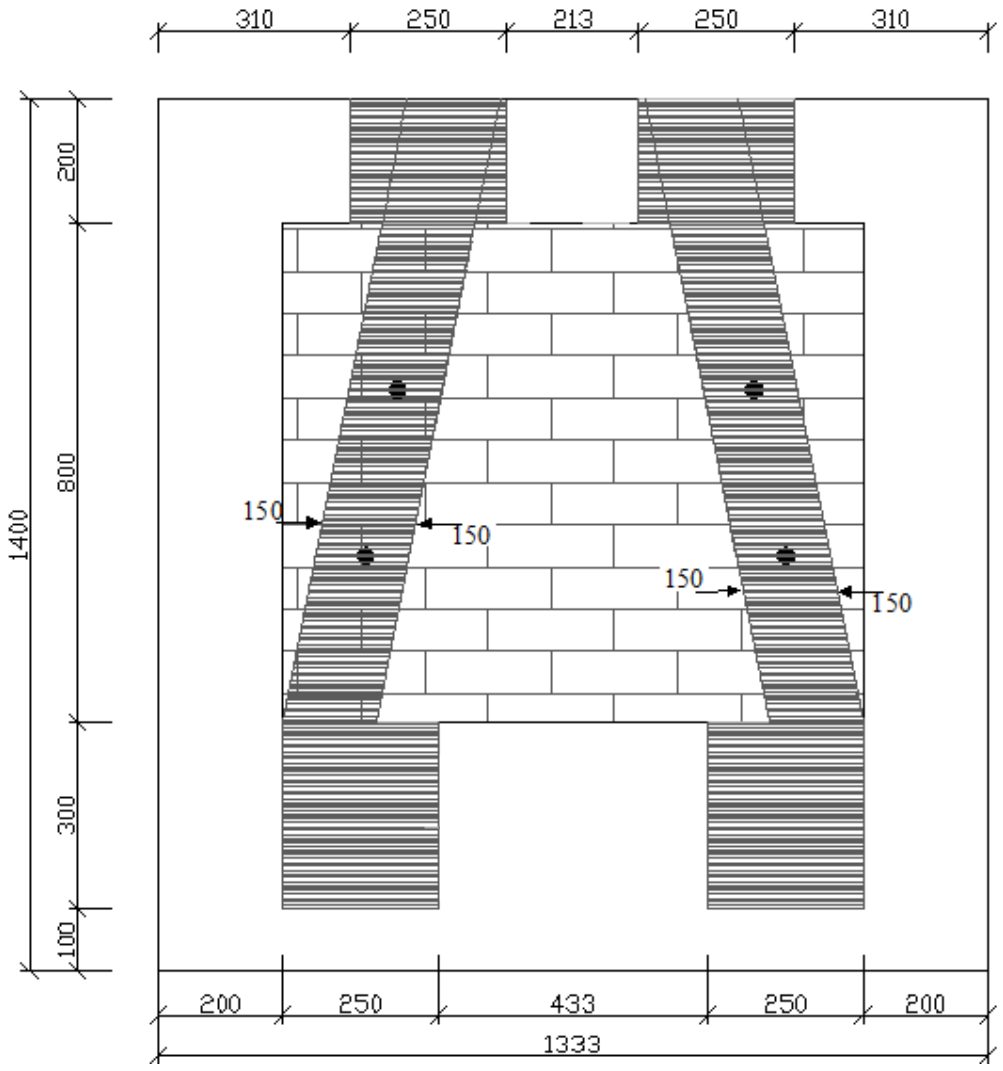


Şekil 2.5: IF2-FRP(K) Numunesi CFRP Uygulama Biçimi Ve Ankraj Boyutları

Bu uygulamada çaprazlar taşıyıcı sistemle duvarın beraber çalışmasını sağlamak amacıyla, her iki yüzde, hem duvara hem de kolon ve kirişlere uygulanmıştır. Çaprazların kolon ve kirişte devam eden kısımları CFRP bağlantı elemanlarıyla, duvardaki kısımları da çaprazların birlikte çalışmasını sağlamak amacıyla CFRP fitilleriyle birlikte uygulanmıştır, betonarme elemanlarda ankraj uygulaması yapılmamıştır. Ankraj bölgeleri, boyları ve CFRP uygulama biçimi Şekil 2.5'de açıkça görülmektedir.

2.2.5 IF4-FRP(OD) Numunesi

Güçlendirilen son numune olan IF4-FRP(OD) numunesinde, CFRP şeritleri dışmerkez çaprazlı (off-diagonal) olacak şekilde uygulanmıştır. Bu yöntemde amaç Maheri ve diğerleri'nin [8] yapmış oldukları çalışmada kullanılan payanda kuşaklı sisteme benzer bir sistem geliştirilerek çerçevenin sünekliğini arttırmaktır. Şekil 2.6'da görülen sistemde CFRP'ler bölme duvarın düzlem dışına hareketini engelleyecek şekilde 150 mm genişliğinde çaprazlar olarak uygulanmıştır. Her iki yüze de aynı şekilde uygulanan CFRP'lerin birlikte çalışabilmesi için ankraj fitilleri yapılmıştır. Aynı şekilde duvar ile betonarme taşıyıcı elemanların birlikte çalışabilmesi için kirişte ve temelde CFRP bağlantı elemanları kullanılmıştır. Betonarme taşıyıcı elemanlarda ankraj uygulanmamıştır.



Şekil 2.6: IF4-FRP(OD) Numunesi CFRP Uygulaması

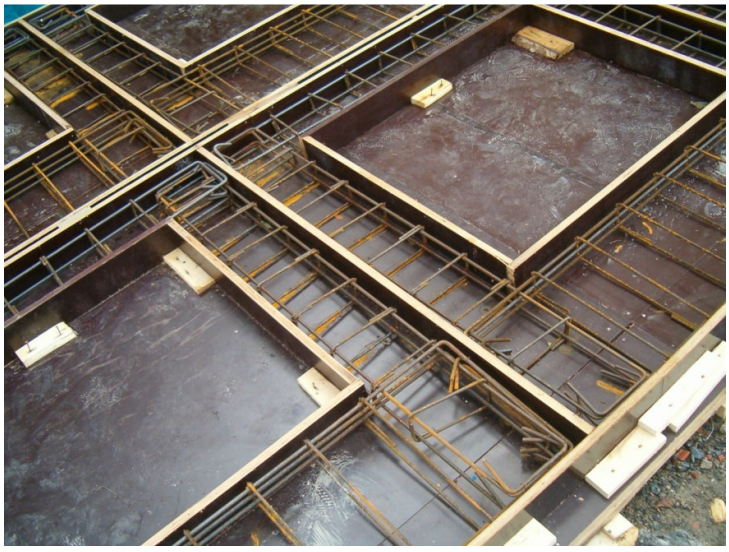
2.3 Deney Numunelerinin Üretimi

Deney numunelerinin üretimine kalıpların hazırlanmasıyla başlanmıştır. Tüm donatılar düz, dayanımı yaklaşık olarak 400 MPa olarak seçilmiştir. Numunelerin donatı kafesleri oluşturulurken temel kirişi, kolon ve kiriş donatıları ayrı ayrı düzenlenmiştir. Kalıpların köşe açılarına dikkat edilerek üretimi tamamlandıktan sonra, hazırlanan donatı kafesi kalıp içerisine yerleştirilmiştir. Pas paylarına özen gösterilerek kalıp içerisine yerleştirilen donatılara şekildeğiştirme ölçer (straingauge) yapıştırma işlemi yapılmıştır. Şekildeğiştirme ölçerlerin yapıştırılmasından önce donatılar zımparalanarak pasları silinmiş daha sonra da 12 adet şekildeğiştirme ölçer kolon ve kiriş birleşim bölgelerine yapıştırılmıştır. Bunların 2 tanesi kirişin sol

mesnet bölgesindeki donatılara, 2 tanesi de kiriş sağ mesnet bölgesindeki boyuna donatılara bağlanmıştır. Diğer 8 tane şekildeğiştirme ölçer ise kolon alt ve üst uçlarındaki boyuna donatılara yapıştırılmıştır. Dayanımı yaklaşık olarak 19 MPa olan hazır beton kullanılmıştır. Numunelerden yerdeğiştirme ölçer ile data alınabilmesi için gerekli olan ankraj çubukları da bu aşamada yerleştirilmiştir. Numunede meydana gelen eğrilik, dönme ve şekildeğiştirmelerin hesabının yapılabilmesi için 12 noktadan alınan yerdeğiştirmeler bu ankraj çubuklarına bağlanan yerdeğiştirme ölçerler ile alınacaktır. Betonun basınç dayanımının belirlenebilmesi için 10 adet standart silindir (150x300 mm) numune alınmıştır. Üretim aşamaları Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10 da görülmektedir.



Şekil 2.7: Deney Numunelerinin Kalıplarının Kurulumu



Şekil 2.8: Donatıların Kalıplara Yerleştirilmesi

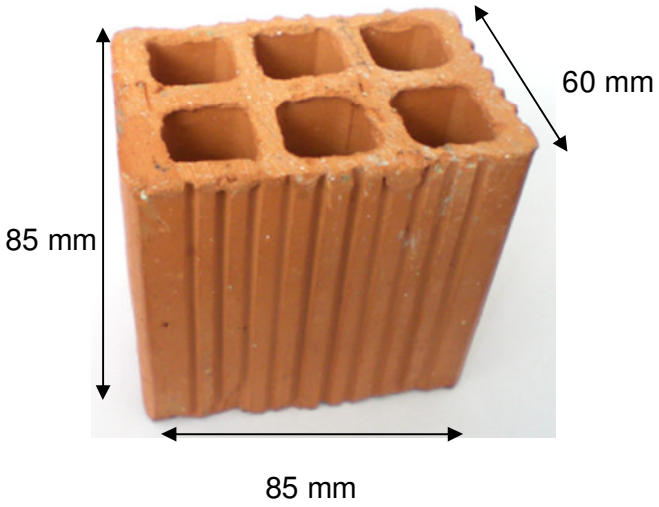


Şekil 2.9: Beton döküm işlemi



Şekil 2.10: Numune Kolon Kiriş Birleşim Bölgesinde Ölçüm Elemanları

Dört numuneye duvar örme işlemi uygulanmıştır. Bunun için 1/3 ölçekli özel tuğla üretimi yaptırılmıştır. Tuğla boyutları Şekil 2.11'de görüldüğü üzere 60x85x85 mm dir. Aynı şekilde harç derzleri de ölçeklendirme kuralları gereği en fazla 10 mm olacak şekilde uygulanmıştır. Duvar örme işleminin tamamlanmasının ardından tüm numunelerde sıva işlemi başlatılmış, yine ölçeklendirme kurallarına göre 7-10 mm arası sıva yapılmıştır. Şekil 2.12'de üretilen tuğlaların betonarme yalın çerçeveye uygulanması ve sıva işleminin tamamlanmasından sonra bölme duvarlı numuneler görülmektedir.



Şekil 2.11: Kullanılan Özel Tuğlalar



Şekil 2.12: Üretimi Tamamlanan Sıvalı ve Sıvasız Bölme Duvarlı Numuneler

Duvarları örülüp sıvaları yapılan numunelerden bir tanesi bölme duvarlı numune (IF1) olarak ayrıldıktan sonra diğer üç numune CFRP kompozitleriyle güçlendirilmiştir. Güçlendirilen tüm numunelerde öncelikle uygulamanın yapılacağı bölgenin orta aksları çizilerek belirlenmiştir. Yapıştırma işleminden önce duvarların sıvalarının üzerine epoksi reçinesi uygulanmış, yapıştırma işleminden sonra da epoksi reçinesi ile CFRP şeritlerinin duvar ve betonarme ile aderansı sağlanmıştır. Her üç numunede kuşakların betonarme elemanlara uzanan kısımlarında CFRP bağlantı elemanları kullanılmış, bu elemanlarda ankraj yapılmamıştır. Kuşakların duvara uygulanan kısımlarında ise her iki yüzdeki şeritlerin birlikte çalışabilmesi için CFRP fitiller kullanılmıştır.

IF3-FRP(X) numunesinde X kuşakları çapraz doğrultuda uçtan uca uzatılarak duvar ve betonarme çerçevenin birlikte çalışması amaçlanmıştır. Betonarme elemanlar üzerinde yatay ve düşey doğrultuda 300x300 mm'lik bağlantı elemanları

kullanılmıştır. Duvarın her iki yüzünde CFRP şeritlerin birlikte çalışması için duvar üzerinde yaklaşık 10 mm'lik delikler açılıp CFRP fitiller geçirilmiştir. Bu ankraj fitilleri 250x300 mm boyutlarındaki CFRP şeritlerinin rulo şeklinde katlanmasıyla elde edilmiştir. 250 mm uzunluğundaki ankraj, duvardaki deliklerden geçirildikten sonra her iki yüzde liflerin açılıp epoksiyle yapıştırılması sonucu duvarla bağlantısı sağlanmıştır. Duvar ankrajları her çapraz üzerinde üç noktadan yapılmıştır. Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de bu uygulamanın detayları görülmektedir.

IF2-FRP(K) numunesinde K kuşakların uygulanması sırasında öncelikle çapraz kuşakların orta aksları belirlenmiştir. Kolon ve kirişlerin 1/4 ü işaretlenip birbirlerine bağlanarak K kuşakların orta aksları belirlenmiştir. Daha sonra 150 mm genişlikli CFRP şeritleri bu akslar boyunca yapıştırılmıştır. CFRP kuşakları yapıştırıldıktan sonra betonarme taşıyıcı sistem üzerindeki bağlantı elemanları yapıştırılmıştır. Kirişte, kuşakları sargılayacak biçimde 200x780 mm boyutlarında CFRP şeritleri kullanılmıştır. Aynı şekilde kuşakların temele uzanan kısımlarında da 300x780 mm boyutlarında bağlantı elemanları yapıştırılmıştır. Kuşakların kolonlara uzanan bölümlerinde de 200x580 mm boyutlarında bağlantı elemanları kullanılmıştır. K kuşakların duvara isabet eden kısımlarında her iki duvar yüzündeki çaprazların birbirine bağlantısı için 10 mm çapında ankraj delikleri açılmıştır. 250 mm uzunluğunda rulo yapılmış CFRP ankraj fitilleri bu deliklerden geçirilerek her iki yüzde açılmıştır. Toplamda duvarda 4 bölgede K kuşakların tam orta bölgesine gelecek şekilde bu ankrajlar yerleştirilmiştir. Bu uygulamalar Şekil 2.14'de görülmektedir.

IF4-FRP(OD) numunesinde, dış merkez çaprazların uygulanması aşamasında diğer numunelerde olduğu gibi kuşakların orta aks bölgeleri belirlenerek numune üzerine çizilmiştir. Çizilen orta aks bölgeleri esas alınarak CFRP kuşaklar, duvar ve betonarme elemanları kaplayacak şekilde 150 mm genişliğinde uygulanmıştır. Dış merkez çaprazların taşıyıcı elemana bağlandıkları bölgelerde kirişte 250x200 mm, temelde 250x300 mm boyutlarında CFRP bağlantı elemanları kullanılmıştır. Bu bağlantı elemanları liflerin yatay ve düşey olduğu iki katman halinde uygulanmıştır. Duvar bölgelerinde ise diğer numunelerde olduğu gibi rulo şekline getirilmiş CFRP fitiller açılan ankraj deliklerinden geçirilerek her iki taraftan epoksi ile yapıştırılmıştır. Toplamda 4 bölgede kuşakları birbirine bağlayan ankraj yapılmıştır.

Bu ankrajlar dış merkez çaprazın boyunu 3 eşit parçaya bölen noktalarda yapılmıştır. Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de bu uygulamalar görülmektedir.



Şekil 2.13: Duvarlara Uygulanan CFRP ve Ankraj Fitilleri



Şekil 2.14: Güçlendirilen Numunelere Ait CFRP Uygulamaları

2.4 Malzeme Dayanımları

2.4.1 Beton

11.05.2007 tarihinde üretimi gerçekleştirilen deney numunelerinin üretimi sırasında kullanılan betondan, basınç dayanımının belirlenebilmesi amacı ile 10 adet standart silindir (150×300 mm) numune alınmıştır. 500 ton kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak 28. gün standart silindir basınç deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında betonun gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla TML CM–15 ölçüm çerçevesi (kompresometre) kullanılmıştır. Standart silindirin ölçüm boyundaki (yükseklik boyunca ortadaki 150 mm) kısalmaları ölçmek üzere, ölçüm çerçevesine bağlı konumdaki iki adet yerdeğiştirmeölçer (TML CDP–5) kullanılmıştır. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla (TML TDS-302) kaydedilen veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Denenmeyen silindir numuneler ise referans olarak saklanmaktadır. Şekil 2.15'de kullanılan deney düzeneği görülmektedir.

2.4.1.1 28 Günlük Beton Silindir Basınç Deneyi

Numunelerin üretiminden itibaren 28 gün sonra 3 adet silindir numune (Numune 1, Numune 2, Numune 3) standart basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneye ait silindir basınç dayanımı değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

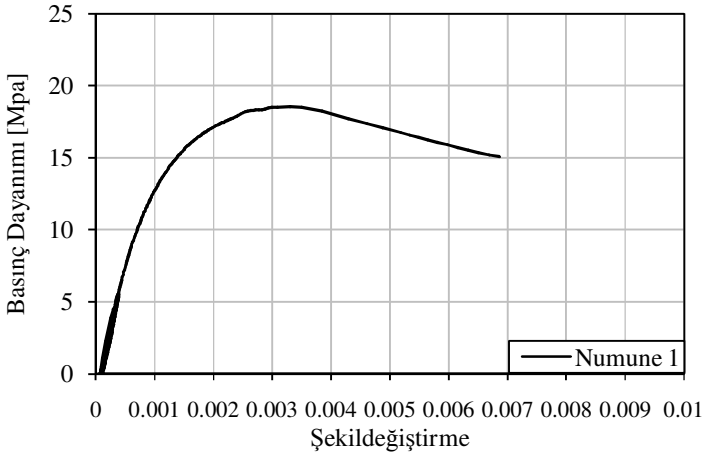
Tablo 2.1 28 Günlük Numune Silindir Basınç Dayanımları

Numune No	h (Yükseklik)	d (Çap)	P_{max}	σ_{max}
	[mm]	[mm]	[kN]	[MPa]
# 1	308.0	150.0	327.3	18.5
#2	306.0	150.0	337.0	19.1
#3	305.0	150.0	338.0	19.2

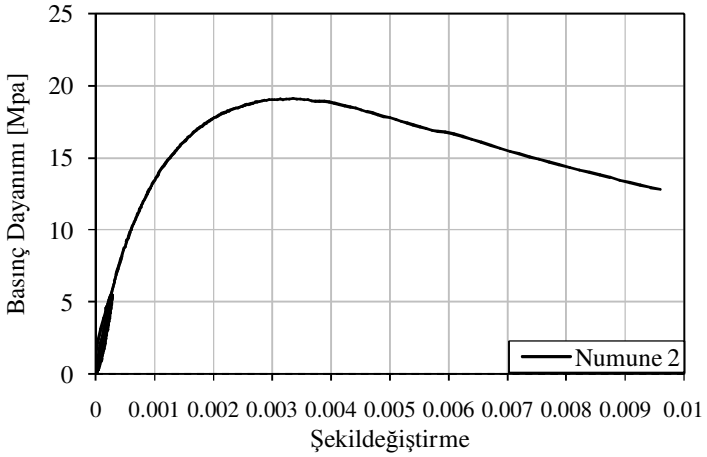


Şekil 2.15: 28 Günlük Beton Basınç Dayanımı Deney Düzeneği

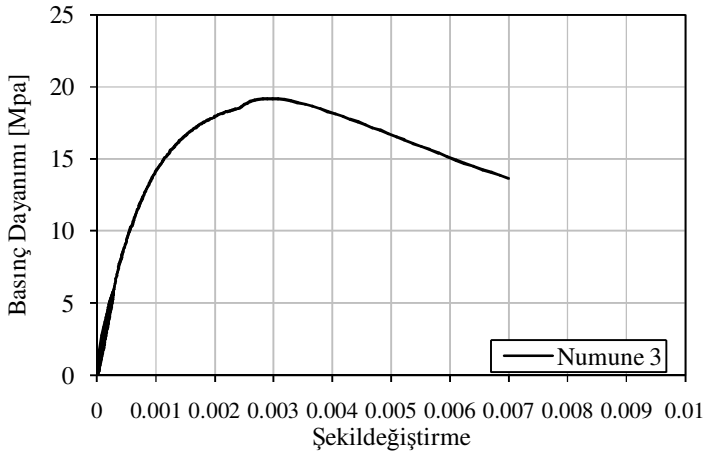
Numune 1, Numune 2 ve Numune 3'e ait 28 günlük beton basınç dayanımı-şekildeğiştirme grafiği Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de verilmiştir. Bu deney sonuçlarının karşılaştırma grafikleri ise Şekil 2.19'da yer almaktadır.



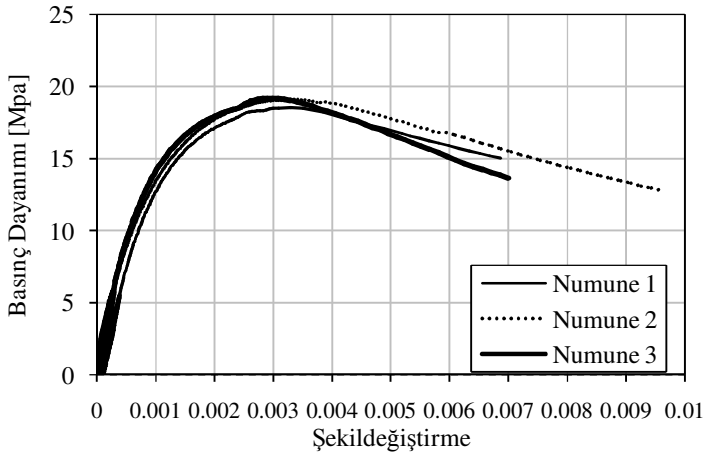
Şekil 2.16: Numune 1 Gerilme – Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 2.17: Numune 2 Gerilme – Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 2.18: Numune 3 Gerilme – Şekildeğiştirme İlişkisi



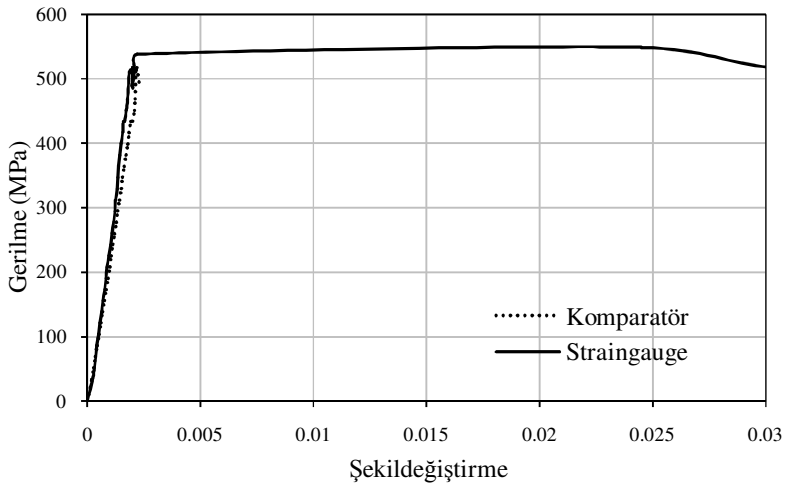
Şekil 2.19: 28 Günlük Betonda Gerilme – Şekildeğiştirme İlişkisi Karşılaştırılması

2.4.2 Donatı

Çelik çekme deneyleri İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarında bulunan 20 t kapasiteli Amsler mekanik çekme cihazı kullanılarak TS708 standardına uygun olarak yapılmıştır. Çelik deneyleri, enine donatı ve boyuna donatılar için ayrı ayrı üçer numune üzerinde tekrarlanmıştır.

2.4.2.1 Enine Donatı Çekme Deneyi

Ø 6 çapındaki donatı numunesi üzerinde çekme deneyi uygulanmıştır. Numunelerde hem komparatör hem de şekildeğiştirme ölçerler ile okuma yapılmıştır. Donatı numunelerine ait grafik Şekil 2.20'de verilmektedir. Bu grafiklere bakılarak komparatör ve şekildeğiştirme ölçer ile yapılan okuma sonuçlarının birbirlerini doğruladığı görülmektedir. Şekil 2.21'de donatıların deney düzeneğine yerleştirilmesi görülmektedir.



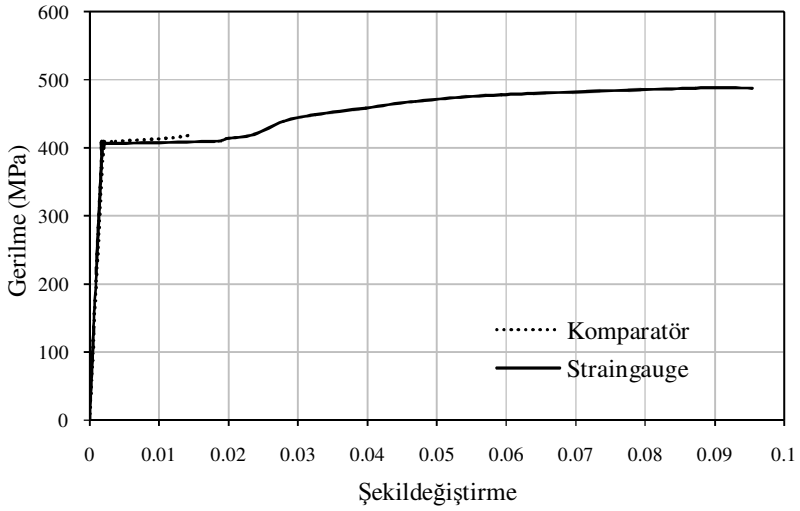
Şekil 2.20: Enine Donatı Numunelerine Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği

2.4.2.2 Boyuna Donatı Çekme Deneyi

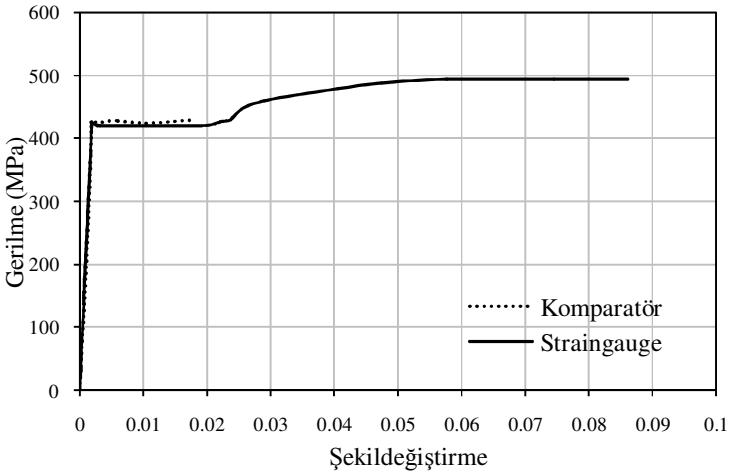
Toplam 3 adet Ø 8 çapındaki donatı numunesi üzerinde çekme deneyi uygulanmıştır. Tüm numunelerde hem komparatör hem de şekildeğiştirme ölçer ile okuma yapılmıştır. Deney sonuçlarına ait grafikler Şekil 2.22, Şekil 2.23 ve Şekil 2.24'de verilmektedir. Bu grafiklere bakılarak, komparatör ve şekildeğiştirme ölçer sonuçlarının birbirlerini doğruladığı görülmektedir. Numunelerin deney sonrasındaki görünümleri Şekil 2.25'de yer almaktadır.



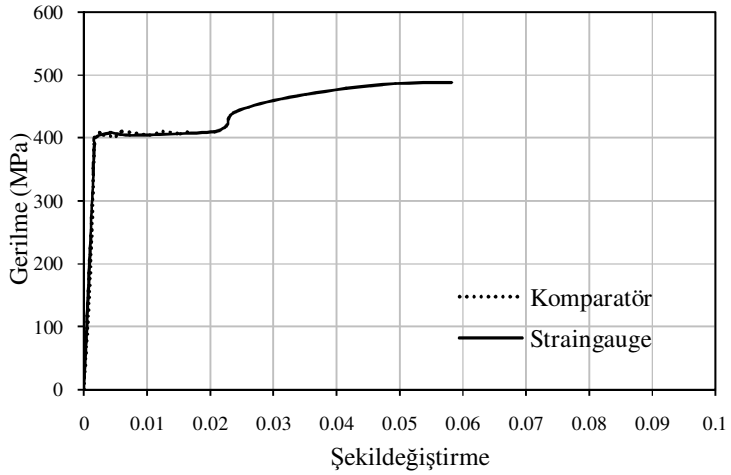
Şekil 2.21: Donatıların Deney Düzeneğine Yerleştirilmesi



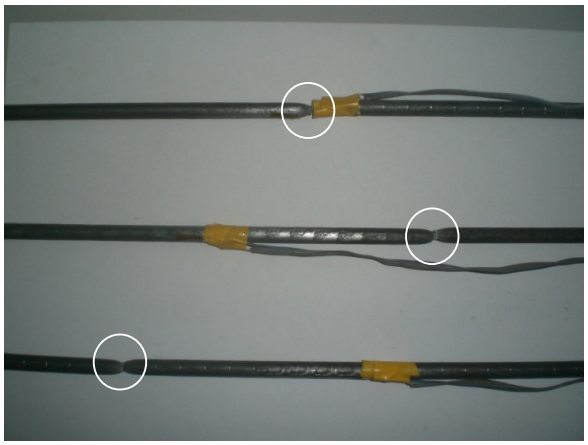
Şekil 2.22: Boyuna Donatı Numune 1'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği



Şekil 2.23: Boyuna Donatı Numune 2'ye Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği



Şekil 2.24: Boyuna Donatı Numune 3'e Ait Gerilme-Şekildeğiştirme Grafiği



Şekil 2.25: Deney Sonrası Hasar Görmüş Numunelerin Görünüşü

2.4.3 CFRP Malzeme Özellikleri

Deneylerde kullanılan CFRP ürün kodu SikaWrap-300c dir. Bu malzemeye ait teknik bilgi ve karakteristik dayanımlar Tablo 2.2'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Tablo 2.2 CFRP Özellikleri

Lif Tipi	Orta dayanımlı karbon fiber
Elyafın Yapısı	Lif doğrultusu: 0^o (tek doğrultulu) Çözgü Dokuması: Siyah karbon fiberler (toplam ağırlığın % 99'u) Atkı Dokuması: Beyaz termoplastik ısıl işleme tabi tutulmuş fiberler (toplama ağırlığın % 1'i)
Boyutları	Uzunluk Kalınlık 1 Rulo ≥50 m 300 mm
Birim Ağırlık	300 g/m^2 ± 15 g/m^2
Dokuma Tasarım Kalınlığı	0.166 mm (Karbon fiberlerin toplam alanına göre)
Lif Yoğunluğu	1.79 g/cm^3
Kuru Fiber Özellikleri	Çekme Dayanımı : 3900 MPa Çekme Elastisite Modülü : 230000 MPa Kopma Uzaması: % 1.5

2.5 Deney Düzeneği

2.5.1 Yükleme Düzeneği

Deneyler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuarında yer alan rijit döşeme üzerine bağlı yükleme çerçevesi üzerinde yapılmıştır. Yükleme çerçevesi çelik profillerden üretilmiş olup, yatay ve düşey yüklerden oluşan reaksiyon kuvvetlerinin rijit döşemeye güvenli bir şekilde aktarımını sağlamaktadır. Deney ve yükleme düzeneği Şekil 2.26'da şematik olarak gösterilmiştir.

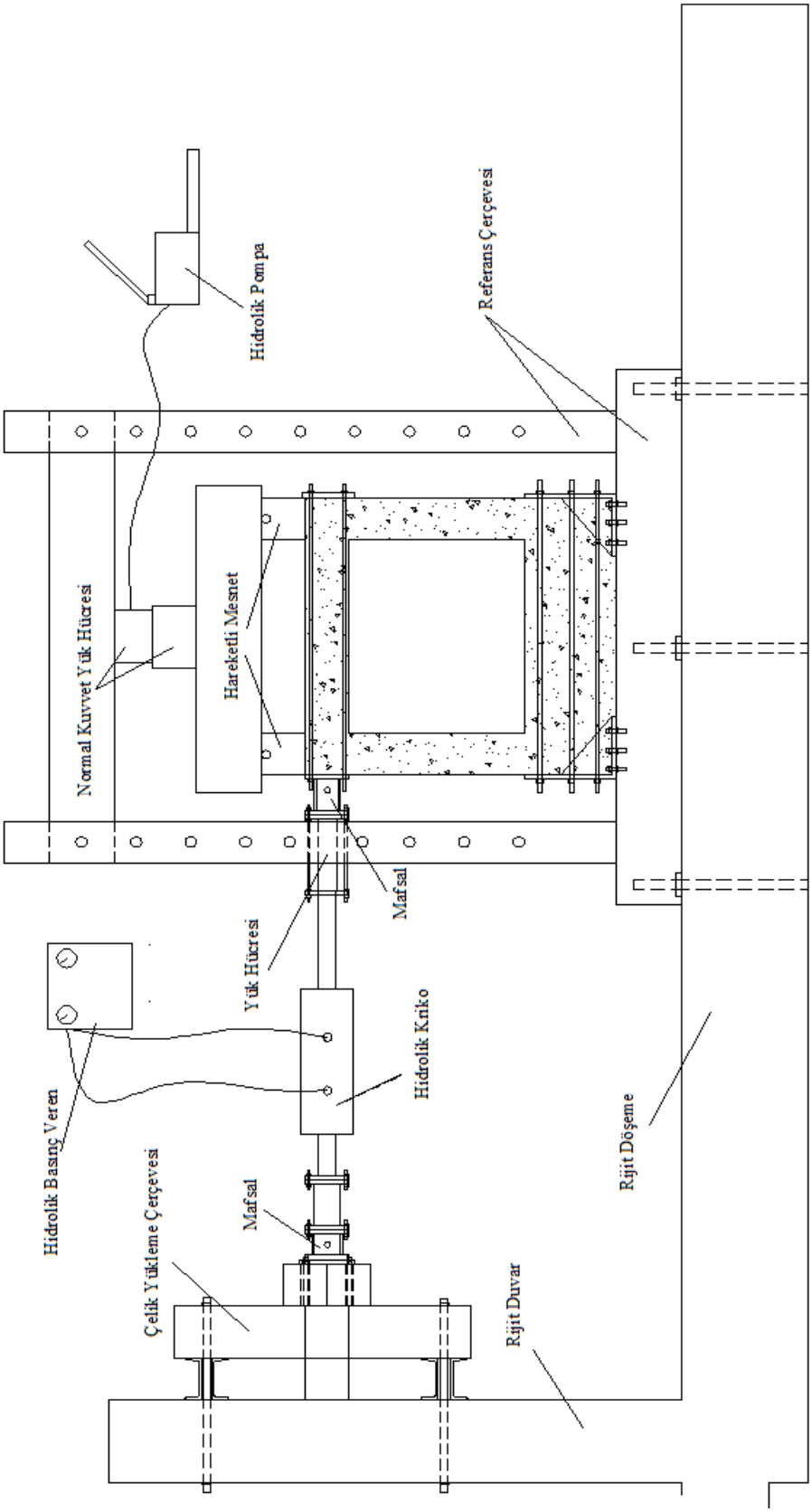
Tersinir tekrarlı yatay yükleme revize edilen ± 280 kN yükleme ve ± 94 mm yerdeğiştirme kapasiteli DARTEC hidrolik veren ile yapılmıştır. DARTEC hidrolik verenin reaksiyonları betonarme reaksiyon duvarına aktarılmıştır. Hidrolik verenin her iki ucunda iki yönlü mafsallar bulunmaktadır.

Depremi benzeştiren tersinir tekrarlı yatay yüklerin yanında yapıdaki sabit düşey yükleri benzeştirmek amacıyla numunelere normal kuvvet yüklemesi de yapılmıştır. Normal kuvvet yüklemesi için belirlenen kuvvet her bir kolonun eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u olarak seçilmiştir. Her bir kolona etkitilen normal kuvvet denklem (2.1)'de görüldüğü üzere 40 kN olarak hesaplanmıştır. Normal kuvvetin numunelere etkitilmesi için özel mafsallı kayma kutuları, rijit yükleme kirişi, 50 ton kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. İki adet kayma kutusu kolon üstlerine yerleştirilmiştir. Rijit yükleme kirişi kayma kutularının üzerine yerleştirilmiştir. Yük hücresi ve hidrolik yükleme kirişinin üzerine yerleştirilmiştir. Hidrolik krikonun reaksiyonu dış yükleme çerçevesi tarafından taşınmaktadır. Yatay yükler etkisinde normal kuvvet düzeneği numune ile uyumlu olarak hareket etmektedir.

$$N = 0.1 \times f_{ck} \times A_k = 0.1 \times 20 \times 200 \times 100 = 40000\ N = 40\ kN \qquad (2.1)$$

İki yönlü yükleme yapabilmek için hidrolik verenin kafasının numuneye bağlantısı iki adet ϕ18 mm çaplı çelik rod ile yapılmıştır. Diğer tarafta bu rodlar çelik plakaya bağlanmıştır.

Yatay ve düşey yükleme etkisinde temelin ankastrelik koşullarını sağlayabilmesi için özel çelik elemanlar kullanılmıştır. Bu çelik elemanlar birbirlerine ve çelik yükleme çerçevesine özel bulonlar ile bağlanmıştır. Deney süresince yapılan ölçümlerden ankastrelik koşulların sağlanabildiği anlaşılmıştır.

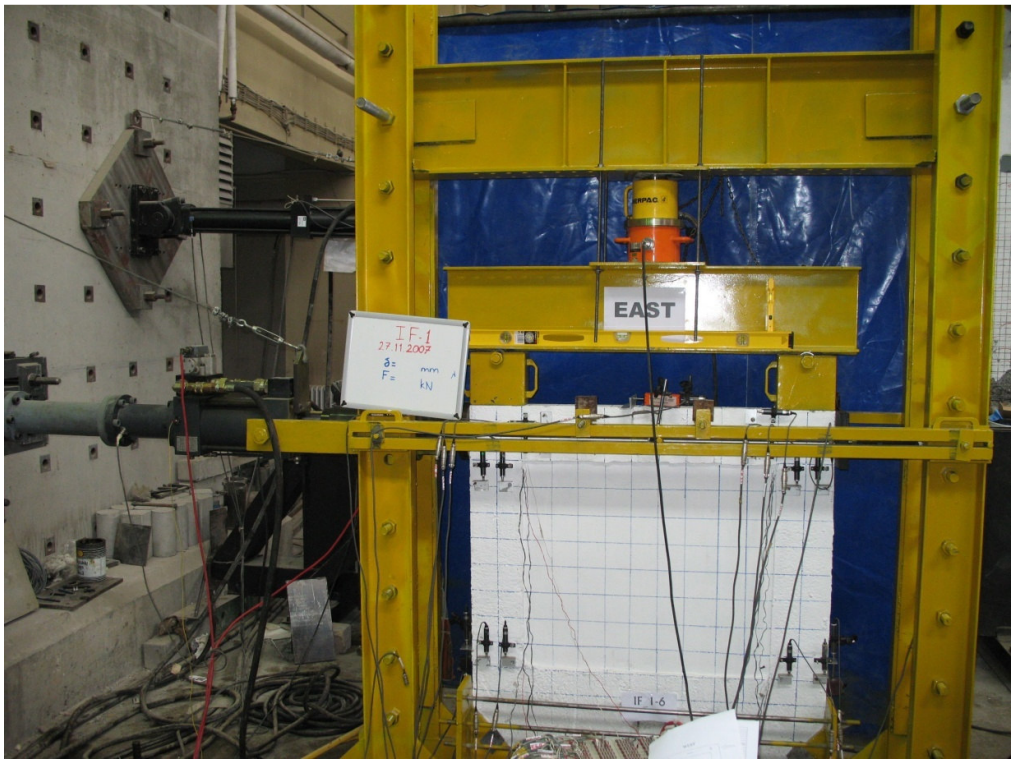


Şekil 2.26: Deney ve Yükleme Düzeneği

Numunenin düzlem dışına olan hareketi sınırlamak üzere kiriş seviyesinden iki çift kiriş geçirilmiştir. Her iki yüzde çelik kirişler arasındaki boşluktan geçirilen özel bir tekerlek detayı ile düzlem dışına olan hareket sınırlanmıştır.

Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Her bir çevrim için hedeflenen yerdeğiştirme değerleri bilgisayar ve kontrol ünitesi aracılığı ile DARTEC hidrolik verene iletilmiş ve oluşan reaksiyon kuvveti veren gövdesine bağlı yük ölçer ile ölçülmüştür.

Çelik yükleme çerçevesi vb deney düzeneğini oluşturan elemanlar zaman içindeki tecrübe ve iyileştirmelerle birlikte Şekil 2.27'de görülen şekilde deneylere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.27: Deney ve Yükleme Düzeneği

2.5.2 Ölçüm Düzeneği

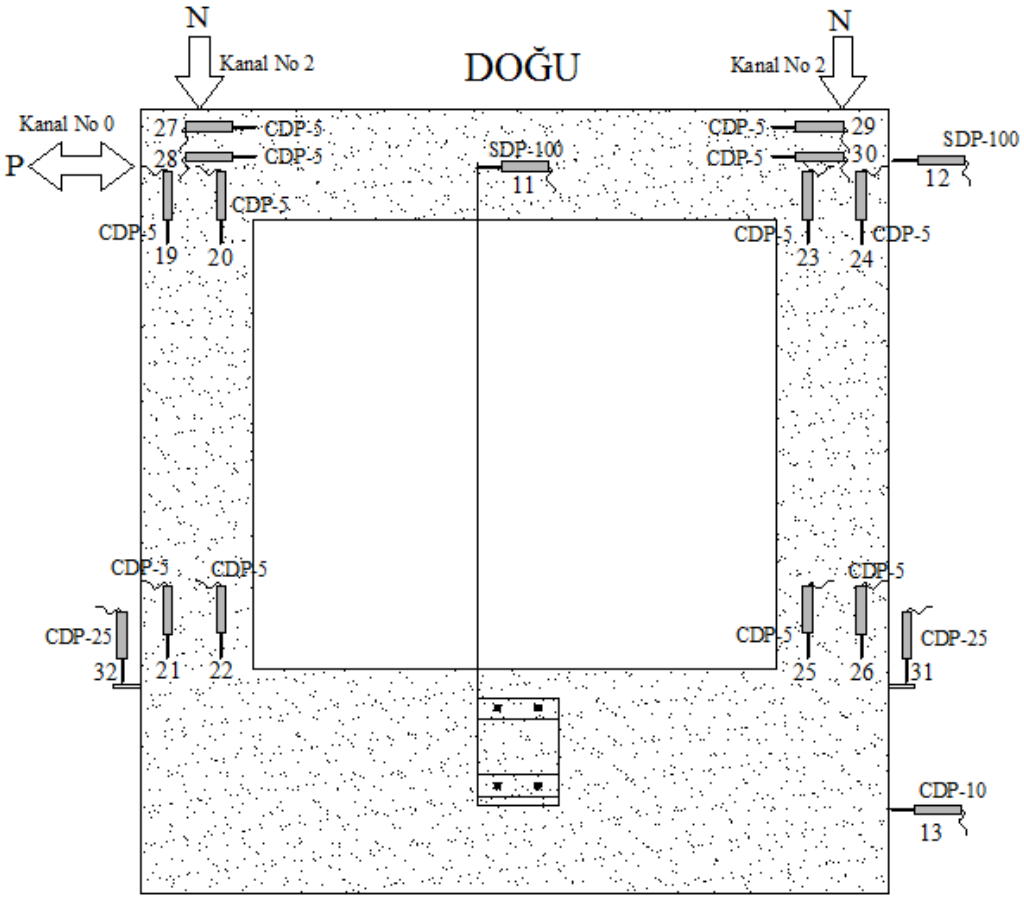
Yerdeğiştirme ölçümleri için yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Bu ölçüm aletleri tiplerine göre 5 mm, 10 mm, 25 mm ve 100 mm ölçüm kapasitesine sahiptir. Numuneye yerleştirilen yerdeğiştirme ölçer, hem itme hem de çekme çevrimlerinde veri alacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu çalışmada CDP-5, CDP-10, CDP-25 ve SDP-

100 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yerdeğiştirne ölçüm düzeneği ve kanal numaraları Şekil 2.28'de verilmiştir.

Deney numunelerine uygulanan yerdeğiştirme protokolü sonucu oluşan tepe yerdeğiştirmesi, kesitlerdeki yerdeğiştirmeler, kontrol amacıyla numunelerin genel kalkma, toptan kayma, düzlem dışı hareket gibi büyüklüklerini elde etmek için yerdeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Birleşim bölgelerindeki kritik kesitlerde eğrilik, dönme ve şekildeğiştirmelerin hesaplanabilmesi için CDP-5 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Bu yerdeğiştirme ölçerler imalat aşamasında numuneye yerleştirilen çubuklara monte edilmişlerdir. Toplam 12 adet yerdeğiştirme ölçer birleşim bölgelerindeki kesitlere Şekil 2.37'deki gibi yerleştirilmiştir. Tepe yerdeğiştirmesi değerlerini kaydetmek için üç adet yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Kanal no 12, numuneye uygulanan tersinir tekrarlı yükleme sonucu oluşan tepe yerdeğiştirmesi değerlerini aktarmaktadır. Kullanılan ölçüm aleti SDP-100 tipindedir. Kanal no 10, batı yüzünde temel kirişine bağlı özel bir çerçeve üzerine mesnetlenmiştir. CDP-25 tipindeki bu yerdeğiştirme ölçer ile temele göre olan göreli hareket okunmaktadır. Buna benzer olarak doğu yüzünde de temele bağlı çelik eleman üzerine SDP-100 yerdeğiştirme ölçer yerleştirilmiş ve kanal no 11'den veri alınmıştır. Deney sırasında numunede oluşabilecek düzlem dışı hareket, taban kayması ve global kalkma gibi durumları kontrol etmek üzere kanal no 13, 14, 15, 31, ve 32'ye yerleştirilen kontrol yerdeğiştirme ölçerleri ile veri alınmıştır. Buna göre kanal no 14 ve 15 ile düzlem dışı hareket, kanal no 13 ile taban kayması, kanal no 31 ve 32 ile de global kalkma değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Deney numunelerinin üzerinden toplam olarak 20 noktadan yerdeğiştirme ölçümü alınmıştır. Bu noktalar Şekil 2.28 ve Şekil 2.29'da verilmiştir. Tüm yerdeğiştirme ölçerler veri toplayıcı alete elektronik olarak bağlanmış ve bilgisayarda bulunan yazılım sayesinde, her yerdeğiştirme adımı için otomatik olarak alınan değerler veri toplayıcıdan bu yazılıma aktarılmıştır.

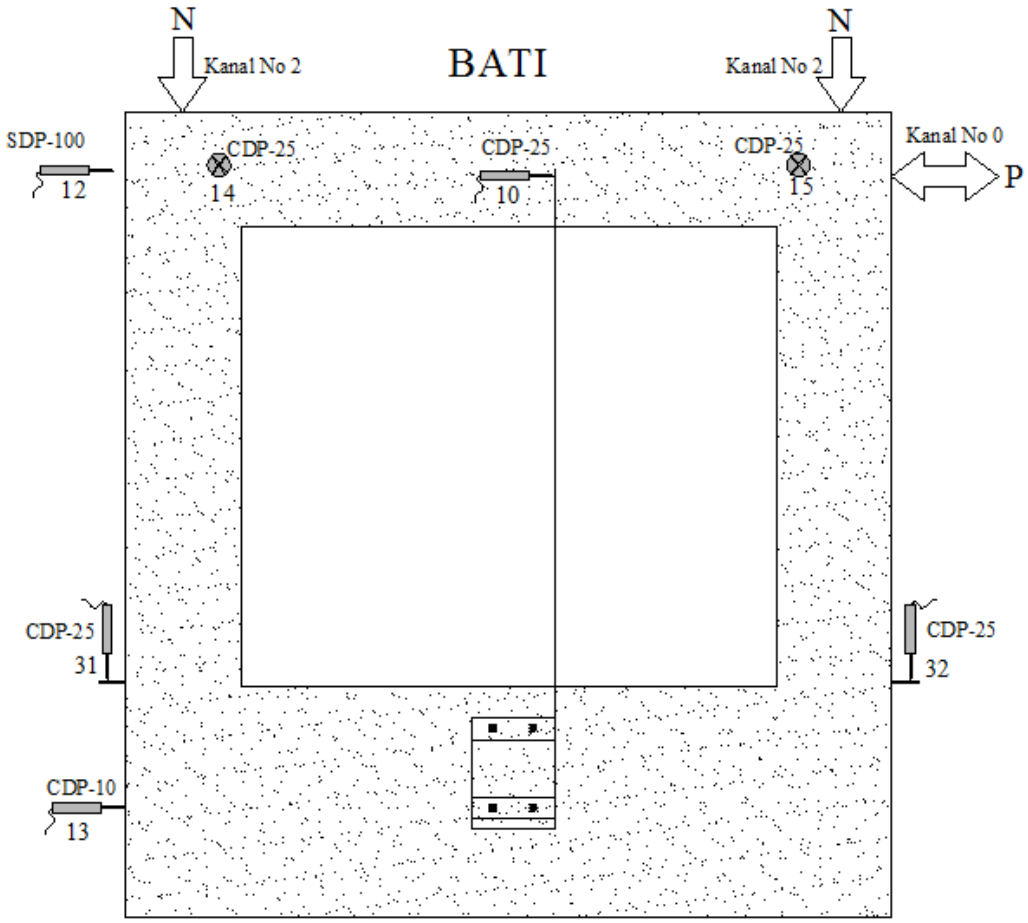
Betonarme numunelerden alınan yerdeğiştirme değerlerinin yanında donatılardaki şekildeğiştirmeleri de ölçmek için, beton dökümü öncesinde donatıların kritik kesitlerine şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Şekil 2.30'da yerleştirilen şekildeğiştirme ölçer noktaları ve kanal numaraları görülmektedir. Tüm şekildeğiştirme ölçerler veri toplayıcıya bağlanarak her yerdeğiştirme adımında otomatik olarak alınan değerler bilgisayar ortamındaki yazılıma aktarılmıştır.

Şekildeğiştirme ölçerlerden alınan değerler microstrain mertebesinde olduğundan, kullanılan boyuna donatı için yaklaşık olarak 2100- 2200 microstrain değerinde donatı akma dayanımına ulaşmış olmaktadır

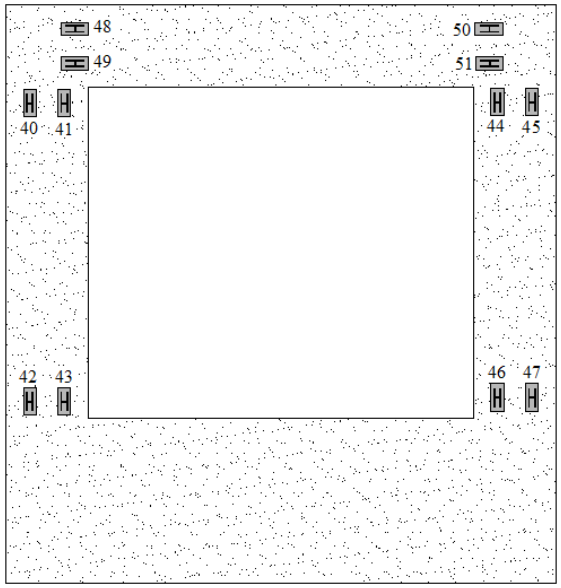


Şekil 2.28: Doğu Yüzü Yerdeğiştirme Ölçerlerin Yerleşimi ve Kanal Numaraları

Ölçümlerin alındığı, birleşim bölgelerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerin olduğu yüze doğu yüzü, diğer yüzü de batı yüzü olarak belirlenmiş, bu yönlere göre kolonlar da Kuzey ve Güney olarak adlandırılmıştır. Birleşim bölgelerindeki yerdeğiştirme ölçümleri ve şekildeğiştirme ölçer data alımları doğu yüzünden, çatlak kontrolü de batı yüzünden yapılmıştır. Tüm kanal numaraları ve isimleri Tablo 2.3'de sunulmuştur.



Şekil 2.29: Batı Yüzü Yerdeğiştirme Ölçer Düzeni ve Kanal Numaraları



.**Şekil 2.30:** Şekildeğiştirme Ölçer Yerleşim Bölgeleri ve Kanal Numaraları

Tablo 2.3 Ölçümlerde Kullanılan Kanal Numaraları ve Kodları

Kanal No	Eleman kodu	Açıklama
0	Act-Yük	
1	Act-Yerdeğiştirme	
2	Eksenel Yük	
10	TR-TW	Batı Yüzü Göreli Tepe Yerdeğiştirmesi
11	TR-TE	Doğu Yüzü Göreli Tepe Yerdeğiştirmesi
12	TR-DNC	Kuzey Kolonundaki Tepe Yerdeğiştirmesi
13	TR-B	Taban Kayması Yerdeğiştirme Ölçeri
14	TR-OPE	Düzlem dışı Hareket Yerdeğiştirme Ölçeri
15	TR-OPW	Düzlem dışı Hareket Yerdeğiştirme Ölçeri
19	TRCSUL	TR: Transducer C: Column B: Beam S: Güney N: Kuzey U: Upper B: Bottom R: Right L: Left
20	TRCSUR	
21	TRCSBL	
22	TRCSBR	
23	TRCNUL	
24	TRCNUR	
25	TRCNBL	
26	TRCNBR	
27	TRBUL	
28	TRBBL	
29	TRBUR	
30	TRBBR	
31	TR-VN	Kuzey Tarafında Global Kalkma
32	TR-VS	Güney Tarafında Global Kalkma
40	SGCSUL	SG: StrainGauge C: Column B: Beam S: Güney N: Kuzey U: Upper B: Bottom R: Right L: Left
41	SGCSUR	
42	SGCSBL	
43	SGCSBR	
44	SGCNUL	
45	SGCNUR	
46	SGCNBL	
47	SGCNBR	
48	SGBUL	
49	SGBBL	
50	SGBUR	
51	SGBBR	

2.5.3 Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Yerdeğiştirme kontrollü tersinir ve tekrarlı yükleme sonucu deney numunelerinde oluşan yük, yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme verileri bilgisayar ortamına aktarıldıktan sonra Excel'de geliştirilen bir program yardımıyla işlenmiştir.

Yük-Yerdeğiştirme grafikleri için Kanal no 11'den alınan göreli yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır. Her bir grafikte hesaplanan kat göreli öteleme yüzdeleri grafiğin üst ekseninde karşılaştırma yapılabilmesi için eklenmiştir. Kat göreli öteleme yüzdeleri şöyle hesaplanmıştır;

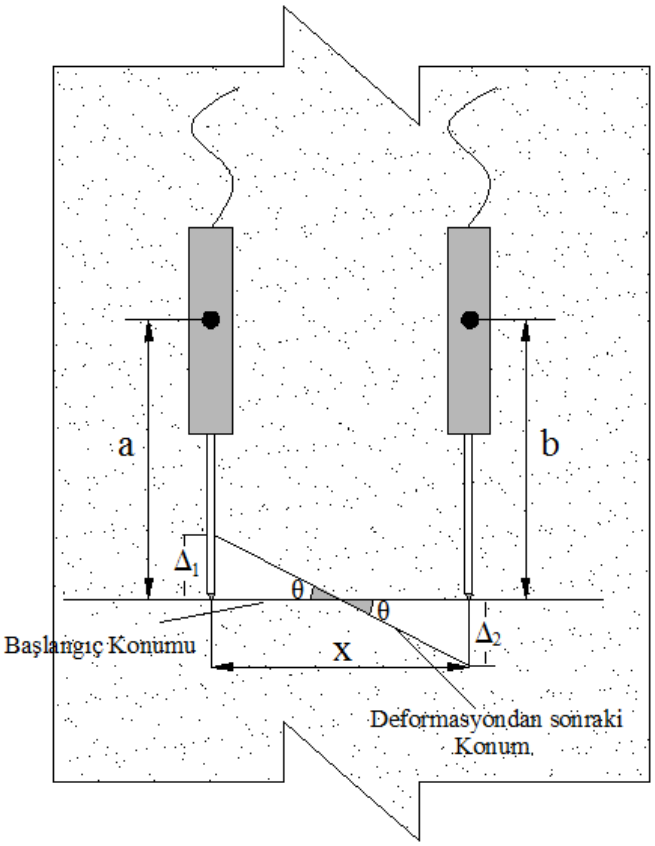
$$\text{Kat göreli öteleme yüzdesi} = \frac{\delta}{h} \times 100 \qquad (2.2)$$

δ: Kanal no 11 kat göreli yerdeğiştirmesi (mm)

h: Kat Yüksekliği (mm)

Her deney numunesi için çizilen yük-yerdeğiştirme grafiklerinin yanı sıra numunelerin enerji yutma kapasiteleri de incelenmiştir. Özel olarak üretilen bir programla her numune için yük-yerdeğiştirme grafiklerinin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasiteleri-kat göreli ötelemesi grafiği elde edilmiştir.

Birleşim bölgelerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan veriler ile bu kesitlerdeki şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Şekildeğiştirme hesabı yerdeğiştirme ölçerlerden alınan değerlerin ölçüm boyuna bölünmesiyle elde edilmiştir. Kesitteki dönmenin hesabı iki yerdeğiştirme ölçerden okunan değerlerin farkının ölçümler arası mesafeye oranlanmasıyla elde edilmiştir. Kesitteki eğrilik ise iki yerdeğiştirme ölçerden okunan şekildeğiştirme değerlerinin ara mesafeye oranlanmasıyla elde edilmiştir. Her numunede toplam olarak 6 kesitte bu hesaplar ayrı ayrı yapılmıştır. Söz konusu hesaplar için Şekil 2.31 ve Denklem (2.3), (2.4), (2.5) ve (2.6)'ya bakılmalıdır.



Şekil 2.31: Şekildeğiştirme, Dönme ve Eğrilik Hesabında Kullanılan Geometri

$$\delta_1 = \frac{\Delta_1}{a} \tag{2.3}$$

$$\delta_2 = \frac{\Delta_2}{b} \tag{2.4}$$

$$\theta = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{x} \quad \text{(Radyan)} \tag{2.5}$$

$$\chi = \frac{\delta_1 - \delta_2}{x} \quad (1/m) \tag{2.6}$$

δ_1 ve δ_2 : Kesitteki şekildeğiştirme

θ : Kesitteki dönme

χ : Kesitteki eğrilik

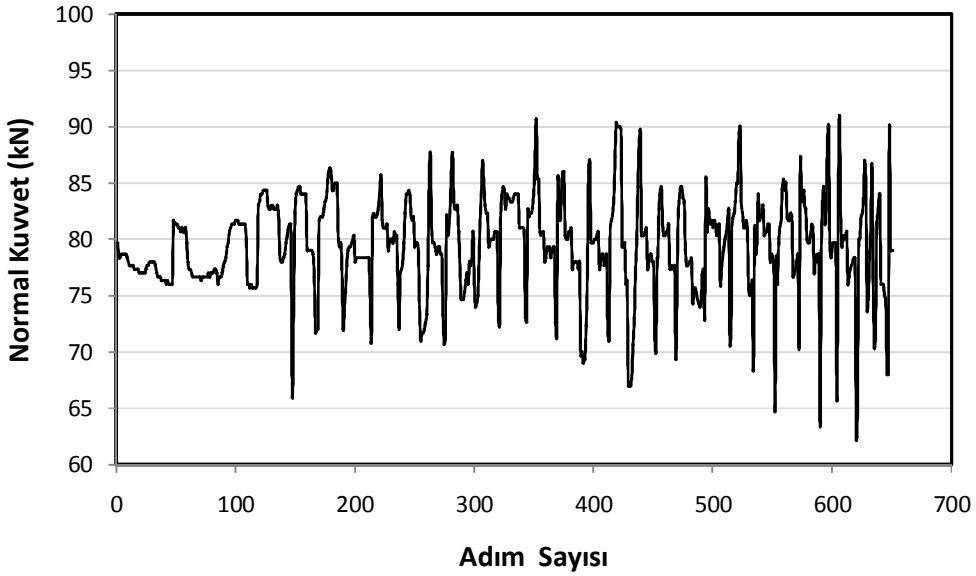
3. DENEYLER

Bu bölümde tüm numunelere ait deneyler ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Deney numunelerinin gözlenen davranışı ve deneyler sırasında dikkati çeken ayrıntılar ilgili itme ve çekme çevrim numaralarıyla birlikte verilecektir. Her deneyin anlatıldığı bölümde o deneye ait yükleme fonksiyonu, normal kuvvet-adım sayısı grafiği, yük-tepe yerdeğiştirmesi grafiği, enerji yutma kapasitesi-kat göreli öteleme grafiği, eğrilik grafikleri, Şekildeğiştirme ölçer-kat göreli öteleme grafiği ve kontrol için alınan ölçümlerin grafikleri verilecektir. Deneylerde gözlemlenen önemli çatlakların oluştuğu çevrimden başlayıp göçmeye kadar olan gelişimi verilecektir. Deneylerin anlatımı sırasında, itme yönü için pozitif, çekme yönü negatif olarak dikkate alınmıştır. Tüm numunelerde belirlenen yükleme fonksiyonu çevrimsel olarak uygulanarak, her çevrim sonunda numunelerde meydana gelen çatlaklar kaydedilmiştir. Kaydedilen çatlaklar numaralarıyla birlikte, hazırlanan çatlak krokilerinde, kat göreli öteleme oranlarındaki değişimlerine göre sunulacaktır. Her çevrimin pik değerinde alınan yük ve yerdeğiştirme çiftleriyle oluşturulan zarf eğrileri de deneylerin anlatımı sırasında sunulacaktır.

Tüm deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Yerdeğiştirme çervrimleri özel olarak üretilen bir yazılımla bilgisayardan hidrolik verene komut olarak iletilmektedir. Bu yazılıma hedef yerdeğiştirme ve adım sayısı değerleri girilerek istenen yerdeğiştirme değerlerine ulaşılmıştır. Yalın betonarme çerçeve yatay yük taşıma kapasitesinin % 85'ine düştüğünde deneye son verilmiştir. Güçlendirilmiş numuneler de yaklaşık olarak yalın çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine indiğinde deneylere son verilmiştir.

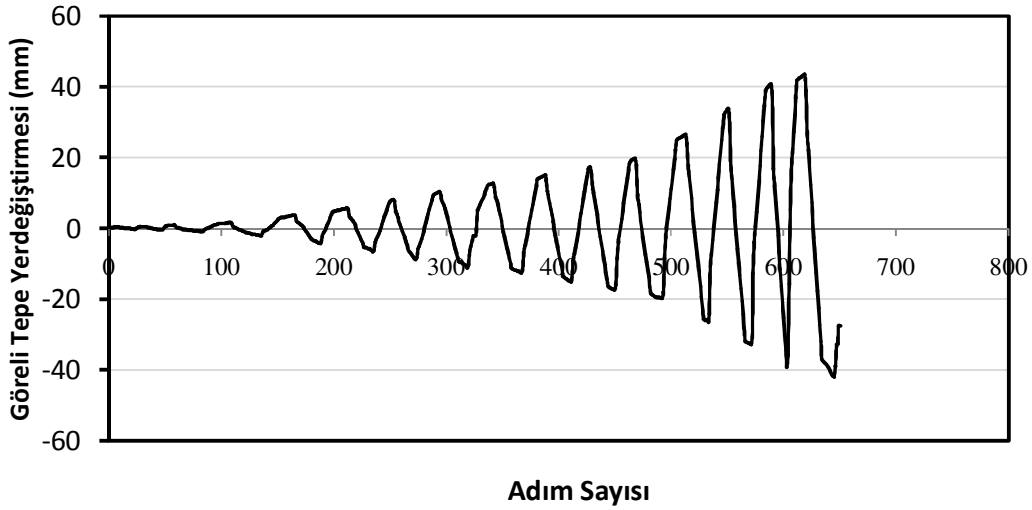
3.1 BF1 Numunesi Deneyi

BF1, güçlendirilmiş deney numuneleri ile karşılaştırılmak amacıyla üretilmiş kontrol numunesidir. Numuneye 16 tam deplasman çevrimi uygulanmıştır. Eksenel yük başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, adım sayısına göre değişimi Şekil 3.1'de sunulmuştur. Numuneye uygulanan yerdeğiştirme patronu ile oluşan yatay dayanım değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.2'de numuneye uygulanan yükleme fonksiyonun adım sayısına göre değişimi verilmiştir. Numunede ilk eğilme çatlağı, 3. çevrimin itme yüklemesinde 1.20 mm'lik göreli yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık gelen yatay kuvvet 32.7 kN olarak elde edilmiştir. 6. çevrimin itme yüklemesinde 7.2 mm göreli yerdeğiştirme değerinde boyuna donatıda ilk akma gözlemlenmiştir. İlk akma değerine ulaşıldığında yatay kuvvet 58.6 kN olarak ölçülmüştür. Bu adımdaki en büyük çatlak genişliği 1.0 mm dir.



Şekil 3.1: BF1 Numunesinde Normal Kuvvetin Adım Sayısı İle Değişimi

Numuneye ait yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi grafiği Şekil 3.3'de sunulmuştur. Şekil 3.4'de yatay yük- tepe yerdeğiştirmesi grafiğinin zarf eğrisi verilmiştir. Şekil 3.5'de numunenin enerji tüketme kapasitesi- göreli kat ötelemesi grafiği sunulmuştur. Numunede meydana gelen temel hareketini görmek amacıyla Şekil 3.6'da yatay yük – taban yerdeğiştirmesi grafiği verilmiştir. Şekil 3.7'de doğu yüzü-sağ kolon-üst-sol donatıdaki şekildeğiştirmelerin kat göreli ötelemesine göre değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 3.2: BF1 Numunesi Yükleme Patronu

Tablo 3.1 BF1 Numunesi Tepe yerdeğiştirmesi – Yatay Yük Değerleri

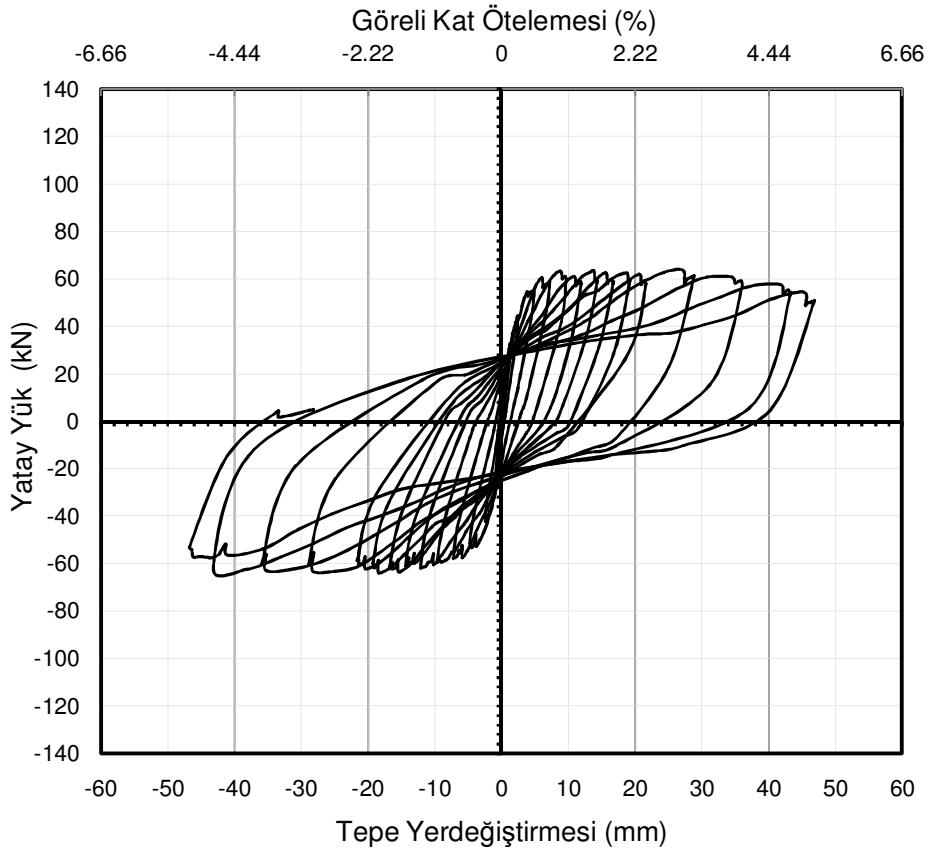
Yerdeğiştirme (mm)	Yatay Dayanım (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	15.2	-16.2
0.6	19.5	-20.8
1.2	32.7	-32.3
2.4	44.5	-42.2
4.8	54.7	-51.6
7.2	58.6	-57.8
9.6	59.0	-59.3
12.0	57.8	-61.7
14.4	59.0	-60.9
16.8	58.7	-62.2
19.2	59.1	-60.0
21.6	57.8	-58.6
28.8	61.4	-60.3
36.0	56.8	-60.2
43.2	54.2	-61.8
46.8	50.8	-53.0

İlk çevrimde ulaşılan yerdeğiştirme değeri 0.4 mm iken itme çevriminde ölçülen yatay dayanım 15.2 kN, çekme çevriminde ise -16.2 kN olmuştur. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

İkinci çevrimde 0.6 mm göreli tepe yerdeğiştirmesine ulaşılmış, karşı gelen dayanımlar, itme durumunda 19.5 kN ve çekme durumunda 20.8 kN oluşmuştur. Bu çevrimde de numunede herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.

3. çevrimin itme yüklemesinde ilk çatlaklar (a ve b çatlakları) oluşmuştur. Bu çevrimin çekme yönünde de bu çatlakların simetrikleri (a' ve b' çatlakları) oluşmuştur. Bu çevrimde boyuna donatılardan okunan en büyük şekildeğiştirme ölçer değerleri 230 mμ düzeyindedir.

4. çevrimde hedef yerdeğiştirme değeri 2.40 mm, buna karşı gelen yük değeri itme durumunda 44.5 kN, çekme durumunda ise -42.2 kN olarak ölçülmüştür. Bu çevrimde itme yönünde c çatlağı, çekme yönünde ise c' ve d' çatlakları oluşmuştur. Donatılardaki en büyük şekildeğiştirme ölçer değeri 1045 mμ düzeyindedir.



Şekil 3.3: BF1 Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Grafiği

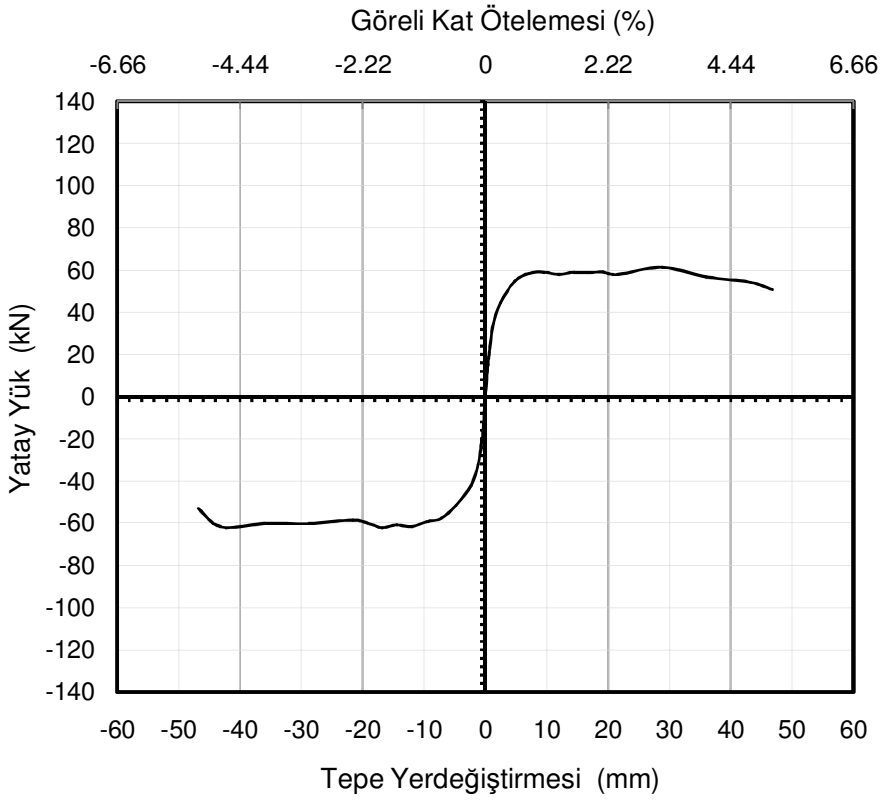
5. çevrimde 4.8 mm göreli tepe yerdeğiştirmesi değerine karşılık elde edilen yatay dayanım itmede 54.7 kN ve çekmede -51.6 olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde çatlak sayısında önemli bir artış olmuştur. İtme yönünde d, e, f, g, h çatlakları, çekme yönünde ise e', f', g', h', i' çatlakları oluşmuştur. Bu adımda gözlemlenen en büyük yapısal çatlak genişliği 0.7 mm ile b çatlağıdır.

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 58.6 kN, çekme yüklemesinde ise -57.8 kN yatay yük oluşmuştur. Bu adımda donatıda ilk akma gözlemlenmiştir. İtme yüklemesinde i çatlağı, çekme yüklemesinde ise j' ve k' çatlakları oluşmuştur. Ölçülen en büyük çatlak genişliği 1.0 mm ile b çatlağıdır.

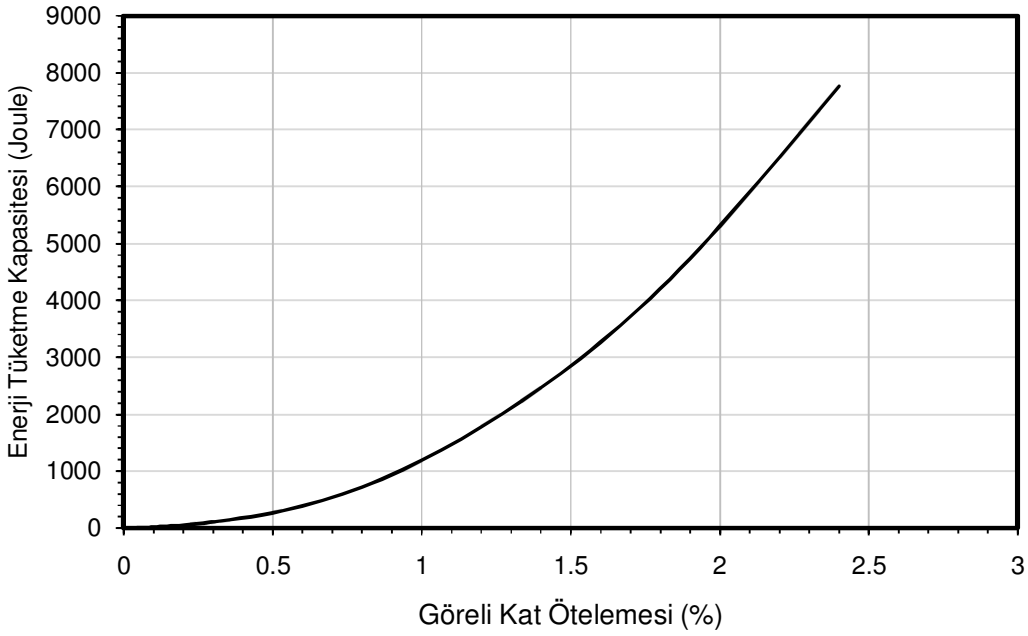
7. çevrimde ulaşılan hedef yerdeğiştirme değeri 9.6 mm, buna itme yüklemesinde oluşan yatay yük 59 kN, çekme yüklemesinde ise -59.3 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme durumunda j ve k çatlakları, çekme durumunda ise l', m' ve n' çatlakları oluşmuştur. En büyük çatlak genişliği 1.6 mm düzeyindedir.

8. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme değeri 12.0 mm buna karşı gelen yatay yük itmede 57.8 kN, çekmede ise -61.7 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimde itme yüklemesinde l ve m çatlakları, çekme yüklemesinde o' çatlağı oluşmuştur.

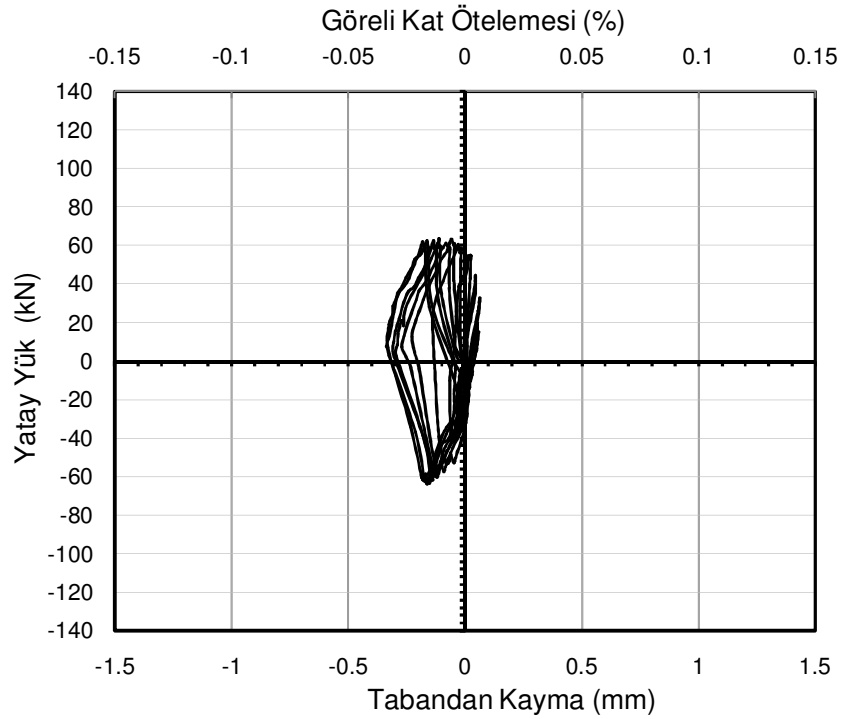
Bundan sonraki çevrimlerde numunede çok farklı bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. 12. çevrimin çekme adımında p' çatlağı, 13. çevrimin itme adımında m çatlağı oluşmuştur. Deneye 16. çevrimde 46.8 mm tepe yerdeğiştirme değerinde son verilmiştir. Kolonların alt uç bölgelerinde beton ezilmiş ve bu bölgelerde plastik mafsallaşma oluşmuştur. Numunenin boyuna donatılardaki akmadan sonra taşıdığı yatay yük miktarında son çevrime kadar bir düşüş yaşanmamış, son çevrimde yatay yükün ulaşılan en büyük değerinin % 85'ine düşmesi ve göreli kat öteleme değerlerinin büyük değerler alması sebebiyle deneye son verilmiştir.



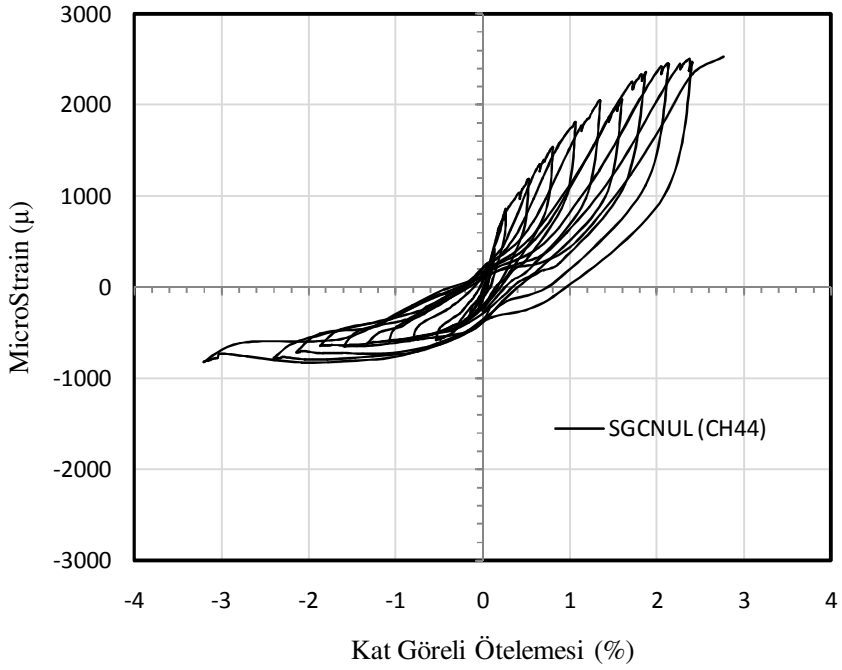
Şekil 3.4: BF1 Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi



Şekil 3.5: BF1 Numunesi Enerji Tüketme Kapasitesi-Göreli Kat Ötelemesi Grafiği



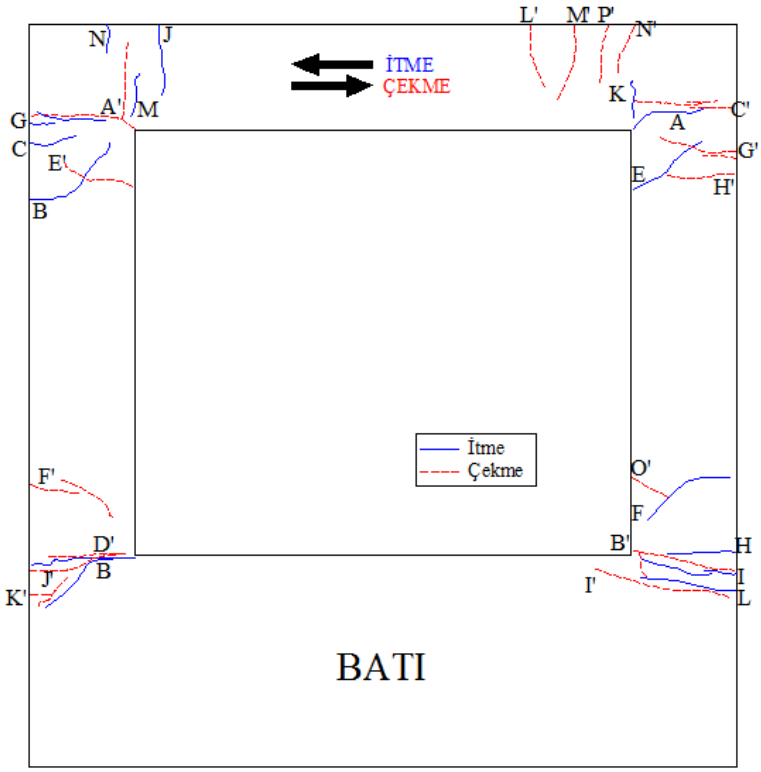
Şekil 3.6: BF1 Numunesi Yatay yük – Taban yerdeğiştirmesi Grafiği



Şekil 3.7: BF1 Numunesi Şekildeğiştirme ölçer - Kat Göreli Ötelemesi Grafiği

3.1.1 Hasar Dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yönleri için numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde a, b, c, … gibi harfler, çekme çevriminde ise a', b',c', … gibi üslü harfler verilerek çatlaklar kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.8'de sunulmuştur. Numunede çatlak ölçümü batı yüzünden yapılmıştır. Tablo 3.2'de itme ve Tablo 3.3'de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin göreli kat ötelemelerine göre değişimi verilmiştir. Şekil 3.9'da deney sırasında numunede meydana gelen değişiklikler görülmektedir.



Şekil 3.8: BF1 Numunesi Çatlak Krokisi

Tablo 3.2 İtme Durumunda Numunede Oluşan Çatlak Genişlikleri

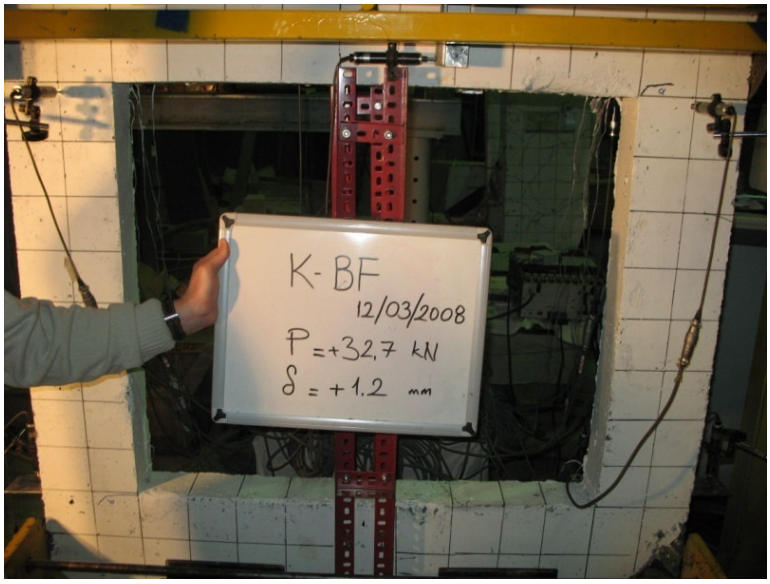
Drift(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A	<0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	1.4	1.8	2.0	2.5	3.0	>3.5	5.0	7.0	8.0
B	0.1	0.2	0.7	1.0	1.6	2.0	5.0	6.0	8.0	9.0	10.0	10.0	11.0	11.0
C		0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
D			0.2	0.3	0.4	0.7	0.9	0.9	1.4	1.4	1.8	3.0	3.5	2.5
E			0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4
F			0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
G			0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9	0.9	1.4	1.6	1.8	2.5
H			<0.1	0.5	1.0	1.4	2.0	2.5	3.0	3.5	>3.5	-	-	-
I				0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.9	>3.5	-	-
J					0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
K					<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
L						<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
M						<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
N											0.1	0.2	0.3	0.5

"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."

Tablo 3.3 Çekme Durumunda Oluşan Çatlak Genişlikleri

Drift(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4	3.2	4.0	4.8	5.2
A'	<0.1	0.2	0.5	0.8	1.0	1.6	1.8	2.0	>2.5	3.5	>3.5	4.0	7.0	12.0
B'	0.1	0.2	0.5	0.9	1.2	1.8	2.0	>2.0	3.0	>3.0	4.0	10.0	15.0	-
C'		0.1	0.1	0.3	0.4	0.6	0.8	0.9	1.0	1.4	1.6	3.0	>3.5	-
D'		0.2	0.4	0.8	1.2	1.8	2.0	>2.0	>3.5	6.0	8.0	-	-	-
E'			<0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	1.2	1.4	0.9
F'			0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
G'			0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	1.6	2.5	3.0	>3.5
H'			<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
I'			0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
J'				<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
K'				0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
L'					<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
M'					0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
N'					0.1	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1
O'						<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
P'										0.2	0.5	0.6	0.7	0.8

"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."

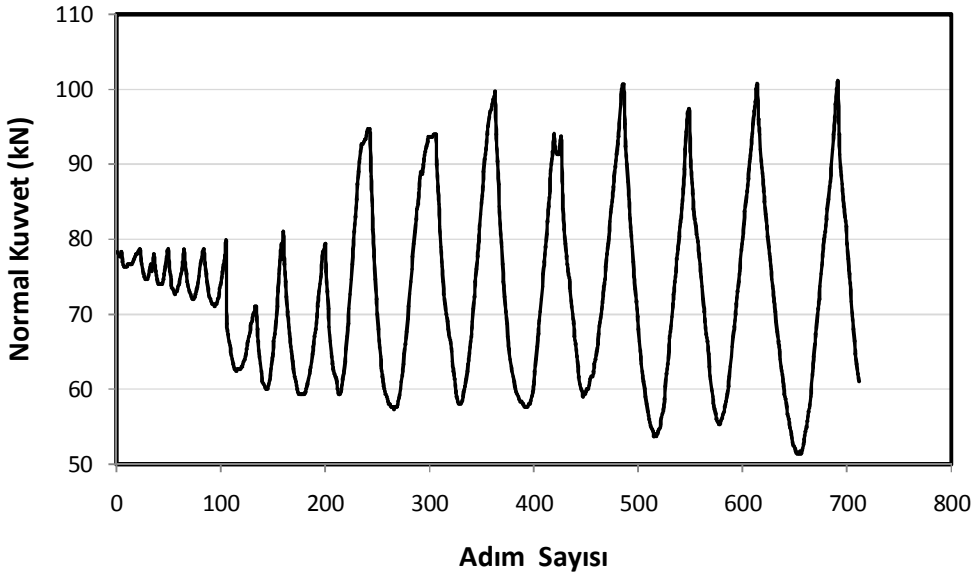




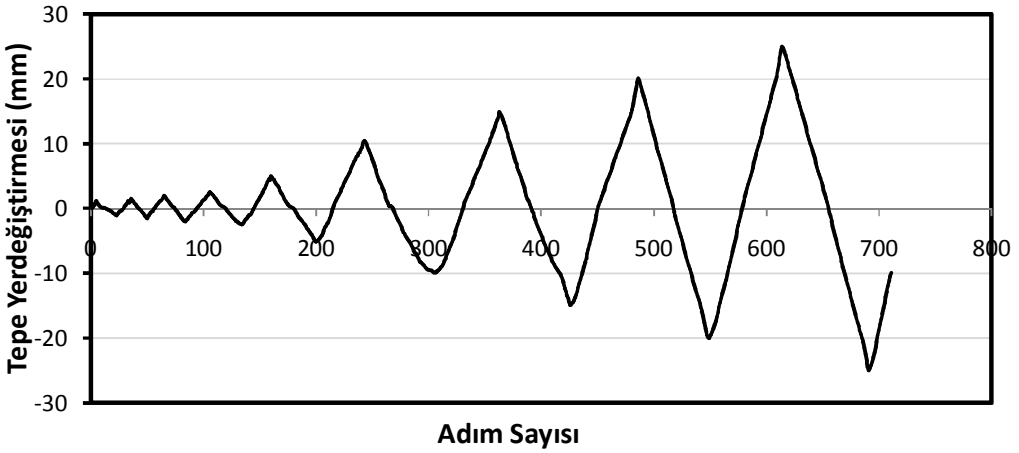
Şekil 3.9: BF1 Numunesinin Deney Sırasında Görünümü

3.2 IF1 Numunesi Deneyi

IF1, güçlendirilmiş dolgu duvarlı numunelerin karşılaştırılması amacıyla üretilmiş kontrol numunesidir. Numuneye uygulanan normal kuvvet başlangıçta 80 kN olarak verilmiş, çevrimler sırasındaki değişimi ise Şekil 3.10'da sunulmuştur. Deney sırasında numuneye uygulanan yükleme patronu Şekil 3.11'de verilmiştir. Numuneye 9 tam yerdeğiştirme çevrimi uygulanmıştır. İlk hasarlar duvar üst kısmında kirişten ayrılma olarak +1.5 mm itme yüklemesinde gözlemlenmiştir. Taşıyıcı elemanlarda ilk çatlaklar +2.0 mm itme yüklemesinde gözlemlenmiştir. Dolgu duvarlarda oluşan ilk çapraz çatlaklar 5.0 mm çevriminde duvarın her iki yüzünde meydana gelmiştir. Tablo 3.4'de numuye uygulanan yerdeğiştirme çevrimlerine karşı gelen yatay dayanım değerleri sunulmuştur. Deney numunesi kolon alt birleşim bölgelerindeki ezilmeler sonucu göçme durumuna erişmiştir. Göçme durumuna gelene kadar bölme duvarda çok sayıda çapraz çatlak oluşmuş ve duvarın taşıyıcı elemandan ayrıldığı gözlemlenmiştir. Özellikle duvarın orta bölgesinde sıva ve tuğlaların döküldüğü gözlemlenmiştir. Deneye 25 mm yerdeğiştirme çevriminde son verilmiştir, bu son çevrimde yatay yük taşıma kapasitesi yaklaşık olarak yalın çerçeve düzeyine düşmüştür. Deney numunesinin yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi grafiği Şekil 3.12'de sunulmuştur.



Şekil 3.10: IF1 Numunesi Eksenel Yük – Adım Sayısı Grafiği



Şekil 3.11: IF1 Numunesi Yükleme Patronu

Tablo 3.4 IF1 Numunesi Tepe Yerdeğiştirmesi – Yatay Dayanım Değerleri

Yerdeğiştirme (mm)	Yatay Dayanım (kN)	
	İtme	Çekme
1.0	63.0	-56.0
1.5	71.7	-63.3
2.0	76.2	-69.3
2.5	79.8	-75.2
5.0	105.5	-100.0
10.0	119.85	-126.0
15.0	95.9	-91.0
20.0	69.9	-69.9
25.0	53.5	-60.9

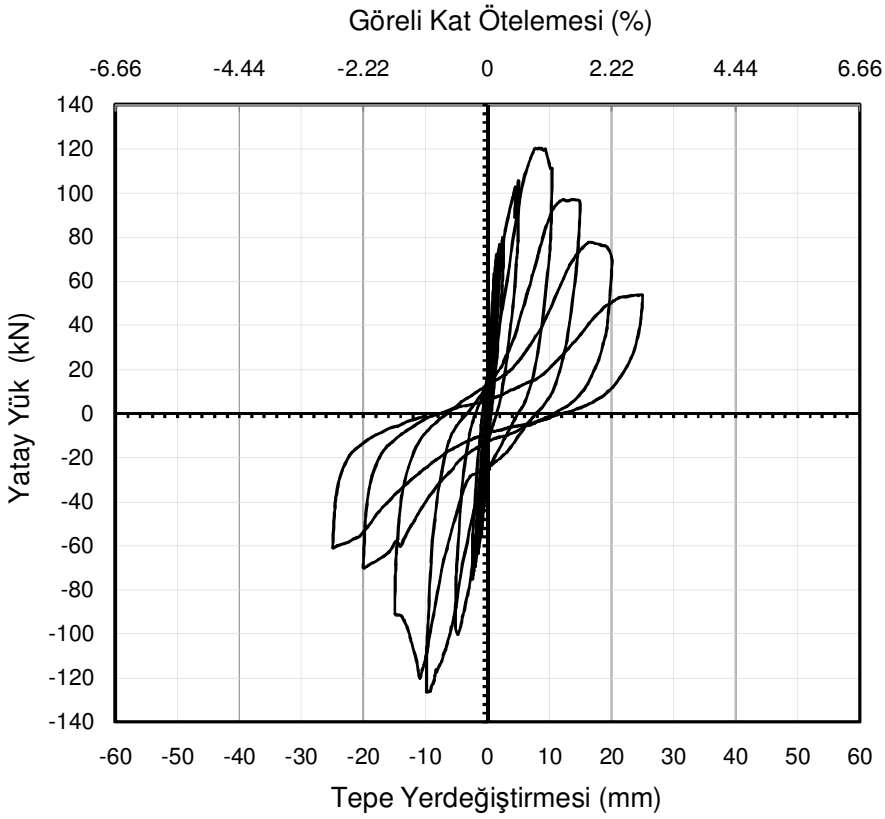
İlk çevrimde 1.00 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itmede 63 kN, çekmede -56 kN yatay yük değerleri elde edilmiştir. Bu adımda duvarda ve taşıyıcı elemanlarda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

İkinci çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme çevrimi 1.50 mm, buna karşılık yatay yük değeri itmede 71.7 kN çekmede ise -63.3 kN olarak elde edilmiştir. Bu çevrimin itme ve çekme yüklemelerinde dolgu duvarın kirişle birleştiği arayüzde duvarın her iki tarafında ilk çatlaklar (itmede a çatlağı, çekmede a' çatlağı) oluşmuştur.

3. çevrimde 2.0 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itmede 76.2 kN, çekmede ise -69.3 kN yatay yük oluşmuştur. Bu çevrimin itme adımında kolonda eğilme çatlakları (b, c, d) oluşmuştur. Çekme tarafında ise taşıyıcı elemanlarda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

4. çevrimde deney numunesine 2.5 mm yerdeğiştirme çevrimi uygulanmış itmede 79.84 kN, çekmede ise -75.2 kN yatay yük dayanımları elde edilmiştir. Bu çevrimin itme yönünde yeni çatlak gözlemlenmemiş, çekme yönünde ise duvarla kolon arasındaki bölgede ayrılmalar başlamış ayrıca çekme kolonunda eğilme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir.

5. çevrimde numuneye uygulanan 5.0 mm yerdeğiştirme çevrimine karşılık itme yönünde 105.5 kN, çekme yönünde ise -100 kN yatay dayanım meydana gelmiştir. Bu çevrimde hem itme hem de çekme yüklemelerinde duvarın iki yüzünde çapraz çatlaklar oluşmuştur.



Şekil 3.12: IF1 Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Grafiği

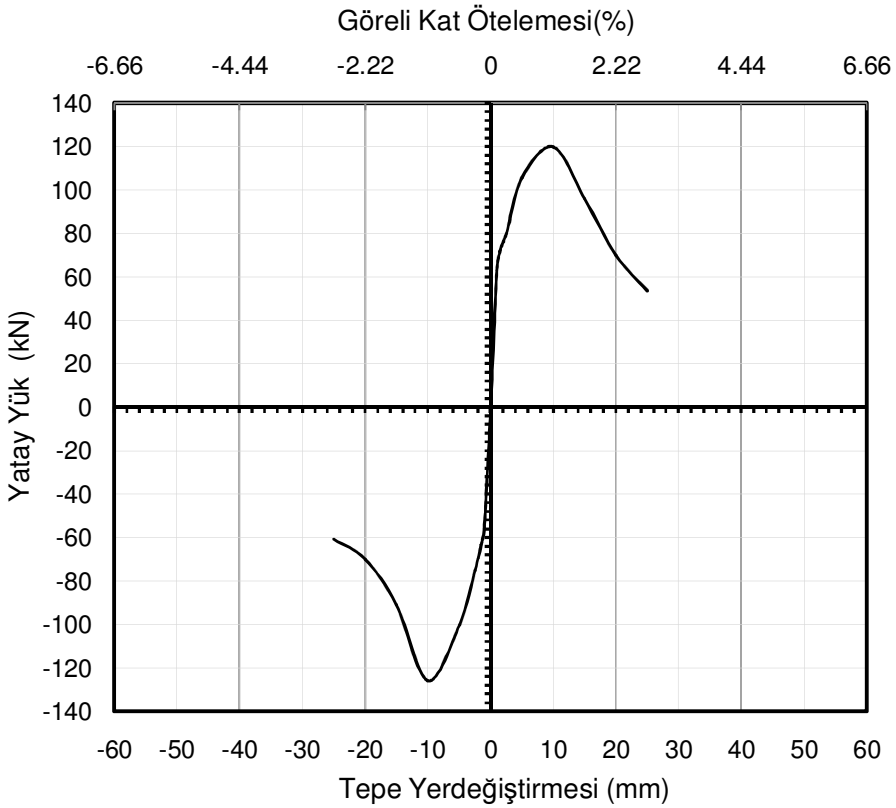
6. çevrimde 10.0 mm tepe yerdeğiştirmesi değerine karşılık itme adımında 119.85 kN, çekme adımında ise -126 kN yatay yük değeri elde edilmiştir. Bu çevrimde +9.4'lik yerdeğiştirme düzeyinde duvar taşıma gücünü kaybetmiştir. İtme ve çekme yönlerinde çapraz duvar çatlaklarının birleşim bölgesinde, büyük çatlaklar ve buna bağlı kabarmalar oluşmuştur. Duvarın her iki yüzünde üst bölgede dikey çatlaklar oluşmuştur.

7. çevrimde numuneye uygulanan yerdeğiştirme 15.0 mm okunan yatay kuvvetler itme yüklemesinde 95.9 kN, çekme yüklemesinde ise – 91 kN olmuştur. Bu çevrimde 3.5 mm'den büyük ayrılmalar (kolonla duvar birleşim bölgesindeki d' çatlağı) meydana gelmiştir. Ayrıca ön ve arka yüzde sıvada dökülmeler görülmeye başlanmıştır. Batı yüzü sol kolonla temel birleşim bölgesinde, duvarda 3.5 mm'den büyük ayrılmalar gözlemlenmiştir.

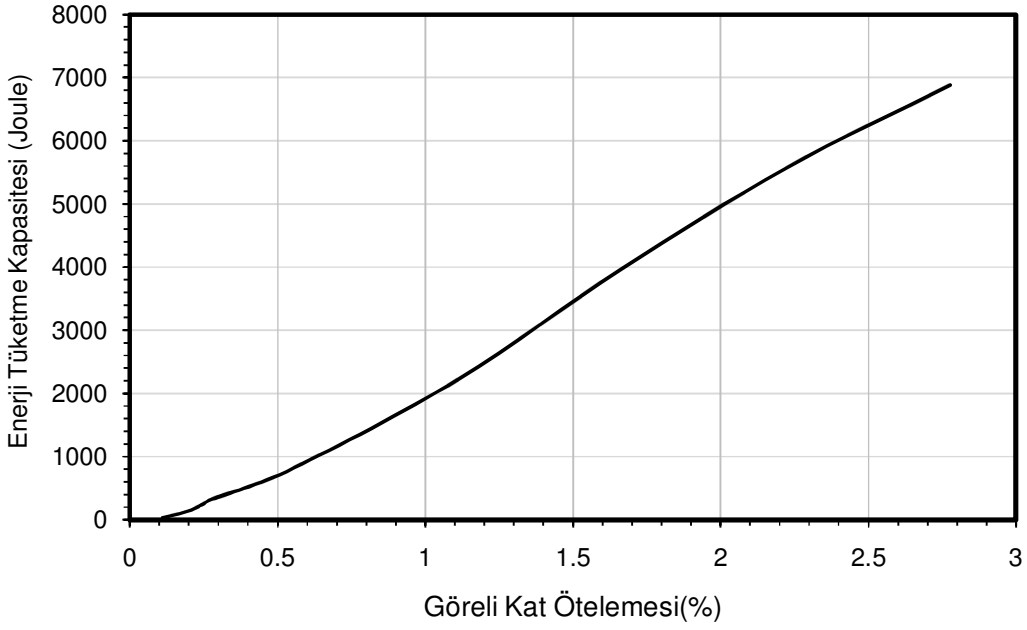
8. çevrimde 20.0 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 69.85 kN yatay kuvvet, çekme yüklemesinde ise -69.9 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu adımda duvarda büyük hasar meydana gelmiştir. Sıvaların ayrılmasının ardından tuğlalarda dökülmeler başlamıştır.

9. çevrimde numuneye 25.0 mm yerdeğiştirme yüklemesi yapılmış, buna karşılık itme yüklemesinde 53.5 kN yatay kuvvet, çekme yüklemesinde ise -60.9 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde duvarda çok büyük hasar oluşmuş tamamen taşıma gücünü kaybetmiştir. Ayrıca kolon uçlarındaki betonda ezilmeler tesbit edilmiş, bu çevrimde yükleme durdurulmuştur. Numunenin yatay yük taşıma kapasitesi, duvarın tamamen devreden çıkmasıyla birlikte betonarme yalın çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine düşmüştür.

Deney numunesine ait zarf eğrisi Şekil 3.13'de, enerji tüketme grafiği Şekil 3.14'de sunulmuştur.



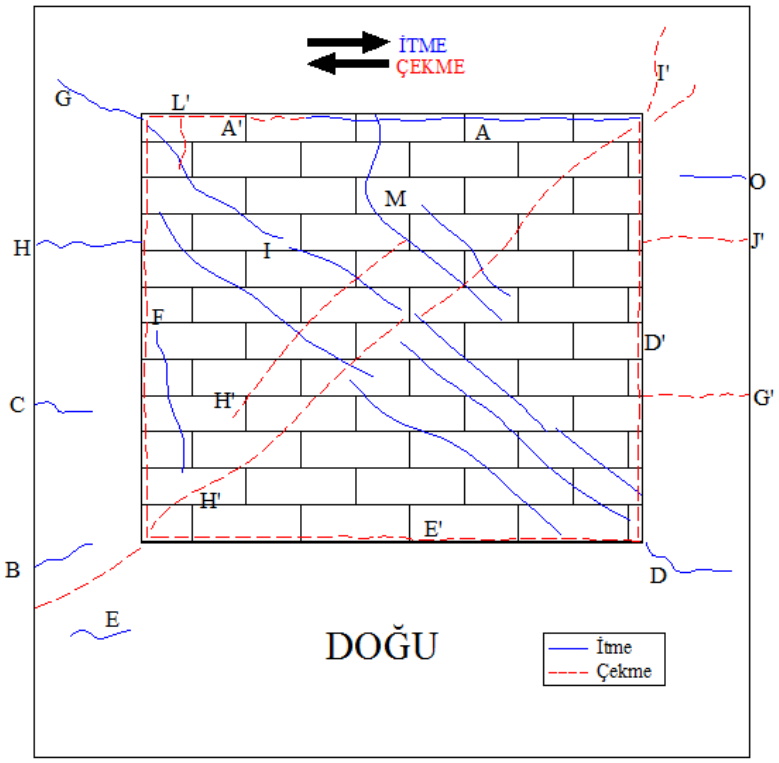
Şekil 3.13: IF1 Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirme Zarf Eğrisi



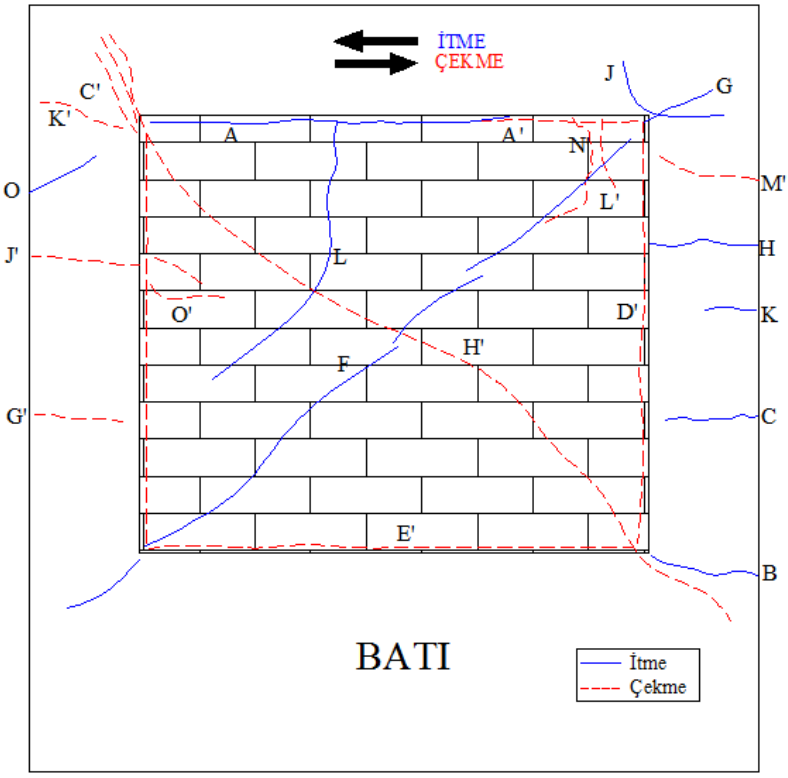
Şekil 3.14: IF1 Numunesi Enerji Tüketme Kapasitesi – Göreli Kat Ötelemesi İlişkisi

3.2.1 Hasar Dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde a, b, c, … gibi harfler verilerek, çekme çevriminde ise a', b',c', … gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait Doğu yüzü hasar krokisi Şekil 3.15'de, Batı yüzü hasar krokisi Şekil 3.16'da sunulmuştur. Numunede çatlak ölçümü hem doğu yüzü hem de batı yüzünden yapılmıştır. Tablo 3.5'de itme ve Tablo 3.6'da çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin göreli kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur. Numunenin deney sırasındaki görünümü Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.15: IF1 Numunesi Doğu Yüzü Çatlak Krokisi



Şekil 3.16: IF1 Numunesi Batı Yüzü Çatlak Krokisi

Tablo 3.5 İtme Yönünde Oluşan Çatlak Genişlikleri

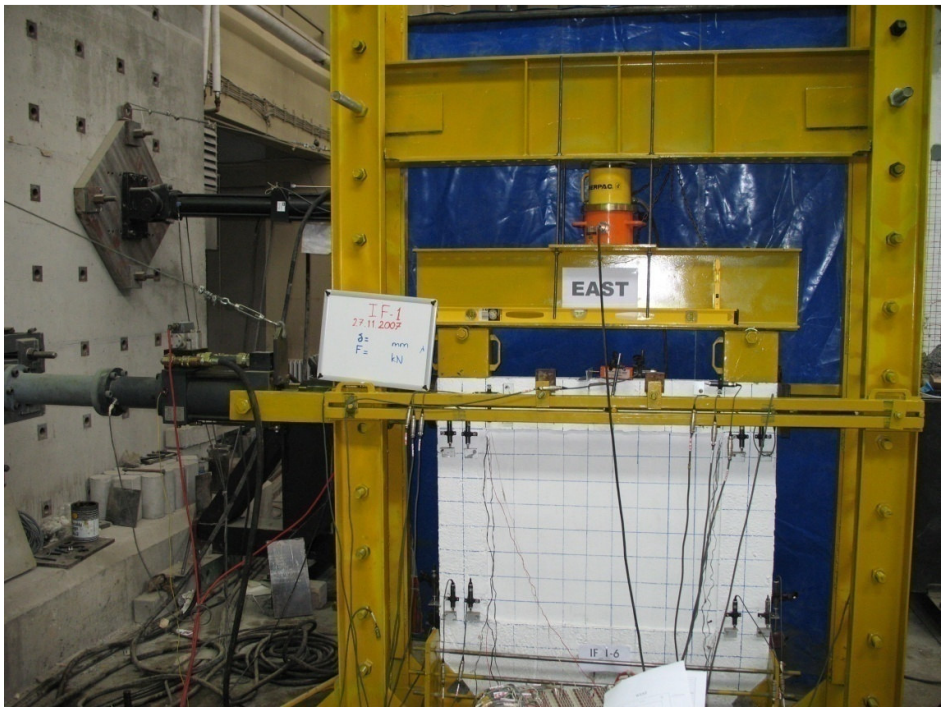
Drift (%)	‰ 1.5	‰ 2	‰ 2.5	‰ 5	% 1	% 1.5	% 2	% 2.5
A	0.1	0.6		0.8	0.8	>3.5		
B		0.1	0.2	0.3	0.6	0.9	1.5	1.5
C		<0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.3
D		<0.1	0.3	0.4	0.9	1.5	>3.5	5.0
E		<0.1	0.1		0.9		0.9	
F				0.3	0.9	2.5	>3.5	
G				0.4	0.9	1.8	0.9	3.5
H				0.3	0.6	0.7	0.9	0.1
I					1.8	3.0	>3.5	
J							1.2	1.0
K							0.1	
L							0.6	0.3
M							0.9	0.2
N							7.0	
O								0.5

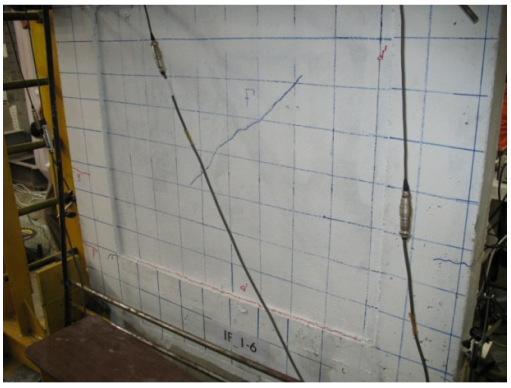
"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."

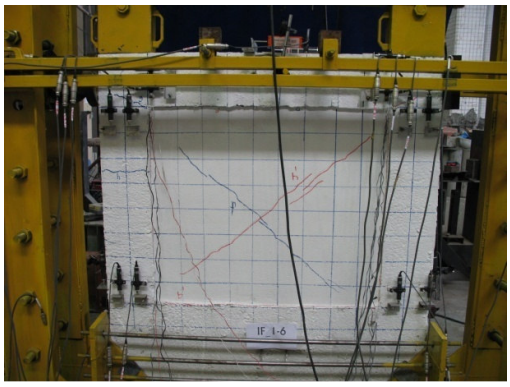
Tablo 3.6 Çekme Yönünde Oluşan Çatlak Genişlikleri

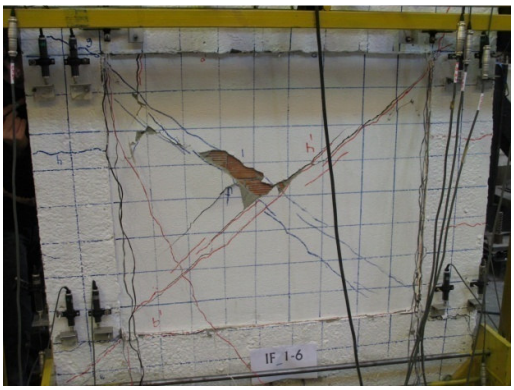
Drift (%)	‰ 1.5	‰ 2	‰ 2.5	‰ 5	% 1	% 1.5	% 2	% 2.5
A′	0.2	0.2	0.8	1.6	1.6	1.6		
B′			0.6	0.5	1.2	1.6	3.5	
C′			0.2	0.7	0.9	1.6	0.6	0.9
D′			0.3	1.2	0.8	0.7	0.3	0.1
E′			0.3	0.6	0.7	4.0	>4.0	
F′			0.2	0.3	0.8	3.5	5.0	
G′			0.1	0.3	0.6	0.6	0.2	0.3
H′				0.7	2.0	>5.0	>5.0	
I′				0.4	0.6	0.6	1.2	1.3
J′				0.3	0.5	0.7	0.1	0.2
K′				0.3	0.5	0.6	0.7	0.8
L′					0.5	4.0	>4.0	0.8
M′						0.3	1.0	1.2
N′							0.6	1.0
O′							0.4	1.8

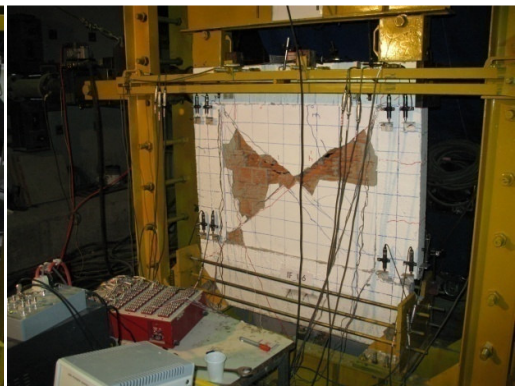
"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."







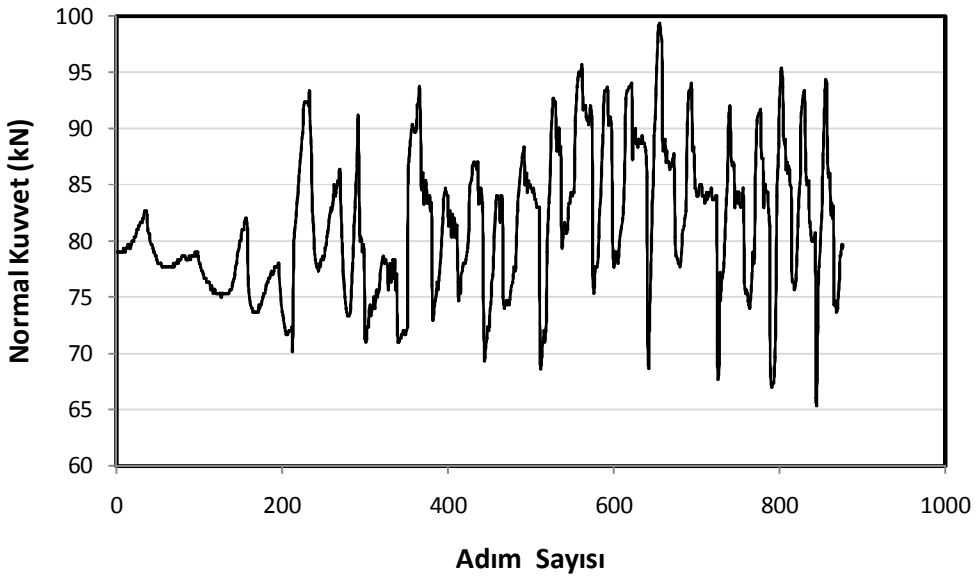




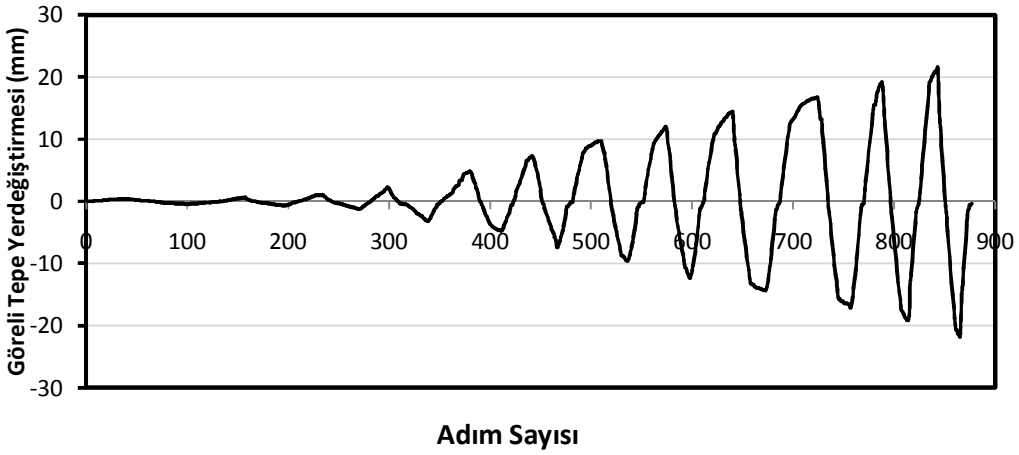
Şekil 3.17: IF1 Numunesinin Deney Sırasında Görünümü

3.3 IF3-FRP(X) Numunesi Deneyi

Bu numune dolgu duvarlı betonarme çerçevenin X çaprazlı CFRP şeritleriyle güçlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Numuneye uygulanan eksenel yükün adım sayısına göre değişimi Şekil 3.18'de sunulmuştur. Numuneye 12 tam yerdeğiştirme çevrimi uygulanmıştır. Uygulanan yerdeğiştirme patronunun adım sayısına göre değişimi Şekil 3.19'da verilmiştir. Tablo 3.7'de çevrimlere karşılık gelen yatay yük değerleri sunulmuştur. Numuneye tepe yerdeğiştirmesi ölçümüyle başlanmış fakat 5.0 mm çevriminin çekme yüklemesinden sonra göreli yerdeğiştirme değerleriyle deneye devam edilmiştir. Numunede yerdeğiştirme ölçümleri doğu yüzünden, hasar okumaları da batı yüzünden yapılmıştır. İlk eğilme çatlağı 1.2 mm çevriminin itme yönünde (a çatlağı) oluşmuştur, bu çatlağın simetriği aynı çevrimin çekme yönünde de oluşmuştur. Duvarda ilk ayrılma 2.4 mm çevriminde gözlemlenmiş, ilk çapraz çatlaklar ise 12.0 mm çevriminde FRP çapraz kuşakların hemen altında oluşmuştur. Duvardaki hasar düzeyinde IF1 numunesine göre önemli bir azalma gözlemlenmiş, sıva ve tuğla dökülmeleri sadece diyagonal uç bölgelerinde ezilmeden dolayı oluşmuştur. Kolon alt uç bölgelerinde betonun ezilmesinden dolayı numunede önemli ölçüde taşıma gücü kaybı yaşanmış ve deneye bu sebepten dolayı son verilmiştir. Numuneye ait yatay yük – göreli tepe yerdeğiştirmesi grafiği Şekil 3.20'de sunulmuştur.



Şekil 3.19: IF3-FRP(X) Numunesinde Normal Kuvvetin Adım Sayısı ile Değişimi



Şekil 3.19: IF3-FRP(X) Numunesine Uygulanan Yükleme Patronu

Tablo 3.7 IF3-FRP(X) Numunesi Tepe Yerdeğiştirmesi – Yatay Yük Değerleri

Yerdeğiştirme (mm)	Yatay Dayanım(kN)	
	İtme	Çekme
0.4	86.0	-66.2
0.6	105.0	-83.0
1.2	132.5	-114.7
2.4	146.9	-131.8
4.8	149.0	-130.8
7.2	150.2	-139.9
9.6	153.0	-120.2
12.0	150.7	-115.0
14.4	146.7	-97.8
16.8	132.3	-96.2
19.2	106.7	-83.6
21.6	99.3	-81.7

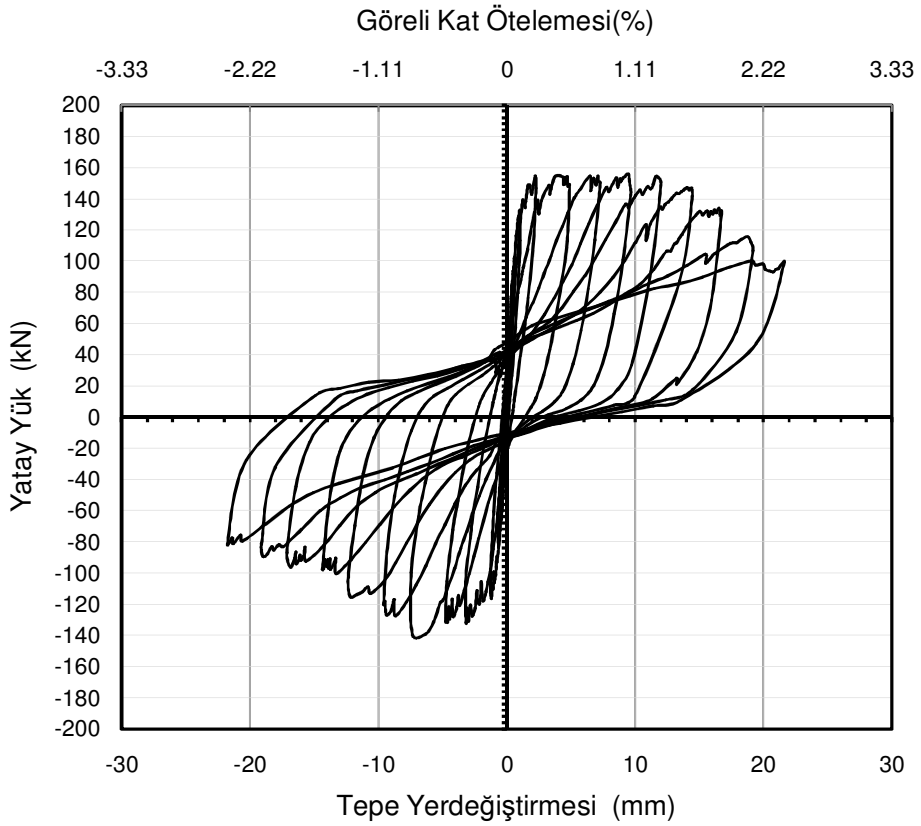
İlk çevrimde 0.4 mm göreli yerdeğiştirme çevrimine karşılık itme yüklemesinde 86 kN, çekme yüklemesinde ise -66.2 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde tepe yerdeğiştirme değeri 1.0 mmdir. Numunede herhangi bir hasar bu çevrimde gözlemlenmemiştir.

İkinci çevrimde 0.6 göreli yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 105 kN, çekme yüklemesinde ise -83 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Tepe yerdeğiştirme değeri 1.5 mmdir. Bu çevrimde de numunede herhangi bir hasar oluşmamıştır.

3. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 132.5 kN, çekme yüklemesinde ise -114.7 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Tepe yerdeğiştirme değeri 2.5 mmdir. Bu çevrimin itme yönünde itme kolonunda ilk eğilme çatlağı (a çatlağı) oluşmuştur. Aynı şekilde çekme yönünde de kolonda eğilme çatlakları (a' ve b') oluşmuştur.

4. çevrimde 2.4 mm yerdeğiştirme çevrimine karşılık itme yüklemesinde 146.86 kN, çekme yüklemesinde ise -131.77 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Tepe yerdeğiştirme değeri bu çevrim için 5.0 mmdir ve bu çevrimin çekme yüklemesinden sonra tepe yerdeğiştirme değerleri dikkate alınmayıp Kanal 11'den alınan göreli yerdeğiştirme değerlerine göre deney devam etmiştir. Bu çevrimin itme yönünde b, c, d, e ve f çatlakları oluşmuştur; d ve e çatlakları duvarın taşıyıcı elemanlardan ayrılması sonucu oluşan çatlaklardır ve bu ayrılma ilk defa bu adımda gözlemlenmiştir. Bu çevrimin çekme yönünde de itme yönünde meydana gelen ayrılmaların simetrikleri d' ve e' çatlakları oluşmuştur. Çekme yönünde yeni oluşan çatlaklar c, d, e ve f çatlaklarıdır. Bu çevrimde gözlemlenen bir başka durum ise FRP bağlantı elemanlarında meydana gelen ayrılmalar olmuştur. İtme yönünde batı yüzü sağ alt kolonda, bağlantı elemanında ayrılmalar başlamıştır. Aynı şekilde Çekme yönünde de batı yüzü sol alt kolonda uygulanan FRP bağlantı elemanında yaklaşık olarak 1.0 cm'lik bir ayrılma meydana gelmiştir.

5. çevrimde yerdeğiştirme 4.8 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay kuvvet 149 kN, çekme yüklemesinde ise -130.8 kN dur. Bu çevrimin itme adımında yeni çatlak oluşmamış fakat önceki çevrimde FRP bağlantı elemanlarında meydana gelen ayrılmalarda artma meydana gelmiştir. Hem itme hem de çekme yönlerinde kolon alt bölgelerindeki FRP bağlantı elemanlarında meydana gelen bu ayrılmalar 2.0 cm civarındadır. Bu çevrimin çekme yönünde duvar ile kirişin birleşim bölgesindeki arayüzde çatlak oluşmuş ve g' olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 3.20: IF3-FRP(X) Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Grafiği

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 150.2 kN, çekme yüklemesinde ise -139.9 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde duvarla kiriş arayüzünde g çatlağı meydana gelmiştir. Bunun yanı sıra batı yüzü sağ üst birleşim bölgesine yakın yerde FRP çapraz kuşaklarında 12 mm boyutunda ayrılma oluşmuş fakat duvardaki ankrajlar çalışmaya devam etmiştir. Önceki çevrimlerde olagelen bağlantı elemanlarındaki FRP ayrılmaları artarak devam etmiştir. Bu çevrimin çekme yönünde kolonda h' eğilme çatlağı oluşmuştur. Çekme yönünde sağ alt FRP bağlantı elemanı tamamen kabararak devreden çıkmıştır. Sağ üst birleşim bölgesindeki FRP bağlantı elemanında da yaklaşık olarak 10 mm'lik bir kabarma oluşmuştur. Ayrıca sol alt birleşim bölgesindeki FRP bağlantı elemanında da 10 mm civarında bir kabarma meydana gelmiştir.

7. çevrimde 9.6 mm yerdeğiştirme değerine karşı itme yüklemesinde 153 kN, çekme yüklemesinde ise -120.2 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yüklemesinde yeni bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir fakat birleşim bölgelerindeki FRP bağlantı elemanlarındaki ayrılmalar oldukça artmıştır. Sağ üst

birleşim bölgesindeki FRP bağlantı elemanında 2.0 cm, sağ alt birleşim bölgesinde 12 mm, sol alt birleşim bölgesinde 33 mm ve sol üst birleşim bölgesindeki FRP bağlantı elemanında 13 mm boyutlarında ayrılmalar meydana gelmiştir. Bu çevrimin çekme yüklemesinde de yeni çatlak gözlemlenmemiş, FRP bağlantı elemanlarında ayrılmalarda artma gözlemlenmiştir. Sağ alt kolon birleşim bölgesindeki FRP bağlantı elemanında 3.0 cm boyutunda ayrılma meydana gelmiştir. Aynı şekilde diğer birleşim bölgelerinde de bu ayrılmalar devam etmiştir.

8. çevrimde 12.0 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 150.7, çekme yüklemesinde ise -115 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde duvarda FRP çapraz kuşakların hemen yanında, basınç bölgesinde ilk diyagonal çatlak (h çatlağı) oluşmuştur. Bu çevrimde de birleşim bölgelerindeki FRP bağlantı elemanlarında ayrılmalar giderek artmıştır. Bu çevrimin çekme yönünde itmede oluşan h çatlağının simetriği olan diyagonal çatlak (i' çatlağı) oluşmuştur.

9. çevrimde 14.4 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 146.7 kN, çekme yüklemesinde ise -97.8 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde hem itme hem de çekme yönlerinde yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Kolon çekme bölgesindeki temelde ezilme meydana gelmiştir.

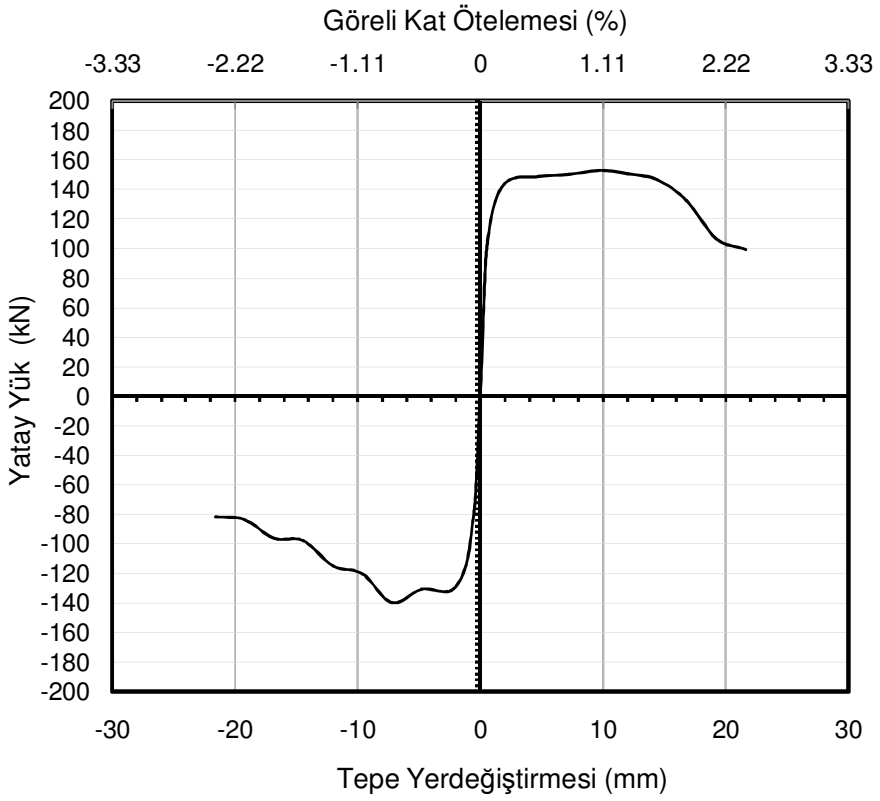
10. çevrimde yerdeğiştirme 16.8 mm buna karşılık itme yüklemesinde oluşan yatay kuvvet 132.3 kN, çekme yüklemesinde oluşan yatay kuvvet ise -96.2 kN olarak kaydedilmiştir. Bu çevrimin çekme yönünde taşıyıcı elemanlara çapraz kuşakların bağlantısını sağlayan tüm FRP bağlantı elemanları kopmuş, buna bağlı olarak çapraz kuşakların taşıyıcı elemanla olan bağlantısı tamamen sona ermiştir fakat duvarda uygulanan ankrajlar çalışmaya devam etmiş, buradaki çapraz kuşaklar duvarı kendi düzleminde tutmaya devam etmiştir.

11. çevrimde 19.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 106.7 kN, çekme yüklemesinde ise 83.6 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde duvarın taşıyıcı elemandan ayrılması belirgin şekilde görülebilmektedir. Birleşim bölgelerindeki FRP elemanların yırtılarak ayrılmasının ardından diyagonal uç bölgelerindeki tuğlaların ezildiği gözlemlenmiştir.

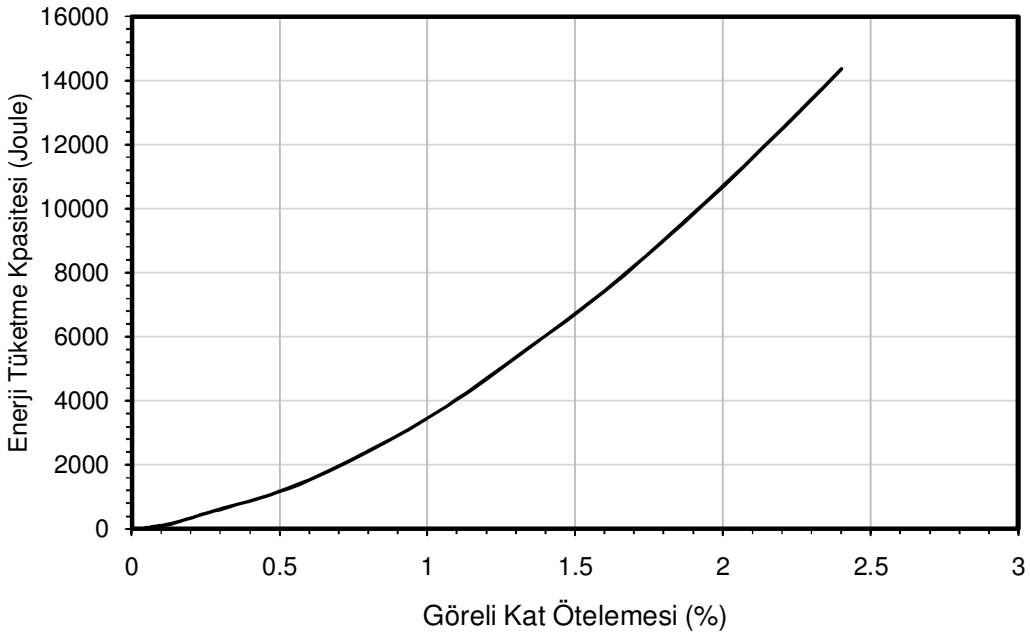
Son çevrim olan 12. çevrimde 21.6 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 99.3 kN, çekme yüklemesinde ise 81.7 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde kolon – temel birleşim bölgesinde betonda meydana gelen ezilme ve

duvarın düzlemdışı hareketinin artması sebebiyle deneyin sonlandırılmasına karar verilmiştir.

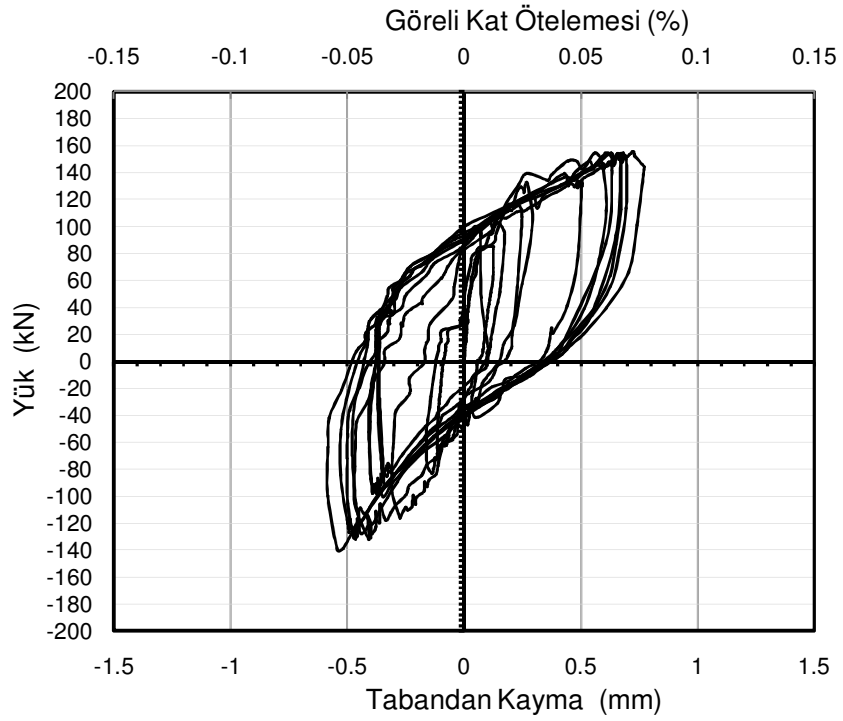
CFRP ile güçlendirilen ilk numune olan bu numune bölme duvarlı kontrol numunesine (IF1) göre karşılaştırıldığında oluşan hasarların önemli ölçüde azalmasını sağlamıştır. Numunede oluşan yapısal hasarların gecikmesini sağlamış ayrıca dolgu duvarda büyük hasarlara sebep olan x şeklindeki diyagonal çatlakların oluşmasını geciktirerek yatay yük taşıma kapasitesini arttırmasının yanında yapıdaki hasar oranını da azaltmıştır. Şekil 3.21'de numuneye ait zarf eğrisi sunulmuştur. Yapıdaki hasarları azaltmasının yanında enerji tüketme kapasitesi de dolgu duvarlı betonarme çerçevenin yaklaşık olarak 2 katıdır. Şekil 3.22'de numuneye ait enerji tüketme kapasitesi grafiği sunulmuştur. Şekil 3.23'de taban hareketini gösteren yatay yük – temel yerdeğiştirmesi grafiği verilmiştir.



Şekil 3.21: IF3-FRP(X) Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi



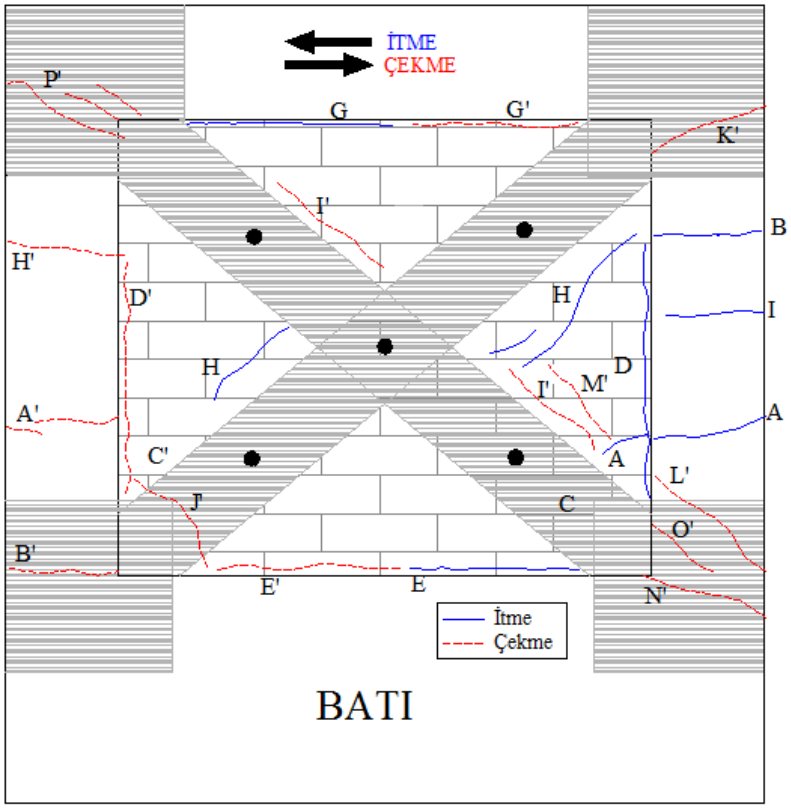
Şekil 3.22: IF3-FRP(X) Numunesi Enerji Tüketme Kapasitesi – Göreli Kat Ötelemesi Grafiği



Şekil 3.23: IF3-FRP(X) Numunesi Yük – Temel Yerdeğiştirmesi Grafiği

3.3.1 Hasar Dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yüklemelerinin son adımlarında numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme yönünde a, b, c, … gibi harfler, çekme yönünde ise a', b',c', … gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait hasar krokisi Şekil 3.24'de sunulmuştur. Numunede çatlak ölçümü batı yüzünden yapılmıştır. Tablo 3.8'de itme ve Tablo 3.9'da çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin göreli kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur. Şekil 3.25'de numunenin deney sırasında görünümü verilmiştir.



Şekil 3.24: IF3-FRP(X) Numunesi Çatlak Krokisi

Tablo 3.8 İtme Yönünde Numunede Oluşan Çatlak Genişlikleri

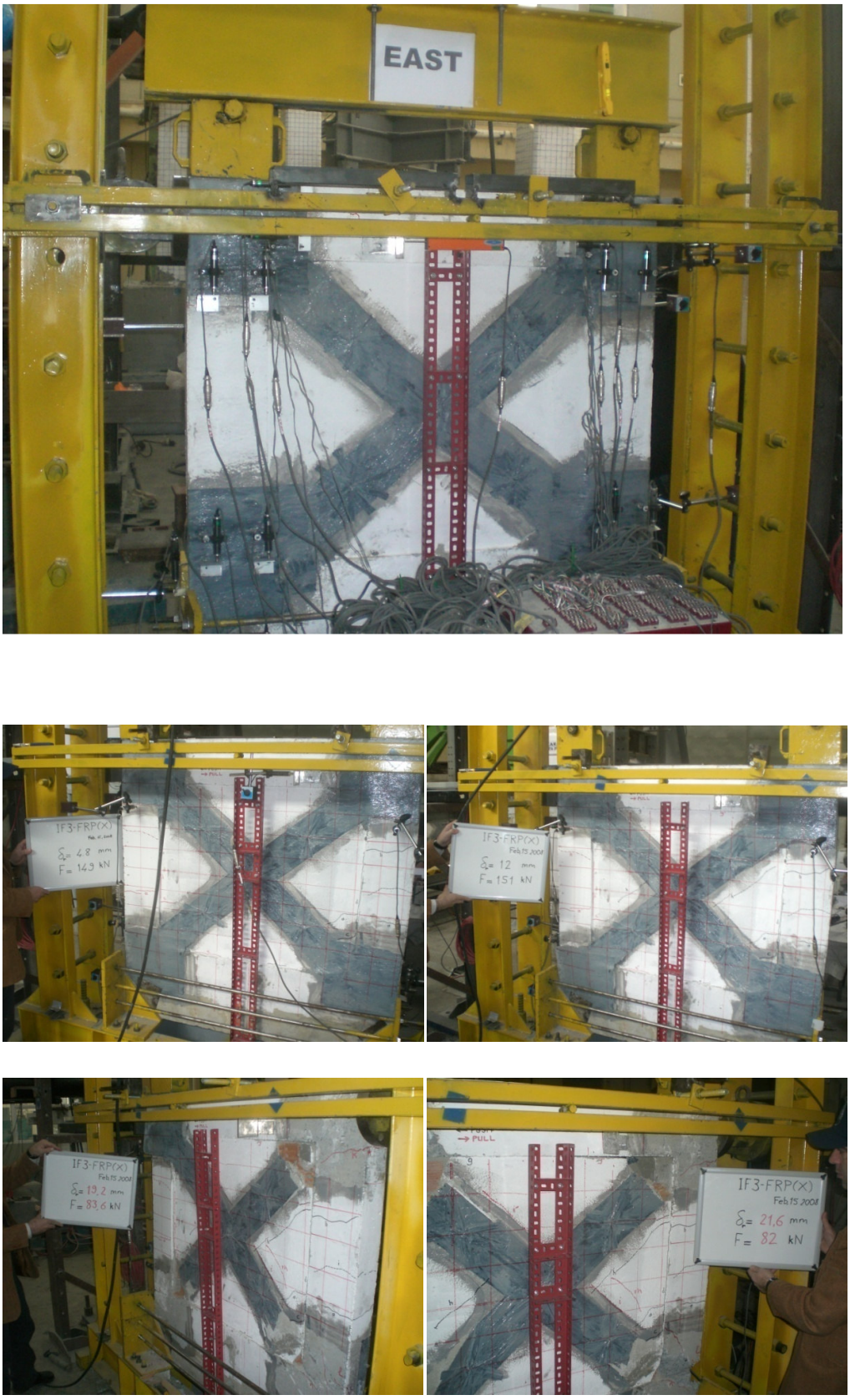
Drift(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4
A	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1
B		0.1	0.2	<0.1	kapandı	-	-	<0.1	<0.1	<0.1
C		0.2	ayrılma	-	-	-	-	-	-	-
D		0.4	0.7	1.2	1.6	1.8	2.5	3.0	4.0	3.0
E		0.3	0.5	0.6	1.0	1.4	1.4	1.4	2.0	5.0
F		0.1	kabarma	-	-	-	-	-	-	-
G				0.7	1.0	1.2	1.4	1.4	2.0	5.0
H						0.1	0.3	0.4	0.2	0.1
I						0.3	0.2	0.2	<0.1	<0.1

"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."

Tablo 3.9 Çekme Yönünde Numunede Oluşan Çatlak Genişlikleri

Drift(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4
A'	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
B'	0.1	0.3	0.7	1.6	1.6	1.8	2.0	2.5	2.5	2.5
C'		0.1	<0.1	<0.1	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1
D'		0.2	0.5	1.4	2.0	3.0	3.5	4.0	5.0	5.0
E'		0.5	0.7	1.0	1.2	1.4	1.8	2.5	3.0	3.5
F'		0.3	ayrılma	-	-	-	-	-	-	-
G'			0.2	0.6	1.0	1.2	1.2	1.2	2.0	4.0
H'				0.5	0.5	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
I'						0.4	0.3	0.1	0.1	<0.1
J'								2.5	-	-
K'								0.6	1.0	1.2
L'								0.3	0.7	-
M'								0.1	0.1	0.1
N'								2.0	2.5	-
O'									1.2	-

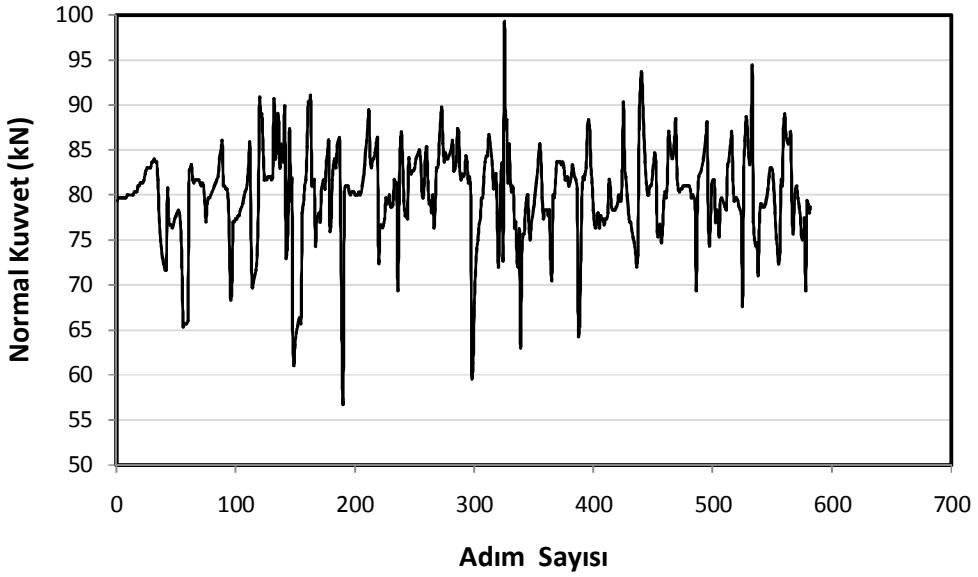
"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."



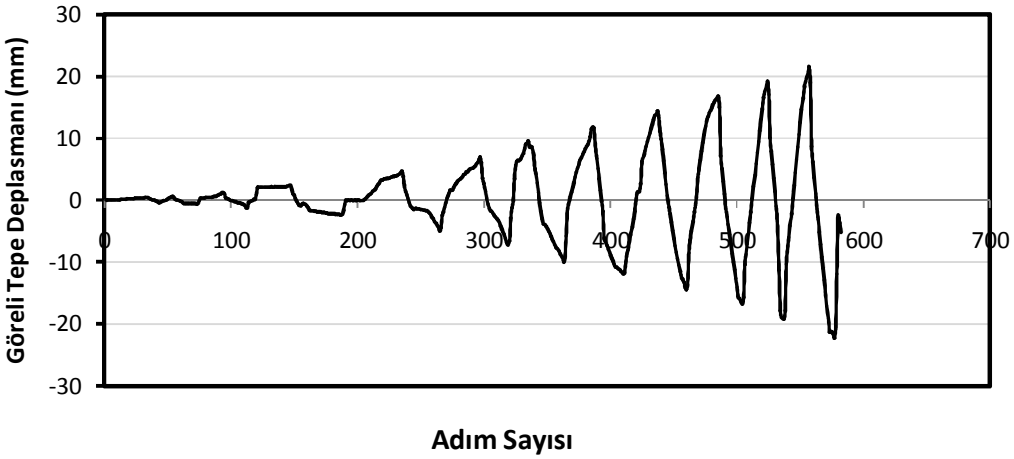
Şekil 3.25: IF3-FRP(X) Numunesinin Deney Sırasında Görünümü

3.4 IF2-FRP(K) Numunesi Deneyi

Bu numune dolgu duvarlı betonarme çerçevenin K şeklinde CFRP kuşaklarıyla güçlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Numuneye uygulanan eksenel yükün adım sayısına göre değişimi Şekil 3.26'da sunulmuştur. Numuneye 12 tam deplasman çevrimi uygulanmıştır. Uygulanan yerdeğiştirme patronu Şekil 3.27'de verilmiştir. Tablo 3.10'da uygulanan yerdeğiştirme patronu ile okunan yatay dayanım karşılıkları sunulmuştur. Deney numunesinde yerdeğiştirme ölçümleri doğu yüzünden, hasar okumaları da batı yüzünden yapılmıştır. İlk çatlak 0.6 mm çevriminin çekme yönünde, duvar orta bölgesinde oluşan diyagonal çatlaktır (a' çatlağı). Betonarme taşıyıcı elemanda görülen ilk yapısal çatlak 2.4 mm çevriminin itme yönünde, birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir. Deneyin son adımında alt birleşim bölgelerindeki betonun ezilmesi sonucu numune kayma kırılması şeklinde göçme durumuna gelmiş bu sebepten dolayı deney sonlandırılmıştır.



Şekil 3.26: IF2-FRP(K) Numunesinde Normal Kuvvetin Adım Sayısı İle Değişimi



Şekil 3.27: IF2-FRP(K) Numunesi Yükleme Patronu

Tablo 3.10 IF2-FRP(K) Numunesi Tepe Yerdeğiştirmesi-Yatay Yük Değerleri

Yerdeğiştirme (mm)	Yatay Dayanım (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	89.2	-79.6
0.6	109.0	-108.4
1.2	123.7	-135.8
2.4	160.7	-166.2
4.8	191.8	-160.3
7.2	185	-146.8
9.6	175.6	-124.2
12.0	124.8	-108.6
14.4	75.5	-95.8
16.8	57.2	-95.2
19.2	49.5	-77.8
21.6	41.0	-71.5

İlk çevrimde 0.4 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış, buna karşı itme yüklemesinde 89.2 kN, çekme yüklemesinde ise -79.6 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.

İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 109.1 kN yatay kuvvet, çekme yüklemesinde ise -109.8 kN yatay kuvvet elde edilmiştir. Bu çevrimin çekme yönünde duvarda ilk çapraz çatlak (a' çatlağı) orta bölgede oluşmuştur.

3. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme değerine karşı oluşan yatay kuvvet değeri itme yüklemesinde 127.7 kN, çekme yüklemesinde ise -135.8 kN olarak elde edilmiştir. Bu çevrimin itme yönünde duvarda çapraz çatlaklar (a ve b çatlakları) oluşmuştur. Çekme yönünde ise yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bu çevrimde batı yüzü sol alt ve sağ üst FRP kuşaklarında kabarmalar oluşmuştur.

4. çevrimde 2.4 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 160.7 kN, çekme yüklemesinde ise -166.3 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde taşıyıcı elemanda ilk eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. Çekme yüklemesinde de sol üst ve sağ alt birleşim bölgelerinde eğilme çatlakları (c' ve d') oluşmuştur. Duvarda ise yeni çapraz çatlak (b') oluşmuştur. Ayrıca sol üst ve sağ alt K çapraz FRP kuşaklarında kabarmalar meydana gelmiştir.

5. çevrimde 4.8 mm yerdeğiştirmeye karşılık itme yüklemesinde 191 kN, çekme yüklemesinde ise 160.3 kN yatay kuvvet meydana gelmiştir. Bu çevrimde FRP çapraz kuşaklardaki ayrılmalar devam etmiştir. İtme yönünde sağ üst ve sol alt çapraz kuşaklarda, çekme yönünde ise sol üst ve sağ alt çapraz kuşaklarda ayrılmalar gözlemlenmiştir. İtmede h, i ve j çatlakları oluşmuş, çekmede ise yeni çatlak oluşmamıştır.

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 178.8 kN, çekme yüklemesinde ise 146.8 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde 46 nolu kanaldan okunan boyuna donatı akma dayanımına ulaşmıştır. İtme yönünde k çatlağı oluşmuş, sol alt ve sağ üst çapraz kuşaklardaki duvardan ayrılma 2.0 cm civarındadır fakat duvardaki ankrajlar çalışmaya devam etmektedir. Çekme yönünde f' çatlağı oluşmuş, sol üst ve sağ alt çapraz kuşaklarda duvardan belirgin bir ayrılma görülmüş fakat ankrajlar sürekliliğini korumuştur. Ayrıca kirişte ve kolonda FRP bağlantı elemanlarında ayrılmalar meydana gelmiştir.

7. çevrimde 9.6 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 176 kN, çekme yüklemesinde ise 124.2 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde herhangi bir çatlak oluşmamış, sağ üst ve sol alt çapraz FRP kuşaklarda ayrılmalar 4.0 cm civarındadır. Çekme yönünde ise duvarda g' çatlağı oluşmuş, sol üst ve sağ alt FRP çapraz kuşaklarda ayrılmalar devam etmiş fakat ankrajlar sürekliliğini korumuştur.

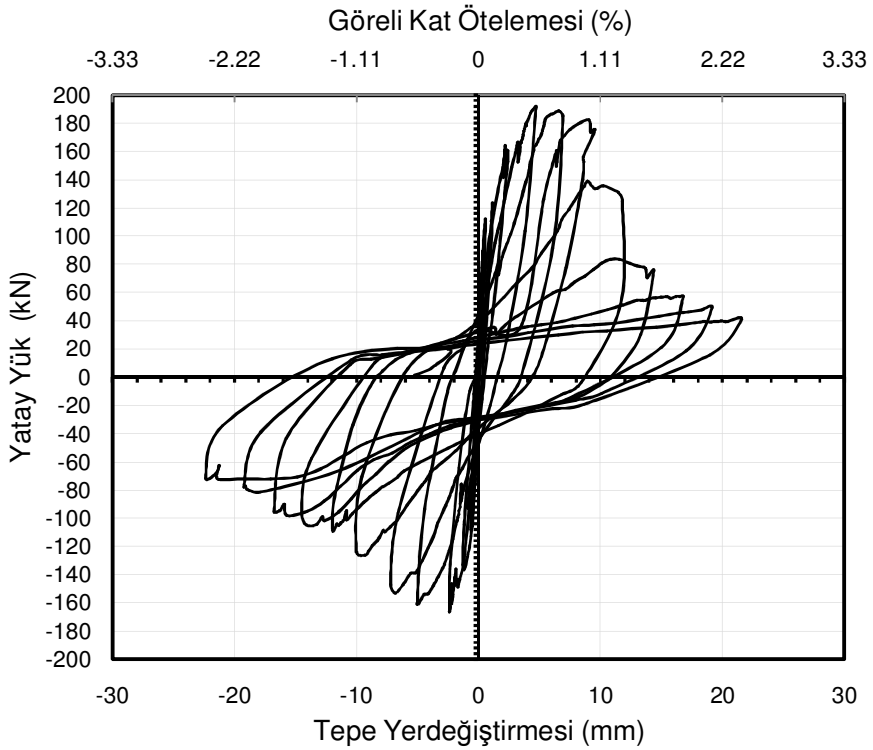
8. çevrimde 12.0 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış ve bu yerdeğiştirme çevrimine karşılık itme yüklemesinde 124.5 kN, çekme yüklemesinde ise 108.6 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde batı yüzünde temeldeki FRP bağlantı elemanında ayrılma olmuş, ayrıca sağ ve sol kolondaki FRP bağlantı elemanında da ayrılmalar başlamıştır. Sağ kolonda L kayma çatlağı oluşmuştur. Çekme yönünde ise yeni bir çatlak oluşmamış fakat duvar orta bölgesinde büyük hasar oluşmuş, sıva ve tuğlalar dökülmeye başlamıştır.

9. çevrimde 14.4 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 75.5 kN, çekme yüklemesinde ise 95.8 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde yeni çatlak oluşmamış, ilk defa çekme yönünde doğu yüzü sağ üst çapraz FRP kuşakta yırtılma meydana gelmiştir. Ayrıca çekme yönünde basınç kolonunun hemen altında betonda ezilme meydana gelmiştir.

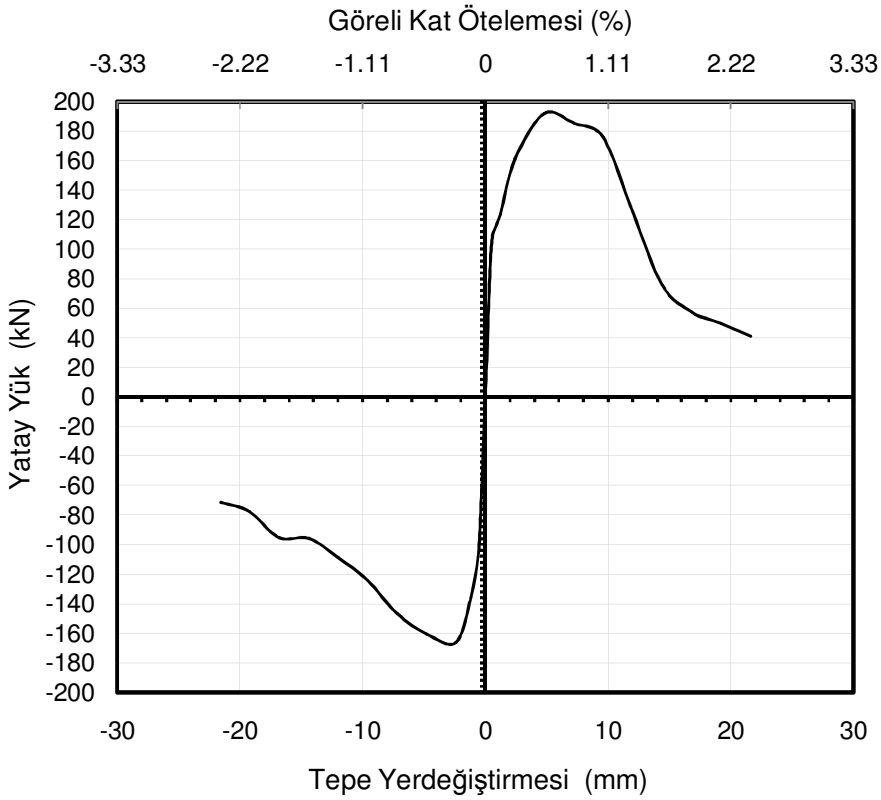
10. çevrimde 16.8 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış buna karşılık itme yüklemesinde 57.2 kN, çekme yüklemesinde ise 95.2 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde sol alt kolonda bulunda kayma çatlağı tamamen ezilmiştir, yaklaşık olarak temelde 4 mm'lik bir kayma gözlemlenmektedir. Çekme yönünde ise batı yüzünde sol üst FRP çapraz kuşak yırtılarak devreden çıkmıştır, sağ kolonda bulunan FRP bağlantı elemanında ayrılma meydana gelmiştir.

11. çevrimde 19.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 49.5 kN, çekme yüklemesinde ise 77.5 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu adımın itme yönünde batı yüzü sağ kolonda bulunan FRP bağlantı elemanı tamamen ayrılarak devreden çıkmıştır. Numunede kayma çatlakları giderek büyüyerek temelden yaklaşık 1 cm'lik kaymaya sebep olmuştur.

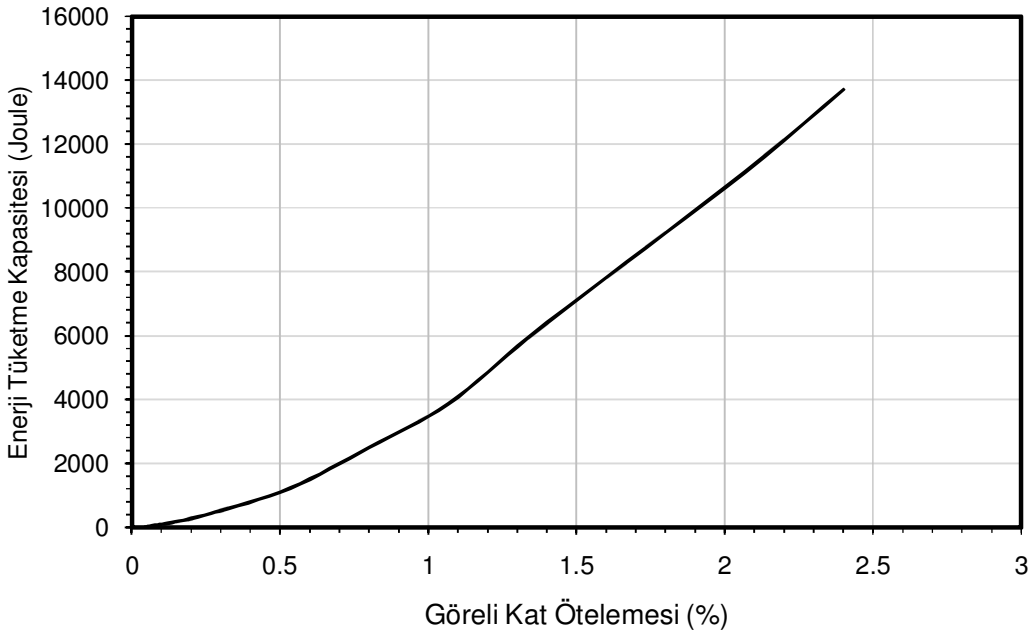
12. çevrimde 21.6 mm yerdeğiştirme uygulanmış buna karşılık itme yüklemesinde 41 kN, çekme yüklemesinde ise 71.5 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde kolon alt birleşim bölgelerindeki betonda ezilme ve kayma sebebiyle mafsallaşmalar oluşmuş numune kayma kırılması şeklinde göçme durumuna ulaştığından deney sonlandırılmıştır. Şekil 3.28'de numuneye ait yük – yerdeğiştirme, Şekil 3.29'da zarf eğrisi, Şekil 3.30'da da enerji tüketim kapasitesi – göreli kat ötelemesi grafikleri sunulmuştur. Şekil 3.30'da numunede oluşan taban kaymasının görülmesi için temel yerdeğiştirme – yatay yük grafiği sunulmuştur.



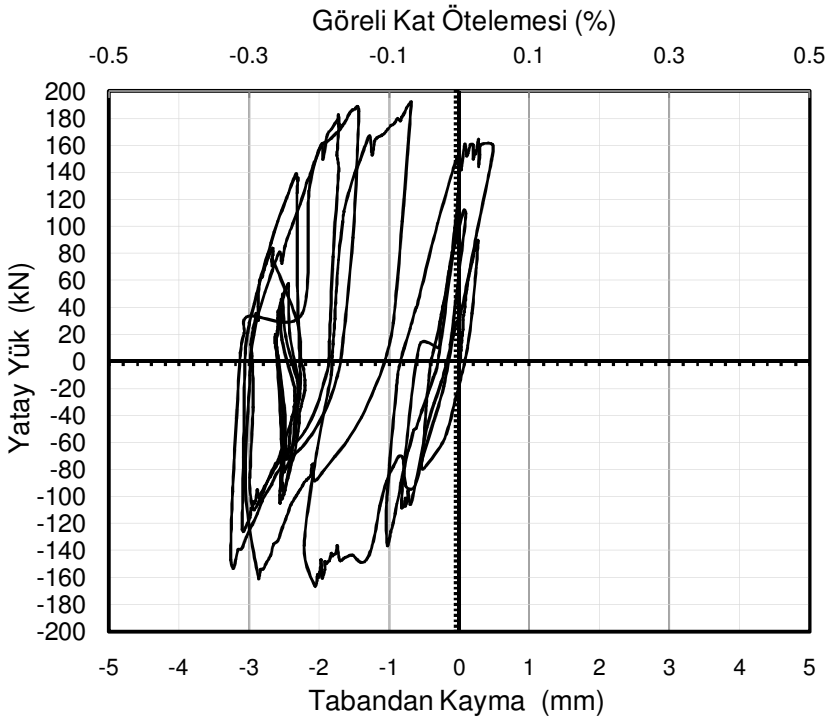
Şekil 3.28: IF2-FRP(K) Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Grafiği



Şekil 3.29: IF2-FRP(K) Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi



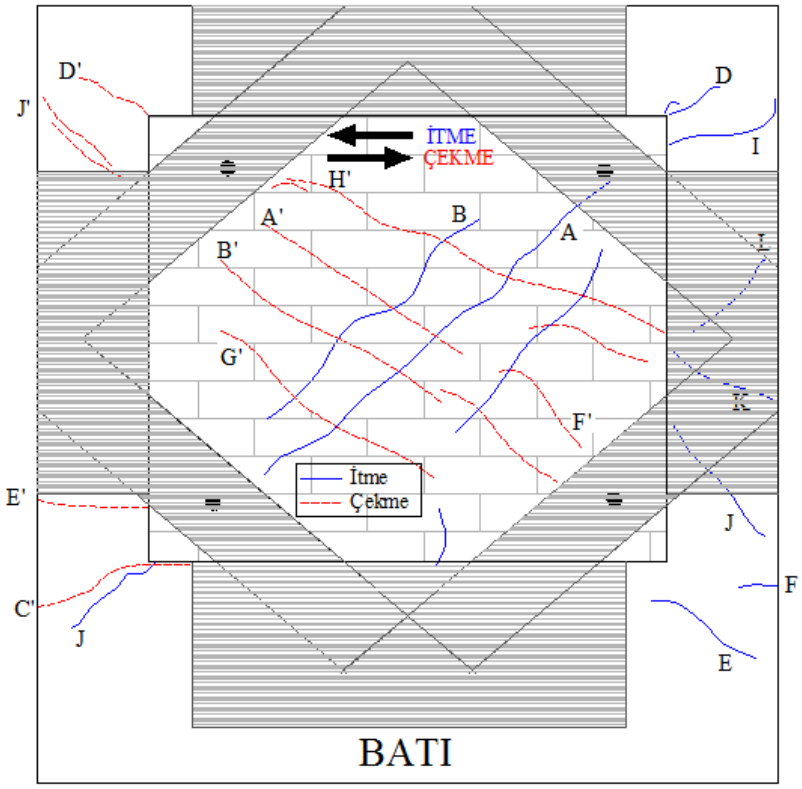
Şekil 3.30: IF2-FRP(K) Numunesi Enerji Tüketme Kapasitesi – Kat Göreli Ötelemesi Grafiği



Şekil 3.31: IF2-FRP(K) Numunesi Yatay Yük – Temel Yerdeğiştirmesi Grafiği

3.4.1 Hasar Dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yönleri için numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde a, b, c, … gibi harfler, çekme çevriminde ise a', b',c', … gibi üslü harfler verilerek çatlaklar kaydedilmiştir. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.32'de sunulmuştur. Numunede çatlak ölçümü batı yüzünden yapılmıştır. Tablo 3.11'de itme ve Tablo 3.12'de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin göreli kat ötelemelerine göre değişimi verilmiştir. Şekil 3.33'de numunenin deney sırasındaki görünümü sunulmuştur.



Şekil 3.32: IF2-FRP(K) Numunesi Çatlak Krokisi

Tablo 3.11 İtme Yönünde Oluşan Çatlak Genişlikleri

Drift(%)	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4
A	0.1	0.1	0.2	0.8	3.5	5.0	10.0	12.0	-	-
B	0.1	0.1	0.1	0.5	0.2	0.2	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
C	0.3	1.0	3.0	>3.5	5.0	-	-	-	-	-
D		0.1	0.3	0.3	0.7	0.8	0.6	0.6	1.0	1.0
E		0.1	0.3	-	-	-	-	-	-	-
F		0.1	1.0	3.5	7.0	7.5	10.0	-	-	-
G		<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
H			0.4	0.3	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
I			0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	1.0	1.0
J			0.3	0.7	0.6	1.2	-	-	-	-
K				0.4	1.0	3.5	10.0	-	-	-
L						1.2	1.2	0.8	0.8	0.8

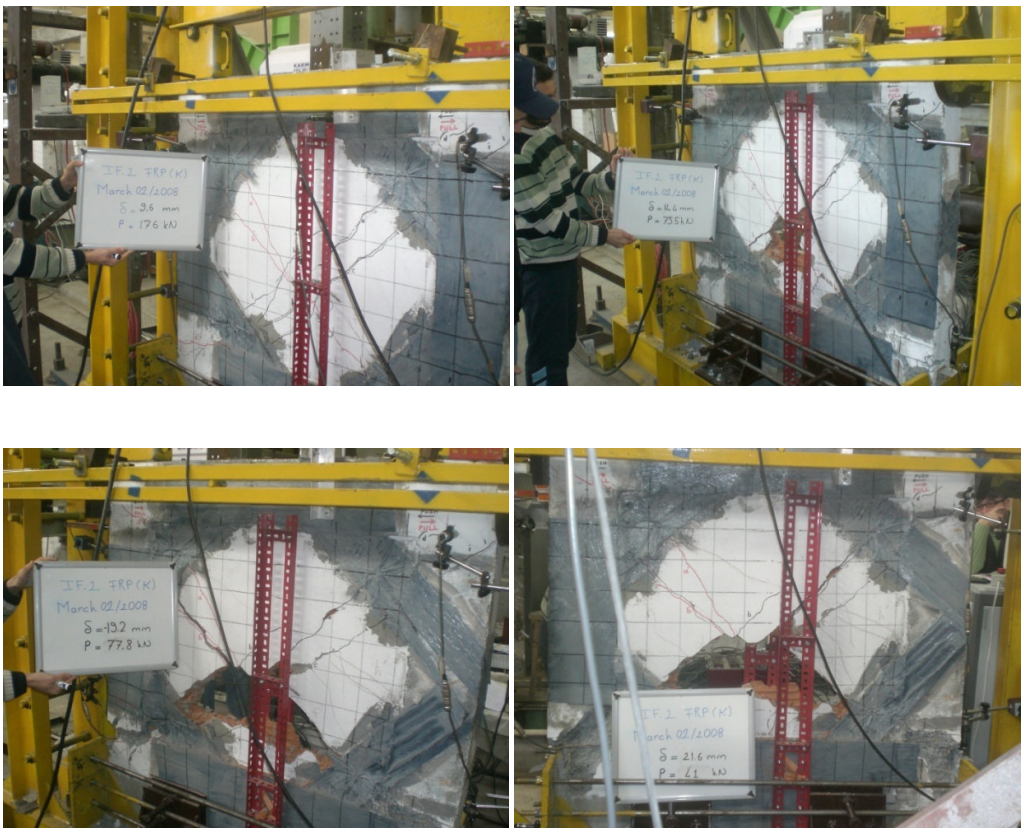
"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."

Tablo 3.12 Çekme Yönünde Oluşan Çatlak Genişlikleri

Drift(%)	0.07	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4
A'	<0.1	0.5	1.2	2.5	3.5	4.0	-	-	-	-	-
B'			0.4	2.5	4.0	4.5	8.0	10.0	16.0	30.0	50.0
C'			0.3	3.0	4.5	6.0	-	-	-	-	-
D'			0.1	0.4	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.6
E'			0.3	0.4	0.3	0.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
F'					0.7	1.4	3.0	-	-	-	-
G'						0.9	0.4	0.4	-	-	-
H'									0.2	0.7	3.5
I'									0.9	1.4	1.2
J'											4.0
K'											1.0
L'											0.1

"Çatlak genişlikleri [mm] boyutundadır."

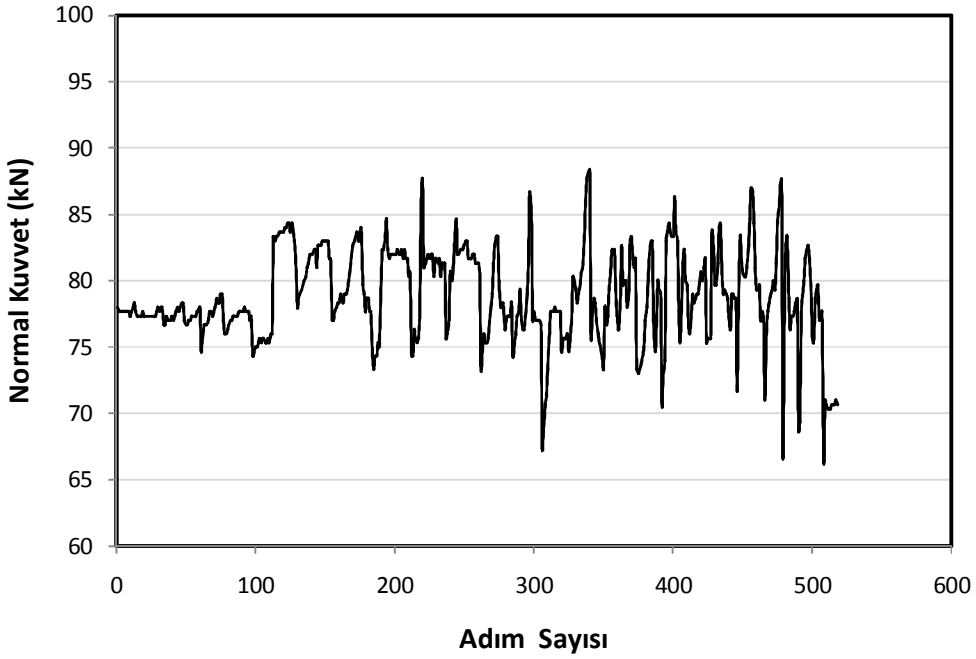




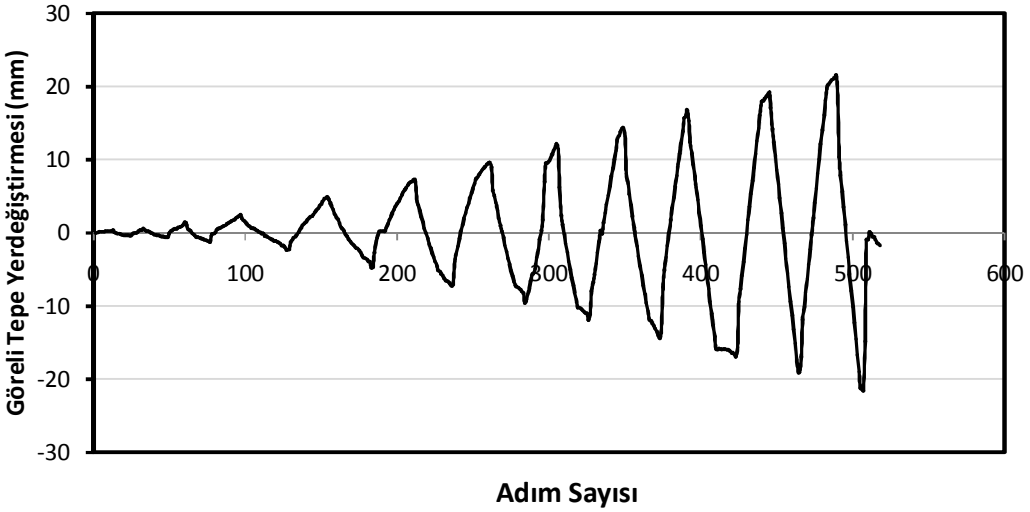
Şekil 3.33: IF2-FRP(K) Numunesinin Deney Sırasındaki Görünümü

3.5 IF4-FRP(OD) Numunesi Deneyi

Bu numune bölme duvarlı betonarme çerçevenin dış merkez CFRP kuşaklarıyla güçlendirilmesi sonucu elde edilmiştir. Numuneye uygulanan eksenel yükün adım sayısına göre değişimi Şekil 3.34'de sunulmuştur. Numuneye 12 tam yerdeğiştirme çevrimi uygulanmıştır. Uygulanan yükleme patronu Şekil 3.35'de verilmiştir. Tablo 3.13'de yerdeğiştirme çevrimlerine karşı gelen yatay dayanımlar sunulmuştur. Deney numunesinde yerdeğiştirme ölçümleri doğu yüzünden, hasar okumaları da batı yüzünden yapılmıştır. İlk çatlaklar 0.6 mm çevriminin itme yönünde kolonda oluşan eğilme çatlaklarıdır. Bunlar çekme kolonunda oluşan a, b, c ve d çatlaklarıdır. Duvarda oluşan ilk çatlak ise 2.4 mm çevriminin itme yönünde oluşan h çapraz çatlağıdır. Deney numunesi batı yüzü sağ kolon üst ucunda oluşan kayma çatlağının büyümesi sonucu kayma kırılması şeklinde göçme durumuna gelmiş bu sebepten dolayı 12. adımda deney sonlandırılmıştır.



Şekil 3.34: IF4-FRP(OD) Numunesinde Normal Kuvvetin Adım Sayısı İle Değişimi



Şekil 3.35: IF4-FRP(OD) Numunesi Yükleme Patronu

Tablo 3.13 IF4-FRP(OD) Numunesi Tepe Yerdeğiştirmesi – Yatay Yük Değerleri

Yerdeğiştirme (mm)	Yatay Dayanım (kN)	
	İtme	Çekme
0.4	63.1	-77.3
0.6	76.6	-78.0
1.2	106.5	-95.2
2.4	112.0	-110.8
4.8	133.0	-132.2
7.2	137.0	-138.0
9.6	131.0	-129.5
12.0	121.8	-120.0
14.4	88.0	-112.0
16.8	71.0	-88.8
19.2	63.0	-67.4
21.6	59.0	-68.0

İlk çevrimde 0.4 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış bu yerdeğiştirme çevrimine karşılık itme yüklemesinde 63.1 kN, çekme yüklemesinde ise -58 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde numunede herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

İkinci çevrimde 0.6 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 76.55 kN, çekme yüklemesinde ise -83 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme

yönünde kolon üzerinde a, b, c ve d çatlakları oluşmuştur. Çekme yönünde ise bu çatlakların simetrikleri (a', b' ve c') oluşmuştur.

3. çevrimde 1.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 106.5 kN, çekme yüklemesinde ise -95.2 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde e, f ve g çatlakları oluşmuştur. e çatlağı sağ kolonda oluşan kayma çatlağıdır, bu çatlak ilerleyen çevrimlerde genişleyerek numunenin göçmesine sebep olmuştur. İlk kez duvarda ayrılma bu adımda olmuş, duvarla kolon arasındaki ayrılma f ve duvarla temel arasındaki ayrılma ise g olarak adlandırılmıştır. Çekme yönünde ise d' ve e' çatlakları oluşmuştur.

4. çevrimde 2.4 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 112 kN, çekme yüklemesinde ise -110.8 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu adımın itme yönünde duvarda ilk çapraz çatlak (h çatlağı) oluşmuştur. Çekme yüklemesinde ise f', g' ve h' çatlakları oluşmuştur. Bu çatlaklardan f' ve g' çatlakları kolonda oluşan eğilme ve kayma çatlakları, h' çatlağı ise duvarda oluşan çapraz çatlaktır.

5. çevrimde 4.8 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış bu yerdeğiştirme çevriminin itme yüklemesinde 133 kN, çekme yüklemesinde ise -132.2 kN yatay kuvvet oluşmuştur. İtme yönünde duvar üzerinde i ve j çatlakları, çekme yönünde ise i' ve j' çatlakları oluşmuştur.

6. çevrimde 7.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 137 kN, çekme yüklemesinde ise -138 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde k ve l çatlakları oluşmuştur ayrıca dışmerkez FRP kuşaklarda kabarmalar başlamıştır. Çekme yönünde ise k', l', m',n' ve o' çatlakları oluşmuştur.

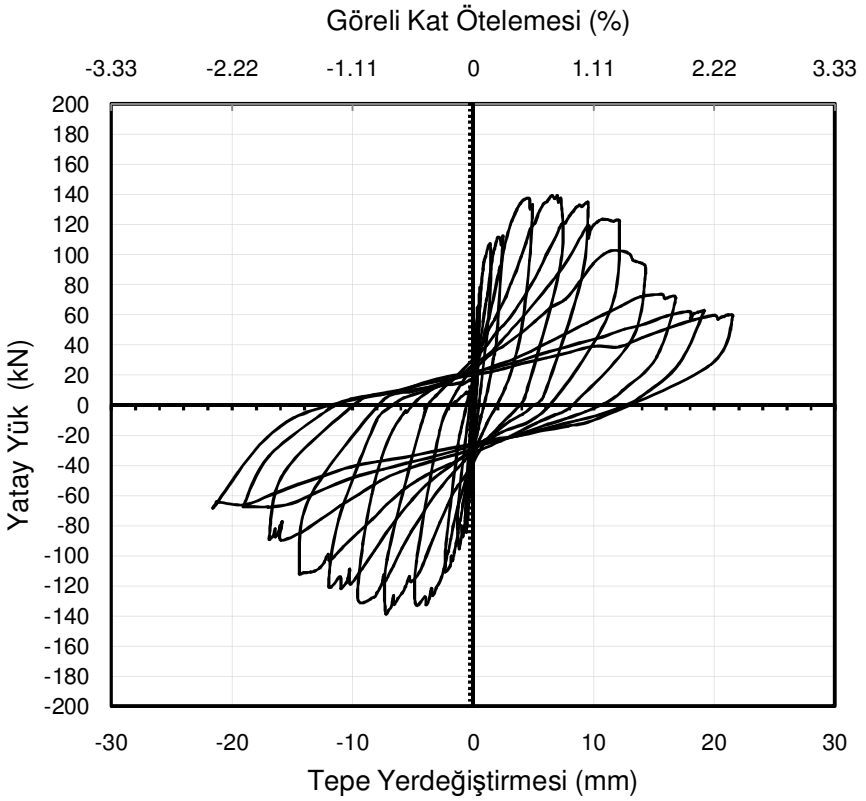
7. çevrimde 9.6 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 131 kN, çekme yüklemesinde -129.5 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde m ve n çatlakları oluşmuş, çekme yönünde ise yeni bir çatlak oluşmamıştır.

8. çevrimde 12.0 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 121.8 kN, çekme yüklemesinde ise -120 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu adımın itme yönünde o, p ve r çatlakları oluşmuş, FRP dışmerkez kuşaklarda ayrılmalarda artma olmuş ve ayrıca kirişteki FRP bağlantı elemanında ayrılma başlamıştır. Duvarda sıva dökülmeleri olmuş, tuğlalarda çatlaklar oluşmuştur. Çekme yönünde ise tuğlada p' ve t' çatlakları, FRP üzerindeki epokside n', v' ve s' çatlakları meydana gelmiştir.

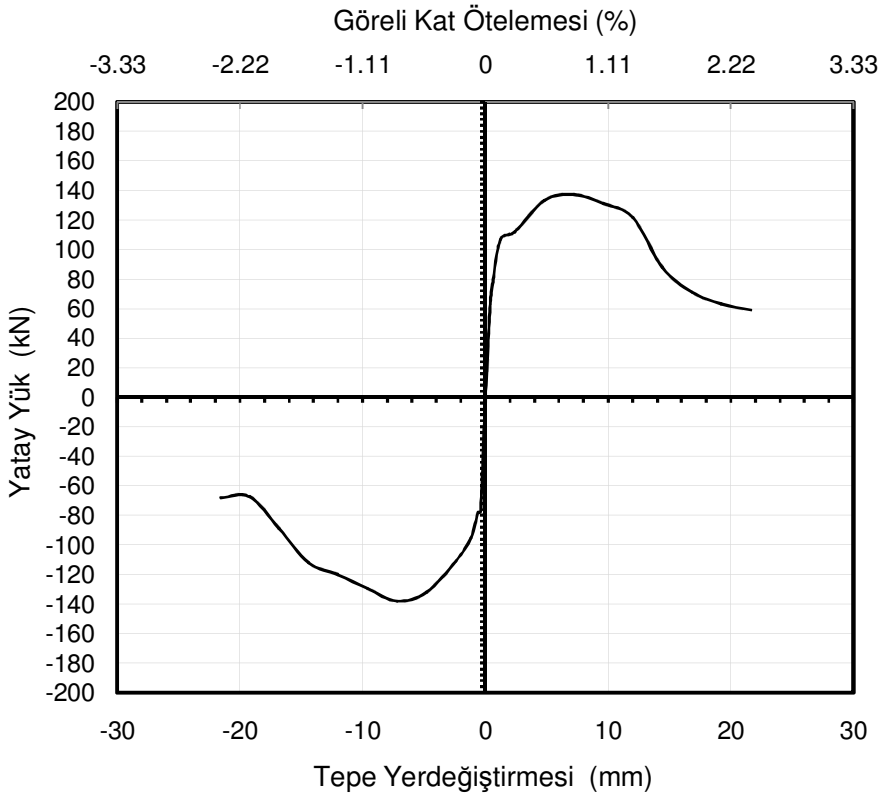
9. çevrimde 14.4 mm yerdeğiştirme değerine ulaşılmış ve bu yerdeğiştirme çevrimine karşılık itme yüklemesinde 88 kN, çekme yüklemesinde ise -112 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimin itme yönünde s ve t çatlakları, çekme yönünde ise x, y ve z çatlakları oluşmuştur.

10. çevrimde 16.8 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 71 kN, çekme yüklemesinde ise -88.8 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimde temeldeki FRP bağlantı elemanında kabarma meydana gelmiş, itme yönünde u çatlağı ve çekme yönünde α çatlağı oluşmuştur.

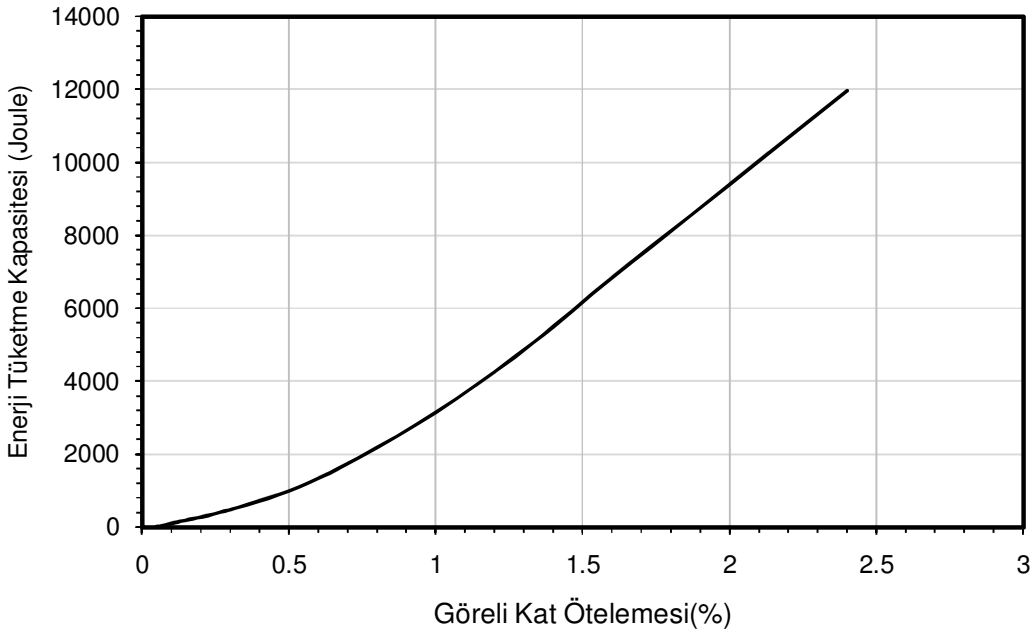
11. çevrimde 19.2 mm yerdeğiştirme değerine karşılık itme yüklemesinde 63 kN, çekme yüklemesinde ise -67.4 kN yatay kuvvet oluşmuştur. Bu çevrimden sonra yeni bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiş, 12. Çevrimde batı yüzü sağ kolon üst bölgesinde oluşan kayma çatlağı, numunenin kayma kırılması şeklinde göçme durumuna gelmesine sebep olmuş ve deneye bu adımda son verilmiştir. Şekil 3.36'da numuneye ait yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi grafiği, Şekil 3.37'de zarf eğrisi grafiği ve Şekil 3.38'de enerji tüketim grafiği sunulmuştur. Şekil 3.39'da yatay yük – taban yerdeğiştirmesi grafiği verilmiştir.



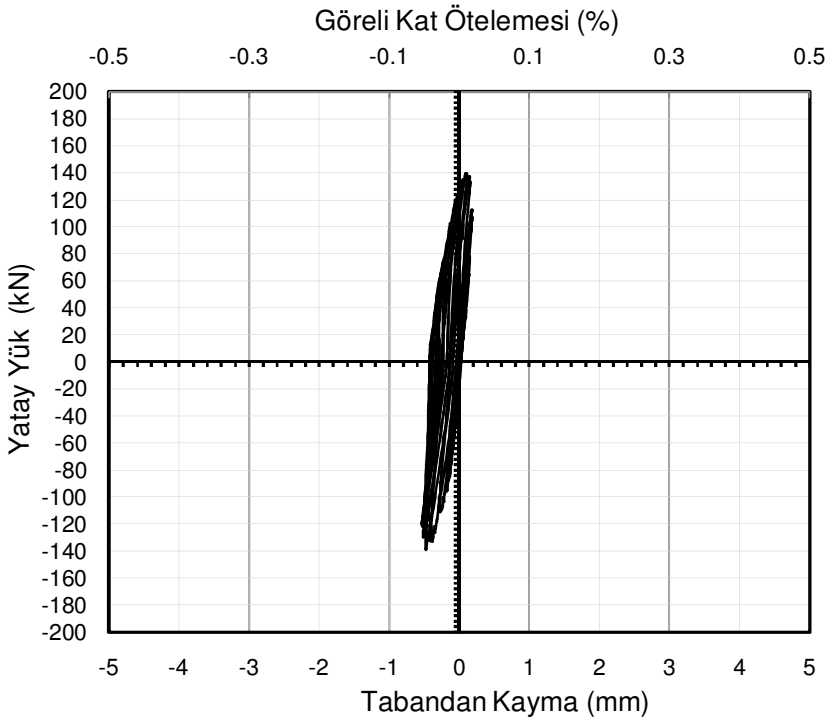
Şekil 3.36: IF4-FRP(OD) Numunesi yatay yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Grafiği



Şekil 3.37: IF4-FRP(OD) Numunesi Yatay Yük – Tepe Yerdeğiştirmesi Zarf Eğrisi



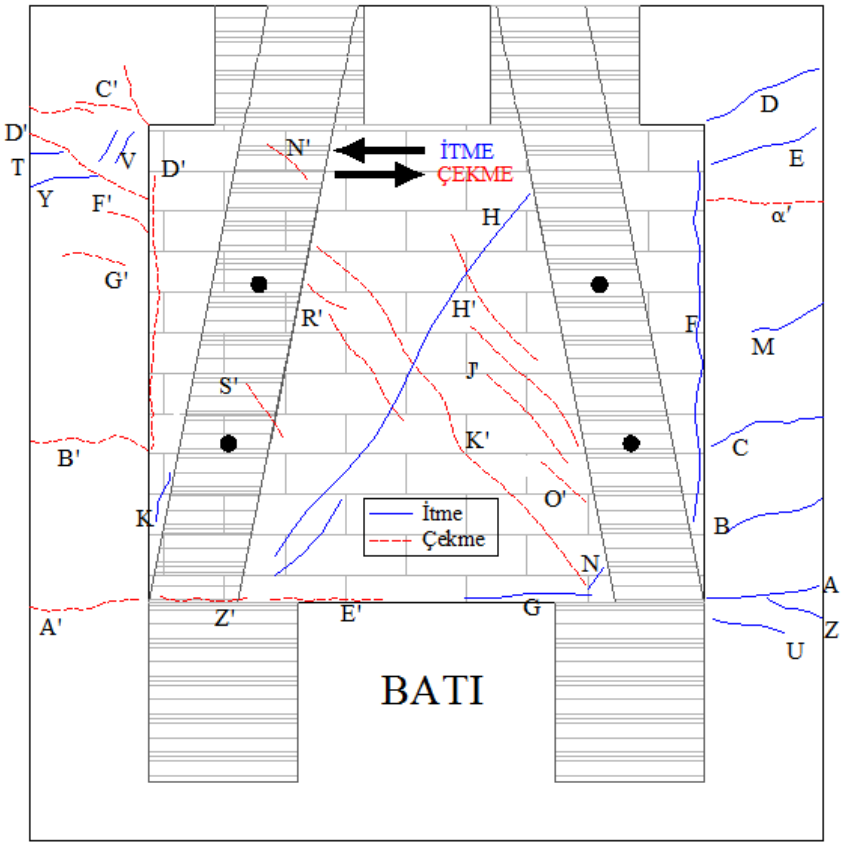
Şekil 3.38: IF4-FRP(OD) Numunesi Enerji Tüketme Kapasitesi – Göreli Kat Ötelemesi Grafiği



Şekil 3.39: IF4-FRP(OD) Numunesi Yatay Yük – Temel Yerdeğiştirmesi Grafiği

3.5.1 Hasar Dağılımı

Deney sırasında her çevrimin ardından itme ve çekme yönleri için numunede oluşan hasarların tesbiti yapılmıştır. Her çevrimde oluşan yeni çatlaklar isim verilerek belirlenmiş ve genişlikleri ölçülmüştür. İtme çevriminde a, b, c, … gibi harfler, çekme çevriminde ise a', b',c', … gibi üslü harfler verilerek ölçüm alınmıştır. Bu şekilde isimlendirilen çatlaklara ait çatlak krokisi Şekil 3.40'da sunulmuştur. Numunede çatlak ölçümü batı yüzünden yapılmıştır. Tablo 3.14'de itme ve Tablo 3.15'de çekme durumunda numunede oluşan çatlak genişliklerinin göreli kat ötelemelerine göre değişimi sunulmuştur. Tablo 3.16'da K' çatlağının hem sıvada hem de tuğlada genişlikleri verilmiştir. Numunenin deney sırasında görünümü Şekil 3.41'de sunulmuştur.



Şekil 3.40: IF4-FRP(OD) Numunesi Çatlak Krokisi

Tablo 3.14 İtme Yönünde Oluşan Çatlak Genişlikleri

Drift(%)	0.07	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4
A	<0.1	0.1	0.1	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
B	<0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
C	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
D	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	1.0	1.2	1.6
E		0.2	0.3	0.7	1.2	1.8	3.0	>3.5	10.0	*	*
F		0.2	0.3	0.3	0.7	0.8	0.8	0.8	1.0	1.0	1.4
G		0.2	0.2	0.2	0.7	0.7	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0
H			0.3	1.4	3.0	3.5	>3.5	8.0	8.0	8.0	8.0
I				0.1	0.6	0.8	0.9	*	*	*	*
J				<0.1	1.0	1.4	*	*	*	*	*
K					0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
L					0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	-
M						<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
N						1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
O							0.3	1.0	*	*	*
P							0.5	1.8	2.0	*	*
R							0.7	1.0	1.2	*	*
S								1.6	>3.5	**	**
T								0.6	0.7	0.7	0.7
U									0.1	0.2	0.2
V										0.3	0.4
Y										0.9	1.2
Z											0.8

"Tüm değerler [mm] boyutundadır."

* duvarda ayrılma sonucu çatlağın okunamadığını göstermektedir.

** Çatlağın ezilmeden dolayı dökülüp okunamadığını göstermektedir.

Tablo 3.15 Çekme Yönünde Oluşan Çatlak Genişlikleri

Drift(%)	0.07	0.13	0.27	0.53	0.8	1.07	1.33	1.6	1.87	2.13	2.4
A’	<0.1	0.2	0.4	0.9	1.4	1.6	1.6	1.8	2.5	3.5	3.5
B’	<0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
C’	<0.1	0.1	0.3	0.6	1.0	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	1.8
D’		0.2	0.2	0.3	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
E’		0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
F’			0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.0	1.0
G’			0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
H’			0.1	0.4	0.5	0.6	1.4	1.8	2.5	2.5	2.5
I’				0.4	0.8	0.9	*	*	*	*	*
J’				0.5	0.4	0.4	0.9	1.6	1.6	1.6	1.6
K’					1.6	2.5	2.5	3.5	>3.5	##	##
L’					0.6	0.6	0.9	1.6	1.6	*	*
M’					0.3	0.3	0.3	*	*	*	*
N’					0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
O’					0.3	0.3	0.4	0.7	0.7	0.7	0.7
P’							0.6	*	*	*	*
R’							0.2	0.5	0.7	0.7	0.7
S’							0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
T’							0.8	1.4	*	*	*
U’							0.1	0.4	0.9	*	*
V’							0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
X’								0.2	0.3	0.3	0.3
Y’								0.9	*	*	*
Z’								0.4	0.4	*	*
α’									0.9	*	*

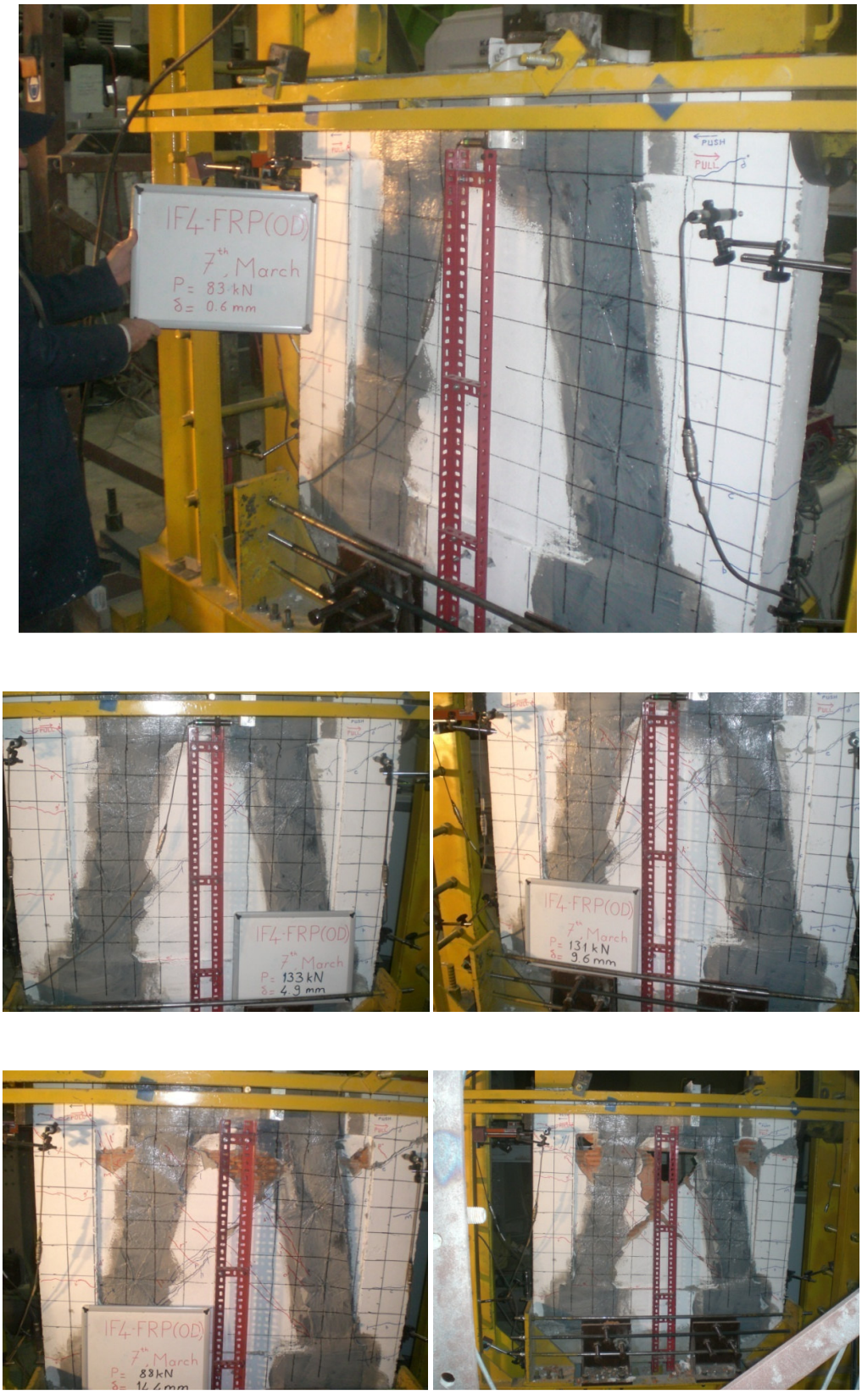
* işareti duvarın dağılması sebebiyle ölçüm alınamadığını göstermektedir.

işareti K’ çatlağının hem sıvada hem de tuğlada ölçüldüğünü gösterir.

Tablo 3.16 K’ çatlağının Sıvada ve Tuğlada Genişlikleri

Göreli Kat Ötelemesi (%)	2.13	2.4
K’(mm) Sıvada	26	28
K’(mm) tuğlada	8	8

- P’,T’,X’ çatlakları tuğlada ölçülen çatlaklardır.
- N’,V’,S’,Z’ çatlakları FRP üzerindeki epokside oluşan çatlaklardır.



Şekil 3.41: IF4-FRP(OD) Numunesinin Deney Sırasındaki Görünümü

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde deney sonuçları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deney numunelerinin sergilediği genel davranış; dayanım, rijitlik, hasar durumu ve enerji tüketim kapasitelerine göre incelenmiştir. Güçlendirilmiş numuneler, dolgu duvarlı ve yalın çerçevelerin davranışlarına göre karşılaştırılarak, farklı CFRP uygulamalarının betonarme bölme duvarlı çerçevelerin davranışına etkisi incelenmiştir. Ayrıca güçlendirilen numunelerin birbirleriyle karşılaştırması, avantajları ve dezavantajları bu bölümde aktarılmıştır. Deney numunelerine ait karşılaştırmalı sonuçlar özet halinde Tablo 4.1'de sunulmuştur.

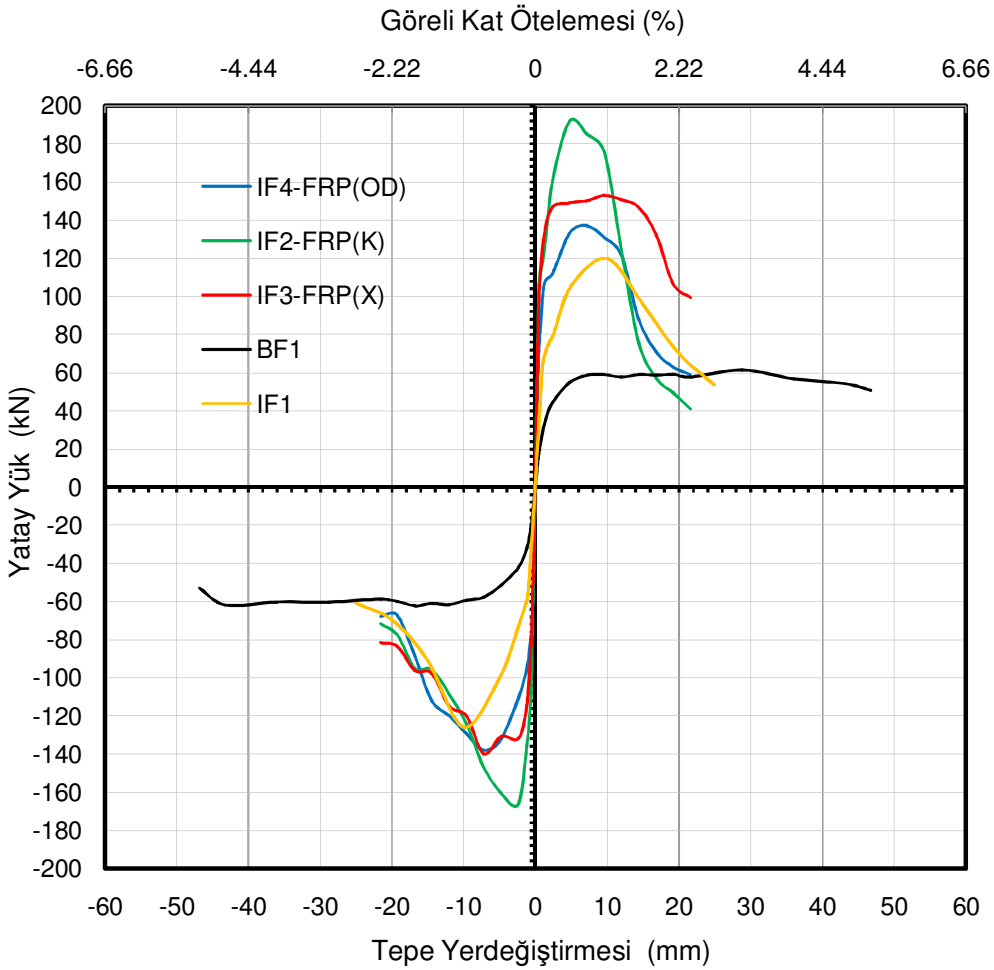
4.1 Dayanım ve Davranış

Deney numunelerinin dayanımları ve gösterdikleri genel davranış yatay yük – tepe yerdeğiştirmesi eğrilerinin zarfları karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Zarf eğrileri her numune için yük – yerdeğiştirme grafiklerinden yararlanarak her çevrimin en büyük yük değerindeki noktaların birleştirilmesiyle, önceki bölümde sunulmuştur. Deneyler arasında karşılaştırmanın daha gerçekçi yapılabilmesi için her numuneye aynı yerdeğiştirme çevrim protokolü uygulanmıştır. Güçlendirilen numunelerde maksimum göreli kat ötelemesi değeri % 2.4, BF1 yalın betonarme çerçeve numunesinde ise % 5.2 olmuştur. Deneylerin ilerleyen aşamalarında güçlendirilmiş numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinde büyük düşüşler meydana gelmiş ve yalın çerçeve dayanımına kadar düşüş olmuştur. Tüm deney numunelerine ait karşılaştırmalı zarf eğrisi grafiği Şekil 4.1'de sunulmuştur. Numunelere ait tüm zarf eğrileri deney sonuna kadar uygulanan tüm yerdeğiştirme çevrimlerine göre çizilmiştir.

Tablo 4.1 Tüm Deney Numunelerinde Ulaşılan Önemli Büyüklükler

Deney Numunesi Adı	Numune Düzeni	İlk Eğilme Çatlağının Oluştuğu		Duvarda İlk Çatlağın Oluştuğu		Duvarda İlk Diyagonal Çatlağın Oluştuğu		En Büyük Yatay Dayanım (kN)		En Büyük Yatay Dayanıma Karşı Gelen Tepe Yerdeğiştirmesi (mm)		Göreli Kat Ötelemesi (%)	
		P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	P (kN)	Δ (mm)	İtme Çevrimi	Çekme Çevrimi	İtme Çevrimi	Çekme Çevrimi	En Büyük Yükte	Son çevrimde
BF1	Yalın Betonarme çerçeve	32.7	1.2	-	-	-	-	61.4	-62.2	28.8	-16.8	1.9	5.2
IF1	Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve	76.2	2.0	71.7	1.5	105.5	5.0	119.9	-126.0	10.0	-10.0	1.1	2.8
IF3-FRP(X)	X Kuşaklı Güçlendirilen Numune	132.5	1.2	146.9	2.4	150.7	12.0	153.0	-139.9	9.6	-7.2	1.1	2.4
IF2-FRP(K)	K Kuşaklı Güçlendirilen Numune	160.7	2.4	109.0	0.6	109.0	0.6	191.8	-166.2	4.8	-2.4	0.5	2.4
IF4-FRP(OD)	Dışmerkez Kuşaklı Güçlendirilen Numune	76.6	0.6	112.0	2.4	112.0	2.4	137.0	-138.0	7.2	-7.2	0.8	2.4

P= Yatay Yük, Δ= Tepe Yerdeğiştirmesi



Şekil 4.1: Deney Numunelerine Ait Karşılaştırmalı Zarf Eğrileri

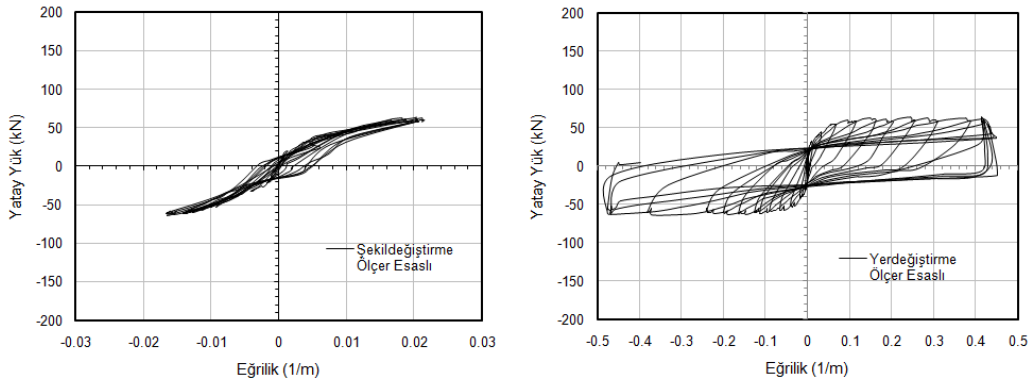
Zarf eğrilerinden de görüldüğü üzere yalın çerçeve 60 kN, bölme duvarlı çerçeve 120 kN, X kuşaklı güçlendirilmiş çerçeve 153 kN, K kuşaklı güçlendirilmiş çerçeve 192 kN ve dış merkez çaprazlı güçlendirilmiş numune 137 kN yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Yalın çerçeveye göre oranlandığında X kuşaklı çerçevenin yatay dayanımı 2.55 kat, K kuşaklı numunenin dayanımı 3.18 kat ve dış merkez kuşaklı çerçevenin dayanımı 2.28 kat artmıştır.

Betonarme yalın çerçeve, dolgu duvarlı çerçeve ve dış merkez kuşaklı güçlendirilmiş çerçevede, hem itme hem de çekme yönlerindeki çevrimlerde yaklaşık olarak aynı yatay yük taşıma kapasitelerine sahip oldukları görülmüş fakat X kuşaklı ve K kuşaklı güçlendirilmiş çerçevelerin itme ve çekme yönlerindeki dayanımlarının simetrik olmadığı görülmüştür. Buna sebep olarak itme ve çekme yönlerinde CFRP uygulamasından dolayı rijitlikliklerin aynı olmaması ve uygulanan çevrimlerden

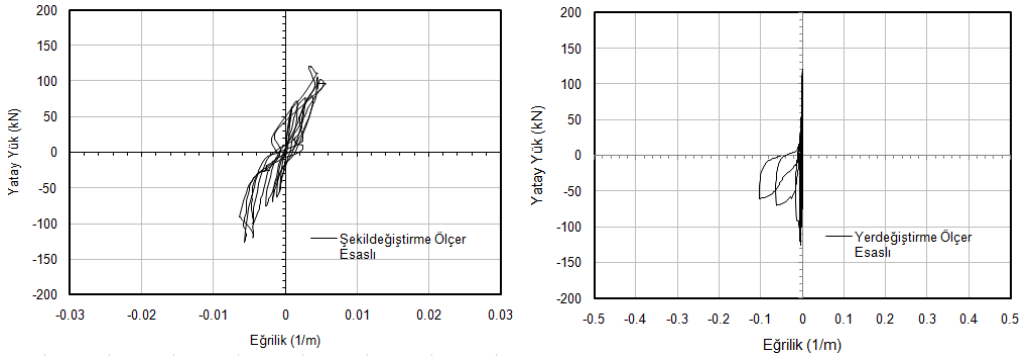
sonra CFRP bağlantı elemanlarındaki ayrılmaların simetrik olmaması gösterilebilir. Özellikle K kuşaklı çerçeve 4.8 mm çevriminin itme yönünde 192 kN yatay yük taşırken, çekme yönünde 160 kN yatay yük taşıması itme ve çekme yönlerindeki dayanımlarının bağlantı elemanlarındaki ayrılmalardan dolayı farklı olmasının göstergesidir. X kuşaklı çerçevede deney başlangıcından itibaren itme ve çekme yönlerindeki dayanımların simetrik olmadığı görülmektedir bunun sebebi olarak güçlendirme sonucunda itme ve çekme yönlerindeki rijitliklerin farklı olması gösterilebilir.

Betonarme yalın çerçeve sünek bir davranış göstermiş 60 kN yatay yük taşıma kapasitesine erişmiş ve 46.8 mm göreli tepe yerdeğiştirmesi değerine ulaşmıştır. Bu aşamada yatay dayanımı 51 kN'a düşmüş, en büyük dayanımının % 85'ine ulaştığından deney sonlandırılmıştır. Bölme duvarlı çerçeve 10 mm çevriminde 120 kN yatay yük taşıma kapasitesine kadar ulaşmış, bu çevrimde duvarın taşıma gücünü kaybetmesi yatay dayanımda ani bir düşüş meydana getirmiştir. Duvarın taşıma gücünü kaybetmesinin ardından yatay dayanım yalın çerçevenin dayanımına düşmüş ve 25 mm tepe yerdeğiştirmesi değerinde deney sonlandırılmıştır. X kuşaklı güçlendirilen numune 9.6 mm göreli tepe yerdeğiştirmesi çevriminde 153 kN yatay yük taşımış, 16.8 mm göreli tepe yerdeğiştirmesinde betonarme çerçevedeki CFRP bağlantı elemanlarının tamamen devreden çıkması dayanımda düşüşe sebep olmuş ve 21.6 mm göreli tepe yerdeğiştirmesi çevriminde deney sonlandırılmıştır. Duvarda uygulanan ankrajlar sürekliliğini koruduğundan ve duvar bölgesinde fazla hasar oluşmadığından, duvar taşıma gücünü tamamen kaybetmemiş, son çevrimde dahi yatay dayanım 99 kN olmuştur. K kuşaklı güçlendirilen numunede 4.8 mm göreli tepe deplasmanı değerinde 192 kN yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmış fakat bundan sonraki çevrimde CFRP K çaprazlarında ve bağlantı elemanlarında ayrılmalar başladığından, dayanımda ani bir düşüş olmuştur. 14.4 mm çevriminde CFRP bağlantı elemanları tamamen devreden çıkarak dayanımın 76 kN'a düşmesine sebep olmuştur. Deney 21.6 mm göreli tepe deplasmanı değerinde sonlandırılmıştır. Dış merkez kuşaklı güçlendirilmiş çerçeve 7.2 mm göreli tepe deplasmanı çevriminde 137 kN yatay dayanıma sahiptir. Bu çevrimden sonra bağlantı elemanlarında meydana gelen kabarmalar ve ayrılmalar sebebiyle, dayanımda yavaş yavaş azalma meydana gelmiştir. 14.4 mm çevriminde 88 kN dayanıma, son çevrim olan 21.6 mm yerdeğiştirme değerinde yalın çerçevenin dayanımına düşmüştür.

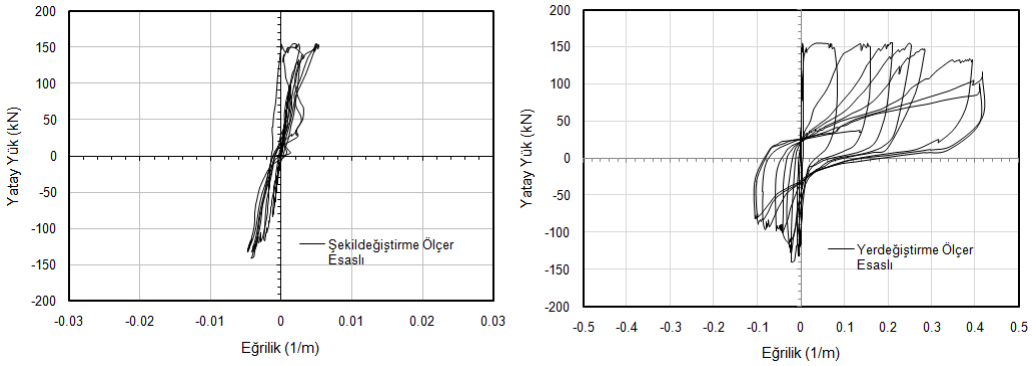
Numunelerin davranışını anlamak amacıyla zarf eğrilerinin yanı sıra, kritik kesitlerdeki şekildeğiştirme ölçer ve yerdeğiştirme ölçerlerle bu kesitlerdeki eğriliklerin hesabı yapılmıştır. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da doğu yüzü sol üst kolon kiriş birleşim bölgesinden alınan şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme verilerinden hesaplanan eğrilik grafikleri verilmiştir.



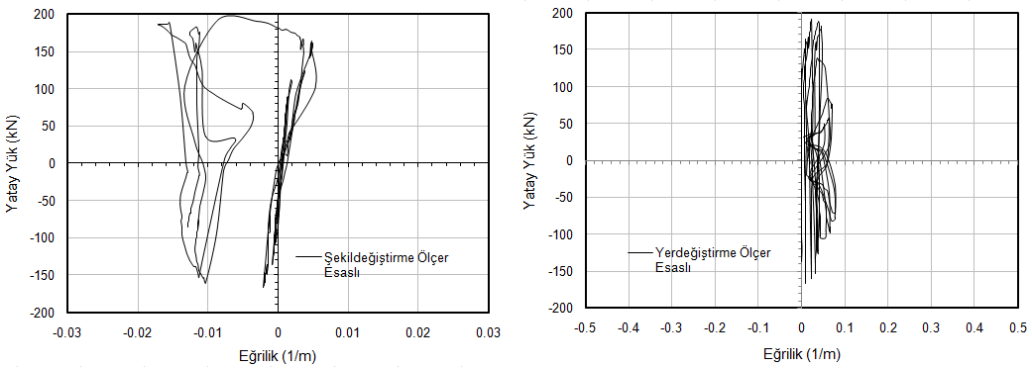
Şekil 4.2: BF1 Numunesi Şekildeğiştirme Ölçer Ve Yerdeğiştirme Ölçer Esaslı Eğrilik Grafikleri



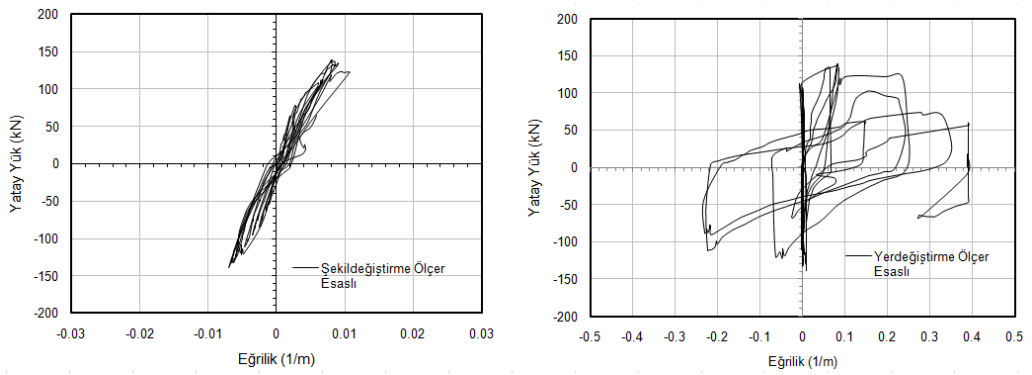
Şekil 4.3: IF1 Numunesi Şekildeğiştirme Ölçer Ve Yerdeğiştirme Ölçer Esaslı Eğrilik Grafikleri



Şekil 4.4: IF3-FRP(X) Numunesi Şekildeğiştirme Ölçer Ve Yerdeğiştirme Ölçer Esaslı Eğrilik Grafikleri



Şekil 4.5: IF2-FRP(K) Numunesi Şekildeğiştirme Ölçer Ve Yerdeğiştirme Ölçer Esaslı Eğrilik Grafikleri



Şekil 4.6: IF4-FRP(OD) Numunesi Şekildeğiştirme Ölçer Ve Yerdeğiştirme Ölçer Esaslı Eğrilik Grafikleri

4.2 Rijitlik

Numunelerin rijitlik değerleri deney sonucu elde edilen yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi grafikleri kullanılarak üç tipik bölge için hesaplanmıştır. Bunlar başlangıç rijitliği, deney ortasındaki rijitlik ve deney sonundaki rijitliklerdir.

Rijitlik değeri, çevrimlerin itme ve çekme yönlerindeki en büyük noktaları birbirine birleştiren doğrunun eğimi hesaplanarak elde edilmiştir. Deney numunelerine ait hesaplanan rijitlik değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir. Başlangıç rijitlik değeri numunelere uygulanan 2. Çevrim olarak seçilmiştir. Orta rijitlik değeri 9.6 mm tepe yerdeğiştirmesi değerine karşılık gelen rijitliktir. Deney sonundaki rijitlik değeri ise 19.2 mm yerdeğiştirme değerine karşı gelen itme ve çekme yük düzeyindeki noktaların birleştirilmesi sonucu elde edilen doğrunun eğimi kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.2 Deney Numunelerinin Rijitlik Değerleri

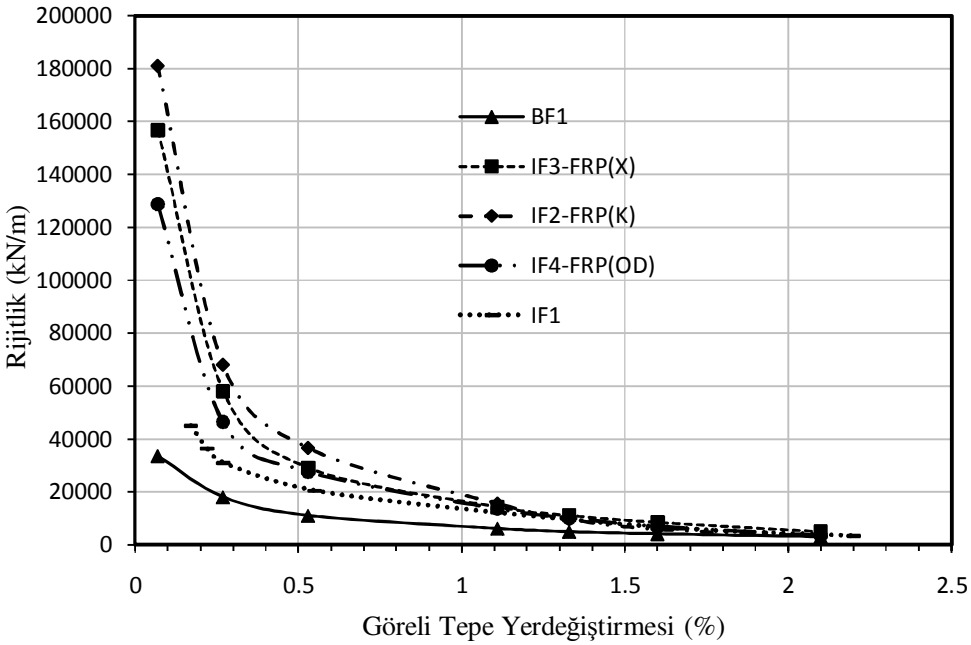
Deney Numune Kodları ve Düzenleri		K başl. (kN/m) δ= % 0.07	K orta (kN/m) δ= % 1.1	K son (kN/m) δ= % 2.1
BF1	Yalın Betonarme çerçeve	33584	6162	3102
IF1	Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve	45000	12293	3495
IF3-FRP(X)	X Kuşaklı Güçlendirilen Numune	156667	14230	4956
IF2-FRP(K)	K Kuşaklı Güçlendirilen Numune	181167	15615	3315
IF4-FRP(OD)	Dışmerkez Kuşaklı Güçlendirilen Numune	128834	13568	3396

Görüldüğü üzere güçlendirilen numunelerin rijitliği yalın ve bölme duvarlı numunelere göre oldukça artmıştır. X kuşaklı güçlendirilen çerçevenin rijitliği 4.7 kat, K kuşaklı güçlendirilen çerçevenin 5.4 kat ve dış merkez kuşaklı güçlendirilen çerçevenin 3.8 kat artmıştır. Aynı şekilde bölme duvarlı numuneye göre; X kuşaklı çerçevenin rijitliği 3.5 kat, K kuşaklı çerçevenin 4 kat, dış merkez kuşaklı çerçevenin

de 2.9 kat artmıştır. Rijitlik değerlerinin hesaplandığı üç bölgede güçlendirilmiş numuneleri ile yalın çerçeve arasındaki rijitlik farkı Tablo 4.3'de görülmektedir. Şekil 4.7'de göreli kat yerdeğiştirmesine göre rijitlik değişimleri sunulmuştur.

Tablo 4.3 Güçlendirilmiş Çerçevelerin Yalın Çerçeveye Göre Rijitlik Değişimi

Deney Numune Kodları	$K/K_{Yalın}$		
	Başlangıç δ= % 0.07	Deney Ortası δ= % 1.1	Deney Sonu δ= % 2.1
BF1	1.0	1.0	1.0
IF1	1.3	2.0	1.1
IF3-FRP(X)	4.7	2.3	1.6
IF2-FRP(K)	5.4	2.5	1.1
IF4-FRP(OD)	3.8	2.2	1.1



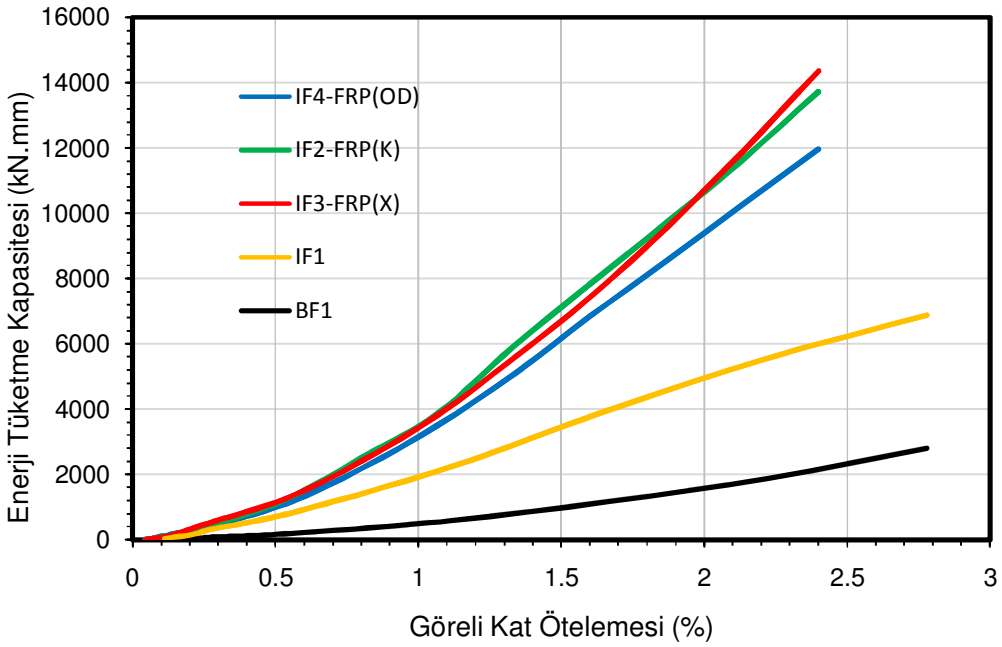
Şekil 4.7: Numunelerin Rijitlik Değişimleri

Tablolar incelendiğinde güçlendirilmiş çerçevelerin rijitlik değerlerindeki artış görülmektedir. K kuşaklı güçlendirilmiş çerçeve en yüksek başlangıç rijitliğine sahiptir. X kuşaklı güçlendirilen numune, K kuşaklıdan sonra en yüksek başlangıç rijitliğine sahip olan numunedir. Çerçevelerde oluşan çatlaklarla birlikte rijitlik

değerlerinde azalmalar olmuştur. Deney ortasında hesaplanan rijitlik değerlerine bakıldığında yine K kuşaklı numune en yüksek rijitliğe sahiptir. Ancak güçlendirilen üç numune arasında çok büyük bir rijitlik farkı bulunmamaktadır. Dış merkez kuşaklı güçlendirilmiş numune başlangıçta K kuşaklıdan daha düşük bir rijitlik değerine sahipken, deney ortasında oldukça yaklaşmış deney sonunda ise aynı değere sahip olmuştur. X kuşaklı güçlendirilmiş çerçeve başlangıçta dışmerkez kuşaklı ile K kuşaklı çerçeve arasında bir değere sahipken deney sonunda en yüksek rijitlik değerine sahip olan numunedir. Deneylerin sonunda dış merkez kuşaklı, K kuşaklı ve bölme duvarlı çerçeveler yaklaşık olarak aynı rijitlik değerindedir.

4.3 Enerji Tüketme Kapasiteleri

Numunelerin enerji tüketimleri yatay yük-yerdeğiştirme grafikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Her çevrim için yatay yük-yerdeğiştirme grafiklerinin altındaki alan tüm deney numuneleri için hesaplanmıştır. Her numunenin tükettiği enerji uygulanan yükleme patronuyla doğrudan ilişkilidir. Deney numuneleri arasında sağlıklı karşılaştırma yapabilmek için numunelerin yerdeğiştirme patronu aynı veya çok benzer olması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı tüm deney numunelerinde aynı yerdeğiştirme protokolü kullanılmıştır. Tüm deney numunelerine ait karşılaştırmalı enerji tüketim kapasite grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8: Tüm Deney Numunelerine Ait Karşılaştırmalı Enerji Tüketim Kapasitesi

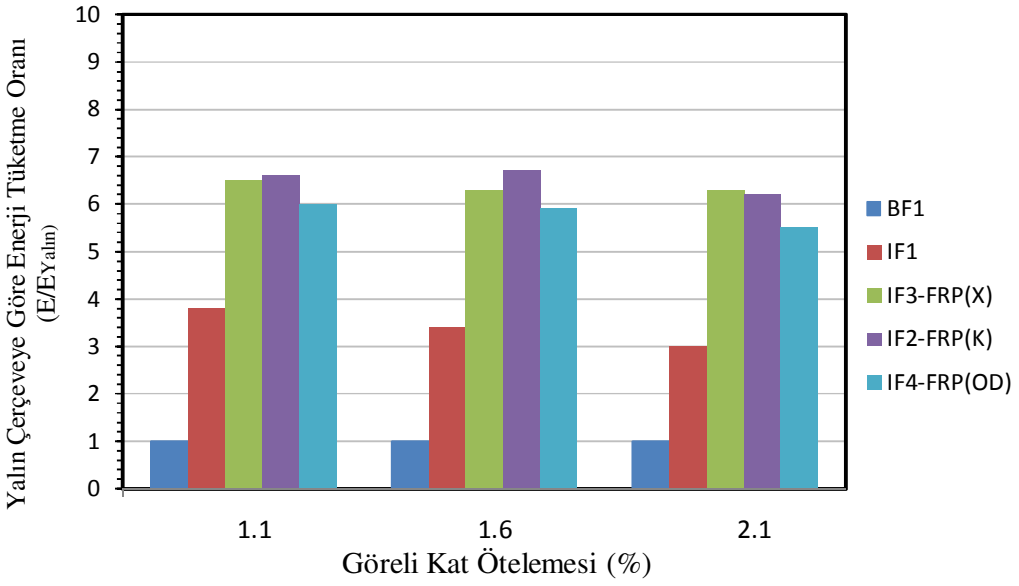
Betonarme yalın çerçeve en düşük enerji yutma kapasitesine sahip olan deney numunesidir. Bölme duvarlı çerçeve güçlendirilmiş numunelerden daha az fakat yalın çerçeveden daha fazla enerji tüketmiştir. CFRP ile güçlendirilen numuneler yaklaşık olarak deney sonunda aynı enerji tüketim kapasitelerine sahiptir. Grafikten de görüldüğü üzere güçlendirilen numunelerin enerji tüketim kapasitesi yalın çerçeve ve bölme duvarlı çerçeveden oldukça fazladır. % 1 göreli kat ötelemesi değerinde yalın çerçeve yaklaşık olarak 500 kNmm, bölme duvarlı çerçeve 2000 kNmm ve güçlendirilmiş numuneler yaklaşık olarak 3600 kNmm enerji tüketmiştir. % 2 göreli kat ötelemesine ulaştığımızda enerji tüketim kapasiteleri arasındaki fark oldukça büyümektedir, öyle ki yalın çerçeve 1600 kNmm, bölme duvarlı çerçeve 5000 kNmm enerji tüketim kapasitesine sahipken dış merkez kuşaklı güçlendirilen numune 9800 kNmm, X kuşaklı ve K kuşaklı güçlendirilen çerçeveler 11000 kNmm enerji tüketim kapasitesine sahip olmuştur. Deney sonunda yalın çerçeve 2800 kNmm, bölme duvarlı çerçeve 6885 kNmm, X kuşaklı güçlendirilen çerçeve 14354 kNmm, K kuşaklı çerçeve 13719 ve dış merkez güçlendirilen numune 11961 kNmm enerji tüketmiştir. Tablo 4.4'de değişik göreli kat ötelemelerine göre numunelerin enerji tüketim kapasiteleri verilmiş ayrıca yalın çerçeve ve bölme duvarlı çerçevelere göre oranları bu tabloda sunulmuştur.

Tablo 4.4 Enerji Tüketim Kapasitesi Karşılaştırması

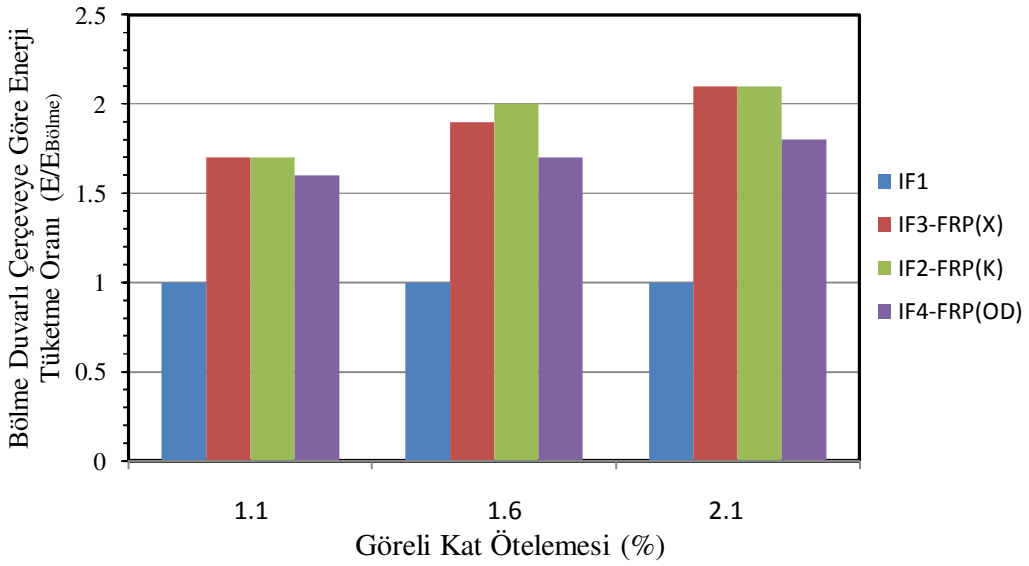
Numune Kodları	Enerji Tüketim Kapasiteleri (kN-mm)			Güçlendirilmiş Numunelerin Yalın Çerçeveye Oranı			Güçlendirilmiş Numunelerin Bölme Duvarlı Çerçeveye Oranı		
				$E/E_{yalın}$			$E/E_{bölme}$		
	δ=%1.1	δ=%1.6	δ=% 2.1	δ=%1.1	δ=%1.6	δ=% 2.1	δ=%1.1	δ=%1.6	δ=% 2.1
BF1	585.0	1172.0	1882.0	1.0	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3
IF1	2227.0	3980.0	5571.0	3.8	3.4	3.0	1.0	1.0	1.0
IF3-FRP(X)	3828.0	7427.0	11877.0	6.5	6.3	6.3	1.7	1.9	2.1
IF2-FRP(K)	3869.0	7831.0	11627.0	6.6	6.7	6.2	1.7	2.0	2.1
IF4-FRP(OD)	3513.0	6846.0	10254.0	6.0	5.9	5.5	1.6	1.7	1.8

Betonarme yalın çerçeveye göre güçlendirilen numunelerin enerji tüketim kapasiteleri oldukça artmıştır. IF3-FRP(X) numunesi için deney sırasındaki değişik kat ötelemelerine bakıldığında yaklaşık olarak yalın çerçeveden 6.5 kat daha fazla enerji tüketim kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. IF2-FRP(K) numunesi de aynı şekilde yalın çerçeveden 6.2 ile 6.7 kat arasında daha fazla enerji tüketim kapasitesine sahiptir. IF4-FRP (OD) numunesinde ise bu oran 5.5 ile 6.0 kat arasında değişmektedir. Dolayısıyla güçlendirilen numuneler yalın betonarme çerçevenin enerji tüketim kapasitesini 5.5 ile 6.7 kat arasında arttırmaktadır.

Bölme duvarlı çerçeveye oranla X kuşaklı güçlendirilen numunenin (IF3-FRP(X)) enerji tüketim kapasitesi değişik göreli tepe yerdeğiştirmelerine baktığımızda 1.7 ile 2.1 kat arasında değişmektedir. K kuşaklı numunenin (IF2-FRP(K)) enerji tüketim kapasitesi bölme duvarlı çerçeveye göre 1.7 ile 2.1 kat arasında değişmekte, dış merkez kuşaklı çerçevenin (IF4-FRP(OD)) enerji tüketim kapasitesi ise 1.6 ile 1.8 kat arasında artmaktadır. Dolayısıyla güçlendirme teknikleri bölme duvarlı numunenin enerji tüketme kapasitesini yaklaşık olarak 2 kat arttırmaktadır. Şekil 4.9'da yalın çerçeveye göre enerji tüketim oranı grafiği verilmiştir. Şekil 4.10'da bölme duvarlı çerçeveye göre enerji tüketim oranı grafiği sunulmuştur.



Şekil 4.9: Yalın Çerçeveye Göre Numunelerin Enerji Tüketme Kapasiteleri Oranı



Şekil 4.10: Bölme Duvarlı Çerçeveye Göre Numunelerin Enerji Tüketme Kapasiteleri Oranı

4.4 Hasar Durumu

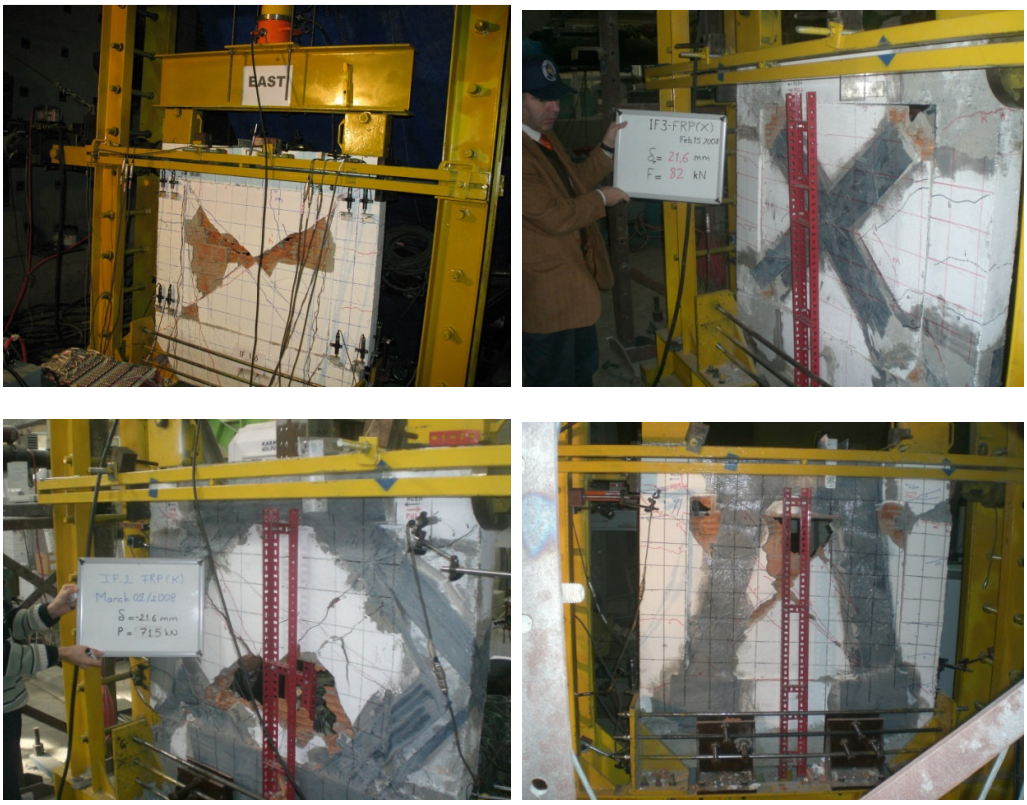
Güçlendirilen numunelerin yalın çerçeve ve bölme duvarlı çerçevelere göre dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasitelerinin yanında yapısal elemanlarda ve duvarda oluşan hasarları da azaltması ya da geciktirmesi, güçlendirme tekniğinin etkinliğini göstermektedir. Betonarme yalın çerçevede, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde 1.2 mm yerdeğiştirme çevriminde ilk çatlak oluşmuştur. İlk çatlağın oluşma sırasında oluşan yatay dayanım değeri 32.7 kN olmuştur. X kuşaklı güçlendirilen numunede ilk eğilme çatlağı 1.2 mm yerdeğiştirme çevriminde olmuştur. Bu çatlağın oluşma sırasında meydana gelen yatay dayanım 132.5 kN'dur. K kuşaklı güçlendirilen numunede ilk eğilme çatlağı 2.4 mm yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerine karşılık oluşan yatay dayanım 161 kN'dur. Dış merkez kuşaklı güçlendirilen numune de ilk eğilme çatlağı 0.6 mm yerdeğiştirme değerinde oluşmuştur. Bu yerdeğiştirme değerinde oluşan yatay dayanım 77 kN'dur.

Betonarme yalın çerçevede birleşim bölgelerinde oluşan çatlaklar ilerleyen çevrimlerde büyük değerler alarak yapıda oluşan hasarları artırmaktadır. Örneğin A, B, A', B', D' çatlakları kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşmuş ve deney sonunda 15 mm gibi değerlere ulaşmıştır. X kuşaklı güçlendirilen numuneye baktığımızda betonarme çerçevede oluşan çatlak genişlikleri oldukça azalmıştır. Birleşim

bölgelerindeki çatlak genişlikleri yalın çerçeveye oranla çok daha azdır. K kuşaklı güçlendirilen numunede betonarme çerçevede oluşan ilk çatlaklar 2.4 mm yerdeğiştirme çevriminde oluşmuştur dolayısıyla bu güçlendirme yönteminde çatlak oluşumu geciktirilmiştir. Ayrıca birleşim bölgelerindeki hasarı azaltmış, oluşan çatlak genişlikleri azalmıştır. Dış merkez kuşaklı güçlendirilen numunede çerçevede oluşan ilk çatlak 0.6 mm olmasına rağmen yalın çerçeveye oranla ilerleyen çevrimlerde çatlak genişlikleri fazla artmamıştır. Örneğin deney sonunda kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki en büyük çatlak genişliği 3.5 mm olmuştur.

Bölme duvarlı çerçevede duvar üzerinde oluşan çatlaklar yapının büyük hasar almasına sebep olmaktadır. Bunun yanında duvarın taşıyıcı elemanlardan ayrılarak düzlem dışı hareket etmektedir. Özellikle çapraz çatlaklar duvara çok büyük hasar vermektedir. Deney sonuçlarına göre bölme duvarlı numunede taşıyıcı elemandan ilk ayrılma 1.5 mm yerdeğiştirme değerinde, ilk çapraz çatlak ise 5.0 mm yerdeğiştirme çevriminde olmuştur. Duvar taşıma gücünü +9.6 mm yerdeğiştirme değerinde tamamen kaybetmiştir. Bu yerdeğiştirme değerinden sonra duvarda oluşan hasarlar oldukça artmış, sıvada ve tuğlada kırılmalar olmuştur. X kuşaklı çerçevede çapraz çatlaklar 12.0 mm çevriminde oluşmuş, böylece duvarda oluşan hasar geciktirilmiştir. Bölme duvarlı çerçevede görülen sıva ve tuğla kırılmaları oluşmamış, duvar kendi düzlemi içerisinde kalmıştır. K kuşaklı çerçevede ise çapraz çatlaklar 0.6 mm düzeyinde oluştuğundan duvar büyük hasar almış, deney sonunda duvarın orta bölgesindeki tuğlalar kırılmıştır. Ancak duvar kendi düzleminde kalmıştır. Dış merkez kuşaklı güçlendirilen numunede ilk çapraz çatlak 2.4 mm çevriminde oluşmuş, bu çatlakların etkisiyle duvarda hasar oluşmuştur. Ancak bu hasar bölme duvarlı ve K kuşaklı çerçeveye göre çok daha azdır. Bunun yanında duvarın düzlem dışı hareketi ve taşıyıcı elemandan ayrılması önemli ölçüde engellenmiştir. Şekil 4.11'de numunelerin deney sonundaki hasar durumu verilmektedir.

X kuşaklı güçlendirilen çerçeve hem taşıyıcı çerçevede oluşan hasarları önemli ölçüde azaltmış hem de duvarda oluşan hasarı ve düzlem dışı hareketi engellemiştir. K kuşaklı çerçeve taşıyıcı çerçevede oluşan çatlakları diğer numunelere göre oldukça azaltmış fakat duvar orta bölgesinde oluşan çatlaklar sebebiyle duvarda büyük hasar oluşmuştur. Dış merkez kuşaklı çerçevede taşıyıcı çerçeve ve duvarda çok sayıda çatlak oluşmuş fakat bu çatlaklar çok büyük değerler almamıştır.



Şekil 4.11: Deney Sonunda Numunelerin Hasar Durumu

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde mevcut pek çok yapı çeşitli nedenlerden dolayı yeterli deprem güvenliğine sahip değildir. Uygulamada bu tür yapıların güçlendirilmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Tüm güçlendirme yöntemlerinin amacı beraber veya ayrı ayrı yapıda dayanım, süneklik ve rijitliğin istenen düzeylere getirilmesidir. Bu yöntemlerden biri de mevcut bölme duvarlarının güçlendirilerek yapısal elemanlara dönüştürülmesidir. Bu çalışmada bölme duvarların CFRP kompozitleriyle değişik formlarda güçlendirilmesi ile elde edilen çerçevelerin, deprem davranışları incelenmiştir.

İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Laboratuarında gerçekleştirilen deneylerde, değişik biçimlerde uygulanan CFRP kompozitlerle güçlendirme yöntemlerinin sistem davranışına olan etkisi; dayanım, rijitlik, enerji tüketim kapasitesi ve hasar durumu bakımından incelenmiştir. Bu incelemenin yapılabilmesi amacıyla 1/3 ölçekli, bir katlı, bir açıklıklı 5 adet numune tersinir tekrarlı yatay ve sabit düşey yükler etkisinde test edilmiştir. İlk iki numune kontrol numunesi olarak, diğer üç numune ise bölme duvarların önceki bölümlerde anlatıldığı gibi değişik formlarda güçlendirilmesiyle elde edilmiştir. Güçlendirilen numuneler kontrol numuneleri ve birbirleriyle göreli olarak karşılaştırılarak dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasitelerindeki değişim sonuç olarak sunulmuştur.

Deney numunelerine uygulanan düşey yük, her ne kadar sabit olarak uygulanmaya çalışılsa da, deneyler sırasında ± %10 değişim sınırını aşmıştır. Deney sırasında normal kuvvetteki bu dalgalanmalar sonuçların değerlendirilmesinde ihmal edilmiştir. Dolayısıyla deney sonuçlarına normal kuvvetteki bu değişimin bir miktar etkili olduğu dikkate alınmalıdır. Düşey yükün düzleminde verilememesi gibi sebeplerden dolayı numunelerde düzlem dışı hareket meydana gelmiş fakat deney düzeneğine yerleştirilen çelik elemanlarla bu hareket engellenmiş, düzlem dışı hareket deney sonucunu etkilemeyecek mertebelerde tutulabilmiştir. Tüm bu gerçekler ışığında elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- Değişik formlarda uygulanan tüm CFRP güçlendirme yöntemleri çerçevenin rijitliğini, dayanımını ve enerji tüketim kapasitesini kontrol numunelerine oranla önemli ölçüde arttırmıştır.
- K kuşaklı güçlendirme yöntemi çerçevenin yatay dayanımını, rijitliğini ve enerji tüketim kapasitesini diğer numunelere göre oldukça arttırmış fakat duvarın orta bölgesinde büyük hasar meydana gelmiştir.
- X kuşaklı CFRP güçlendirme yöntemi çerçevenin dayanımını, rijitliğini ve enerji tüketim kapasitesini arttırmasının yanı sıra duvarda ve yapısal elemanlardaki hasarın da azalmasını sağlamıştır.
- Dış merkez çapraz CFRP ile güçlendirme yöntemi diğer iki güçlendirme yönteminin yanında rijitlik, dayanım ve enerji tüketim kapasitesi bakımından geride kalmış, numunede çok sayıda çatlak oluşmuş fakat bu çatlaklar ilerleyen adımlarda büyük değerler almamıştır.
- K kuşaklı CFRP güçlendirme yöntemi betonarme taşıyıcı elemanlarda oluşan hasarları diğer numunelere oranla geciktirmiştir.
- X kuşaklı güçlendirilen numune ise duvarda oluşan çapraz çatlakların oluşmasını geciktirerek bölme duvarlardaki hasar azaltılmıştır.
- Her üç güçlendirme yönteminde de duvarın kendi düzlemi içerisinde kalması sağlanmış, duvarın düzlem dışına hareketi engellenmiştir.
- K kuşaklı güçlendirme yöntemi hem yatay dayanımı arttırmakta hem de yapısal elemanlardaki çatlak oluşumunu geciktirmektedir. Ancak taşıyıcı olmayan duvar elemanında büyük hasara sebebiyet vermektedir. X kuşaklı güçlendirme yöntemi de duvarda oluşan hasarı engellemektedir dolayısıyla bu iki güçlendirme yönteminin birlikte kullanılması (K kuşaklı CFRP güçlendirme yöntemi ve duvar orta bölgesinde uygulanacak çapraz CFRP şeritleri) istenen yatay dayanımı, rijitliği ve enerji tüketim kapasitesini sağlayacak efektif bir güçlendirme yöntemi olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] **Polyakov, S.V.** (1956), "On the interactions between masonry filler walls and enclosing frame when loaded in the in plane of the wall." Translations in Earthquake Engineering Research Institute, Cairns G. L., trans., Moscow.

[2] **Smith, S., Carter, C.,** (1969), "A Method of Analysis for Infilled Frames", Institution of Civil Engineering, vol. 44

[3] **Almousallam, T. H ., Al-Salloum, Y.A.,** (2007), "Behavior of FRP Strengthened Infill Walls Under In-Plane Seismic Loading." ASCE, 1090-0268(2007)11:3(308)

[4] **Altin, S. ve Diğerleri,** "An experimental study on strengthening of masonry infilled RC Frames Using Diagonal CFRP Strips", Composites: Part B,(2007), doi:10.1016/j.compositesb.2007.06.001 .

[5] **Ozcebe, G. ve Diğerleri,** (2006), "An Experimental Study On Two Different Strengthening Techniques For RC Frames", Engineering Structures, 28(2006) 1843-1851

[6] **Zarnic, R.,** (1995), "Modelling of Masonry Infilled Frames", 10th European Conference on Eartquake Engineering, Duma

[7] **Ersin, U.D., Yüksel, E., Koçak, A., Hayashi, M., Karadoğan , F.**, (1998), "System Idenfication by Means of Mıcro Tremor Measurements", Second Japan –Turkey Workshop on Eartquake Engineering, İstanbul.

[8] **Maheri, M.R., Kousari, R., Razazan, M.** "Pushover tests on steel X braced and Knee braced RC frames" Engineering Structures 25 (2003).

[9] **Zahrah, T.F.,** "Seismic Energy Absorption in simple Structures", Ph.D. Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois, 1982.

ÖZGEÇMİŞ

Davut Taştan, 1983 yılında İstanbul'da doğmuştur. Ortaokulu Kavacık İlköğretim Okulu'nda, liseyi Sakıp Sabancı Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim görmeye başlamıştır. 2006 yılı bahar dönemi sonunda öğrenimini tamamlayarak, 2006 yılı güz dönemi başlangıcında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Deprem Mühendisliği Programı'nda öğrenim görmeye başlamıştır.