

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİFLİ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Mehmet Selim ÖKTEN

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

NİSAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİFLİ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ
DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN
DENEYSEL İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Mehmet Selim ÖKTEN
(502032606)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilimleri Programı

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kaya ÖZGEN
Eş Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU**

NİSAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502032606 numaralı Doktora Öğrencisi **Mehmet Selim ÖKTEN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ **LİFLİ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DENEYSEL İNCELENMESİ** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kaya ÖZGEN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : Doç.Dr. Mustafa GENÇOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kadir GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Özkan İŞLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. İbrahim EKİZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Hakkı ÖNEL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 28 Aralık 2012
Savunma Tarihi : 30 Nisan 2013

Aileme ve eşime,

ÖNSÖZ

Doktora çalışmam uzun bir süreç içerisinde, birçok insanın katkısı ve desteğiyle gerçekleşti. Bu değerli insanlara teşekkür etmek isterim.

Yüksek lisans tez çalışmamdan beri birlikte çalıştığım, yapıcı eleştirileri ile çalışmalarına yön veren ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof.Dr. Kaya ÖZGEN ve ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Uzun olan bu süreçte, her türlü konuda ilgi ve desteğini gördüğüm, bana yol gösteren, teşvik eden ve cesaretlendiren değerli hocam Sayın Doç.Dr. Mustafa GENÇOĞLU'na en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın altı aylık dönemlerinin sonunda toplanıp, yapılanları değerlendirdiğimiz tez izleme jürisindeki hocalarım Sayın Prof. Dr. Kadir GÜLER'e ve Sayın Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK'e göstermiş oldukları ilgi, verdikleri destek ve yapıcı katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Dolgu duvarları lifli çimento esaslı kompozitler ile güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin deneysel olarak incelendiği bu tez çalışması, 33601 numaralı İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü BAP projesi ve İTÜ Rektörlük BAP projesinin sağladığı imkânlar ile İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği ve Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Bu birimlere vermiş oldukları desteklerden ötürü şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarına malzeme desteği sağlayan Sayın Murat TOSUN ve KATSAN KİMYA firmasına, deney numunelerimin üretimini sağlayan Sayın Dr. Mahmut KÖSE'ye teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarındaki en büyük yardımcım, çalışma arkadaşım, dostum İnş.Yük.Müh. Cemil ÖZKAN'a özellikle teşekkür ederim.

Deney numunelerinin hazırlanmasında ve deneyler sırasında her zaman yanımda olan teknisyen Ahmet ŞAHİN'e, Mahmut ŞAMLI'ya, Naci YILDIZ'a ve İnş.Yük.Müh. Hakan SARUHAN'a, deneylerin gerçekleşmesi sırasında bilgisini esirgemeyen Dr. Hasan ÖZKAYNAK'a ve Dr. Gülseren EROL'a, doktoramın son zamanlarında arkadaşlığını esirgemeyen İnş.Yük.Müh. Cem HAYDAROĞLU'na, laboratuvara ilk geldiğimde bana yol gösteren ve desteğini esirgemeyen Araş.Gör. Dr. Kıvanç TAŞKIN'a, doktora çalışmalarım sırasında bana hep destek olan oda arkadaşım Araş.Gör Nur ATAĞUL'a şükranlarımı sunarım.

Son olarak her zaman beni destekleyen ve yanımda olduklarını bildiğim aileme, ablam Hatice Eser ÖKTEN'e, annem ve babam Meriç ve Sadettin ÖKTEN'e, tez çalışmamda sürekli destek olan eşim Burcu Balaban ÖKTEN'e en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Nisan 2013

Mehmet Selim ÖKTEN
(İnşaat Yüksek Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Tezin Konusu ve Kapsamı	3
1.3 Literatür Özeti	5
1.4 Özgün Değer	12
2. ÖN DENEYLER	15
2.1 Duvar Numunelerinin Yapımı.....	15
2.1.1 Güçlendirilmemiş Duvar Numuneleri.....	17
2.1.2 Güçlendirilmiş Duvar Numuneleri.....	17
2.2 Deney Düzenegi	21
2.2.1 Yükleme düzenegi.....	21
2.2.2 Ölçüm düzenegi	22
2.3 Malzeme Deneyleri	23
2.3.1 Harç Deneyleri	24
2.3.2 Tuğla Deneyleri.....	25
2.4 Kayma Deneyleri.....	26
2.4.1 Güçlendirilmemiş duvar kayma deneyleri	26
2.4.2 Güçlendirilmiş duvar kayma deneyleri	29
2.4.2.1 GN-1-1 numuneleri kayma deneyleri.....	29
2.4.2.2 GN-2-1 numuneleri kayma deneyleri.....	32
2.4.2.3 GN-1-2 numuneleri kayma deneyleri.....	36
2.4.2.4 GN-2-2 numuneleri kayma deneyleri.....	40
2.4.3 KN ve GN kodlu numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması	43
2.4.3.1 KN ve GN-1-1 numuneleri karşılaştırılması	43
2.4.3.2 KN ve GN-2-1 numuneleri karşılaştırılması	44
2.4.3.3 KN ve GN-1-2 numuneleri karşılaştırılması	46
2.4.3.4 KN ve GN-2-2 numuneleri karşılaştırılması	47
2.4.4 GN kodlu numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	48
2.4.4.1 GN-1-1 ve GN-1-2 numuneleri karşılaştırılması	48
2.4.4.2 GN-2-1 ve GN-2-2 numuneleri karşılaştırılması	50
2.4.4.3 GN-1-1 ve GN-2-1 numuneleri karşılaştırılması	51
2.4.5 Duvar kayma deneyleri sonuçlarının değerlendirilmesi	52
3. BETONARME ÇERÇEVE DENEYLERİ	55
3.1 Genel Bilgi	55
3.2 Betonarme Çerçevelerin Üretimi	57

3.2.1 Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi	61
3.2.2 Betonarme çerçeve deney numuneleri	63
3.3 Malzeme Deneyleri	68
3.3.1 Sıva harcı deneyleri	69
3.3.2 Tuğla deneyleri	70
3.3.3 CFRC harcı deneyleri	71
3.3.4 Donatı çekme deneyleri	72
3.3.5 Beton basınç deneyleri	73
3.4 Deney Düzenegi	75
3.4.1 Ölçüm düzenegi	75
3.4.2 Yükleme düzenegi	78
3.4.3 Yükleme protokolü	80
3.5 Betonarme Çerçeve Deneyleri	81
3.5.1 Yalın çerçeve deneyi	82
3.5.2 Dolgu duvarlı çerçeve deneyi	88
3.5.3 CFRC-1-2 çerçeve deneyi	95
3.5.4 CFRC-2-1 çerçeve deneyi	102
3.5.5 CFRC-2-1-A çerçeve deneyi	106
3.5.6 CFRC-2-2-W çerçeve deneyi	109
3.5.7 CFRC-D-A çerçeve deneyi	114
3.5.8 CFRC-2-2-A çerçeve deneyi	121
3.6 Betonarme Çerçeve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	125
3.6.1 Yalın çerçeve	125
3.6.2 Dolgu duvarlı çerçeve	129
3.6.3 CFRC-1-2 çerçevesi	132
3.6.4 CFRC-2-1 çerçevesi	136
3.6.5 CFRC-2-1-A çerçevesi	140
3.6.6 CFRC-2-2-W çerçevesi	144
3.6.7 CFRC-D-A çerçevesi	148
3.6.8 CFRC-2-2-A çerçevesi	152
3.7 Betonarme Çerçeve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	156
4. ANALİTİK ÇALIŞMA	161
4.1 Analitik Öngörüler	161
4.2 Analitik Modeller	170
5. SONUÇLAR	179
KAYNAKLAR	185

KISALTMALAR

ACI	: American Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
CFRC	: Karbon Lifli Çimento Esaslı Kompozit
CFRP	: Karbon Lifli Polimer
DBYBHY'07	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
FRC	: Lifli Çimento Esaslı Kompozit
FRP	: Lifli Polimer
GFRP	: Cam Lifli Polimer
LVDT	: Yerdeğiştirme Ölçer

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : CFRC ağın mekanik özellikleri.....	17
Çizelge 2.2 : CFRC sistemindeki çimento esaslı harcın mekanik özellikleri.....	18
Çizelge 2.3 : Deney grupları.....	21
Çizelge 2.4 : Beton harcın basınç deneyi sonuçları.....	24
Çizelge 2.5 : CFRC harcın basınç deneyi sonucu.....	25
Çizelge 2.6 : Tuğlaların delik doğrultusunda yapılan basınç deneyi sonuçları.....	25
Çizelge 2.7 : KN numuneleri deney sonuçları.....	27
Çizelge 2.8 : KN numuneleri istatistiksel değerleri.....	27
Çizelge 2.9 : GN-1-1 numuneleri deney sonuçları.....	30
Çizelge 2.10 : GN-1-1 numuneleri istatistiksel değerleri.....	30
Çizelge 2.11 : GN-2-1 numuneleri deney sonuçları.....	33
Çizelge 2.12 : GN-2-1 numuneleri istatistiksel değerleri.....	33
Çizelge 2.13 : GN-1-2 numuneleri deney sonuçları.....	37
Çizelge 2.14 : GN-1-2 numuneleri istatistiksel değerleri.....	37
Çizelge 2.15 : GN-2-2 numuneleri deney sonuçları.....	40
Çizelge 2.16 : GN-2-2 numuneleri istatistiksel değerleri.....	40
Çizelge 2.17 : GN-1-1 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.....	43
Çizelge 2.18 : GN-2-1 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.....	45
Çizelge 2.19 : GN-1-2 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.....	47
Çizelge 2.20 : GN-2-2 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.....	47
Çizelge 2.21 : GN-1-1 ve GN-1-2 numunelerinin karşılaştırılması.....	49
Çizelge 2.22 : GN-2-1 ve GN-2-2 numunelerinin karşılaştırılması.....	50
Çizelge 2.23 : GN-1-1 ve GN-2-1 numunelerinin karşılaştırılması.....	52
Çizelge 3.1 : Betonarme çerçeve deney numuneleri.....	68
Çizelge 3.2 : Tuğlalarda ve çerçevenin yüzeyinde kullanılan harcın basınç dayanımı.....	70
Çizelge 3.3 : Tuğla basınç deneyi sonuçları.....	71
Çizelge 3.4 : CFRC harcı basınç deneyi sonuçları.....	72
Çizelge 3.5 : Karot numunelerinin basınç deneyi sonuçları.....	74
Çizelge 3.6 : Deneylerde kullanılan LVDT listesi.....	77
Çizelge 3.7 : Yalın çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	87
Çizelge 3.8 : Dolgu duvarlı çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	94
Çizelge 3.9 : CFRC-1-2 çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	100
Çizelge 3.10 : CFRC-2-1 çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	106
Çizelge 3.11 : CFRC-2-1A çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	109
Çizelge 3.12 : CFRC-2-2-W çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	114
Çizelge 3.13 : CFRC-D-A çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	121
Çizelge 3.14 : CFRC-2-2-A çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.....	125
Çizelge 3.15 : Yalın çerçeve çevrim bilgileri.....	126
Çizelge 3.16 : Dolgu duvarlı çerçeve çevrim bilgileri.....	129
Çizelge 3.17 : CFRC-1-2 çerçevesi çevrim bilgileri.....	133

Çizelge 3.18 : CFRC-2-1 çerçevesi çevrim bilgileri.....	137
Çizelge 3.19 : CFRC-2-1-A çerçevesi çevrim bilgileri.	141
Çizelge 3.20 : CFRC-2-2-W çerçevesi çevrim bilgileri.	145
Çizelge 3.21 : CFRC-D-A çerçevesi çevrim bilgileri.....	149
Çizelge 3.22 : CFRC-2-2-A çerçevesi çevrim bilgileri.	153
Çizelge 4.1 : Deney çerçevelerinin analitik tahmin dayanım tablosu.....	168
Çizelge 4.2 : Analitik modelde kullanılan malzeme özellikleri.....	171
Çizelge 4.3 : Modelde girilen dolgu duvar özellikleri.	172
Çizelge 4.4 : Dayanım arttırma katsayısı.....	172
Çizelge 4.5 : Eşdeğer basınç çubuğu alanları.	173
Çizelge 4.6 : Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması.	174

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Duvar numunesi.	15
Şekil 2.2 : Güçlendirilmiş numunelerin kod açılımı.....	16
Şekil 2.3 : Kontrol numunelerinin kod açılımı.	16
Şekil 2.4 : Güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri.	17
Şekil 2.5 : Islatılmış yüzeye harcın sürülmesi ve karbon lifli ağın yerleşimi.....	18
Şekil 2.6 : Ağın harcın içine iyice yerleştirilmesi ve üzerinin kapatılması.	18
Şekil 2.7 : Bir taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.....	19
Şekil 2.8 : İki taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.....	19
Şekil 2.9 : Bir taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.	20
Şekil 2.10 : İki taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.	20
Şekil 2.11 : Yükleme düzeneği.	22
Şekil 2.12 : LVDT yer değiştirme ölçerler.	22
Şekil 2.13 : Deney numunesi üzerindeki LVDT (T) yerleri.	23
Şekil 2.14 : Standart basınç deneylerinde kullanılan pres makinası.....	23
Şekil 2.15 : Beton harcı standart basınç deneyleri.	24
Şekil 2.16 : Duvar numunelerindeki tuğlaların basınç deneyleri.	25
Şekil 2.17 : KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	27
Şekil 2.18 : KN-1 numunesinin arka yüzünde oluşan a ve b çatlakları.	28
Şekil 2.19 : KN-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	28
Şekil 2.20 : KN-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	28
Şekil 2.21 : KN-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin hasar durumu.	29
Şekil 2.22 : GN-1-1 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	30
Şekil 2.23 : GN-1-1-1 numunesinin arka yüzünde oluşan a ve b çatlakları.	31
Şekil 2.24 : GN-1-1-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	31
Şekil 2.25 : GN-1-1-3 numunesinde sıvanın ayrılması.	32
Şekil 2.26 : GN-1-1-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	32
Şekil 2.27 : GN-2-1 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	33
Şekil 2.28 : 262 kN'da 3mm ye ulaşan çatlak.....	34
Şekil 2.29 : GN-2-1-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	34
Şekil 2.30 : GN-2-1-2 numunesinde arka yüzde oluşan çatlak.	35
Şekil 2.31 : GN-2-1-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu ..	35
Şekil 2.32 : GN-2-1-3 numunesindeki ön hasar ve oluşan çatlaklar.	36
Şekil 2.33 : GN-2-1-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	36
Şekil 2.34 : GN-1-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	37
Şekil 2.35 : GN-1-2-2 numunesindeki ön hasarlar.	38
Şekil 2.36 : GN-1-2-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	38
Şekil 2.37 : GN-1-2-3 numunesindeki ön hasarlar.	39
Şekil 2.38 : GN-1-2-3 numunesinde oluşan çatlaklar.....	39
Şekil 2.39 : GN-1-2-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	39

Şekil 2.40 : GN-2-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.	40
Şekil 2.41 : GN-2-2-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	41
Şekil 2.42 : GN-2-2-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	42
Şekil 2.43 : GN-2-2-3 numunesinin oluşan çatlaklar.	42
Şekil 2.44 : GN-2-2-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.	43
Şekil 2.45 : GN-1-1 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.	44
Şekil 2.46 : GN-2-1 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.	45
Şekil 2.47 : GN-1-2 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.	46
Şekil 2.48 : GN-2-2 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.	48
Şekil 2.49 : GN-1-1 ve GN-1-2 numuneleri τ - γ grafikleri.	49
Şekil 2.50 : GN-2-1 ve GN-2-2 numuneleri τ - γ grafikleri.	50
Şekil 2.51 : GN-1-1 ve GN-2-1 numuneleri τ - γ grafikleri.	51
Şekil 2.52 : Deney gruplarının ortalama kayma dayanımı değerleri.	52
Şekil 2.53 : CFRP ile yapılan çalışma.	54
Şekil 3.1 : Betonarme çerçeve numune boyutları ve donatı açılımı.	55
Şekil 3.2 : Üretilen betonarme çerçeve numuneleri.	56
Şekil 3.3 : 1/3 ölçekli kesilen tuğla numunesi.	56
Şekil 3.4 : Donatıların temel kalıbına yerleştirilmesi.	57
Şekil 3.5 : Bağlantı borularının temele yerleştirilmesi.	57
Şekil 3.6 : Kolon filizleri ve dökülmüş temel betonu.	58
Şekil 3.7 : Şekildeğiştirme ölçer yerleşim şeması.	58
Şekil 3.8 : Şekildeğiştirme ölçer yapıştırma aşamaları.	59
Şekil 3.9 : Kalıpların hazırlanması.	59
Şekil 3.10 : Betonu dökülmüş çerçeveler.	60
Şekil 3.11 : Betonarme çerçevelerin içine dolgu duvar örülmesi.	60
Şekil 3.12 : Betonarme çerçevelerin iki yüzünün sıvanması.	61
Şekil 3.13 : CFRC ankraj.	61
Şekil 3.14 : Ankraj delikleri.	62
Şekil 3.15 : Ankrajlı CFRC uygulaması.	62
Şekil 3.16 : Güçlendirilmiş çerçevelerin kod açılımı.	63
Şekil 3.17 : Yalın çerçeve.	64
Şekil 3.18 : Dolgu duvarlı çerçeve.	64
Şekil 3.19 : CFRC-1-2 numunesi.	65
Şekil 3.20 : CFRC-2-1 numunesi.	65
Şekil 3.21 : CFRC-2-1-A numunesi.	66
Şekil 3.22 : CFRC-2-2-W numunesi.	66
Şekil 3.23 : CFRC-D-A numunesi.	67
Şekil 3.24 : CFRC-2-2-A numunesi.	67
Şekil 3.25 : Standart donatı çekme deney düzeneği.	69
Şekil 3.26 : Beton gerilme-şekil değiştirme deney düzeneği.	69
Şekil 3.27 : Sıva harcı standart basınç deneyi.	69
Şekil 3.28 : Tuğla standart basınç deneyi.	70
Şekil 3.29 : CFRC harcı basınç deneyleri.	71
Şekil 3.30 : Donatı çekme deneyi.	72
Şekil 3.31 : Donatı numunelerinin resimleri.	73
Şekil 3.32 : Donatıların ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrisi.	73
Şekil 3.33 : Karot numunesi basınç deneyleri.	74
Şekil 3.34 : Betonarme çerçeve betonunun gerilme-şekil değiştirme eğrileri.	75
Şekil 3.35 : LVDT yerleri ve kanal numaraları.	76

Şekil 3.36 : Şekildeğiştirme ölçer yerleri ve kanal numaraları.....	78
Şekil 3.37 : Betonarme çerçeve deney düzeneği.	79
Şekil 3.38 : Deney düzeneğinin görünüşü.	80
Şekil 3.39 : Statik deneylerde uygulanan yükleme protokolü.	81
Şekil 3.40 : Deneylerde uygulanan itme-çekme yönleri ve kalem renkleri.....	82
Şekil 3.41 : 7. çevrimde ön ve arka yüzde oluşan çatlaklar.....	83
Şekil 3.42 : Çerçevenin 8. çevrim sonundaki durumu.....	83
Şekil 3.43 : 9. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	84
Şekil 3.44 : 12. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	85
Şekil 3.45 : Son çevrim sonrası numunenin görüntüsü.	86
Şekil 3.46 : Yalın çerçeve hasar şeması.	86
Şekil 3.47 : 3. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	88
Şekil 3.48 : 4. çevrim itme sırasında oluşan çatlaklar.	88
Şekil 3.49 : 4. çevrim sonunda oluşan çatlaklar.	89
Şekil 3.50 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	89
Şekil 3.51 : 6. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	90
Şekil 3.52 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	91
Şekil 3.53 : 8. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	91
Şekil 3.54 : 9. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	92
Şekil 3.55 : 10. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	92
Şekil 3.56 : 11. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	92
Şekil 3.57 : Son çevrim sonunda numunenin durumu.....	93
Şekil 3.58 : Dolgu duvarlı çerçeve hasar şeması.	93
Şekil 3.59 : 3. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	95
Şekil 3.60 : 4. çevrim sırasında oluşan çatlak.....	95
Şekil 3.61 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	96
Şekil 3.62 : 6. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	96
Şekil 3.63 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	97
Şekil 3.64 : 9. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	97
Şekil 3.65 : 10. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	98
Şekil 3.66 : 11. çevrim sonunda ön yüzde ilerleyen çatlaklar.	98
Şekil 3.67 : 12. çevrim yük ve tepe yer değıştirme değeri.	99
Şekil 3.68 : 13. çevrim sonunda numunenin durumu.	99
Şekil 3.69 : CFRC-1-2 çerçeve hasar şeması.....	100
Şekil 3.70 : 6. çevrim sırasında oluşan çatlak.....	102
Şekil 3.71 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlak.....	102
Şekil 3.72 : 9. çevrim sonunda oluşan çatlaklar.	103
Şekil 3.73 : 10. çevrim sonunda oluşan çatlak.....	103
Şekil 3.74 : Kolon diplerinde oluşan hasarlar.....	104
Şekil 3.75 : 12. çevrim hasarları.	104
Şekil 3.76 : 13. çevrim sonunda oluşan hasar durumu.	105
Şekil 3.77 : CFRC-2-1 çerçevesi çatlak şeması.....	105
Şekil 3.78 : Kolon diplerinde oluşan hasarlar.....	107
Şekil 3.79 : 13. çevrim sırasında ilerleyen hasarlar.	107
Şekil 3.80 : 14. çevrim sonunda numune oluşan hasar durumu.	108
Şekil 3.81 : CFRC-2-1-A çerçevesi hasar şeması.....	108
Şekil 3.82 : 4. çevrim sırasında oluşan çatlak.....	109
Şekil 3.83 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	110
Şekil 3.84 : 6. çevrimde oluşan çatlak.	110
Şekil 3.85 : 8. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	111

Şekil 3.86 : Kiriş-duvar birleşim yüzeyinde oluşan C çatlakları.	111
Şekil 3.87 : Çatlakların ön yüzüne doğru ilerlemesi.	112
Şekil 3.88 : 11. çevrim sırasında oluşan hasarlar.	112
Şekil 3.89 : Çevrim sonunda numunenin hasar durumu.	113
Şekil 3.90 : CFRC-2-2-W çerçevesi hasar şeması.	113
Şekil 3.91 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	115
Şekil 3.92 : 6. çevrimde itme sırasında ön yüzde oluşan çatlaklar.	115
Şekil 3.93 : 6. çevrimde itme sırasında arka yüzde oluşan çatlaklar.	116
Şekil 3.94 : 7. çevrim itme sırasında ön yüzde oluşan çatlaklar.	116
Şekil 3.95 : 7. çevrimde çekme sırasında arka yüzde oluşan çatlaklar.	117
Şekil 3.96 : 8. çevrimde çatlakların ilerlemesi.	117
Şekil 3.97 : 9. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	118
Şekil 3.98 : 10. çevrim sonunda numunedeki hasar durumu.	118
Şekil 3.99 : 11. çevrim sonunda numunedeki hasar durumu.	119
Şekil 3.100 : Deney sonunda numunedeki hasar durumu.	120
Şekil 3.101 : CFRC-D-A çerçevesi hasar şeması.	120
Şekil 3.102 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	122
Şekil 3.103 : 10. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	122
Şekil 3.104 : 11. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.	123
Şekil 3.105 : 12. çevrimde donatıların açığa çıkması.	123
Şekil 3.106 : Son çevrimlerde gözlemlenen donatı burkulmaları.	124
Şekil 3.107 : CFRC-2-2-A çerçevesi çatlak şeması.	124
Şekil 3.108 : Yalın çerçeve yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	127
Şekil 3.109 : Yalın çerçeve yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	127
Şekil 3.110 : Yalın çerçeve yatay rijitlik değişimi.	128
Şekil 3.111 : Yalın çerçeve yutulan enerji grafiği.	128
Şekil 3.112 : Dolgu duvarlı çerçeve yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	130
Şekil 3.113 : Dolgu duvarlı çerçeve yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	131
Şekil 3.114 : Dolgu duvarlı çerçeve yatay rijitlik değişimi.	131
Şekil 3.115 : Dolgu duvarlı çerçeve yutulan enerji miktarı.	132
Şekil 3.116 : CFRC-1-2 çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	134
Şekil 3.117 : CFRC-1-2 çerçevesi yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	135
Şekil 3.118 : CFRC-1-2 çerçevesi yatay rijitlik değişimi.	135
Şekil 3.119 : CFRC-1-2 çerçevesi yutulan enerji miktarı.	136
Şekil 3.120 : CFRC-2-1 çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	138
Şekil 3.121 : CFRC-2-1 çerçevesi yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	139
Şekil 3.122 : CFRC-2-1 çerçevesi yatay rijitlik değişimi.	139
Şekil 3.123 : CFRC-2-1 çerçevesi yutulan enerji miktarı.	140
Şekil 3.124 : CFRC-2-1-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	142
Şekil 3.125 : CFRC-2-1-A çerçevesi yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	143
Şekil 3.126 : CFRC-2-1-A çerçevesi yatay rijitlik değişimi.	143
Şekil 3.127 : CFRC-2-1-A çerçevesi yutulan enerji miktarı.	144
Şekil 3.128 : CFRC-2-2-W çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	146
Şekil 3.129 : CFRC-2-2-W çerçevesi yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	147
Şekil 3.130 : CFRC-2-2-W çerçevesi yatay rijitlik değişimi.	147
Şekil 3.131 : CFRC-2-2-W çerçevesi yutulan enerji miktarı.	148
Şekil 3.132 : CFRC-D-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	150
Şekil 3.133 : CFRC-D-A çerçevesi yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	151
Şekil 3.134 : CFRC-D-A çerçevesi yatay rijitlik değişimi.	151
Şekil 3.135 : CFRC-D-A çerçevesi yutulan enerji miktarı.	152

Şekil 3.136 : CFRC-2-2-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.	154
Şekil 3.137 : CFRC-2-2-A çerçevesi yük-tepe yer değiştirmesi zarfı.	155
Şekil 3.138 : CFRC-2-2-A çerçevesi yatay rijitlik değişimi.	155
Şekil 3.139 : CFRC-2-2-A çerçevesi yutulan enerji miktarı.	156
Şekil 3.140 : Çerçeve numunelerinin yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrileri.	157
Şekil 3.141 : Çerçeve numunelerinin yatay rijitlik değişimi eğrileri.	158
Şekil 3.142 : Çerçeve numunelerinde ulaşılan maksimum yatay yük.	159
Şekil 3.143 : Çerçeve numunelerinin tükettiği toplam enerji.	160
Şekil 4.1 : Yığma dolgu duvarlı betonarme çerçeve modeli.	162
Şekil 4.2 : Çerçevelerin göçme mekanizması.	163
Şekil 4.3 : Eşdeğer basınç çubuğu modeli.	164
Şekil 4.4 : Yalın çerçeve göçme mekanizması.	165
Şekil 4.5 : Dolgu duvar ve CFRC-D-A çerçeveleri göçme mekanizması.	166
Şekil 4.6 : Güçlendirilmiş çerçevelerin göçme mekanizması.	167
Şekil 4.7 : Sap 2000 ile hesaplanan M_p değeri.	167
Şekil 4.8 : Analitik incelemede kullanılan duvar modeli (Crisafulli ve Carr, 2007).	171
Şekil 4.9 : SeismoStruct programı.	173
Şekil 4.10 : Modele girilen CFRC-D-A yer değiştirme değerleri.	174
Şekil 4.11 : Deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması.	177

SEMBOL LİSTESİ

A_n	: Duvar net en kesit alanı
P	: Uygulanan yük
w	: Numune genişliği
h	: Numune yüksekliği
n	: Numune en kesit alanı doluluk oranı
τ	: Kayma gerilmesi
G	: Kayma modülü
γ	: Kayma şekil değiştirmesi
g_v	: Yerdeğiştirme ölçerin başlangıç düşey boyu
g_h	: Yerdeğiştirme ölçerin başlangıç yatay boyu
ΔV	: Duvar numunelerinde yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişim
ΔH	: Duvar numunelerinde yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişim
t	: Numune toplam kalınlığı
δH	: Göreli kat ötelemesi oranı
ε_{su}	: Donatı çeliğinin kopma şekil değiştirmesi
μ	: Süneklik
σ	: Basınç gerilmesi
τ	: Kayma gerilmesi

LİFLİ ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ DOLGU DUVARLI BETONARME ÇERÇEVELERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

ÖZET

Ülkemizin birçok bölgesi ve özellikle İstanbul çevresi önemli ölçüde deprem kuşağında yer almaktadır. Betonarme yapıların tasarım aşamasında ve uygulamada, çerçeve sistemler içindeki bölme duvarlarının taşıyıcı sisteme olan etkileri genellikle ihmal edilmektedir. Son zamanlarda yapılan kuramsal ve deneysel araştırmalar çerçeveler içinde kalan bölme duvarlarının da betonarme çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerine ve davranışına önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Buna paralel olarak, 2007 yılında yayımlanan deprem yönetmeliğimizde, çerçeveler içinde kalan bölme duvarların betonarme binaların taşıma gücüne olan katkılarının dikkate alınmasının uygun olabileceği ifade edilmektedir. 1998 deprem yönetmeliğinden önce inşa edilen betonarme binaların büyük çoğunluğunun mevcut taşıyıcı sistem güvenlikleri açısından olası büyük beklenen depremlere karşı yeterli olmadığı bilinmektedir. Yeterli taşıyıcı sistem güvenliğine sahip olmayan mevcut yapıların güçlendirilmesi çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Ülkemizde en yaygın güçlendirme yöntemleri betonarme çerçeveler arasında yer alan bölme duvarların yerine çerçeve ile birlikte çalışabilecek betonarme perdelerin mevcut taşıyıcı sisteme ilave edilmesi, kolonların mantolanması, çelik lamalar ve lifli polimerlerden (FRP) oluşan kompozit malzemelerle taşıyıcı sistem elemanlarının güçlendirilmesidir.

FRP ile yapılan güçlendirmeler, genellikle cam ve karbondan oluşan lifli polimerlerin taşıyıcı sistem elemanlarının yüzeylerine epoksi reçinesi ile yapıştırılması şeklinde uygulanmaktadır. İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında karbon lifli polimer (CFRP) ile güçlendirilmiş bölme duvarlı betonarme çerçeveler üzerinde bir dizi deneysel çalışma yürütülmüş ve tamamlanmıştır. Bu çalışmalarda, CFRP ile güçlendirilen bölme duvarların belli bir yük kademesine kadar çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerini ve rijitliklerini arttırdığı görülmektedir. Bununla birlikte artan yük adımlarında CFRP duvarda yapıştırıldığı ara yüzeyden ayrılmaktadır. Ancak CFRP çerçeve elemanlara ve bölme duvarına uygun şekilde ankre edilirse sistemin yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Dolayısıyla CFRP'nin bu olumlu katkısını ara yüzün dayanımı ve ankrajlar belirlemektedir. Ara yüzün yüzey hazırlığı için uygun malzeme seçiminin ve uygulama yöntemlerinin ara yüzün dayanımı üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Ayrıca bu sistemin düşük dayanımlı betonarme taşıyıcı sistem elemanlarda etkili olmadığı, elemanın yüzeyine uygulanması nedeniyle bulunduğu ortamın atmosfer koşullarından ve yüksek sıcaklıklardan olumsuz etkilendiği (FRP ve epoksi reçinesinde bozulmalar oluşması), yangın esnasında dayanımının hızla azaldığı bilinmektedir.

Yeni bir güçlendirme tekniği olarak lifli çimento esaslı kompozitlerle (FRC) yapılan uygulamalar, cam ve karbondan oluşan lifli polimerlerin taşıyıcı sistem elemanlarının yüzeylerine çimento harcı ile yapıştırılmasıyla uygulanmaktadır. Bu sistem detaylı bir yüzey hazırlığı veya titiz bir işçilik gerektirmemesi, yangına karşı

dayanıklı olması, özellikle nem gibi atmosferik koşullardan etkilenmemesi ve ara yüzeyde çok iyi bir yapışma sağlaması gibi avantajlara sahiptir.

Bu malzemeye ilgili gerçekleştirilen deneysel çalışmalar iki aşama halinde yapılmıştır. Birinci aşamada bölme duvarlar ile ilgili ön deneyler yer almaktadır. Duvar numunelerinin yapımında ülkemizde yaygın olarak kullanılan ince cidarlı 190mmx190mmx135mm boyutlarındaki tuğlalar ve çimento harcı kullanılmıştır. 755mmx755mm boyutlarında özel olarak üretilen 15 adet duvar numunesi, 5 grupta 3'er adet duvar numunesi olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Bu gruplardan 4'ü karbon lifli çimento esaslı kompozitler (CFRC) ile değişik şekillerde güçlendirilmiş, bir grup ise güçlendirilmeyerek kontrol seti olarak bırakılmıştır. Bu aşamadan sonra bölme duvarlar, diyagonal kayma deneyine tabi tutulmuşlardır. Deneyler sonucunda duvarlara ait kayma gerilmesi-kayma açısı grafikleri elde edilmiş ve bu grafiklere bağlı olarak duvar kayma rijitliklerindeki değişim incelenmiştir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde, CFRC ile güçlendirilen tüm numunelerin kayma dayanımı değerlerinde güçlendirilmeyen kontrol numunelerine göre belirgin bir artış elde edilmiştir. Güçlendirilen numunelerde maksimum kayma dayanımına karşılık gelen kayma şekil değiştirmelerinde azalmalar görülse de, göçme anındaki şekil değiştirmeler kontrol numunelerine göre daha fazla olmuştur.

Deney sonuçları daha önce CFRP ve epoksi ile güçlendirilmiş benzer bir çalışma ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada benzer duvar numuneleri çeşitli şekillerde CFRP bantlarla epoksi kullanılarak güçlendirilmişlerdir. CFRP ve CFRC ile yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirmesi değerlerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Deneysel çalışmanın ikinci aşamasında, 8 adet 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve dolgu duvarlı betonarme çerçeve tersinir tekrarlı yatay yükler altında test edilmiştir. Betonarme çerçeveler, pratikte olduğu gibi düşük dayanımlı betona sahip zayıf kolon, kuvvetli kiriş şeklinde üretilmiştir. Çerçevelerden 1 adeti içine dolgu duvar örülmeden kontrol çerçevesi olarak bırakılmış, diğer 7 adet çerçevenin içine ise delikli tuğlalar kullanılarak dolgu duvarlar örülmüştür. Mevcut yapılarda duvar üzerindeki sıvayı kaldırmadan sıva üzerinden pratik bir şekilde güçlendirme yapabilme tekniğini araştırmak amacıyla, dolgu duvarlı çerçevelerin her iki yüzü 10mm kalınlığında sıva ile kaplanmıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin 6 adeti, dolgu duvarların bir veya iki yüzüne, iki farklı tabakada CFRC güçlendirme malzemesi uygulanarak güçlendirilmiş, 1 adeti ise güçlendirilmemiştir. Duvar güçlendirmelerinde, CFRC sistemler, hem deprem yönetmeliğimizin önerdiği ankraj sistemine benzer olarak CFRC'den oluşan ankrajlarla hem de ankajsız olarak doğrudan duvara monte edilmiştir. Bu numuneler, tersinir tekrarlı yükler altında test edilmiş, numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitliği, hasar seviyeleri ve enerji tüketme kapasiteleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilecek en önemli sonuç; yeni bir güçlendirme malzemesi ve tekniği geliştirilerek ülkemizde yüksek deprem riski taşıyan pek çok betonarme binaların mevcut kullanım konumları ve amaçları değiştirilmeden daha hızlı ve ekonomik bir şekilde güçlendirme tekniğinin geliştirilmesidir.

Bölme duvarlar üzerine kolaylıkla uygulanabilen yeni güçlendirme malzemesi kullanılarak yapılacak bu çalışmadan elde edilecek sonuçların değerlendirilmesiyle; pek çok betonarme binanın mevcut kullanım hacimleri ve amaçları değiştirilmeden daha hızlı ve ekonomik bir güçlendirme tekniği geliştirilebilecektir. Bu yoldan

Ülkemizde deprem riski taşıyan mevcut betonarme binaların glendirilmesine katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF INFILLED RC FRAMES RETROFITTED WITH FIBER REINFORCED CEMENT BASED COMPOSITES

SUMMARY

Numerous regions of our country, particularly Istanbul and its surroundings are located on a seismic zone. Generally the lateral load carrying capacities of infill walls between beam and columns are ignored for reinforced concrete (RC) buildings. Recently, the both theoretical and experimental researches conducted in Turkey and in developed countries pointed out that the infill walls in the frames actually improve the load-carrying capacity and the behavior of the RC buildings. In contingency with these results, it was stated in the Turkish Seismic Code, which was revised in 2007, that it would be appropriate to take the contribution of these infill walls to the load-carrying capacity of RC buildings in to account. Pujol and Fick (2010) conducted experiments using a full-scale building structure and investigated the effect of infill walls in the case of a strong earthquake. They concluded that the masonry infill walls of the structure actually increased the stiffness and the strength. Additionally Prota et al. (2006) proposed to implement cementitious composite materials on infill wall panels in order to improve strength and ductility. Also for the study of improved shear strength and deformability Lignola et al. (2009) used a cementitious reinforcement system on wall panels and thus achieved better stress redistribution. In a study conducted in (2005) Aldea et al. showed that the cementitious material improved the strength of walls and was better in performance in comparison with fiber reinforced polymer (FRP) counterparts.

It is also well known that most of the RC and masonry buildings, which were constructed before the Turkish Seismic Code 1998 was in effect, are not sufficient the present load-carrying capacities in the case of severe earthquakes. There are several ways to retrofit such buildings that do not meet the standards for sufficient load-carrying capacity. The most common methods in Turkey are addition of RC shear walls that can work with frame system to the existing structural system instead of infill walls in RC frames, concrete jacketing of columns, and retrofitting the members of structural system using composite materials derived from steel plates and fiber reinforced composite polymers (FRP). Retrofits with FRP are generally conducted by applying epoxy resin to the surfaces of structural system elements. Common knowledge states that this kind of application is not effective for the strengthening of RC load-carrying system members with low concrete strength, is adversely affected from high temperatures and atmospheric ambience conditions (degradation in FRP and the epoxy resin) due to surface application on the member. It is well known that the strength of FRP exposed to fire is sharply lost. A series of experiments were completed at the Istanbul Technical University Structure and Earthquake Engineering Lab in order to investigate the seismic behavior of RC frames with infill walls retrofitted by carbon fiber composite polymer (CFRP). The evaluation of these experiments demonstrated that retrofitting masonry walls using CFRP significantly improves the lateral load carrying capacity and rigidity. Although, some parts of CFRP composites split off from the infill wall at the

increasing increments of loading, these composites continue to carry the load until they completely split off from infill wall or frame or are broken. Apparently, this characteristic behavior of CFRP show that such these composites need to be properly anchored to the structural member strengthened. However the weakest region on the masonry walls retrofitted with CFRP is the interface between the wall and CFRP as a result limiting factor on the load transfer capacity of CFRP is the low tensile strength of the wall.

This paper presents a retrofitting methodology of infill walls using carbon fiber reinforced cementitious matrix (CFRC) as lateral load resisting elements. CFRC is a structural composite material consisting of a carbon mesh which acts as continuous reinforcement and a stabilized inorganic matrix which joins the mesh to the infill walls. Inorganic matrix is consisting of a pozzolanic hydraulic binder that is perfectly chemically, physically, and mechanically compatible with the masonry support. CFRC composites have several advantages such as high fire resistance and high adherence to the interface, and they do not require a detailed preparation of surface and skilled labor. This retrofitting method is expected to improve the system behavior under strong earthquake loads as has been shown by test results. Moreover, this method also prevents the undesirable failure modes and facilitates modeling by eliminating the anisotropic nature of masonry panels and clearly defining the behavior of the retrofitted system. In order to determine the effects of CFRC on the behavior of infill walls, an experimental investigation was planned. Diagonal tension tests of fifteen infill wall specimens having the dimensions of 755mmx755mm, were conducted in order to observe the effects of different CFRC types over initial stiffness and shear strength. Dimensions for brick were 190mmx190mmx135mm and the compressive strength in the direction of the holes of brick was measured to be approximately 7.0 MPa. The void ratio of bricks was around 60%. All wall specimens had plaster on both sides. The thickness of plaster was approximately 10mm on each side. As a common practice in Turkey mortar binder and plaster were prepared using the same materials, namely water, cement, and sand. The water:cement:sand volumetric mixture proportions for mortar binder and plaster were 1:1:4 with a measured compressive strength of 7.0 MPa. The test results showed that the CFRC composites considerably increased the shear strength and stiffness of the infill walls and it contributed the shear strength of mortar between two brick units by transmitting the shear force to the bricks such as a bridge. The test results are given in tables and graphs comparatively.

In the second phase, strengthening of one story-one bay infilled reinforced concrete frames under lateral loads by applying CFRC composites was investigated. At the experimental study, eight pcs 1/3 scale, single bay, infill RC frames strengthened with CFRC were tested under reversed cyclic lateral loads. In order to simulate the real time specimens, RC frames were manufactured as weak column/strong beam with low strength concrete. An experimental work was conducted in order to observe the contribution of CFRC applied on infill walls over the lateral load carrying capacity and the effects of different FRCM application types. Experimental results showed that strengthening of infill walls with FRCM were effective on increasing lateral load carrying capacity, energy dissipation capacity and initial stiffness of infilled reinforced concrete frame specimens. It was also observed that the FRCM retrofit reduced the damage on the RC frame elements (columns and beam) by limiting top displacements.

The important outcome of this study is developing a rapid and financially feasible retrofitting technique without altering the present functional spaces and their purpose of usage for the RC buildings on the immediate impact area of seismic movements.

1. GİRİŞ

Tuğla örgülü bölme duvarlar, günümüzde uygulanan betonarme çerçeve sistemli yapılarda mimari gereksinimlere cevap verecek şekilde yapı içerisindeki yaşam alanlarını birbirinden ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Betonarme yapılardaki bölme duvarların bir başka önemli fonksiyonu da yapı elemanlarını rüzgâr, kar, yağmur gibi olumsuz çevre koşullarından korumaktır. Tüm bu fonksiyonel özelliklerinin yanında, gerek taşıyıcı sistem tasarımında, gerekse mevcut yapıların değerlendirilmesinde, bölme duvarların yapı sistemine yapacağı dayanım ve rijitlik katkısı çoğunlukla ihmal edilmektedir.

Türkiye'nin deprem kuşağı bakımından riskli bölgede yer alması, yapılaşma sırasında tasarım ve analizlerde deprem etkisinin göz önünde bulundurulmasını zorunlu kılmaktadır. Deprem sonrası yapılarda meydana gelen hasarlar üzerinde yapılan araştırma ve gözlemlerde, dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranışı üzerinde etkisi olduğu ortaya çıkarılmış ve projelendirme aşamasında taşıyıcı sistemlerin analizlerinde dolgu duvarların modellenmesi konusunda gelişmeler meydana gelmiştir. Çeşitli ülke yönetmeliklerinin bir kısmı, bölme duvarlarının yapı davranışına olan etkisini hesaplarda değerlendirmeye almaktadır. Dolgu duvarların etkisinin hesaba katılmadığı durumlarda, duvarların dayanım ve rijitliğe herhangi bir katkısı olmadığı varsayılmaktadır.

Bu çalışmada, karbon lifli çimento esaslı kompozitlerle (CFRC) güçlendirilmiş dolgu duvarların deprem tehdidi altındaki mevcut betonarme yapıların davranışına etkisi araştırılmıştır. Ülkemizde bulunan mevcut betonarme yapı stoğunun büyük bölümü düşük dayanımlı beton kalitesine sahiptir. Düşük dayanımlı beton sınıfında olan betonarme çerçeve sistemli bir çerçevede, içinde bulunan güçlendirilmiş bölme duvarlarının binanın yatay yük davranışına olan etkisinin belirlenmesi amacıyla, deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel verilerden faydalanılarak, dolgu duvarları CFRC kompozitler ile güçlendirilmiş betonarme çerçeve sistemlerin, yatay yük taşıma kapasiteleri, rijitlikleri ve enerji tüketme kapasitelerindeki değişimler araştırılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Deprem kuvvetlerine maruz kalan yapılar ve oluşan hasarlar hakkında geniş çaplı araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar depreme dayanıklı yapı tasarımı için çeşitli yöntem ve uygulamaların geliştirilmesini amaçlamaktadır. Halen kullanımda olan ve yeni deprem yönetmeliğinde ön görülen koşulları sağlamadığından, güçlendirme yapılması gereken birçok tarihi binanın ve sanat yapılarının yanında betonarme yapıların da sürekliliğini devam ettirmesi açısından onarımlara ve iyileştirmelere ihtiyacı vardır. Bu yapılar deprem ve güvenlik açısından büyük bir risk oluşturmaktadır.

Günümüzde mevcut yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, yapı mühendisliğinin en önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir. Bunun yanında betonarme yapıların yeni ve modern yapı malzemeleri ile onarılması/güçlendirilmesi ilgi çeken araştırma konularının başında gelmektedir. Bu kapsamda kullanılan malzemelerin başında lifli polimer (FRP) kompozitler gelmektedir. Betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde, kompozit malzemeden (fiber ve reçine) yapılmış bir elyafi çekme yüzeyine epoksi ile yapıştırmak etkili bir tekniktir. Deneyler, FRP ile güçlendirilmiş betonarme elemanların mukavemet ve rijitliklerinde büyük artışlar sağlandığını göstermektedir. Bu tür malzemelerin dezavantajları ise, yüksek sıcaklıklarda taşıma gücü kapasitelerini hızla kaybetmeleri, pahalı bir malzeme olması, düşük dayanımlı betona sahip betonarme elemanlarda ve tuğla duvarlarda gerçek taşıma gücü kapasitesine ulaşmadan, güçlendirilen elemanlarda ani ve gevrek göçmelerin meydana gelmesinden dolayı çok etkin kullanılamamasıdır.

Bu araştırmanın başlıca amacı, FRP ile güçlendirme tekniğinde olduğu gibi, güçlendirilmesi gereken yapının kullanımda kalmasını sağlayabilecek, hızlı güçlendirme tekniğine sahip olabilecek, daha ekonomik ve düşük dayanımlı betonarme yapı elemanlarında veya bölme duvarlarda da daha etkin olarak kullanılabilecek yeni bir kompozit malzeme ve güçlendirme tekniğinin geliştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda, düşük dayanımlı betona sahip 1/3 ölçekli 8 adet tek açıklıklı betonarme çerçeve üretilmiş ve bölme duvarlar farklı özelliklerde çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilerek, deprem benzeri tersinir tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Benzer güçlendirme tekniklerine ait deneysel sonuçlar birlikte değerlendirilerek, uygulama koşullarına bağlı olarak şiddetli depremlere karşı güçlendirilmesi gereken betonarme yapılar için en uygun güçlendirme tekniğinin

ekonomi, uygulama zamanı ve kolaylığı, taşıma gücü kapasitesi, rijitlik, güçlendirilen çerçevenin nihai yatay deplasman kapasitesi ve enerji yutma miktarları açısından belirlenmesi de çalışmanın ana hedeflerinden birini teşkil etmektedir.

Burada sunulan çalışmanın diğer amacı ise, betonarme binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yeni tekniklerin geliştirilmesi ile birlikte, özellikle kırsal bölgelerimizde yaygın olarak bulunan yığma yapıların, depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılacak çimento esaslı kompozitlerin uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaç için üretilen 755mmx755mm boyutlarındaki 15 adet duvar numunesi, çalışma kapsamı içerisinde uygulanan ön deneyler sırasında test edilmiştir. Bu deneyler sonucunda duvarı oluşturan tuğlalar arasındaki çimento harcının dayanımı, çimento esaslı kompozitlerin bu harca olan katkıları ve çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilen duvarların kayma dayanımı ve kayma rijitliği araştırılmıştır.

Ülkemizde depreme karşı güçlendirilmesi düşünülen pek çok betonarme veya yığma binalar için yeni bir alternatif güçlendirme tekniğinin bu proje kapsamında geliştirilmesi ile rekabet ortamının gelişmesi ve böylece en ekonomik güçlendirme teknikleri elde edilerek ülke ekonomisine katkılar sağlanması da çalışmanın hedeflerinden biridir.

1.2 Tezin Konusu ve Kapsamı

Ülkemizin birçok bölgesi, deprem kuşağında yer almaktadır. Bu bölgelerdeki betonarme binaların, ekonomik ömürleri içerisinde en az bir defa şiddetli depreme maruz kalma olasılıkları oldukça yüksektir. Bina stoklarımızın büyük çoğunluğunun 1975 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinin bile gereklerini sağlamadan kontrolsüzce inşa edildiği ve şiddetli depremlere karşı güçlendirilmesi gerektiği bilinmektedir.

Önemli depremlerden sonra yapılan incelemeler ve çok sayıda araştırmacı tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, betonarme çerçeveler içinde bulunan taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının yatay rijitlik ve dayanımları ile bina dinamik özellikleri ve yatay yük taşıma kapasiteleri üzerinde çok önemli etkilere sahip olduklarını göstermiştir. Ülkemizdeki yapılarda betonarme çerçeve ile çerçevenin arasına örülen duvar arasında bir boşluk bulunmadığı için deprem sırasında betonarme çerçeve

duvar ile etkileşime girmekte ve sistemin davranışı değişmektedir. Mevcut betonarme yapıların kalitesizliği göz önüne alındığında bu etkileşim yapıya ilave bir dayanım kazandırmakta ve faydalı olmaktadır.

Ülkemizde bu tür binaların şiddetli depremlere karşı güçlendirilmesinde uygulanan en yaygın yöntem ise deprem etkilerinin büyük bir bölümünü güvenle karşılayabilecek ve mevcut taşıyıcı sistemle birlikte çalışabilecek betonarme perdelerin ilave edilmesidir. Bu yöntemin en önemli dezavantajları; yapı ağırlığını arttırarak deprem kuvvetlerini büyütmesi, güçlendirme işlemleri süresince binanın kullanımının hemen hemen imkânsız olması ve güçlendirme süresinin oldukça uzun olmasıdır.

Mevcut az katlı betonarme yapıların depreme karşı güçlendirilmesi amacıyla kullanılan yöntemlerden birisi de bölme duvarlı çerçevelerin FRP ile güçlendirilmesidir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan uygulama, gevrek bölme duvarların yüzeyine karbon lifli polimer (CFRP) şeritler yapıştırılarak veya başka güçlendirme yöntemleri ile sistem davranışını çıplak çerçeve durumundan perdeli sistem durumuna yaklaştırabilmektir. Bu yolla bina yatay rijitliği ve dayanımı önemli ölçüde arttırılmakta, rölatif kat yer değiştirmeleri küçülmekte ve ikinci mertebe etkilerinin önemi azalmaktadır.

Deprem sırasında bölme duvarların taşıyıcı sisteme getirdiği ilave katkılar duvarın hasar görerek taşıma kapasitesini yitirmesi ile sona ermektedir. Şiddetli deprem hareketlerinin sonuna kadar bölme duvarların bu önemli katkılarından faydalanabilmek için bölme duvarların mevcut betonarme taşıyıcı sistemle birlikte çalışabilmesini sağlayan ve yatay yük taşıma kapasitelerini artıran güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi, hem ülkemizde hem de gelişmiş ülkelerde oldukça yaygın bir araştırma konusudur. Bu araştırmalarda, genellikle çelik hasır donatılar (2007 Deprem Yönetmeliği'nde de önerilmekte) ve farklı özelliklerde FRP malzemeler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ise bölme duvarların bir veya iki yüzeyi CFRC kompozitlerle güçlendirilecektir. Böylece güçlendirilen duvarların çapraz basınç çubuğu etkisiyle betonarme çerçevelerin birleşim bölgelerinde ağır hasar oluşturmaması ve güçlendirilen çerçevenin daha sünek davranış sağlaması amaçlanmıştır. Bölme duvarların güçlendirilmesinde kullanılacak CFRC kompozit, içinde karbon liflerinden oluşan bir ağ bulunan ve bu ağ ile uygulandığı duvar yüzeyinin kimyasal,

fiziksel ve mekanik olarak uyum içinde birleşmesini sağlayan, inorganik matrisi oluşturan çimento esaslı harçtan oluşan bir sistemdir. Bu malzeme FRP sistemlerden farklı olarak nemli ortamlarda rahatlıkla uygulanabilmektedir. Ayrıca bağlayıcı malzemesi çimento esaslı bir harç olduğu için yangın etkisi açısından FRP sistemlere göre büyük avantaja sahiptir.

Beş katlı betonarme bir binanın zemin katındaki bölme duvarlı bir çerçeve, deneysel çalışmanın modelini teşkil etmiştir. Bu model ele alınarak, bölme duvarsız, bölme duvarlı, CFRC kompozitlerin tür ve katmanlarına, duvarın bir ve iki yüzüne, ankrajlı/ankrajsız güçlendirme uygulanması durumlarına göre bölme duvarların güçlendirildiği 1/3 ölçekli toplam 8 adet deney numunesi üretilmiştir. Deney numuneleri, deplasman kontrollü olarak itme ve çekme yönünde monoton artan tersinir tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar farklı bir kompozit malzeme ile güçlendirilen bölme duvarların, betonarme çerçevelerin davranışına olan katkısı, yatay yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi ve çerçevenin rijitlikleri açısından değerlendirilmiştir.

1.3 Literatür Özeti

Deprem etkilerin çok yoğun olduğu ülkeler başta olmak üzere pek çok ülkede ve ülkemizde betonarme yapıların güçlendirilmesi ve farklı güçlendirme teknikleri geliştirilmesi ilgi duyulan araştırma konularının başında gelmektedir. Bu konuda yapılan bazı araştırmalar ve sonuçları aşağıda özetle sunulmaktadır.

Arya ve diğ. (2002), betonarme yapıların dıştan yapıştırılmış lifli kompozit polimerler (FRP) ile güçlendirilmesini incelemiştir; hazırlanan teknik rapor içinde yer alan bu çalışmada sınır durumu teorisine göre kiriş ve döşemelerin eğilmeye karşı güçlendirilmesi, kirişlerin ve kolonların kesmeye karşı güçlendirilmesi, kolonların eğilmeye ve basınca karşı güçlendirilmesi için bir tasarım rehberi oluşturulmuştur. Raporda ayrıca güçlendirmede kullanılan malzeme tipleri ve özellikleri, alan uygulamaları, işçilik, montaj ve malzemenin uzun vadeli izlenebilirliği hakkındaki çalışmalar özetlenmiştir. Son olarak eğilmeye karşı güçlendirmenin tasarım işlemlerini örneklemek için FRP donatı ile güçlendirilmiş bir kiriş örneği sunulmuştur. Bu çalışmanın amacı İngiltere’de mevcut olan standart ve yönetmeliklere uyumlu bir şekilde betonarme yapıların lifli kompozit polimer malzemelerle güçlendirilmesi için bir tasarım rehberi hazırlamaktır.

Ritchie ve diğ. (1991), FRP kullanarak yapılan dıştan takviyenin ne derece işlevsel olduğunu görmek için 16 adet yetersiz donatılandırılmış kirişi test etmişlerdir. Cam, karbon ve aramid fiberlerinden imal edilmiş elyaf, kirişlerin çekme yüzeylerine epoksi kullanılarak yapıştırılmıştır. İyi bir çekme mukavemetine sahip olması, hafifliği ve korozyona dayanıklılığı gibi özellikleri dolayısıyla bu uygulama için FRP tercih edilmiştir. FRP malzemeyle takviye edilmiş kirişin eğilmeye olan maksimum mukavemetini ve rijitliğini hesaplamak üzere analitik bir metot geliştirmişlerdir. Sonuç olarak FRP malzemeyle güçlendirilmiş kirişlerin servis yükü düzeyinde, rijitliklerinde %17-%99, taşıma güçlerinde ise %47-%97 oranında artmalar elde edilmiştir. Analitik olarak hesaplanan ve deneysel olarak elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri birbirleri ile büyük bir uyum içindedir. Deneyler sırasında çoğu kirişte, maksimum moment bölgesinde kırılma meydana gelmemiştir. Kirişlere uygulanan ve maksimum moment alanında kırılma ile sonuçlanan limit yük değerleri, hesaplanan değerler ile en çok %5'lik bir fark göstermiştir.

Sharif ve diğ. (1994), önceden yük uygulanmış betonarme kirişlerin, FRP kullanılarak onarımını çalışmışlardır. Betonarme kirişler öncelikle, eğilmede limit yük kapasitesinin %85'ine kadar yüklenmiş ve bunu izleyen aşamada kirişin alt yüzeyine epoksiyle bağlanan FRP ile onarılmıştır. Elyaf kalınlığı, gerilme yığılması içeren kesme ve sıyrılma gerilmelerine bağlı olarak elyaf kesme alanında başlayan erken kırılmayı değerlendirmek üzere değiştirilerek kullanılmıştır. Bu tür kırılmaları önlemek ve sistemde sünek davranışı sağlamak üzere değişik onarım ve ankraj şekilleri uygulanmıştır. Bu çalışmada, takviye edilmiş kirişlerin davranışları yük-yer değiştirme eğrileriyle gösterilmiş ve kırılmanın farklı modları tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar genel olarak onarılmış kirişlerin eğilme mukavemetlerinin arttığını göstermektedir. Onarım görmüş kirişlerin sünek davranışları elyaf kalınlığı ile ters orantılı olarak gözlemlenmiştir. I şeklinde manto elyafın kullanımı uygun bir ankraj sistemi sağlamış ve kalın elyafli onarılmış kirişlerin sünekliğini geliştirmiştir.

Saadatmanesh ve diğ. (1996) yürüttükleri deneysel çalışmada, FRP bantlarla takviye edilmiş beton kolonların sismik dayanımlarının önemli ölçüde arttığı gösterilmiştir. Yeni sismik tasarım şartnamelerinin yürürlüğe girmesinden evvel tasarlanan ve olası plastik mafsallık bölgesinde bindirme ekli boyuna donatı olan betonarme köprü kolonları, $u=1.2\sim1.5$ arasındaki düşük süneklik seviyelerinde başarısız olmuştur. Enine donatı eksikliği ve ana donatı çubuklarının uzunluğunun yetersizliği sebebiyle

bindirmeli filizlerin sıyrılmasının bu davranışa neden olduğu düşünülmüştür. Daire kesitli kolonlarda, plastik mafsalsal bölgesi boyunca sürekli donatının kullanılması tekrarlı deplasman yükleme-boşaltma çevrimlerini nispeten arttırmıştır. Yapısal bozulma ise $u = \pm 4$ sünelik seviyelerine kadar ötelenmiştir. Kolon kırılması ise, mafsalsal bölgesindeki ana donatının burkulmasıyla gerçekleşmiştir. Olası plastik mafsalsal bölgesinde FRP bantlarla dıştan sarılan beton kolonların hem mukavemetlerinde hem de deplasman süneliklerinde önemli ölçüde ilerleme gözlenmiştir. Takviye edilmiş kolonlar, bindirmeli filizlerde soyulma veya ana donatının burkulmasına bağlı yapısal bozulmaya ilişkin hiçbir işaret göstermeksizin, $u = \pm 6$ deplasman süneliği seviyelerine kadar gayet düzenli yük-deplasman, yükleme-boşaltma çevrimleri geliştirmişlerdir.

Betonarme çerçeveler arasındaki dolgu duvarların davranışı 1950'lerden beri aktif araştırma konularından biri olmuştur. Araştırmalar daha çok beton, yığma ve betonlu yığma birimlere dolgu eklentilerinin çerçeveye katkısı üzerindeki etkisine odaklanmıştır. Benjamin ve William (1957), tarafından yapılan ilk araştırmalar tamamıyla doldurulmuş çerçevelerin yan yüklere verdikleri tepkiler üzerine yoğunlaşmıştır. Daha önce yapılmış araştırmalar, yakın zamanda geliştirilmiş kompozit malzemeleri kullanan dolgu sistemlerin geliştirilmesine bir temel hazırlamıştır.

Anil ve Altin (2007), döngüsel yanal yükleme atındaki kısmi dolgularla güçlendirilmiş sünelik betonarme (RC) çerçevelerin davranışlarını incelemiştir. Tek cephe, tek kat, 1/3 ölçekli dokuz deney numunesi dökülmüş ve tersinir döngüsel yükleme altında test edilmiştir. Dolgu duvarın uzunluk-yükseklik oranı ve yerleştirme düzeni deneysel çalışmanın parametreleridir. Deney sonuçları kısmi dolgu betonarme çerçevelerin dolgusuz çerçevelere nazaran daha yüksek bir güç ve daha yüksek ön-peklik gösterdiğine işaret etmektedir. Dolgunun uzunluk-yükseklik oranı arttırıldıkça, yanal güç ve rijitlik de önemli ölçüde artmaktadır. Bu değişkenlere ek olarak, çerçevelerle dolgular arasındaki bağlantıların da dolgulu çerçevelerin davranışını etkilediği gözlenmiştir. En başarılı davranışı ise hem kolona hem de çerçevenin kirişlerine bağlantı yapılmış kısmi dolgulu duvar numuneleri sergilemiştir.

Chen ve diğ. (2001), Taiwan'daki geçerli standartlara uygun olarak mevcut betonarme yapıların depreme karşı dayanım kapasitelerini yükseltmek için çalışmalar

yapmışlardır. Çalışmanın birinci kısmında düşük akma gerilmesine sahip çelikten yapılmış çelik perde panelleri hakkında araştırmalardan elde edilmiş veriler yer almaktadır. İkinci kısımda ise eğilmesi engellenmiş çapraz elemanlarla (BIB) güçlendirilmiş 4 adet prototip betonarme çerçeve ile yapılan deneysel çalışmalardan bahsedilmiştir. Üçüncü kısımda ise bitişik nizam yapılarda deprem etkisi altında meydana gelen çekiçleme etkisini azaltmak için yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

Ehsani ve diğ. (1999), yaptıkları çalışmada güçlendirilmemiş kargir binaların sismik kuvvetler altındaki performanslarını incelemişler ve dikey cam FRP kompozit şeritlerle güçlendirilmiş, yarı-ölçekli üç adet tuğla duvardan elde edilen deney sonuçlarını sunmuşlardır. Çalışma sonuçlarına göre deneye tabi tutulan duvarların nihai eğilme mukavemeti önemli ölçüde artmış, uygulanan basınç yüzey alanına gelen birim duvar ağırlığının 10 ila 32 katı olacak şekilde değişmiştir. Eş yönlü FRP malzemeye güçlendirilmiş duvarlarda, duvar yüksekliğinin %2,5'i kadar sehim gözlenmiştir; bu duvarlar kargir yapı elemanları için geçerli en son düzenlemede müsaade edilen maksimum sehimin neredeyse 14 katı kadar sehim yapmıştır. Tuğla duvarın rijitliğinin azalması ve cam lifli polimer(GFRP) şeritler tabaka ayrışmasının bir sonucu olarak elastik olmayan davranış sergilemiştir. Bu, tuğla ve kompozit şeritlerin kendi başlarına gevrek oldukları düşünüldüğünde dikkat çekici bir noktadır. Eş yönlü FRP malzemeye güçlendirilmiş duvarlarda, tuğla duvarın zayıf kesme transfer kapasitesi kırılma türünün belirlenmesinde etkin rol oynamıştır. Hafif FRP malzemenin kullanıldığı deney numunesinde, GFRP şeritlerinin çekmeye bağlı kopması söz konusudur. Bununla beraber, bu numune daha rijit davranış, daha düşük sehim yapmayla sonuçlanmıştır. GFRP kompozit şeritlerin, sismik kuvvetleri de aralarında bulunduğu yatay kuvvetlere maruz kalan takviye görmemiş kargir duvarların güçlendirilmesinde iyi bir alternatif olduğu kanıtlanmıştır.

Ehsani ve diğ. (1997), yaptıkları çalışmada, yakın zamanda meydana gelen depremler dolayısıyla oluşan çatlakların ve hasarın binalarda kapsamlı takviye gereksinimine işaret ettiği vurgulanmaktadır. Tuğla kargirin kesme mukavemetinin, dış yüzeylere epoksi yapıştırıcı ile FRP bağlanması ile artırılmasındaki etkinlik araştırılmıştır. Deneyin değişkenleri arasında kompozit dokumanın mukavemeti, fiber liflerin düzenleniş biçimi ve bağlama uzunluğu görülmektedir. Numunelerin mukavemetlerinin ve sünekliklerinin bu teknikle gözle görülür bir şekilde arttığı deney sonuçlarından görülmektedir. Fiber liflerin açısının, yükleme düzlemine göre

olan uyumu, takviye edilmiş sistemin rijitliğine büyük etkisi olmasına rağmen nihai mukavemetine belirgin bir etkisi görülmemiştir

Khalil ve Ghobarah (2005), deprem yükleri altındaki yapı duvarlarında çökmenin sebeplerini tanımlamak ve olası iyileştirme planlarını incelemek adına bir deneysel program yürütmüşlerdir. Duvarların plastik mafsallaşma bölgelerinin büyük ölçekli modelleri denenmiştir. Kesme kuvvetinin hem burkulma momentine hem de eksenel yüke olan oranını kontrol etmeye olanak tanıyan yeni bir deney düzeneği kurulmuştur. Gerçek duruma benzeyecek şekilde bir kontrol duvarı denenmiş ve kesme etkisi ile önceden hasar verilmiştir. Duvarın davranışını iyileştirecek şekilde çift-eksenel FRP levhaları kullanan iki farklı iyileştirme planı kesmeye bağlı çökmeleri engellemek amacıyla tasarlanmıştır. Sünekliği iyileştirmek amacı ile duvarların uç kolon elemanlarına levhalar, FRP saplamalar kullanılarak sabitlenmiştir. Yanal yük altındaki yapı duvarları için önerilen iki iyileştirme planında da karbon lifli polimer(CFRP) levhalar kullanmakta ve karbon ya da çelik saplamalarla test edilmektedir. Her iki plan da test edilmiş ve kesme gücü, süneklik ve enerji yayılımı kapasitesi açılarından etkili oldukları sonucuna varılmıştır.

Aref ve diğ. (2003), çalışmalarında sismik güçlendirme uygulamaları için geliştirilen polimer matris kompozit (PMC)-dolgu duvarların analizini, tasarımını ve deneylerini yapmışlardır. PMC-dolgu duvar sistemi fiberle güçlendirilmiş iki polimer laminat arasındaki vinil köpük dolgudan oluşmaktadır. Viskoelastik petek yapısı laminatlar arasındaki yüzeyde enerjiyi dağıtmak ve yapının sönümleme özelliklerini iyileştirmek üzere kullanılmıştır. Sismik güçlendirme stratejisinin etkinliğini anlamak, PMC-dolgu duvarların monotonik ve çevrimsel yükleme altındaki davranışlarını incelemek için, analitik ve deneysel bir yaklaşım öngörülmüştür. Bu yaklaşım göstermektedir ki bir PMC-dolgu panelin yarı-rijit bir şekilde bağlanmış çelik çerçeveye uygulanması yapının rijitliğinde, dayanımında ve enerji sönümleme kapasitesinde gözle görülür iyileşmelere neden olmaktadır.

Kolsch (1998), yaptığı çalışmada yapı malzemelerinin yüzeyine dıştan güçlendirme olarak karbon elyafından yapılmış ve çimento esaslı bir matrisin içine gömülmüş kompozit özellikli katmanların uygulanmasını incelemiştir. Çalışmanın deneysel aşamasında güçlendirilmiş betonarme kirişlere ve kâgir duvarlara eğilme yükleri uygulanmış ve bu yapı elemanlarının yük taşıma kapasitelerinin önemli derecede arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çimento matrisi kullanılmış bir güçlendirme

sisteminin polimer matris kullanılmış bir güçlendirme sistemi ile kıyas edilebilecek derecede iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Karbon fiber çimento matrisi (CFCM) sistemi, bir sismik olay sırasında kâğır duvarların kritik düzlem dışı yönde kısmi ya da tamamıyla yıkılmalarını önlemiştir.

Kesner ve Billington (2005), kritik binalara uygulanacak bir iyileştirme stratejisi olarak çerçeve yapılar için geliştirilen bir dolgu sistemi üzerinde çalışmışlardır. Alışlagelmiş betonarme ya da yığma malzemenin yerine çimentolu kompozit (ECC) malzemeden yapılmış ön-dökümlü panelleri araştırmışlardır. Bu araştırmada ECC malzemelerden yapılmış ön-dökümlü panellerden istifade etmek sureti ile çelik çerçeveli yapılarda kullanılmak üzere, bir dolgulu duvar sistemi geliştirilmiştir. Farklı ECC malzemeleri, güçlendirme düzenleri ve panel şekilleri ile üretilmiş ECC dolgu panellerinden elde edilen deney sonuçlarında ECC paneller beton panellere nispetle daha yüksek bir mukavemet sergilemişlerdir. ECC panellerin mukavemetindeki artış bu özelliği ECC'nin gerilmeyi taşıma kapasitesine ve ECC ile güçlendirme çeliği arasındaki bağ özelliklerinin daha iyi olmasına atfedilmektedir.

Faella ve diğ. (2004), tuf yığma duvarlara yeni bir kompozit malzeme olan düşük yoğunluklu, iki yönde çalışan, ince karbon–lifli polimer elyafın özel çimento esaslı bir harçla yapıştırılarak güçlendirilmesi ile ilgili testleri araştırmışlardır. Salerno Üniversitesi'nin Yapı Laboratuvarında ASTM E519/02 standardına göre diyagonal basınç yüklemesi altında bir seri yığma duvar test edilmiştir. Testler sonunda güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş yığma duvarlardaki mukavemet ve duktilite etkileri incelenmiştir.

Tommaso ve diğ. (2007), FRP ile yeni icat edilmiş kompozitlerden yapılmış lif takviyeli çimento matrisinin (FRCM), betonarme kirişlerin eğilme ve kesme kapasitelerine etkisini karşılaştırmıştır. İtalya'da Venedik Üniversitesi'nde (IUAV) yapılan deneysel programa ve nümerik simülasyonlara dayanarak bu yapısal tavır araştırılmış ve eleştirel olarak tartışılmıştır. Deneysel analizler, FRP ve farklı lif tiplerinden oluşan FRCM malzemeler ile çeşitli biçimlerde güçlendirilen kirişlerin üç ve dört noktadan eğilme testlerini içermektedir. FRCM ile güçlendirilmiş betonarme kirişler, özellikle göçme anında, FRP ile güçlendirilmiş kirişlere kıyasla farklı bir davranış göstermiştir. İlk sonuçlar FRCM ile güçlendirilen kirişlerin FRP ile güçlendirilen kirişlere kıyasla daha sünek bir davranışa sahip olduğunu göstermektedir. Eğilme ve kesme durumlarındaki maksimum kapasite artışı lif tipine

göre değişmektedir. Yeni geliştirilmiş kompozitlerden yapılmış lif takviyeli çimento matrisinin (FRCM), betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde kalıcı bir alternatif çözüm olabileceği düşünülmektedir. Bu malzemelerin yangına karşı dayanımda ve yıpratıcı çevresel koşullara karşı durabilitelerinde bir takım avantajlara sahip olması beklenmektedir.

Biondo ve Cusenza (2007), eski bir ton balığı işleme merkezinin restorasyonu ile ilgili projeyi çalışmışlardır. Projede güçlendirme malzemesi olarak FRCM sisteminin bir çeşidi olan Ruredil firmasının X MESH C10 ve X MESH M25 ürünleri kullanılmıştır. X MESH C10 0/90 derece açılarla ve 10 mm arayla yerleştirilmiş tel demetlerinden oluşan karbon fiber bir ağıdır. X MESH M25 ise bu ağına uygulanacağı yüzey tabanına yapışabilmesi için suyla karışan ve sıvaya benzeyen inorganik çimento matrisidir. Güçlendirme işlemi sırasında 62 no'lu odanın üzerinde bulunan güçlendirilmiş tonoz, statik yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Tonozdaki kavis, üzerine yerleştirilen 5 adet potansiyometrik değiştirici cihaz ile ölçülmüştür. Sonuç olarak tonozun sırtındaki X Mesh C 10 malzemesinin deprem kuvvetlerine karşı yapının kapasitesini büyük bir miktarda arttırdığı ve yapının göçme mekanizmasını engellediği görülmüştür.

Lignola ve diğ. (2009), tuf malzemeden oluşan yığma duvarları CFRC sistemi ile güçlendirmiştir. Deneysel olarak kullanılan duvar numunelerinin boyutları 25cmx103cmx103cm'dir. Eksenel yüklemeye denenen numunelerin CFRC ile güçlendirilmiş olanlarında güçlendirilmemiş numunelere göre %90 oranında göçme yükü artışı sağlanmıştır.

Burke ve diğ. (2013), betonarme kiriş içine pas payı seviyesinde yarık açılarak yapıştırılan (NSM) FRP sistemleri ile betonarme kirişin yüzeyine yapıştırılan FRP sistemlerin eğilme ve kesme performanslarını, yangın etkisi karşısında deneysel bir çalışma ile irdelenmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında NSM güçlendirme sistemlerinin standart bir yangın senaryosunda dış yüzeyden yapıştırılan FRP sistemlerine göre çok daha iyi bir performans sergileyecekleri düşüncesini test etmişlerdir. NSM FRP güçlendirme sisteminin yüksek sıcaklık performansının epoksi yerine çimentolu bir yapıştırıcı ile daha da iyileştirilebilme olasılığını araştırmışlar ve betonarme yapılarda hem dıştan uygulanmış hem de yüzeye yakın uygulanmış FRP sistemleri için T_g , yük, maruz kalınan sıcaklık ve yapısal etkinlik arasındaki ilişkiye ışık tutmaya çalışmışlardır. Ürettikleri numuneler, farklı yükleme rejimlerinde (2 mm/dk,

2 kN/dk), epoksi ve çimento esaslı iki farklı harç türü kullanılarak, farklı sıcaklıklarda (21⁰C, 100⁰C, ve 200⁰C) denenmiştir. Sonuçlar hem yüzeye yakın uygulanan hem de dıştan uygulanan FRP güçlendirme sistemlerinin yüksek sıcaklıklara duyarlı olduğunu ancak her ikisinin de performansının genel kanıdan çok daha iyi olduğunu göstermiştir. Yangının ısı etkilerine karşı yalıtımın iyi olması durumunda yüzeye yakın uygulanmış FRP güçlendirme sistemlerinin yangın dayanımının birkaç saat olabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışmada kullanılan özel FRP güçlendirme sistemlerinin servis yükü seviyelerinde ve epoksi yapıştırıcılarının T_g değerinin üzerinde sıcaklıklara kısa süreli maruz kalmalarında dahi yapısal etkinliklerini koruyabildikleri gözlemlenmiştir.

Chen ve diğ. (2004), karbon fiber çimento esaslı kompozitlerin, modern binalarda elektromanyetik etkiden korunma ve elektrostatik yüklenme açılarından oldukça önem arz eden iletken davranışlarını irdelenmiştir. Sistem özellikleri üzerinde karbon fiberin hacminin, boyutunun, çimento esaslı matrisin, kısmi nemin ve uygulama yaşının etkilerini incelemiştir. İletkenlik ve karbon fiberin hacimsel oranı arasındaki ilişki, istatistiksel perkolasyon teorisinin uygun olduğunu ve karbon fiber hacminin iletkenliğe olan etkisinin açıklanabilir olduğunu göstermiştir. Elektrik iletkenlik değerleri numunedeki karbon fiber oranının artışı ile birlikte artış göstermiştir. Karbon fiber içeriğindeki artış dar bir aralıkta elektrik iletkenliğinde keskin bir artışa neden olmaktadır; buna perkolasyon geçiş aralığı adı verilmektedir. Klasik perkolasyon teorisi temel alındığında, karbon fiber çimento esaslı kompozitlerin perkolasyon eşiğinin perkolasyon geçiş aralığının en yüksek fiber içeriğine karşılık gelen elektrik iletkenliği olduğu ve iletkenlik mekanizmasının elektron geçiş iletkenliğinden temas iletkenliğine dönüştüğü belirlenmiştir.

1.4 Özgün Değer

Yapılan çalışmanın özgün değeri, araştırmanın dayandığı hipotezlerle ve yapacağı katkılarla ortaya çıkmaktadır.

Araştırmanın dayandığı hipotezler şu şekilde sıralanabilir:

- Binaların depreme karşı güçlendirilmesi için yeni tekniklerin geliştirilmesi ile birlikte CFRC kompozitler ile güçlendirilen bölme duvarlı çerçevelerin lineer olmayan davranışları için bir hesap modeli geliştirilebilir.

- Lifli polimerle yapılan duvar güçlendirmelerinde, duvarların köşegenlerinde oluşan diyagonal iç kuvvetlerin, yüklemenin ileri adımlarında çerçevelerin kolon-temel birleşim bölgelerinde ağır yapısal hasarlara neden olabildiği literatürdeki çalışmalardan görülmektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında bölme duvarların güçlendirilmesi ve kolon-temel birleşim bölgelerinin de güçlendirme tasarımı birbirleriyle kesin olarak ilişkilidir. Güçlendirme uygulamalarının tek başına değil, bütünleşik ele alınarak çözümlenmesi toplam kaliteyi yükselterek tasarım sürecine destek olur.
- Bu çalışmada bölme duvarların CFRC kompozitler ile güçlendirilmesi hususu, tasarım evresinde mühendisin fark etmediği ya da önemsemediği bir durumu çözerek, tasarımın gelişmesine, yapının daha sünek davranışına, yapının yatay yük taşıma kapasitesinin artışına, dolayısıyla daha etkin güçlendirme yönteminin sağlanmasına neden olur.

Bu çalışmanın ülke ekonomisine ve bilimsel birikime yapacağı katkılar ve bundan yararlanma konusu dört ana başlık altında toplanabilir:

- Ülkemizin birçok bölgesinin deprem kuşağında yer aldığı ve bu bölgelerdeki yapı stokunun önemli bir miktarının 1998 yılında yürürlüğe giren deprem yönetmeliğinden önce mühendislik hizmeti görmeden inşa edildiği bilinmektedir. Özellikle İstanbul ve çevresinde olası şiddetli depremlere karşı güçlendirilmesi gereken pek çok betonarme bina mevcuttur. Bu proje kapsamında, şiddetli depremlere karşı güçlendirilmesi gereken betonarme binalar kullanımda iken oldukça hızlı ve ekonomik güçlendirilmesini sağlayabilecek hem yeni bir malzeme ve hem de yeni güçlendirme tekniğinin geliştirilmesi düşünülmüştür.
- Bu çalışma kapsamında kullanılan güçlendirme tekniği ve malzemesi, pratikte ısı yalıtımı için kullanılan cephe duvarı mantolama sistemlerine oldukça benzerdir. Bu nedenle böyle bir güçlendirme yönteminin pratikte kullanımının oldukça kolay ve yaygın olabileceği düşünülmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, zaman ve işçilik maliyeti diğer güçlendirme yöntemlerine göre önemli avantajlar sağlayacaktır.

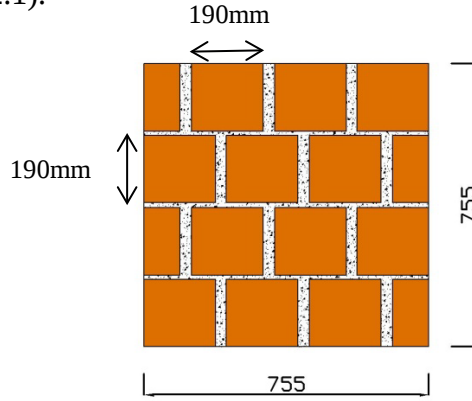
- CFRC sistemlerinin çimento esaslı bağlayıcılar kullanılarak üretilmesinden dolayı diğer kimyasal malzeme ağırlıklı pahalı güçlendirme malzemelerinden daha ekonomik ve sağlıklı bir yapı malzemesi olduğu düşünülmektedir.
- Ülkemizde betonarme yapıların güçlendirilmesinde alternatif malzeme ve güçlendirme tekniği geliştirilerek rekabet ortamının oluşturulabileceği tasarlanmıştır.

2. ÖN DENEYLER

Deneysel çalışmaların ilk aşamasını duvar deneylerini kapsayan ön deneyler oluşturmaktadır.

2.1 Duvar Numunelerinin Yapımı

Deneysel çalışmanın bu bölümünde toplam 15 adet eşkenar dörtgen duvar deney numunesi denenmiştir. Duvarlar birbirlerine eş olarak 755mmx755 mm boyutlarında üretilmiştir (Şekil 2.1).



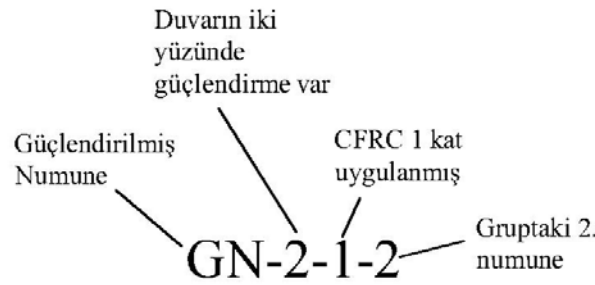
Şekil 2.1 : Duvar numunesi.

Duvar numunelerinin yapımında ülkemizde yaygın olarak kullanılan ince cidarlı 190mmx190mmx135mm boyutlarındaki tuğlalar ve çimento harcı kullanılmıştır. Duvar örme işlemine başlamadan önce tüm tuğlalar ıslatılmıştır. Duvar numuneleri 4 sıra tuğla ile örülmüş ve her sırada 3.5 adet tuğla kullanılmıştır. Çelik çerçeveler içine örülen numunelerin su terazisi yardımıyla imalatının düzgün olması sağlanmıştır. Bir üst sıraya geçerken tuğla üzerine dışarıya taşmayacak şekilde harç serilmiş ve düşey derzler bir birinin üstüne gelmeyecek şekilde bir üst sıranın tuğlaları şaşırtılarak yerleştirilmiştir. Tuğlalar harcın üzerine iyice bastırılarak oturtulmuştur. Yatay derz kalınlığı 5mm, düşey derz kalınlığı ise 10 mm dir. Duvar numunelerinin örme işleminde tuğlalar delikler yatay olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ancak sıradaki son tuğlalar mevcut uygulamalarda da yapıldığı gibi delikleri dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın konusu olan güçlendirme tekniğinin, mevcut yapılarda uygulanabilirliğinin kolay ve pratik olması açısından,

örme işlemi bittikten sonra duvar yüzeyi kalınlığı 10 mm olacak şekilde çimento harcı ile sıvanmıştır.

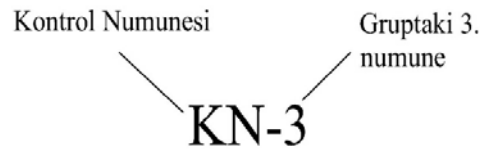
Bu işlemlerden sonra duvar yüzlerine çimento esaslı kompozitlerle (CFRC) güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Temel deney değişkenleri, CFRC güçlendirmenin duvarın bir veya iki yüzüne uygulanması ve tabaka(kat) sayısıdır. Deney numuneleri beş gruba ayrılmıştır. Her grupta 3 adet duvar numunesi bulunmaktadır. Deney gruplarına ait ayrıntılı bilgi bölüm 2.1.1’den itibaren ayrıntılı olarak anlatılacaktır.

Deney gruplarından dört tanesi CFRC ile güçlendirilen numunelerden, bir tanesi ise güçlendirilmemiş numunelerden oluşmaktadır. Güçlendirilmiş numuneler “GN” kodu ile gösterilmektedir. GN kodundan sonra gelen ilk rakam duvarın bir veya iki yüzünün güçlendirildiğini, ikinci rakam güçlendirmenin bir veya iki kat olduğunu, üçüncü rakam ise numune numarasını göstermektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Güçlendirilmiş numunelerin kod açılımı.

Güçlendirilmemiş numuneler kontrol numuneleridir ve “KN” kodu ile gösterilmektedir. Bu numunelerde duvarın bir veya iki yüzünde güçlendirme olmadığı için KN kodundan sonra tek rakam bulunmaktadır. Bu rakam gruptaki numune numarasını göstermektedir (Şekil 2.3).

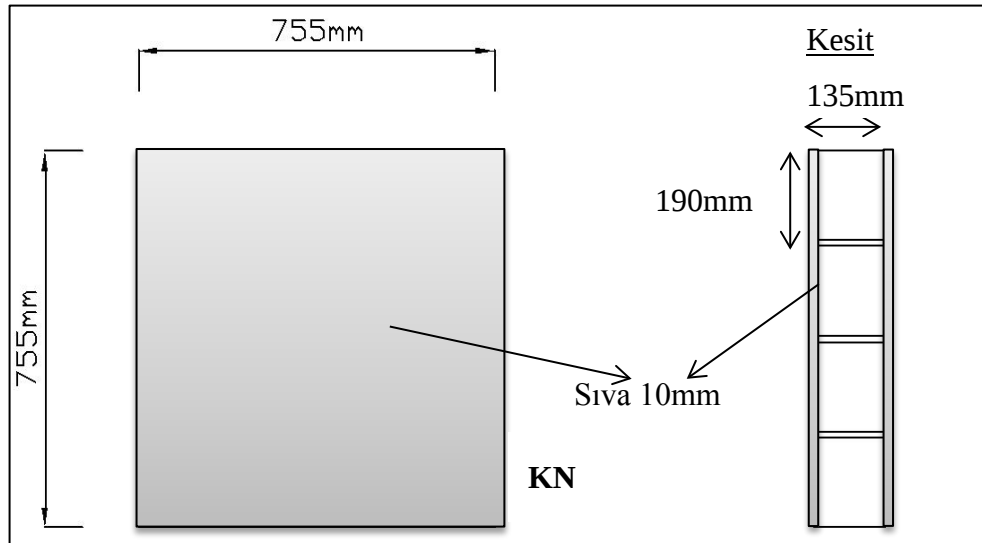


Şekil 2.3 : Kontrol numunelerinin kod açılımı.

Duvar numunelerinde, yükleme başlığının düzgün oturabilmesi için duvar köşelerine başlık yapılmıştır. Hazırlanan tüm numuneler laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir.

2.1.1 Güçlendirilmemiş Duvar Numuneleri

Bu çalışma kapsamında üretilen güçlendirilmemiş KN kodlu duvar numuneleri, her iki yüzü sıvalı halde bırakılmış, CFRC ile güçlendirilmemiş 3 adet deney numunesinden oluşmaktadır (Şekil 2.4). Bu gruptaki duvar numuneleri, kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametrelerinin güçlendirilmiş duvar numuneleri ile karşılaştırılması açısından kontrol numuneleridir.



Şekil 2.4 : Güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri.

2.1.2 Güçlendirilmiş Duvar Numuneleri

Bu gruptaki numunelerde duvarların bir veya iki yüzeyi CFRC kompozitlerle güçlendirilmiştir. Duvarların güçlendirilmesinde kullanılacak CFRC kompozit, içinde karbon liflerinden oluşan bir ağ bulunan ve bu ağ ile uygulandığı duvar yüzeyinin kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak uyum içinde birleşmesini sağlayan, inorganik matrisi oluşturan çimento esaslı harçtan oluşan bir sistemdir. Aşağıdaki tablolarda karbon liflerinden oluşan ağın ve çimento esaslı harcın üretici firma tarafından gönderilen mekanik özellikleri sırasıyla verilmiştir (Çizelge 2.1, Çizelge 2.2).

Çizelge 2.1 : CFRC ağın mekanik özellikleri.

Ağdaki karbon liflerin ağırlığı (g/m ²)	168
0 ⁰ ve 90 ⁰ yönündeki kesit kalınlığı (mm)	0.047
0 ⁰ ve 90 ⁰ yönündeki kopma kuvveti (Kg/cm)	≥160

Çizelge 2.2 : CFRC sistemindeki çimento esaslı harcın mekanik özellikleri.

Kıvam	Dağılma=70%
Taze harcın özgül ağırlığı	1.75±0.05 g/cc
100kg harç için gerekli olan su miktarı (litre)	25-27
Akma sınırı kg/m ² /mm (kuru imalat)	1.405-1.480
Basınç mukavemeti	38.0 MPa (28 günlük)
Eğilme mukavemeti	7.5 MPa (28 günlük)
Elastisite modülü	15000 MPa (28 günlük)

Güçlendirme işleminde ilk olarak karbon lifli ağ, yapıştırılacağı yüzeyin boyutlarına uygun olarak kesilmiştir. Daha sonra ağın uygulanacağı yüzey suyla ıslatılmıştır. Hazırlanan çimento harcı yaklaşık 3mm kalınlığında olmak üzere uygulanacağı yüzeye sürülmüştür (Şekil 2.5). Ağ bu harcın içine yatay ile 90⁰ açı yapacak şekilde iyice yerleştirilip üzeri tekrar yaklaşık 3mm kalınlığında çimento harcı ile kaplanmıştır (Şekil 2.6). İkinci katlar için aynı işlem sırasıyla uygulanmıştır. İkinci kat uygulanırken ağ harcın içine yatayla 45⁰ açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir.

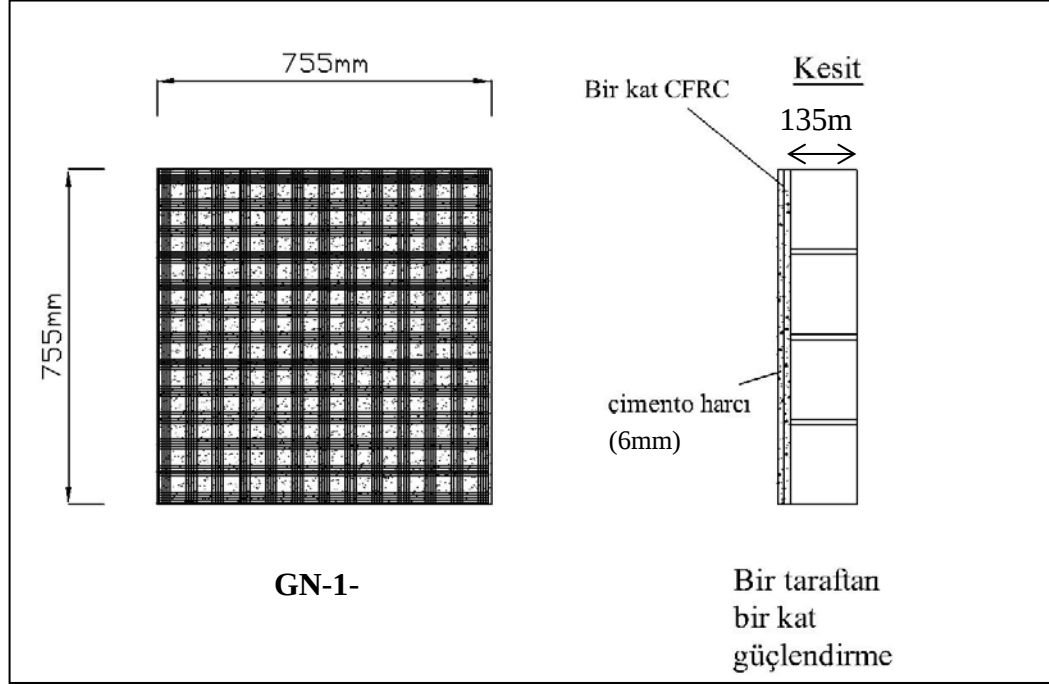


Şekil 2.5 : ıslatılmış yüzeye harcın sürülmesi ve karbon lifli ağın yerleşimi



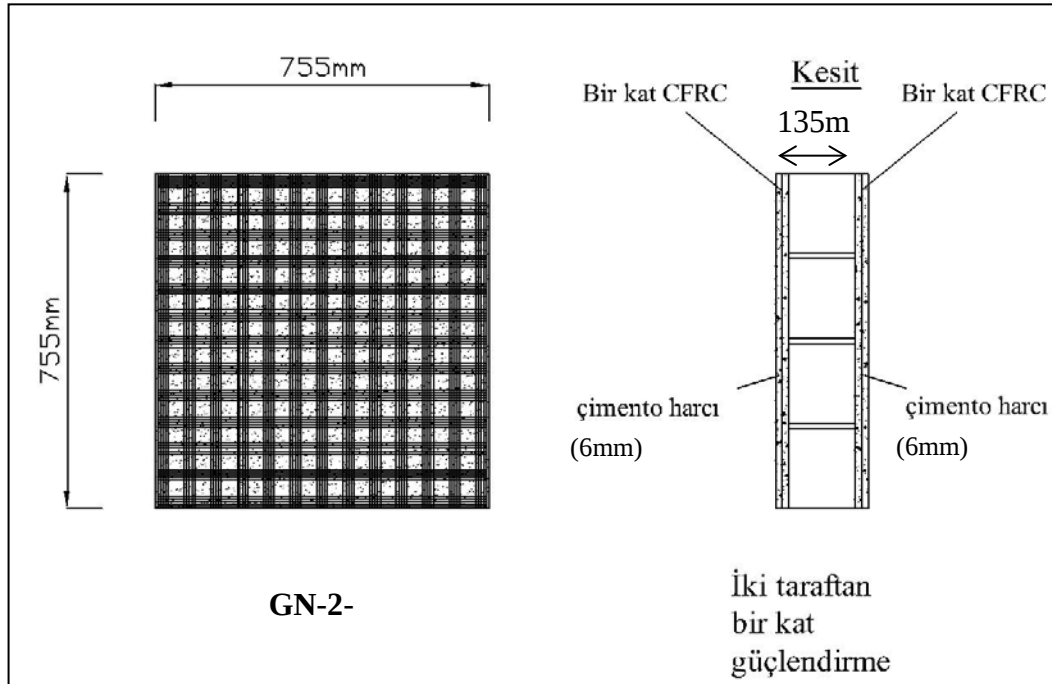
Şekil 2.6 : Ağın harcın içine iyice yerleştirilmesi ve üzerinin kapatılması.

GN-1-1 numuneleri, bir taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş 3 adet duvardan oluşmaktadır (Şekil 2.7).



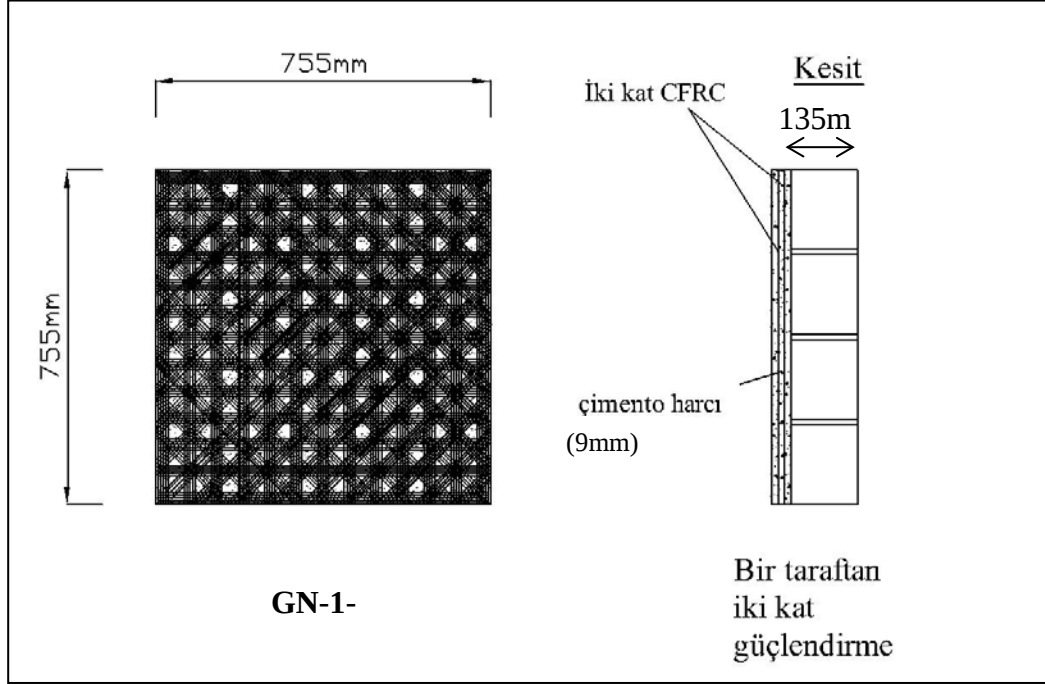
Şekil 2.7 : Bir taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.

GN-2-1 numuneleri, iki taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş 3 adet duvardan oluşmaktadır (Şekil 2.8).



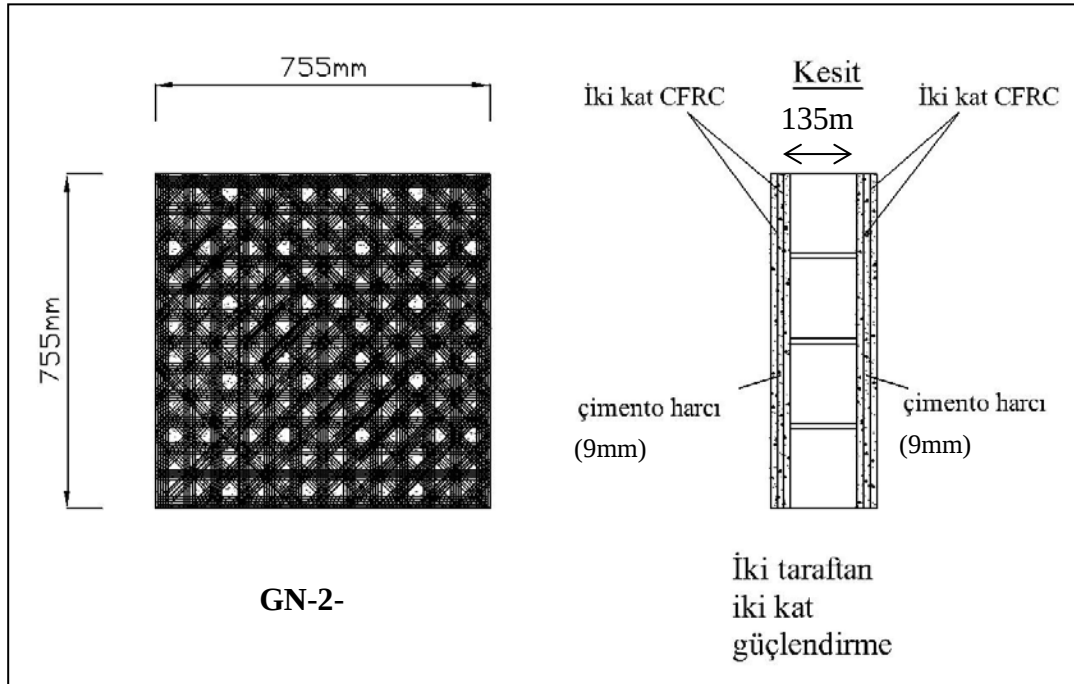
Şekil 2.8 : İki taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.

GN-1-2 numuneleri, bir taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş 3 adet duvardan oluşmaktadır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Bir taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.

GN-2-2 numuneleri, iki taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş 3 adet duvardan oluşmaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 : İki taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş duvar.

Aşağıdaki tabloda bütün deney gruplar özetlenmiştir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3 : Deney grupları.

Deney Grupları	Numune adı	CFRC Uygulama Şekli	CFRC Çeşidi (Ticari Adı)	Çimento Harcı (Ticari Adı)
I	GN-1-1-1 GN-1-1-2 GN-1-1-3	Bir taraftan bir kat	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
II	GN-2-1-1 GN-2-1-2 GN-2-1-3	İki taraftan bir kat	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
III	GN-1-2-1 GN-1-2-2 GN-1-2-3	Bir taraftan iki kat	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
IV	GN-2-2-1 GN-2-2-2 GN-2-2-3	İki taraftan iki kat	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
V	KN-1 KN-2 KN-3	CFRC ile güçlendirme yok	-	-

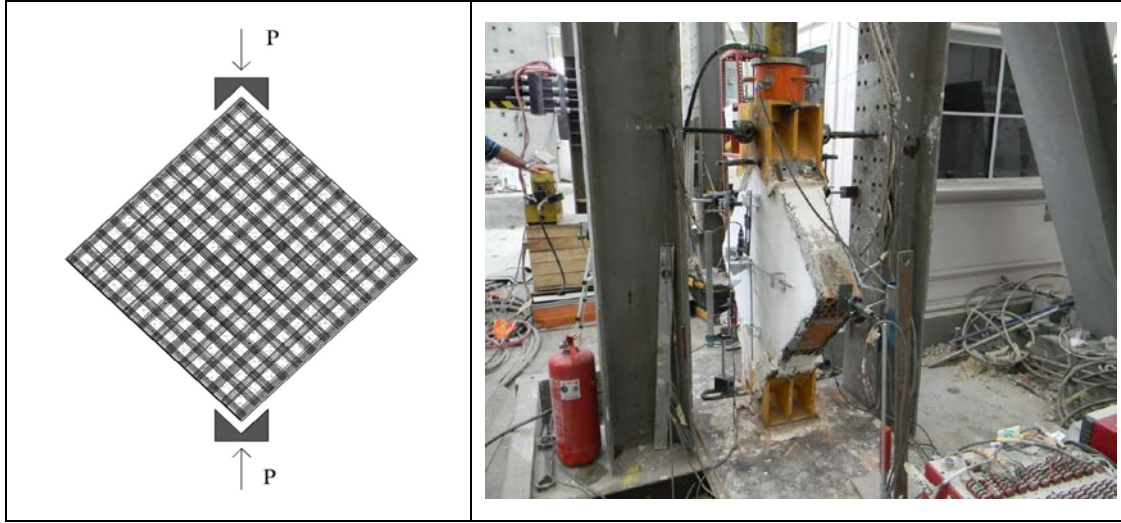
2.2 Deney Düzenegi

Bu bölümde eşkenar dörtgen duvar deneyleri süresince kullanılan yükleme düzenegi ve ölçüm düzenegi hakkında bilgi verilmiştir.

2.2.1 Yükleme düzenegi

Deneyisel çalışmanın bu bölümü Diyagonal Kayma Deneylerinden oluşmaktadır. Deneylerde ASTM E 519/E519M-10 (2010)'da tarif edilen yığma yapılar için önerilen kayma gerilmesi deney tekniği kullanılmıştır. Diyagonal kayma deneylerinde, 755 mm x 755 mm boyutlarındaki bölme duvar numuneleri 45° döndürülerek düşey basınç kuvveti etkisinde monotonik olarak yüklenmiştir. Numuneler göçmeye kadar zorlanmış ve doğrusal olmayan bölgede kayma dayanımlarının ve duvar kayma rijitliklerinin değişimi saptanmıştır. Deneyler sırasında yükleme 500 kN kapasiteli bir hidrolik kriko ile yapılmış ve yük değerleri 500 kN kapasiteli bir yük ölçer kullanılarak ölçülmüştür. Yükleme adımları, yükleme hızı sabit tutulmaya çalışılarak, 10 kN'luk artımlar ile uygulanmıştır. Numunenin

göçme yükünün yaklaşık %30'una kadar iki kez yükleme-boşaltma yapılmış, üçüncü çevrimde numune göçme yüküne kadar yüklenmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 : Yükleme düzeneği.

2.2.2 Ölçüm düzeneği

Bölme duvar numunelerinin düşey ve yatay yer değiştirmeleri, numunenin her iki yüzüne yerleştirilen toplam dört adet 10 mm kapasiteli yer değiştirme ölçer (LVDT) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : LVDT yer değiştirme ölçerler.

Ayrıca deney sırasında ölçümlerde çıkabilecek sorunlara karşı numune köşelerinde dört adet 25mm kapasiteli LVDT kullanılmıştır. Numunelerin düzlem dışı hareketini kontrol edebilmek amacı ile iki adet 10 mm kapasiteli LVDT ile düzlem dışı yer değiştirmeler de ölçülmüştür (Şekil 2.13).

Her bir düşey yük artımında, yük ölçer ve yer değiştirme ölçerler ile ölçülen değerler veri toplayıcı (data logger) ile bilgisayara aktarılmış ve özel bir bilgisayar programı

2.3.1 Harç Deneyleri

Deney numunelerinin üretimi sırasında kullanılan beton harcın basınç dayanımının belirlenebilmesi için çok sayıda standart silindir (100×200 mm) numunesi alınmıştır. Bütün dolgu duvar numunelerinde, tuğla aralarında ve tuğla üstü sıva olarak kullanılan beton harcı aynıdır.

Toplam 30 adet silindir beton harç numunesi alınarak basınç deneyi altında denenmiştir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 : Beton harcı standart basınç deneyleri.

Beton harcın basınç dayanımı deney sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4 : Beton harcın basınç deneyi sonuçları.

DOLGU DUVAR BETON HARCI					
Deney Grupları	Numune Kodu	Çap _{ort} (mm)	H Yükseklik (mm)	P _{ort} (kN)	σ _{ort} (MPa)
I	GN-1-1	101.07	200.00	59.40	7.40
II	GN-2-1	101.00		79.00	9.86
III	GN-1-2	100.63		105.57	13.27
IV	GN-2-2	100.77		91.07	11.42
V	KN	100.43		70.37	8.88
Ortalama σ (MPa)					10.17

Deney numunelerinin güçlendirilmesi sırasında kullanılan CFRC harcın da basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 2.5’de yer almaktadır.

Çizelge 2.5 : CFRC harcın basınç deneyi sonucu.

CFRC HARCİ					
Deney Grupları	Numune Kodu	Çap _{ort} (mm)	H Yükseklik (mm)	P _{ort} (kN)	σ _{ort} (MPa)
I, II, III, IV	R	100.00	200.00	199.50	25.40

2.3.2 Tuğla Deneyleri

Duvar numunelerinin yapımında ülkemizde yaygın olarak kullanılan ince cidarlı 190mmx190mmx135mm boyutlarındaki tuğlalar kullanılmıştır. Deney numunelerinin üretimi sırasında kullanılan tuğlaların delik doğrultusundaki basınç dayanımının belirlenebilmesi için 7 adet tekli tuğla denenmiştir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : Duvar numunelerindeki tuğlaların basınç deneyleri.

Tuğla numuneleri delik yerlerinde alçı kullanılarak başlık yapılmış ve basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Tuğla basınç deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6 : Tuğlaların delik doğrultusunda yapılan basınç deneyi sonuçları.

TUĞLA NUMUNELERİ		
Numune Kodu	P _{max} (kN)	σ _{max} (MPa)
1	230.40	8.59
2	175.60	6.55
3	203.00	7.57
4	175.00	6.52
5	207.90	7.75
6	198.00	7.38
7	180.80	6.74
Ortalama σ (MPa)		7.30

2.4 Kayma Deneyleri

Kayma deneyi numunelerine ait kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirme ilişkisi, kayma modülü ve göçme modu bu bölümde sunulmuştur. Bu özellikler verilirken kullanılan formül ve semboller aşağıda açıklanmıştır.

Kayma gerilmesi (τ), uygulanan yükünün (P) 0.707 katının, numune en kesit alanına (A_n) oranı olarak verilmiştir (2.1).

$$\tau = \frac{0.707P}{A_n} \quad (2.1)$$

Kayma en kesit alanı A_n ise denklem (2.2)'de verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$A_n = w t \quad (2.2)$$

Burada w , (mm) cinsinden numune kalınlığı, t ise yine (mm) cinsinden numune kalınlığıdır.

Kayma şekil değiştirmesi (γ) ise numunede oluşan düşey birim kısalma ile yatay birim uzamanın toplamına bağlı olarak hesaplanmıştır. Kayma şekil değiştirmesi denklem (2.3)'de görüldüğü gibi yer değiştirme ölçerin deney sonunda düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişim (ΔV) ile yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişimin (ΔH) toplamının, yer değiştirme ölçerin başlangıç düşey ve yatay ölçüm boyuna (g_v , g_h) oranı olarak verilmiştir.

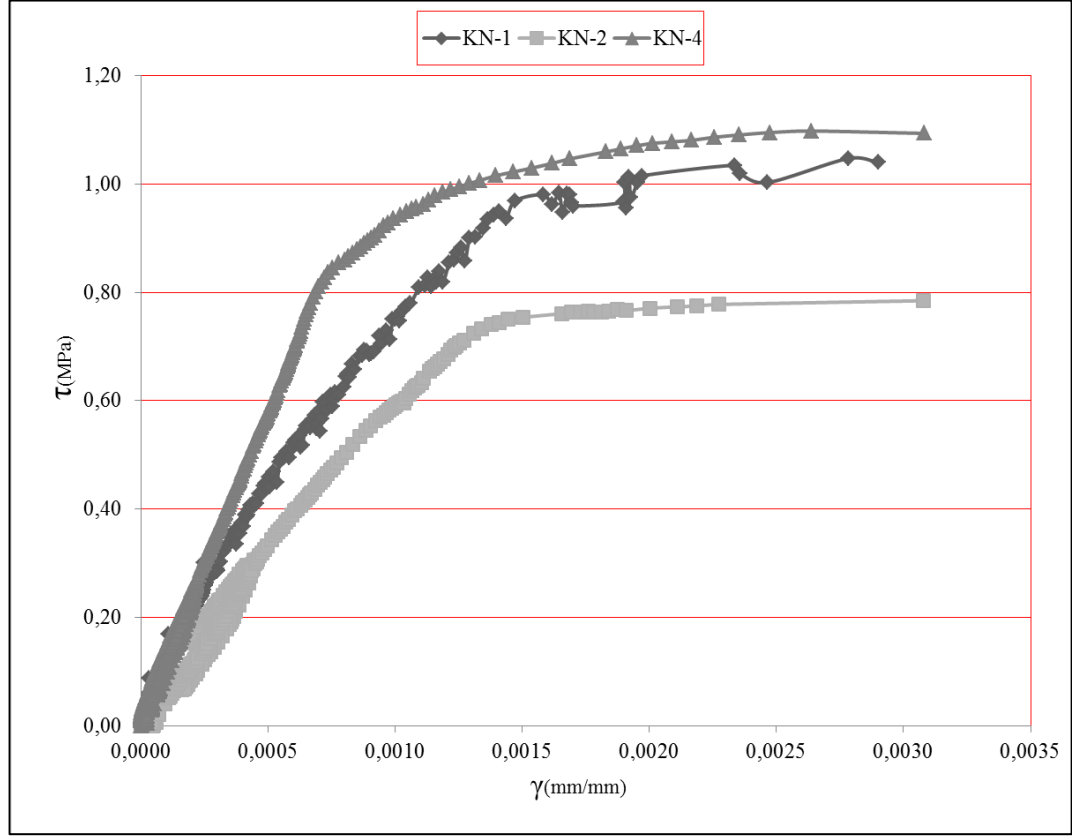
$$\gamma = \frac{\Delta V}{g_v} + \frac{\Delta H}{g_h} \quad (2.3)$$

Kayma modülü (G) kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisinde duvar numunelerinin maksimum kayma dayanımlarının %5 ile %30'u arasındaki eğim olarak tanımlanmıştır. Bu eğriler yer değiştirme ölçerler ile toplanan veriler kullanılarak çizilmiştir.

2.4.1 Güçlendirilmemiş duvar kayma deneyleri

Güçlendirilmemiş duvar numunelerinin, diyagonal çekme etkileri altında denenmesi durumundaki davranış bu bölümde özetlenmiştir. V. Grup, KN kodlu kontrol numuneleri 3 adet üretilmiştir. Bu numunelerin üzerine yerleştirilen yer değiştirme

ölçerler tarafından deney esnasında kaydedilen değerler kullanılarak, elde edilen kayma gerilmesi-şekil değiştirme ilişkileri aşağıda verilmiştir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 : KN numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirme ilişkileri.

Grafikler yardımı ile elde edilen deneysel parametreler Çizelge 2.7’de, bunların istatistiksel değerleri ise Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 : KN numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
KN-1	1.05	0.28	916
KN-2	0.78	0.31	702
KN-3	1.10	0.26	1185

Çizelge 2.8 : KN numuneleri istatistiksel değerleri.

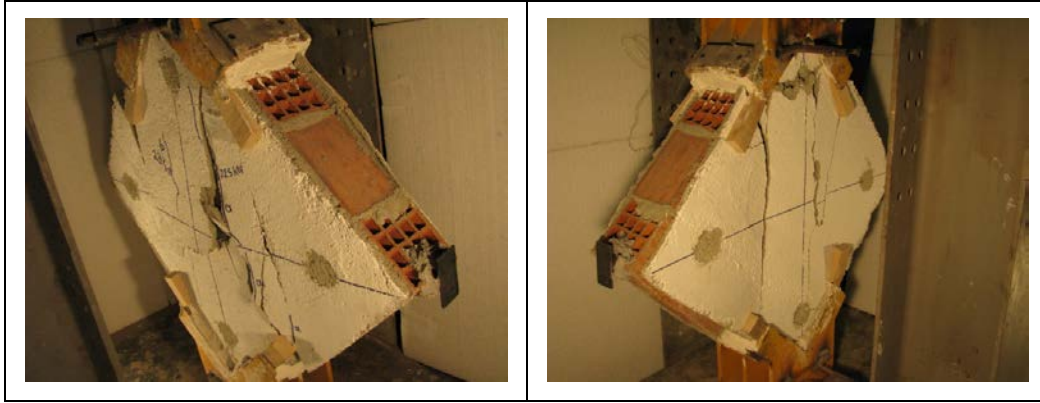
İstatistiksel değerler	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
$\tau_{\max}$ (MPa)	0.98	0.17	0.18
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.28	0.03	0.09
G(MPa)	934	242	0.26

KN-1 numunesinde 225kN’da numunenin arka yüzünde “a” çatlak oluşmuştur. Çatlakın genişliği 0.1mm’dir. 230kN’da numuneden yüksek seviyede çatlama sesleri

duyulmuştur. 237kN’da yine arka yüzde “b” çatlakları oluşmuştur (Şekil 2.18). Çatlak genişliği 0.1mm’den küçüktür. 245kN’da göçme meydana gelmiştir. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.18 : KN-1 numunesinin arka yüzünde oluşan a ve b çatlakları.



Şekil 2.19 : KN-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

KN-2 numunesinde 67kN’da ilk çatlak sesi gelmiştir. Sırasıyla 87kN, 133kN ve 175kN, 178.1kN’da çatlak sesleri duyulmuştur. 180.5kN’da numunenin ön tarafında ilk çatlak görülmüştür. 183kN’da ani göçme meydana gelmiştir. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20 : KN-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

KN-3 numunesinde, 2. çevrimde 50kN'da ilk çatlama sesi duyulmuştur. 3. çevrim 128kN'da ikinci çatlama sesi de gelmiştir. Sırasıyla 140kN, 196kN, 205kN, 214kN ve 219kN'da çatlak sesleri devam etmiştir. 230kN'da üst başlıktan, başlık ile numunenin tam olarak oturmasını sağlamak için yerleştirilen alçı dökülmüştür. 236kN'da sıva dökülmesi başlamıştır. 256kN'da numune patlayarak, düşeyde oluşan büyük yarıлма sonucu göçmüştür (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 : KN-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin hasar durumu.

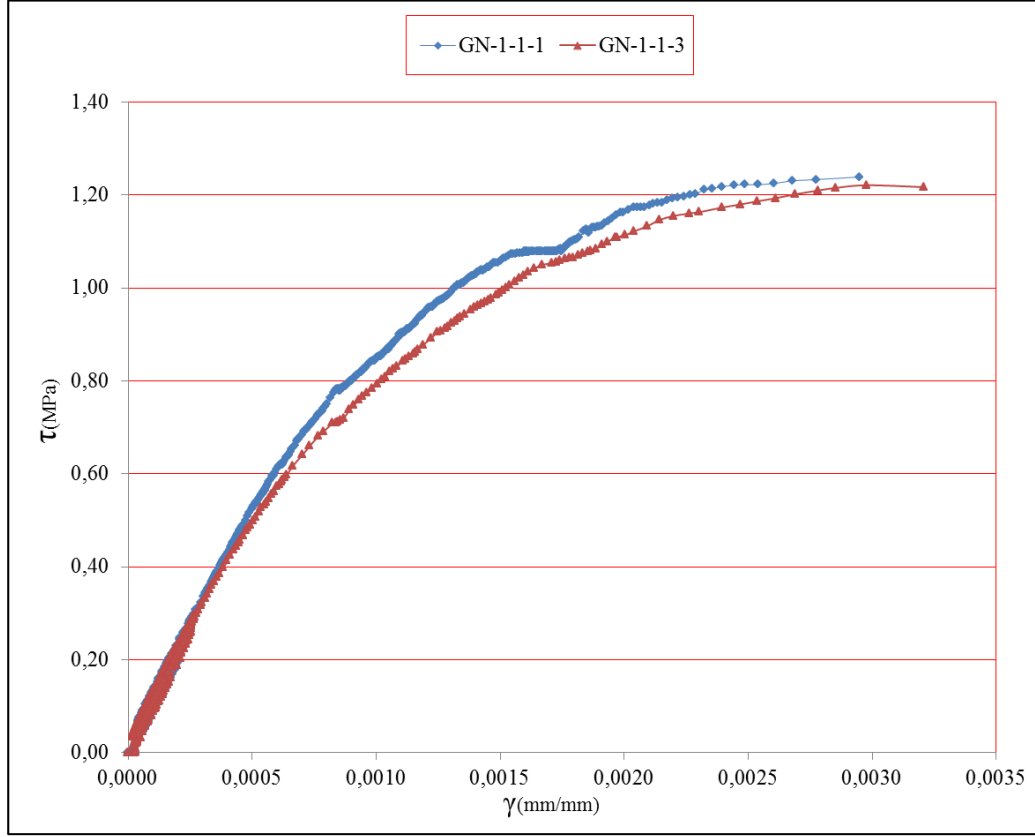
2.4.2 Güçlendirilmiş duvar kayma deneyleri

Güçlendirilmiş duvar numunelerinin diyagonal çekme etkileri altında denenmesi durumundaki davranış bu bölümde özetlenmiştir. I., II., III. ve IV. Gruplarda yer alan GN kodlu numuneler 3'er adet olarak üretilmiştir. Bu numunelerin üzerine yerleştirilen yer değiştirme ölçerler tarafından veri toplayıcıya aktarılan veriler deney esnasında bilgisayara kaydedilmiştir. Bu değerler kullanılarak elde edilen kayma gerilmesi-şekil değiştirme ilişkileri bu bölümde verilmiştir.

2.4.2.1 GN-1-1 numuneleri kayma deneyleri

Bir taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş GN-1-1-1 ve GN-1-1-3 numunelerine ait kayma gerilmesi-şekil değiştirme ilişkileri Şekil 2.22'de verilmiştir. GN-1-1-2

numunesi, ölçüm sırasında sağlıklı veriler alınamadığı için diyagram dışında bırakılmıştır.



Şekil 2.22 : GN-1-1 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri.

Grafikler yardımı ile elde edilen deneysel parametreler Çizelge 2.9’da, bunların istatistiksel değerleri ise Çizelge 2.10’da verilmiştir.

Çizelge 2.9 : GN-1-1 numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
GN-1-1-1	1.24	0.30	1121
GN-1-1-3	1.22	0.30	1056

Çizelge 2.10 : GN-1-1 numuneleri istatistiksel değerleri.

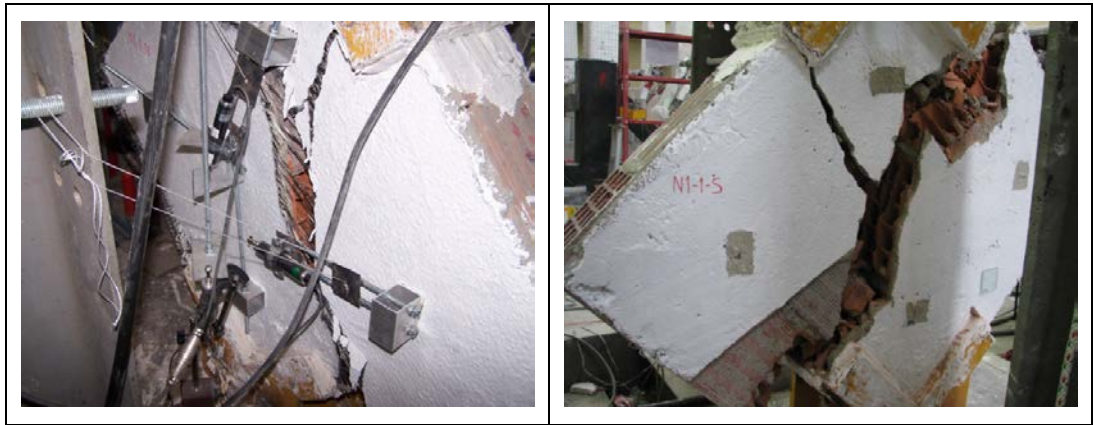
İstatistiksel değerler	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.23	0.01	0.01
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.30	-	-
G(MPa)	1089	46	0.04

GN-1-1-1 numunesinde ilk çevrim sonuna kadar herhangi bir hasar(çatlak) gözlemlenmemiştir ve ilk çevrimde çatlama sesi duyulmamıştır. İkinci çevrimde de herhangi bir ses duyulmamış ve hasar oluşmamıştır. Üçüncü çevrimde 133.6 kN’da tuğladan çatlama sesi gelmiştir. Sırasıyla 192.3 kN, 203.6kN, 219kN, 234.6kN ve 250.3kN’da numuneden çatlama sesleri gelmiştir. 260kN’da “a” ve “b” çatlağı güçlendirilmemiş arka yüzeyde görülmüştür (Şekil 2.23). Çatlak genişlikleri 0.1 mm civarındadır.



Şekil 2.23 : GN-1-1-1 numunesinin arka yüzünde oluşan a ve b çatlağı.

Deney sırasında gelen çatlama sesleri 295 kN’da tekrar duyulmuştur. 301.33kN’da çatlağın ani olarak büyümesiyle numune göçmüştür. Göçme sırasında ön yüzde bulunan karbon lifli ağ uzayarak kopmuştur. CFRC sistem ile sıva arasında herhangi bir aderans problemi oluşmamıştır. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.24’de verilmiştir.



Şekil 2.24 : GN-1-1-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

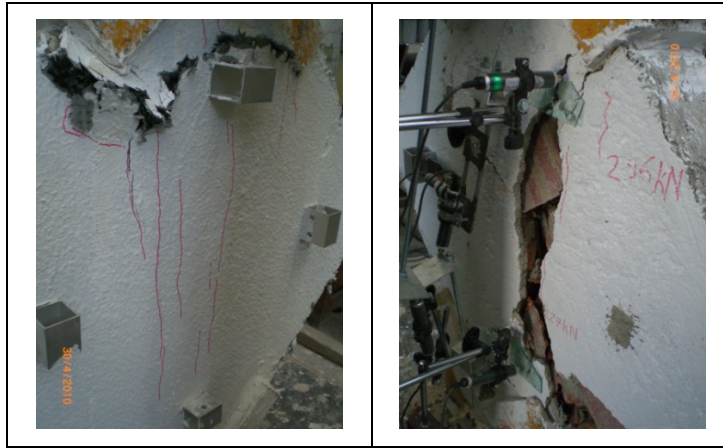
GN-1-1-3 numunesinde ikinci çevrimde 20kN’da üst kafadaki alçıdan çatlama sesi gelmiştir. Üçüncü çevrimde krikonun pistonunun boyu yetmediği için 37kN’dan sonra yükleme yapılamamıştır. Pistonun altına plaka konup dördüncü çevrime

başlanmıştır. Dördüncü çevrimde 160kN yük seviyesine gelindiğinde, numunenin batı köşesinde (duvarın güçlendirilmiş tarafında), duvarla sıvanın ayrışması gözlemlenmiştir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 : GN-1-1-3 numunesinde sıvanın ayrışması.

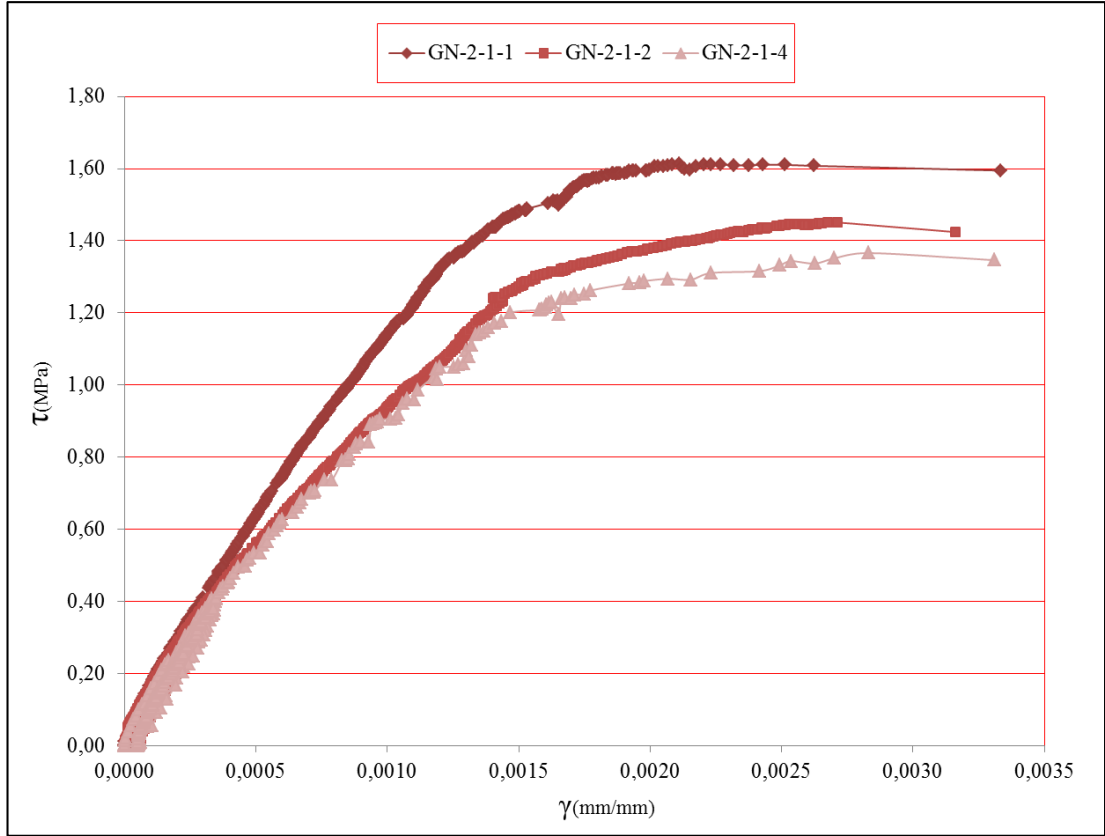
168kN, 197kN ve 211kN’da çatlama sesleri duyulmuştur. 227kN’da güçlendirilmemiş yüzde 0.2mm çatlak gözlenmiştir. 235kN, 245kN ve 254kN’da çatlama sesleri devam etmiştir. 256kN’da güçlendirilmemiş taraftaki çatlak 0.4mm’ye ulaşmıştır. Bu çatlak 268kN’da 0.5mm’ye ve 276kN’da 0.6mm’ye genişlemiştir. 297kN’da numune göçmüştür. Göçme durumuna yakın güçlendirilmiş ön yüzeyde CFRC sistemde kabarmalar ve uzamalar oluşmuştur. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.26’da verilmiştir.



Şekil 2.26 : GN-1-1-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

2.4.2.2 GN-2-1 numuneleri kayma deneyleri

İki taraftan bir kat CFRC ile güçlendirilmiş GN-2-1-1, GN-2-1-2 ve GN-2-1-3 deney numunelerine ait kayma gerilmesi-şekil değiştirme ilişkileri Şekil 2.27’de gösterilmiştir.



Şekil 2.27 : GN-2-1 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri.

Grafikler yardımı ile elde edilen deneysel parametreler Çizelge 2.11’de, bunların istatistiksel değeri ise Çizelge 2.12’de verilmiştir.

Çizelge 2.11 : GN-2-1 numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
GN-2-1-1	1.61	0.21	1332
GN-2-1-2	1.45	0.27	1288
GN-2-1-3	1.37	0.28	1226

Çizelge 2.12 : GN-2-1 numuneleri istatistiksel değeri.

İstatistiksel değeri	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.48	0.12	0.08
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.25	0.04	0.15
G(MPa)	1282	53	0.04

GN-2-1-1 numunesinde deneyden önce yapılan gözlemlerde ön hasara rastlanmıştır. Birinci çevrimde ön kısımlardaki çatlaklar (ön hasarlar) genişlemiştir (100kN’a

kadar). İkinci çevrimde çatlaklar 3mm olmuştur. Üçüncü çevrimde 262kN'da çatlaklar 3mm'yi geçmiştir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28 : 262 kN'da 3mm ye ulaşan çatlak.

Numuneden ilk çatlama sesi üçüncü çevrimde 180kN'da duyulmuştur. Sırasıyla 238kN, 240kN, 290kN, 343kN ve 355kN'da sesler devam etmiştir. Numunede ilk çatlak 374kN'da 0.1mm olmak üzere arka yüzde oluşmuştur. 380kN'da yükte ölçüm olarak bir azalma görülmüştür. 395kN'da numuneden ses gelmiştir. 407kN'da sesler artmış ve ikinci çatlak arka yüzde 0.1mm olarak oluşmuştur. Yine bu yükte göçme meydana gelmiştir. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.29'da verilmiştir.



Şekil 2.29 : GN-2-1-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

GN-2-1-2 numunesinde deneyden önce yapılan gözlemde krikonun deney çerçevesine göre kontrol odasına yakın tarafta yani asimetrik olduğu görülmüştür. Deney sırasında 300kN civarında 6 no'lu LVDT'ye temas olmuştur. Numuneden ilk çatlama sesi 146kN'da gelmiştir. İkinci ses 232kN'da duyulmuştur. 304kN'da kabarmalar görülmeye başlanmıştır. 325kN yük seviyesinde numuneden çatlama sesi

gelmiş, 330kN ve 345kN’da bu ses artmaya başlamıştır. Numunede ilk çatlak 349kN’da 0.1mm genişlikte olmak üzere arka yüzde, kuvvetin uygulandığı doğrultuda oluşmuştur (Şekil 2.30).



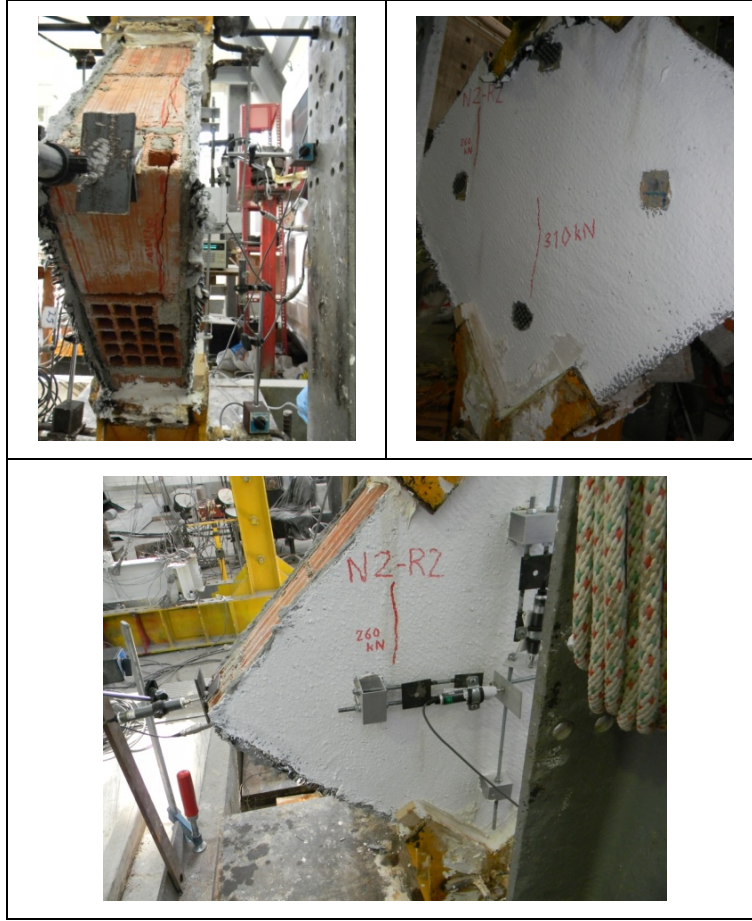
Şekil 2.30 : GN-2-1-2 numunesinde arka yüzde oluşan çatlak.

Bu çatlak 359kN yük seviyesine gelindiğinde, genişleyerek 0.2mm olmuştur. Deneyi sonlandıran göçme durumu 366kN’da meydana gelmiştir. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.31’de verilmiştir.



Şekil 2.31 : GN-2-1-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu

GN-2-1-3 numunesinde deneyden önce yapılan gözlemlerde ön hasara rastlanmıştır. Yapılan yüklemede sırasıyla 199kN, 240kN ve 255kN yük seviyelerinde çatlama sesleri gelmiştir. 260kN’da arka yüzde 0.1mm’den küçük genişlikte olmak üzere ilk çatlak oluşmuştur. 297kN’da çatlama sesi gelmiştir. Bu yük değerinden sonra, deney öncesi gözlemlenen ön hasar çatlaklarının genişlemeye başladığı görülmüştür. 310kN yük seviyesinde, arka yüzde 0.1mm genişliğinde çatlak oluşmuştur (Şekil 2.32). 340kN’da numune patlama yaparak göçmüştür. Göçme ön hasar bulunan bölgenin yarık şeklinde ayrılması sonucu oluşmuştur. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.33’de verilmiştir.



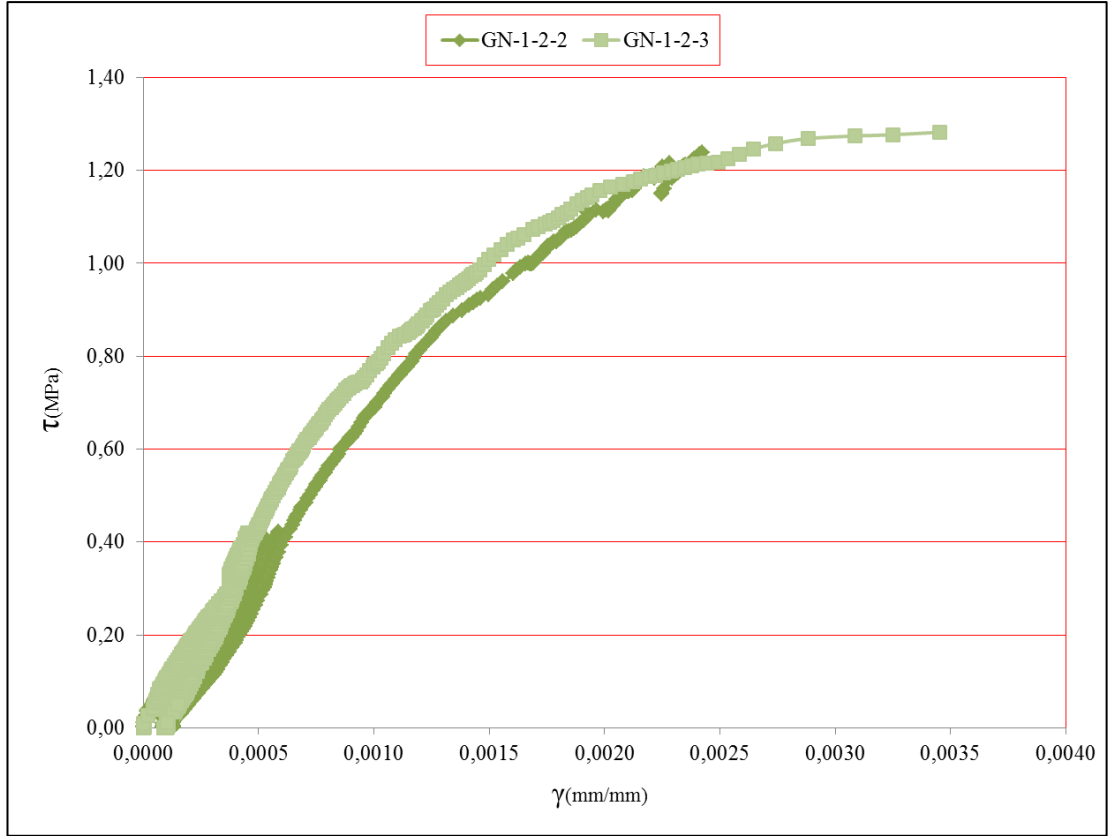
Şekil 2.32 : GN-2-1-3 numunesindeki ön hasar ve oluşan çatlaklar.



Şekil 2.33 : GN-2-1-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

2.4.2.3 GN-1-2 numuneleri kayma deneyleri

Bir taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş GN-1-2-2 ve GN-1-2-3 numunelerine ait kayma gerilmesi-şekil değiştirme ilişkileri Şekil 2.34’de verilmiştir. GN-1-2-1 numunesi, ölçüm sırasında sağlıklı veriler alınamadığı için diyagram dışında bırakılmıştır.



Şekil 2.34 : GN-1-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi ilişkileri.

Grafikler yardımı ile elde edilen deneysel parametreler Çizelge 2.13’de, bunların istatistiksel değeri ise Çizelge 2.14’de verilmiştir.

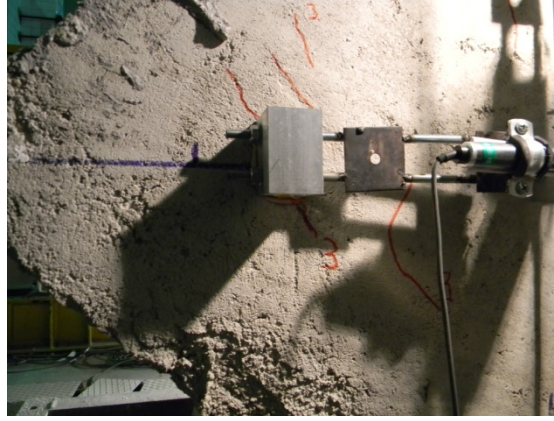
Çizelge 2.13 : GN-1-2 numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
GN-1-2-2	1.24	0.24	797
GN-1-2-3	1.28	0.35	1091

Çizelge 2.14 : GN-1-2 numuneleri istatistiksel değeri.

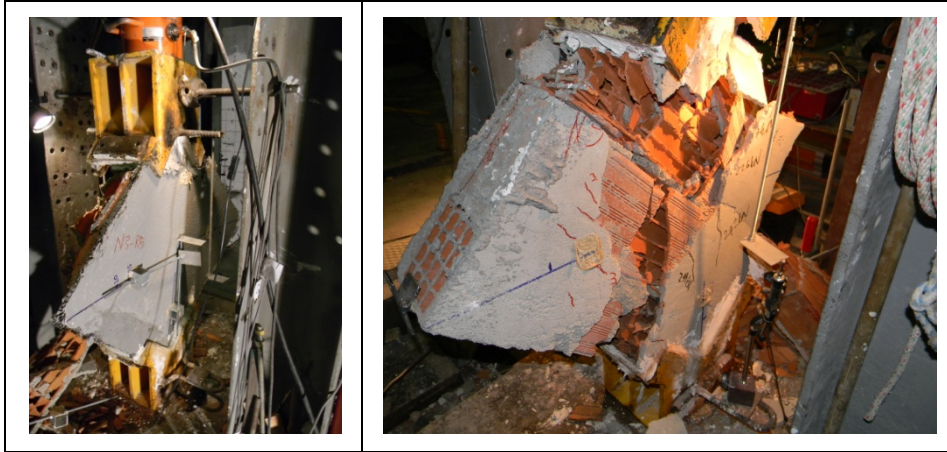
İstatistiksel değeri	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.26	0.03	0.02
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.30	0.08	0.26
G(MPa)	944	208	0.22

GN-1-2-2 numunesinde deney başlamadan önce yapılan gözlemlerde ön hasarın 1.1mm’ye ulaştığı yerler görülmüştür. Arka yüzde de 0.1mm ile 0.3mm arasında çatlaklar bulunmaktadır (Şekil 2.35).



Şekil 2.35 : GN-1-2-2 numunesindeki ön hasarlar.

Deney sırasında 3. çevrimde lineer yükleme bölgesinde 0.1mm çatlak oluşmuştur. Sırasıyla 203kN, 217kN, 222kN’da çatlama sesleri duyulmuştur. 226kN’da 0.1mm’den küçük çatlak oluşmuştur. 242kN ve 257kN’da da aynı şekilde 0.1mm’den küçük çatlaklar oluşmuştur. 264kN ve 270kN’da numuneden sesler gelmiş, 270kN’da 0.1mm çatlak oluşmuştur. 283kN’da çatlaklar büyümeye ve ilerlemeye başlamıştır. 292kN ve 296kN’da numuneden sesler gelmiş, 299kN’da 0.1mm çatlak oluşmuştur. 303kN’da 0.1mm’den küçük çatlak oluşmuştur. Numune 307kN’da göçmüştür. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.36’da verilmiştir.



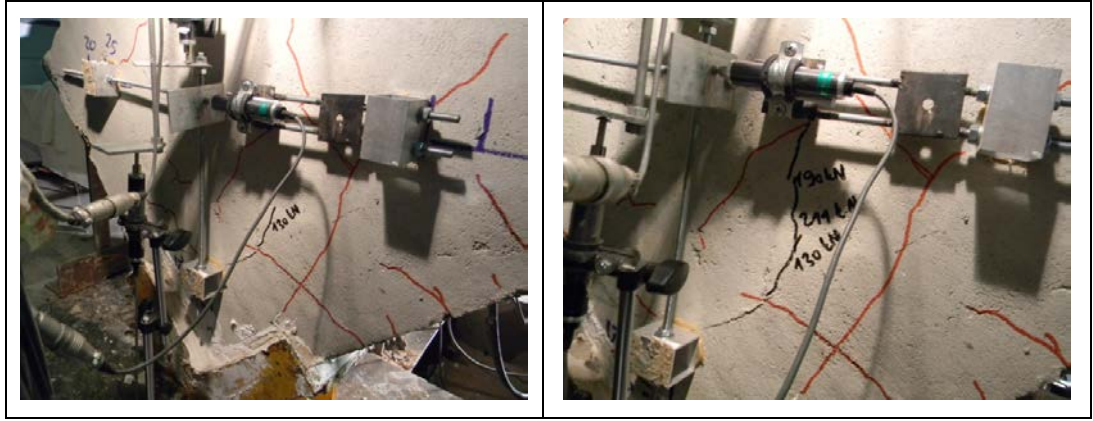
Şekil 2.36 : GN-1-2-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

GN-1-2-3 numunesinde deney başlamadan önce yapılan gözlemlerde bütün ön hasarların 0.1mm’den küçük olduğu görülmüştür. Sadece kesit bölgesinde 0.1mm’lik bir çatlak bulunmaktadır (Şekil 2.37). Ön hasarlar kırmızı çizgi ile gösterilmiştir. Deney sırasında 3. çevrimde 130kN’da 0.1mm’den küçük çatlak oluşmuştur. Sırasıyla 144kN, 158kN, 182kN ve 185kN’da sesler duyulmuştur. 194 kN’da ön

hasarlar büyümüş ve 197kN'da 0.1mm çatlak oluşmuştur. 207kN'da numuneden sesler gelmiş, 211kN'da 0.1mm çatlak oluşmuştur (Şekil 2.38).

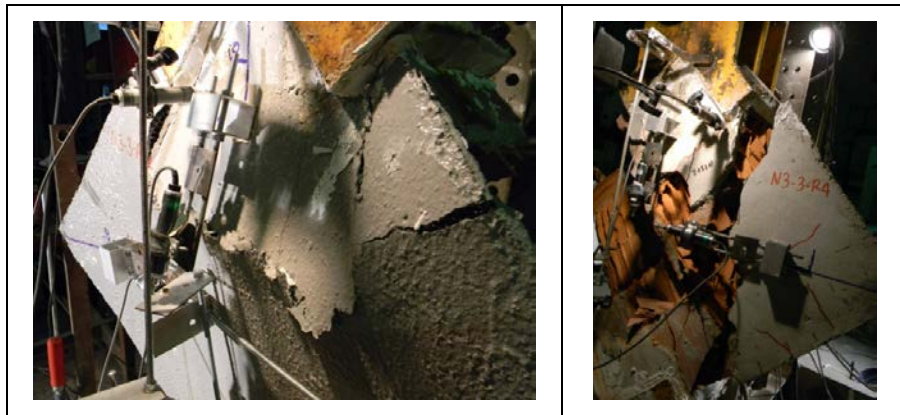


Şekil 2.37 : GN-1-2-3 numunesindeki ön hasarlar.



Şekil 2.38 : GN-1-2-3 numunesinde oluşan çatlaklar.

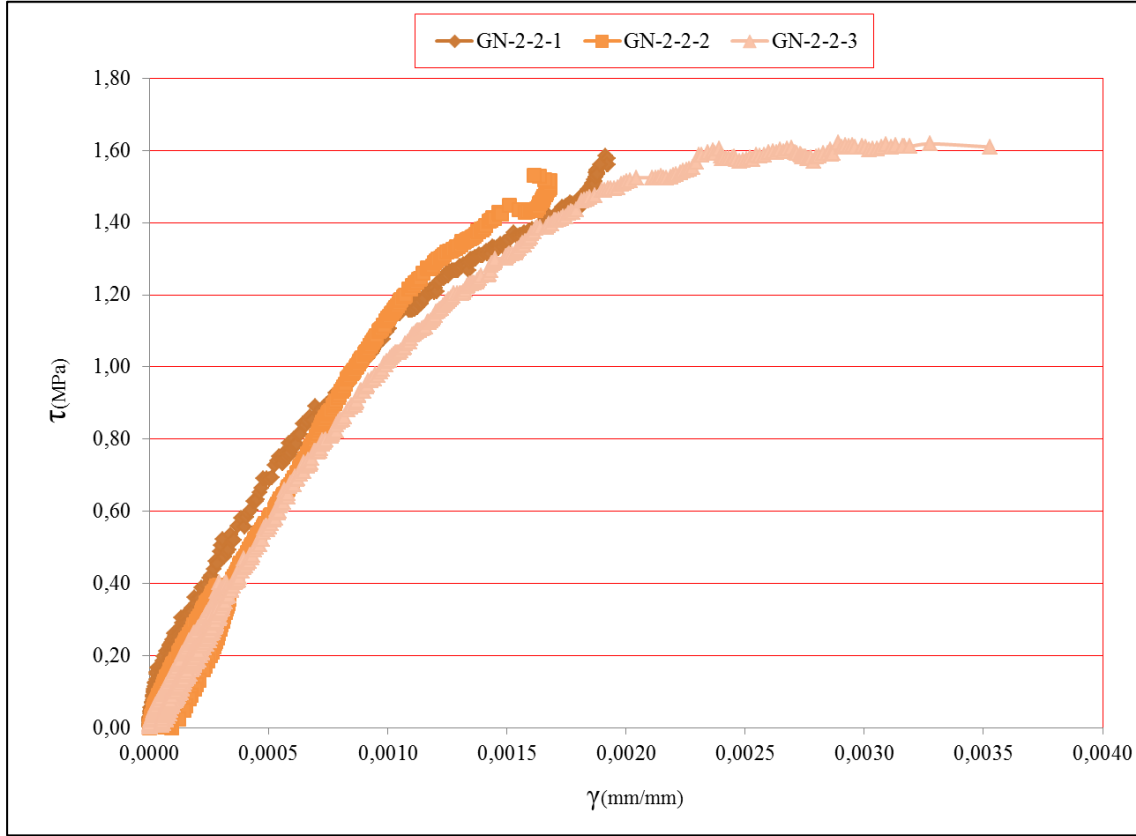
215kN'da 0.1mm genişliğinde bir çatlak daha oluşmuştur. Sırasıyla 226kN, 239kN, 255kN, 261kN'da numuneden çatlama sesleri gelmiştir. 266kN'da 0.1mm çatlak oluşmuştur. 279kN ve 291kN'da numuneden sesler gelmiştir. Numune 317kN'da göçmüştür. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.39'da verilmiştir.



Şekil 2.39 : GN-1-2-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

2.4.2.4 GN-2-2 numuneleri kayma deneyleri

İki taraftan iki kat CFRC ile güçlendirilmiş GN-2-2-1, GN-2-2-2 ve GN-2-2-3 numunelerine ait kayma gerilmesi-şekil değiştirme ilişkileri Şekil 2.40'da verilmiştir.



Şekil 2.40 : GN-2-2 numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirme ilişkileri.

Grafikler yardımı ile elde edilen deneysel parametreler Çizelge 2.15'de, bunların istatistiksel değerleri ise Çizelge 2.16'da verilmiştir.

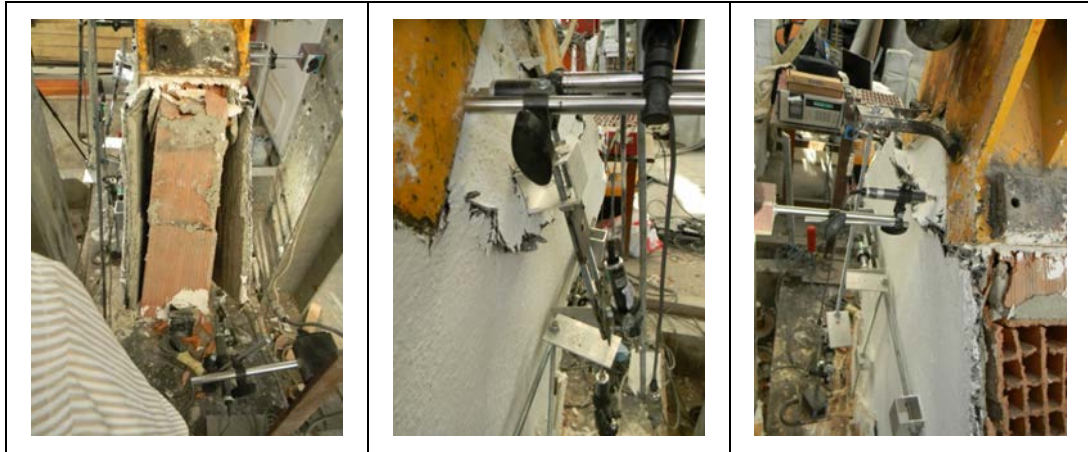
Çizelge 2.15 : GN-2-2 numuneleri deney sonuçları.

Numune Adı	$\tau_{\max}$ (MPa)	$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	G(MPa)
GN-2-2-1	1.59	0.19	1528
GN-2-2-2	1.53	0.16	1357
GN-2-2-3	1.62	0.29	1165

Çizelge 2.16 : GN-2-2 numuneleri istatistiksel değerleri.

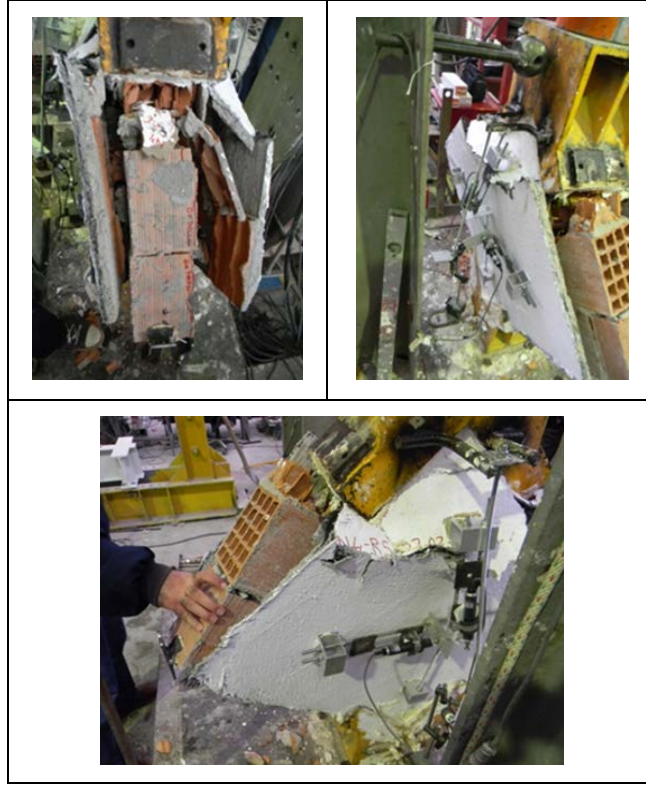
İstatistiksel değerler	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.58	0.05	0.03
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.21	0.07	0.32
G(MPa)	1350	182	0.13

GN-2-2-1 numunesinde deney başlamadan önce yapılan gözlemlerde başlık ile oturduğu numune arasında bir kaçıklık görülmemiş, herhangi bir ön hasara rastlanmamıştır. Numuneden ilk ses 151kN’da içsel çatlama sesi olarak gelmiştir. Sırasıyla 264kN, 286kN ve 290kN’da sesler devam etmiştir. 310kN’da ön yüzde karbon liflerdeki gerilmeler görülmeye başlanmıştır. 334kN’da numuneden ses gelmiştir. 340kN’da numunede hala çatlak oluşmamıştır. Bu noktadan sonra yük arttıkça sıva ve karbon lifli sıva ayrılmaya(açılma) başlamıştır. 356kN’da numuneden kuvvetli çatlama sesleri gelmiş, 358kN’da ezilme sesi duyulmuştur. 382kN’da numunede ilk çatlak arka yüzde oluşmuştur. Bu çatlığa “a” kodu verilmiştir ve çatlağın genişliği 0.1mm’den küçük ölçülmüştür. 386kN’da numunenin ön yüzünde kabarcıklar görülmüştür. 400kN’da numuneden çatlama sesi gelmiş ve sıva dökülmeleri başlamıştır. 410kN’da ses artmaya başlamış ve numune 412kN’da göçmüştür. Göçme duvarın her iki yüzünün ucundan başlayarak sıvanın duvar yüzeyinden ayrılması ve duvarın kayma çatlağı sonucu göçmesiyle oluşmuştur. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.41’de verilmiştir.



Şekil 2.41 : GN-2-2-1 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

GN-2-2-2 numunesinin arka yüzü P kodu ile işaretlidir. Bu kod bu yüzün karbon liflerinin parçalı olarak yapıştırıldığını göstermektedir. Numuneden ilk ses 181kN’da içsel çatlama sesi olarak gelmiştir. Sırasıyla 230kN, 270kN ve 283kN’da sesler devam etmiştir. 313kN’da sıva ve karbon lifli sıva ayrılmaya(açılma) başlamıştır. 352kN’da kabarmalar görülmeye başlanmıştır. 370kN’da numuneden ses gelmiştir. 374kN’da numuneden kuvvetli çatlama sesi gelmiştir. 380kN ve 388kN’da bu ses bir kez daha duyulmuştur. 405 kN’da çatlak sesi artmaya başlamış ve göçme yaşanmıştır. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.42’de verilmiştir.



Şekil 2.42 : GN-2-2-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

GN-2-2-3 numunesinden ilk ses 273kN'da içsel çatlama sesi olarak gelmiştir. 314kN'da ses devam etmiştir. 327kN'da ilk çatlak arka yüzde 0.1mm'den küçük olmak üzere oluşmuştur. 347kN'da aynı çatlak 0.1mm'ye ulaşmıştır. 370kN'da arka yüzde 0.1mm genişliğinde ikinci çatlak oluşmuştur. 389 kN'da numuneden çatlama sesi gelmiştir. 413kN'da numunede üçüncü çatlak oluşmuştur (Şekil 2.43).



Şekil 2.43 : GN-2-2-3 numunesinin oluşan çatlaklar.

419kN'da kriko numuneye daha fazla yük verememeye başlamıştır. Bu durum 2-3 dakika kadar sürmüştür. Krikonun koldan açılmasıyla daha fazla yük verilmiş ve bunun sonucunda numune 423kN'da göçmüştür. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 2.44' de verilmiştir.



Şekil 2.44 : GN-2-2-3 numunesinin ön ve arka yüzlerinin göçme sonrası durumu.

2.4.3 KN ve GN kodlu numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde dört farklı tipte CFRC kompozit malzeme ile güçlendirilmiş duvar numuneleri, güçlendirilmemiş kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma maksimum kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametreleri açısından yapılmıştır.

2.4.3.1 KN ve GN-1-1 numuneleri karşılaştırılması

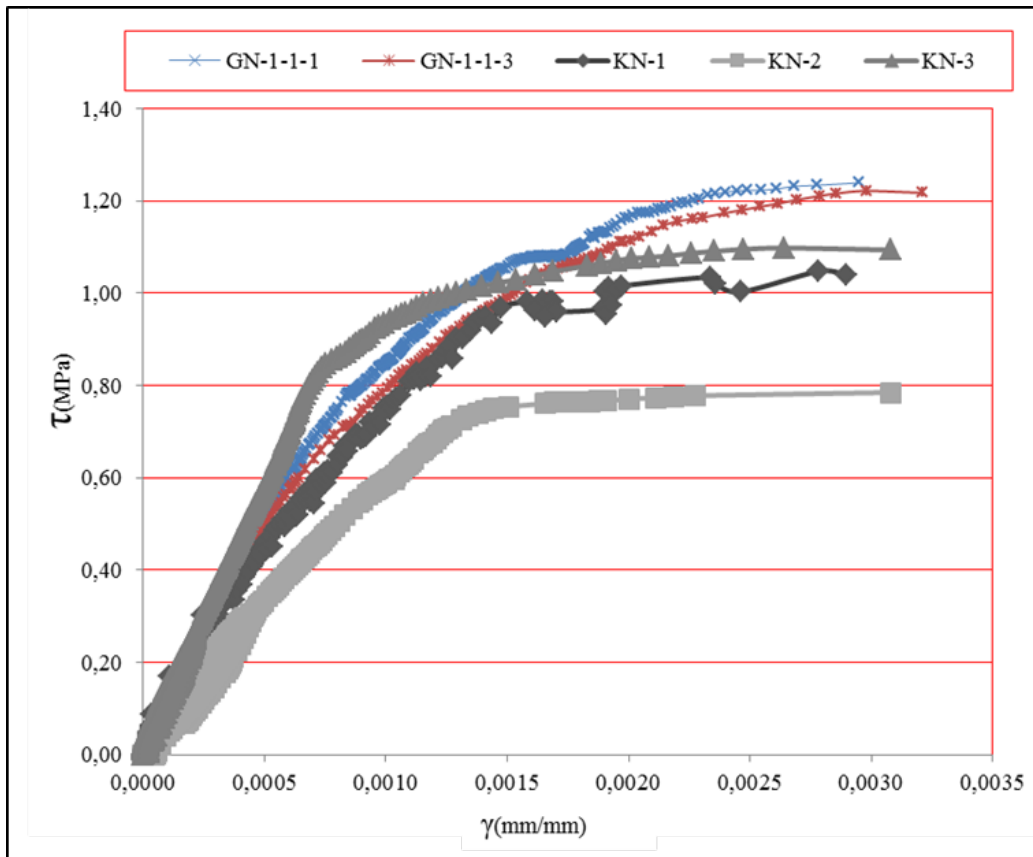
Bir taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-1-1 duvar numuneleri ve güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir. GN-1-1 ve KN numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.45’de verilmiştir.

Çizelge 2.17’ de GN-1-1 ve KN numunelerinin maksimum kayma gerilmeleri, bu gerilmeye denk gelen kayma şekil değiştirmeleri ve kayma modülleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma GN-1-1 numunelerinin deneysel parametrelerinin ortalama değerlerinin KN numunelerinkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış miktarları belirlenmiştir.

Çizelge 2.17 : GN-1-1 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.

DeneySEL parametreler	GN-1-1/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}(\text{MPa})$	1.26	26 artış
$\gamma_{\tau\max}(\text{mm/mm})(\%)$	1.07	7 artış
$G(\text{MPa})$	1.17	17 artış

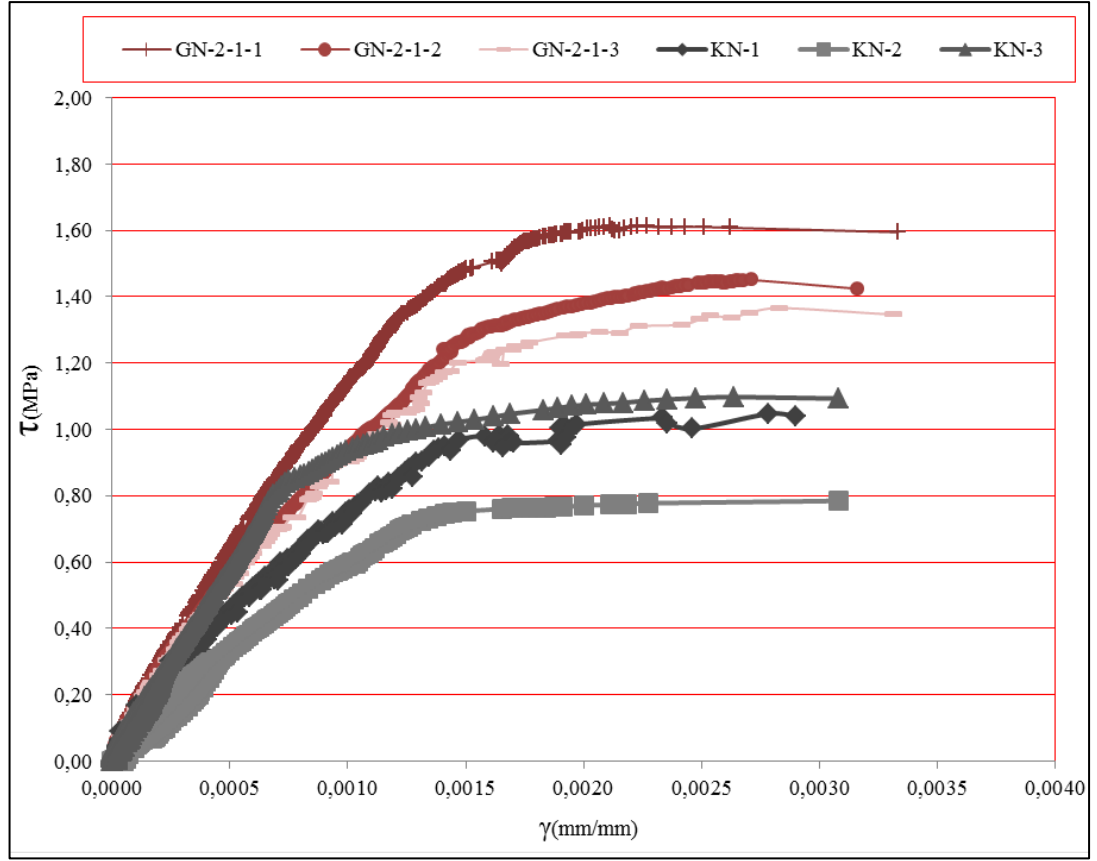
Sonuçlara bakıldığında bir taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-1-1 duvar numunelerinin, güçlendirilmemiş KN kontrol numunelerine göre diyagonal çekme etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı, maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü değerlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Maksimum kayma dayanımı ve kayma modülünde belirgin olan artış kayma şekil değiştirmesinde daha az olmuştur. Hasar durumuna bakıldığında GN-1-1 ve KN numunelerinde göçmenin şeklinin benzer olduğu görülmüştür. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte numuneler göçmüştür.



Şekil 2.45 : GN-1-1 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.

2.4.3.2 KN ve GN-2-1 numuneleri karşılaştırılması

İki taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-2-1 duvar numuneleri ve güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir. GN-2-1 ve KN numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.46' da verilmiştir.



Şekil 2.46 : GN-2-1 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.

Çizelge 2.18’de GN-2-1 ve KN numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma GN-2-1 numunelerinin deneysel parametrelerinin ortalama değerlerinin KN numunelerinininkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

Çizelge 2.18 : GN-2-1 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.

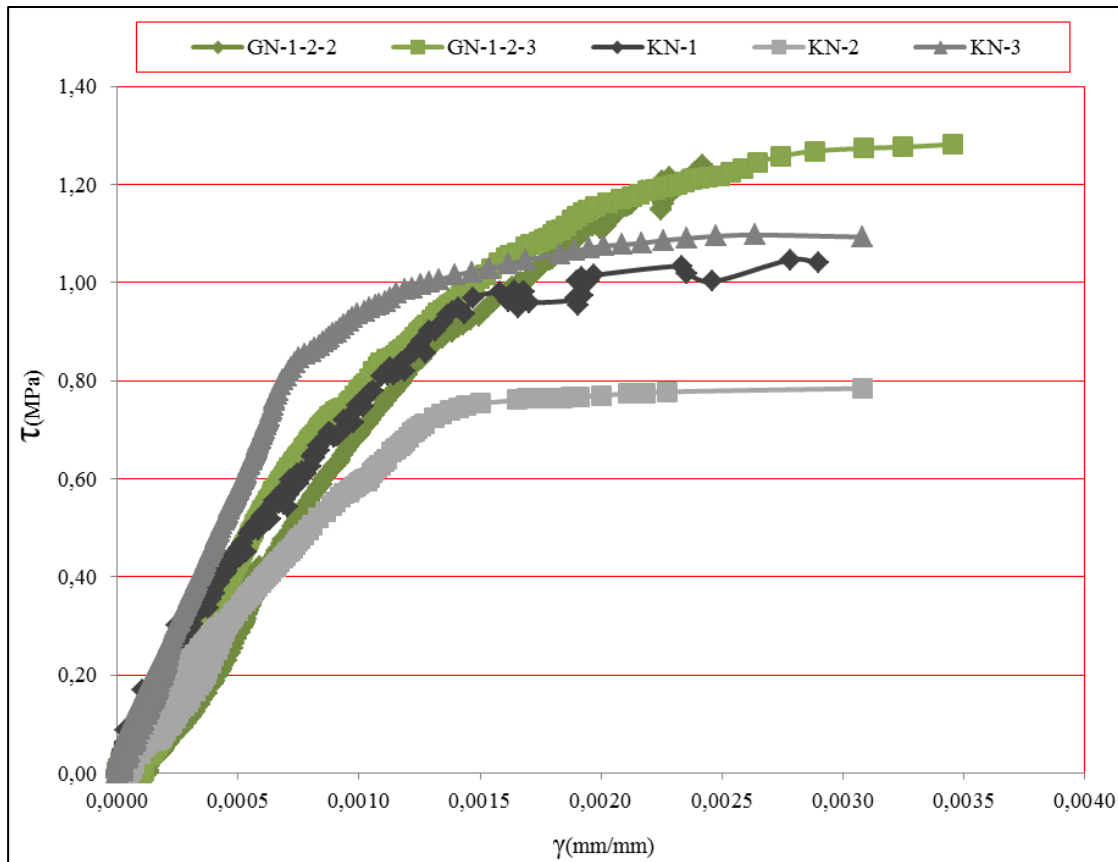
Deneysel parametreler	GN-2-1/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.51	51 artış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.89	11 azalış
G(MPa)	1.37	37 artış

Sonuçlara bakıldığında iki taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-2-1 numunelerinin, güçlendirilmemiş KN kontrol numunelerine göre diyagonal çekme etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı ve kayma modülü değerlerinde belirgin artış meydana gelmiştir. Maksimum kayma dayanımında oluşan kayma şekil değiştirmesi değerinde ise azalma meydana gelmiştir. Şekil değiştirme üzerindeki bu etkiyle birlikte numune davranışı daha gevrek olmuştur. Hasar durumuna bakıldığında GN-2-1 ve KN

numunelerinde göçmenin şeklinin benzer olduğu görülmüştür. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte numuneler göçmüştür.

2.4.3.3 KN ve GN-1-2 numuneleri karşılaştırılması

Bir taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-1-2 duvar numuneleri ve güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir. GN-1-2 ve KN numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.47’ de verilmiştir.



Şekil 2.47 : GN-1-2 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.

Çizelge 2.19’da GN-1-2 ve KN numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma GN-1-2 numunelerinin deneysel parametrelerinin ortalama değerlerinin KN numunelerinkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

Çizelge 2.19 : GN-1-2 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.

Deneyssel parametreler	GN-1-2/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.29	29 artış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	1.07	7 artış
G(MPa)	1.01	1 artış

Sonuçlara bakıldığında bir taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-1-2 numunelerinin, güçlendirilmemiş KN kontrol numunelerine göre diyagonal çekme etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı değerlerinde artış meydana gelmiştir. Maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü değerlerindeki artış çok az olup değerler birbirine çok yakındır. Hasar durumuna bakıldığında GN-1-2 ve KN numunelerinde göçmenin şeklinin benzer olduğu görülmüştür. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte numuneler göçmüştür.

2.4.3.4 KN ve GN-2-2 numuneleri karşılaştırılması

İki taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-2-2 duvar numuneleri ve güçlendirilmemiş KN duvar numuneleri diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir. GN-2-2 ve KN numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.48’de verilmiştir.

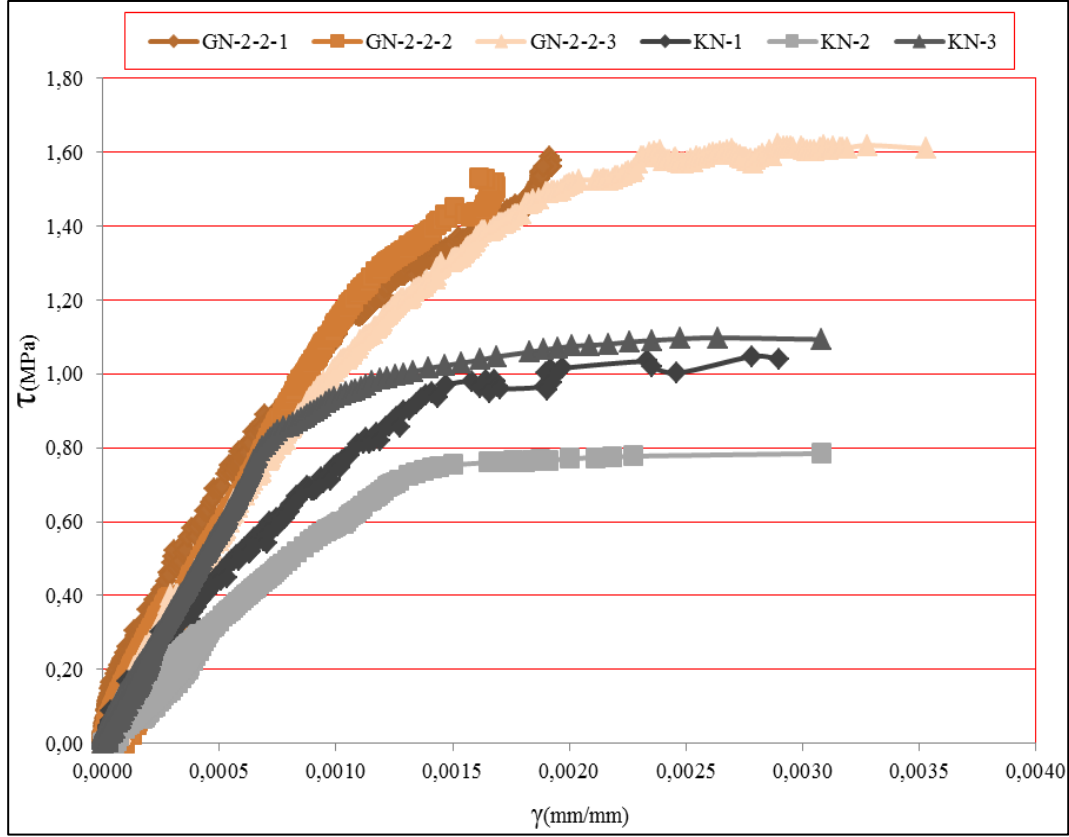
Çizelge 2.20’de GN-2-2 ve KN numunelerinin deneyssel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma GN-2-2 numunelerinin deneyssel parametrelerinin ortalama değerlerinin KN numunelerinkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneyssel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

Çizelge 2.20 : GN-2-2 ve KN numunelerinin karşılaştırılması.

Deneyssel parametreler	GN-2-2/KN oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.61	61 artış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.75	25 azalış
G(MPa)	1.45	45 artış

Sonuçlara bakıldığında iki taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-2-2 numunelerinin, güçlendirilmemiş KN kontrol numunelerine göre diyagonal çekme etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı ve kayma modülü değerlerinde büyük artış meydana gelmiştir. Sırasıyla %61 ve %45 olan bu artış değerleri gruplar içindeki en yüksek değerlerdir. Maksimum kayma gerilmesine karşılık gelen kayma şekil değiştirmesi

değerinde ise belirgin bir azalış meydana gelmiştir. Hasar durumuna bakıldığında GN-2-2 ve KN numunelerinde göçmenin şeklinin benzer olduğu görülmüştür. Dayanım değerine yakın gerilme düzeyinde meydana gelen düşey doğrultudaki çatlaklarla birlikte numuneler göçmüştür.



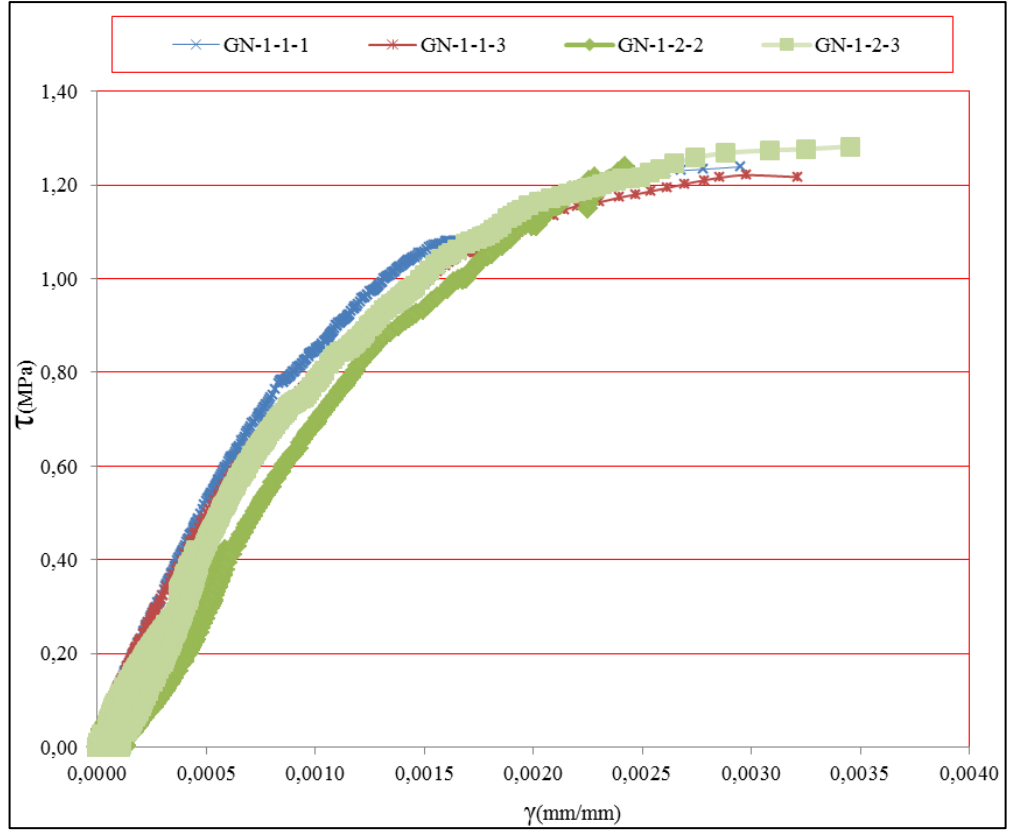
Şekil 2.48 : GN-2-2 ve KN numuneleri τ - γ grafikleri.

2.4.4 GN kodlu numunelerin deney sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde güçlendirme işlemi sırasında kullanılan CFRC tabaka sayısının, deneysel parametrelere etkisini incelemek amacıyla bir kat ve iki kat uygulamalar karşılaştırılmıştır.

2.4.4.1 GN-1-1 ve GN-1-2 numuneleri karşılaştırılması

Bir taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-1-1 duvar numuneleri ve bir taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-1-2 duvar numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.49'da verilmiştir.



Şekil 2.49 : GN-1-1 ve GN-1-2 numuneleri τ - γ grafikleri.

Çizelge 2.21’de GN-1-1 ve GN-1-2 numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma GN-1-1 numunelerinin deneysel parametrelerinin ortalama değerlerinin GN-1-2 numunelerinininkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

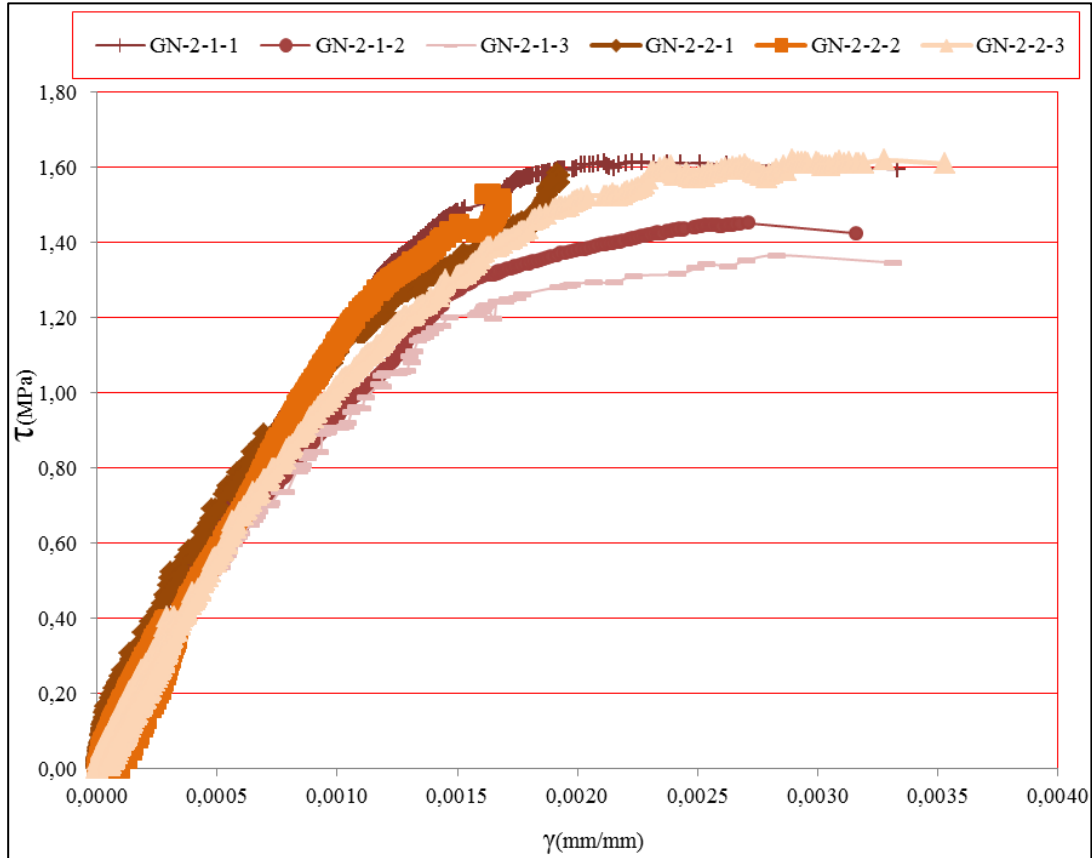
Çizelge 2.21 : GN-1-1 ve GN-1-2 numunelerinin karşılaştırılması.

Deneysel parametreler	GN-1-1/GN-1-2 oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	0.98	2 azalış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	1	-
G(MPa)	1.15	15 artış

Sonuçlara bakıldığında bir taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-1-1 duvar numuneleri ile bir taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-1-2 duvar numunelerinin diyagonal çekme etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı ve maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi değerlerinde bir fark olmadığı görülmektedir. Yalnızca kayma modülü değerinde bir miktar fark bulunmaktadır. Bir taraftan yapılan uygulamada kat sayısının arttırılması deneysel parametreler açısından belirgin bir değişiklik yaratmamıştır.

2.4.4.2 GN-2-1 ve GN-2-2 numuneleri karşılaştırılması

İki taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-2-1 duvar numuneleri ve iki taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-2-2 duvar numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.50’de verilmiştir.



Şekil 2.50 : GN-2-1 ve GN-2-2 numuneleri τ - γ grafikleri.

Çizelge 2.22’de GN-2-1 ve GN-2-2 numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma GN-2-1 numunelerinin deneysel parametrelerinin ortalama değerlerinin GN-2-2 numunelerinkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

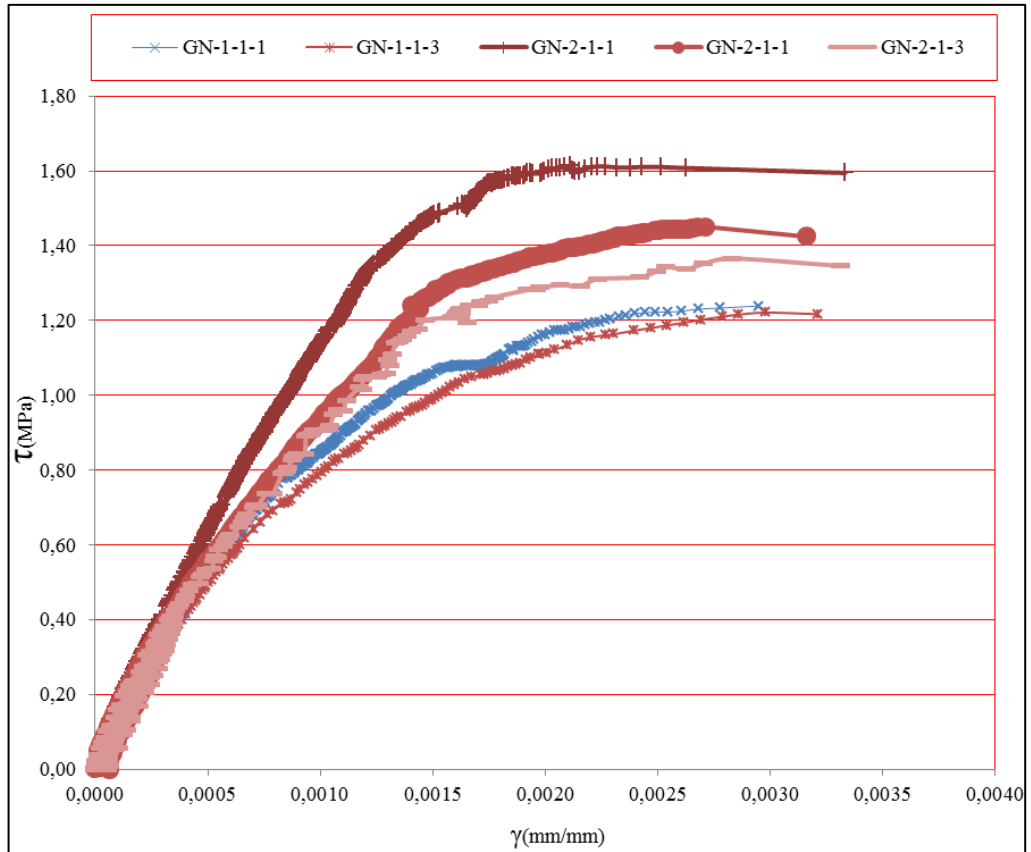
Çizelge 2.22 : GN-2-1 ve GN-2-2 numunelerinin karşılaştırılması.

Deneysel parametreler	GN-2-1/GN-2-2 oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	0.94	6 azalış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	1.19	19 artış
G(MPa)	0.95	5 azalış

Sonuçlara bakıldığında bir taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-2-1 duvar numuneleri ile iki taraftan iki kat güçlendirilmiş GN-2-2 duvar numunelerinin diyagonal çekme etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı ve kayma modülü değerlerinde bir fark olmadığı görülmektedir. Yalnızca maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi değerinde bir miktar fark bulunmaktadır. İki taraftan yapılan uygulamada kat sayısının artırılması deneysel parametreler açısından belirgin bir değişiklik yaratmamıştır.

2.4.4.3 GN-1-1 ve GN-2-1 numuneleri karşılaştırılması

Bir taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-1-1 duvar numuneleri ve iki taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-2-1 duvar numunelerinin deney sonuçları karşılaştırılarak numune davranışının ve göçme durumunun güçlendirme şekli ile değişimi gösterilmiştir. Numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri bir arada Şekil 2.51’de verilmiştir.



Şekil 2.51 : GN-1-1 ve GN-2-1 numuneleri τ - γ grafikleri.

Çizelge 2.23’de GN-1-1 ve GN-2-1 numunelerinin deneysel parametreleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma GN-2-1 numunelerinin deneysel parametrelerinin

ortalama değerlerinin GN-1-1 numunelerinininkine oranı olarak yapılmıştır. Bu şekilde güçlendirme yöntemi ile deneysel parametrelerdeki artış veya azalış belirlenmiştir.

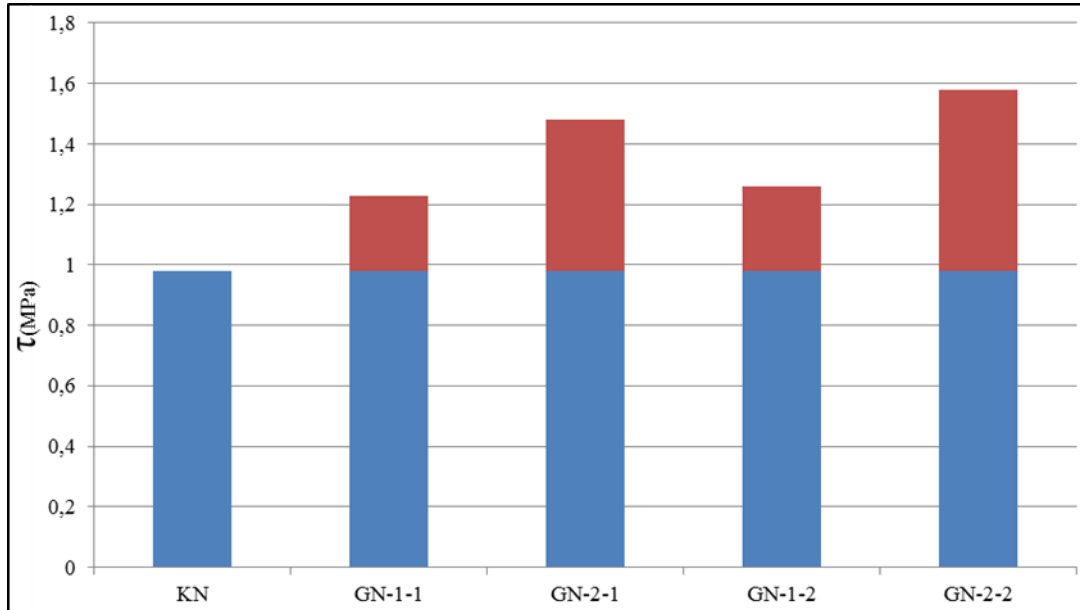
Çizelge 2.23 : GN-1-1 ve GN-2-1 numunelerinin karşılaştırılması.

Deneysel parametreler	GN-2-1/GN-1-1 oranı	Artış veya azalış miktarı (%)
$\tau_{\max}$ (MPa)	1.20	20 artış
$\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%)	0.83	17 azalış
G(MPa)	1.18	18 artış

Sonuçlara bakıldığında iki taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-2-1 duvar numuneleri ile bir taraftan bir kat güçlendirilmiş GN-1-1 duvar numunelerinin diyagonal çekme etkileri altındaki maksimum kayma dayanımı ve kayma modülü değerlerinde %20'lere varan artışlar olduğu görülmüştür. Maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi değerinde %17'lik düşüş görülse de göçme anındaki kayma şekil değiştirmeleri iki taraftan yapılan güçlendirmelerde daha fazladır. Bu da süneklik parametresi açısından iki taraftan yapılan güçlendirmelerin daha faydalı olduğunu göstermektedir.

2.4.5 Duvar kayma deneyleri sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan deney sonuçları değerlendirildiğinde, CFRC ile güçlendirilen tüm numunelerin kayma dayanımı değerlerinde güçlendirilmeyen kontrol numunelerine göre %26 ila %61 mertebesinde bir artış elde edilmiştir (Şekil 2.52).



Şekil 2.52 : Deney gruplarının ortalama kayma dayanımı değerleri.

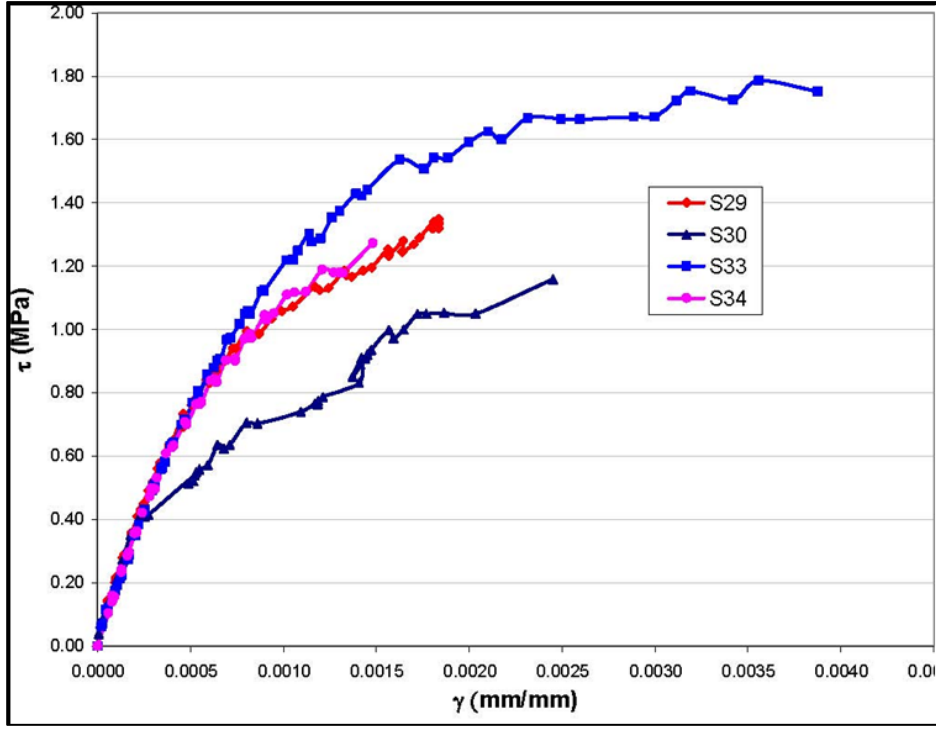
Güçlendirilen numunelerde maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmelerinde azalmalar görölse de göçme anındaki şekil değiştirmeler kontrol numunelerine göre daha fazla olmuştur. Deneylerde bir taraftan bir kat veya iki kat yapılan uygulamalarda deney parametre değerleri açısından belirgin bir farka rastlanmamıştır. Bununla birlikte bir taraftan yapılan güçlendirmeler kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında kayma dayanımı değerlerinde %29'lara varan artışlar görölmüştür. Aynı numunelerde kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü açısından belirgin bir fark gözlemlenmemiştir.

Deney numunelerinde iki taraftan bir kat veya iki kat yapılan uygulamalarda deneysel parametre değerlerinin birbirine yakın olduğu görölmüştür. Bu numuneler kontrol numuneleri ile karşılaştırıldığında ise kayma dayanımını değerlerinde sırasıyla %61 ve %51 artış, kayma modülü değerlerinde ise %45 ve %37 artış görölmüştür. Bununla birlikte göçme anındaki kayma şekil değiştirme değeri de artmıştır.

Sonuçlara bakıldığında iki taraftan yapılan güçlendirmelerin bir taraftan yapılan güçlendirmelere göre deney parametreleri açısından daha başarılı olduğu görölmüştür. İki taraftan yapılan uygulamalarda bir kat ve iki kat olmak üzere kayma dayanımı değerlerinde sırasıyla %20 ve %25 artış, kayma modülü değerlerinde ise yine sırasıyla %43 ve %18 artış görölmüştür. Güçlendirmenin simetrik olması düşünöldüğünde, bu beklenen bir durumdur.

Deneyler sırasında bazı numunelerde, göçme durumunun ön hasar çatlaklarının genişlemesiyle oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu çatlakların oluşmasını engellemek için güçlendirme işleminin uygulaması sırasında dikkat ve titizlik gösterilmelidir. Mevcut binalardaki durum göz önüne alındığında güçlendirmenin sıva raspaşı yapılmadan doğrudan sıva üzerine uygulanması, ön hasar çatlaklarının oluşumunu engelleyeceği için oldukça faydalı görölmektedir.

Yapılan çalışma sonuçları daha önce CFRP ve epoksi ile güçlendirilmiş benzer bir çalışma ile karşılaştırılmıştır (Çılı ve diğ, 2007). Bu çalışmada benzer ölçülerdeki duvar numuneleri 300mm genişliğindeki CFRP bantlarla, her iki diyagonal doğrultusunda, farklı tip CFRP ve epoksi kullanılarak güçlendirilmiştir. CFRP ve CFRC ile yapılan deney sonuçları karşılaştırıldığında kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirmesi değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu görölmüştür (Şekil 2.53).



Şekil 2.53 : CFRP ile yapılan çalışma.

Bu deneysel çalışma kapsamında karbon ağ ve çimento esaslı harç ile uygulanarak yapılan güçlendirme, epoksi harcı ile yapılan güçlendirmeye karşılaştırıldığında benzer sonuçlar vermekte ve etkili bir güçlendirme sistemi olarak görülmektedir.

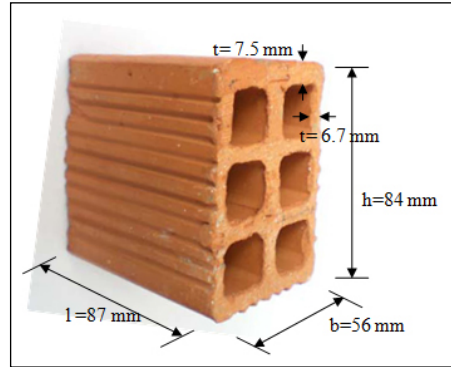
Bu çerçeve numuneleri, ülkemizde bulunan mevcut binaların çoğunda olduğu gibi düşük beton dayanımına ve güçlü kiriş-zayıf kolon sistemine sahiptir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırması bulunmamaktadır.

Çerçevelerin hepsi, üretildikten sonra Şekil 3.2’de görüldüğü gibi yalın olarak bulunmaktadır. Bu çerçevelerden bir tanesi yalın çerçeve olarak bırakılmış diğerlerine ise dolgu duvar ilave edilmiştir.



Şekil 3.2 : Üretilen betonarme çerçeve numuneleri.

Çerçevelere ilave edilecek dolgu duvarların yapımında, ön deneylerdeki duvar numunelerinde kullanılan tuğlalar kullanılmıştır. Bu tuğlalar 1/3 ölçekli olarak kesilmiş ve çimento harcı kullanılarak çerçeve içine örülmüştür(Şekil 3.3). Daha sonra duvarların her iki yüzü 10mm kalınlığında çimento harcı ile sıvanmıştır.



Şekil 3.3 : 1/3 ölçekli kesilen tuğla numunesi.

Dolgu duvarı ilave edilen numunelerden bir tanesi, yalın dolgu duvarlı ve sıvalı bırakılarak güçlendirilmemiş, diğer altı numune ise çeşitli şekillerde CFRC sistemiyle sıva üzerinden güçlendirilmiştir.

Yalın ve yalın dolgu duvarlı bırakılan çerçeveler, güçlendirilen numunelerin bu numunelerle karşılaştırılması amacıyla üretilmiş referans numunelerdir.

3.2 Betonarme Çerçevelerin Üretimi

Betonarme çerçeve numuneleri, ülkemizde bulunan mevcut yapıların düşük dayanım, yetersiz etriye sıklığı ve zayıf kolon-güçlü kiriş gibi özellikleri dikkate alınarak üretilmiştir. Üretim olanakları ve kolaylığı açısından özel bir şantiyede üretilen numunelerin hazırlanma aşamaları sırasıyla aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir.

İlk olarak numunelerin temel kalıbı hazırlanmıştır. Temel kalıbının altına, betonun yerle temasını kesmek için naylon örtü serilmiştir. Temele ait donatı çubukları, boyuna donatılar Ø12, enine donatılar Ø12 olacak şekilde hazırlanıp, pas paylarına dikkat edilerek temel kalıbına yerleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Donatıların temel kalıbına yerleştirilmesi.

Daha sonra, deney numunelerini bulonlarla rijit bir şekilde deney çerçevesine bağlayabilmek için gerekli olan delikler, temellerin içinde oluşturulmuştur. Çok hassas olan bu işlem için önce deney çerçevesi üzerinden şablon alınmış, sonra da bu şablon vasıtası ile temellere 20mm çaplı çelik borular, beton dökümü sırasında oluşabilecek kaymaları önlemek üzere mevcut donatılara kaynatılarak, yerleştirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Bağlantı borularının temele yerleştirilmesi.

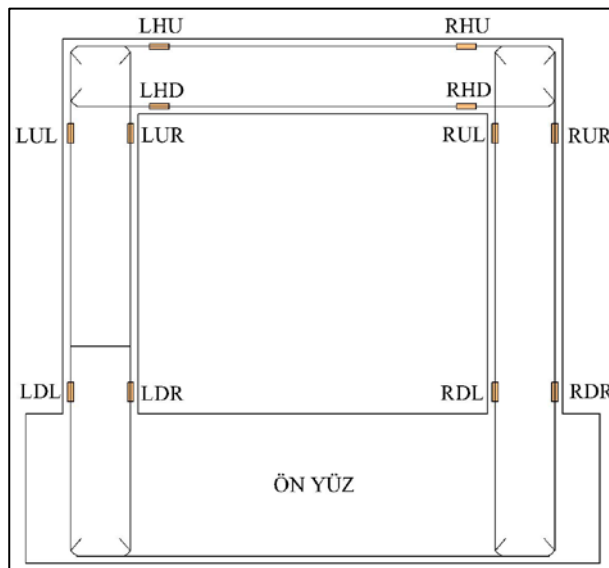
Bu işlemten sonra temel donatılarına Ø8 kolon filizleri yerleştirilmiştir. Rijit bir temel elde etmek amacıyla basınç dayanımı yüksek beton kullanılarak, temel betonu dökülmüştür.



Şekil 3.6 : Kolon filizleri ve dökülmüş temel betonu.

Temele yerleştirilmiş kolon filizlerine, kolon boyuna donatıları ilave edilerek kolon boyuna donatılarına etriyelerin bağlanması ve daha sonrasında kiriş boyuna ve enine donatılarının oluşturulması işlemleri sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm kolon ve kiriş enine ve boyuna donatıları Ø8 çapındadır.

Numunelerin kolon ve kiriş donatılarına, deney sırasında, numunenin tepe noktası yatay yer değiştirmesine göre donatıların yapacağı şekil değiştirmeleri ölçmek amacıyla şekildeğiştirme ölçerler yerleştirilmiştir Aşağıdaki şekilde kodlandırılmış bu şekildeğiştirme ölçerler, numunelerin bir yüzündeki (ön yüz) kolon ve kiriş donatılarına yapıştırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 : Şekildeğiştirme ölçer yerleşim şeması.

Donatılara şekildeğiştirme ölçerler yapıştırılmadan önce bu bölgeler pürüzsüz bir hale getirilmiş, aseton ile iyice temizlenmiş ve sonrasında şekildeğiştirme ölçerler güçlü bir yapıştırıcı yardımıyla temizlenen donatıya yapıştırılmıştır. Son olarak su geçirmez özel bir bant yardımıyla bu bölgelerin suya karşı yalıtımı yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 : Şekildeğiştirme ölçer yapıştırma aşamaları.

Şekildeğiştirme ölçerlerin 2 tanesi kirişin sol mesnet bölgesindeki donatılara, 2 tanesi sağ mesnet bölgesindeki donatılara yapıştırılmıştır. 8 adet şekildeğiştirme ölçer ise kolon alt ve üst uçlarındaki boyuna donatılara yapıştırılmıştır.

Şekildeğiştirme ölçerlerin donatılara yapıştırılmasından sonra numunelerin kiriş ve kolon kalıpları hazırlanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Kalıpların hazırlanması.

Numunelerde, şekildeğiştirme ölçerlerden başka, deney esnasında numune hareketini ve davranışını daha iyi tanımlamak için yerdeğiştirme ölçerlere (LVDT) de ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla numunenin dış yüzeyinden, deney esnasında LVDT ile veri almak için, daire kesitli dişli çubuklardan oluşan mesnetler hazırlanmıştır. Bu mesnetler, kalıp üzerinde açılan deliklerin içine dişli çubukların beton içinde kalacak

şekilde yerleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Yerleştirilen bölgelerdeki LVDT vasıtası ile deney esnasında numunenin hareketine göre yer değiştirme verileri alınacak ve buradan da şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik değerleri hesaplanabilecektir.

Bütün bu hazırlıklardan sonra beton dökme işlemi yapılmıştır (Şekil 3.10). Beton, özel bir firmadan alınan hazır beton olup basınç dayanımı malzeme deneyleri bölümünde verilecektir.



Şekil 3.10 : Beton dökülmüş çerçeveler.

Betonarme çerçeve numuneleri, beton dökümünden yaklaşık bir ay sonra vinç ve kamyon yardımıyla üretildiği şantiyeden İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'na götürülmüştür.

Laboratuvar ortamında, üretilen 8 numuneden 7'sine dolgu duvar ilavesi yapılmıştır. Duvar örme işleminde ilk olarak tuğlalar ıslatılmıştır. Tuğla delikleri yatayda olacak şekilde ve üst katlarda ara derzler şaşırtmalı olarak duvar örülmüştür. Yatay ve düşey derzlerde uygulanan harç kalınlığı 10mm'dir.



Şekil 3.11 : Betonarme çerçevelerin içine dolgu duvar örülmesi.

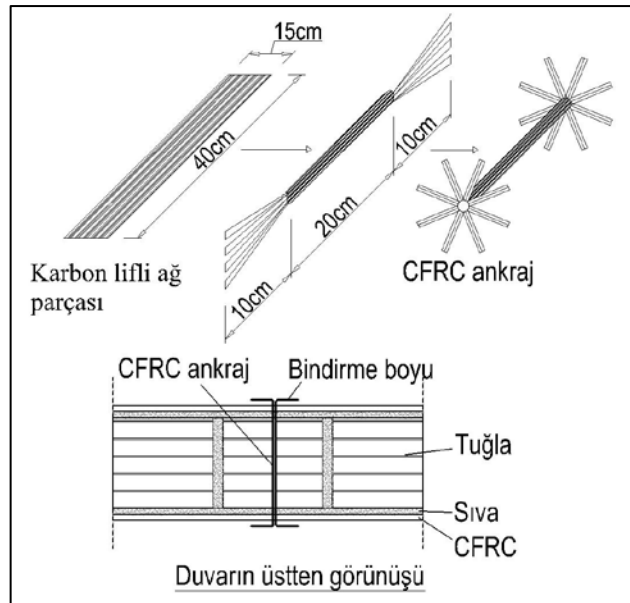
Duvar örme işleminin tamamlanmasından sonra dolgu duvarlı tüm numunelerin iki yüzeyi de duvar örülürken kullanılan aynı çimento harcı ile sıvanmıştır. Uygulanan sıva kalınlığı 10mm'dir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 : Betonarme çerçevelerin iki yüzünün sıvanması.

3.2.1 Betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi

Deneyler kapsamında 6 adet sıvalı, dolgu duvarlı betonarme çerçeve değişik şekillerde CFRC kompozit malzeme ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme işlemi, ön deneylerdeki duvar numunelerine uygulanan şekilde yapılmıştır. Betonarme çerçeve boyutlarına göre uygun olarak kesilen karbon lifli ağ, önceden ıslatılmış mevcut sıvalı yüzeye çimento harcı ile birlikte yapıştırılmıştır. Çimento harcının uygulama kalınlığı her bir tabaka için 3mm'dir. İkinci kat uygulamalarda karbon lifli ağ 45^0 açıyla döndürülerek uygulanmıştır. Güçlendirmeler içinde de ankrajlı ve ankrajsız olmak üzere iki farklı tip uygulama yapılmıştır. Ankrajsız güçlendirmeler karbon lifli ağın uygulanacağı yüzeye sadece çimento harcı ile yapıştırılmasını, ankrajlı uygulamalar ise bu işleme ek olarak karbon liflerinden oluşturulan ankrajın duvarı delerek monte edilmesiyle yapılan uygulamaları ifade etmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : CFRC ankraj.

Ankraj uygulaması öncesinde betonarme çerçevenin içindeki dolgu duvara 20mm çapında 5 adet delik açılmıştır. Bu deliklerden 4 adeti duvar köşegenlerini birleştiren doğru üzerinde köşelerden 30cm uzaklıkta, 1 adeti ise köşegenlerin birbirini kestiği noktada açılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 : Ankraj delikleri.

Hazırlanan CFRC ankrajlar duvarda açılan deliklerden geçirilmiş ve bu delikler çimento harcı ile iyice kapatılmıştır. Ankrajların yelpaze şeklinde açılan uçları, güçlendirme işlemi için kullanılan karbon lifli ağın içinden geçirilerek duvarın her iki yüzüne bindirme boyu 10cm'lik bir yarıçapta çimento esaslı harç ile yapıştırılmıştır.

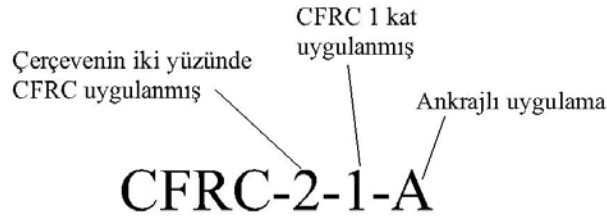


Şekil 3.15 : Ankrajlı CFRC uygulaması.

Ankrajlar, CFRC sistemi ile yapıştırıldığı mevcut sıva yüzeyi arasında oluşabilecek muhtemel aderans sorunlarını önlemek amacıyla yapılmıştır. Güçlendirme işleminin tüm aşamaları İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

3.2.2 Betonarme çerçeve deney numuneleri

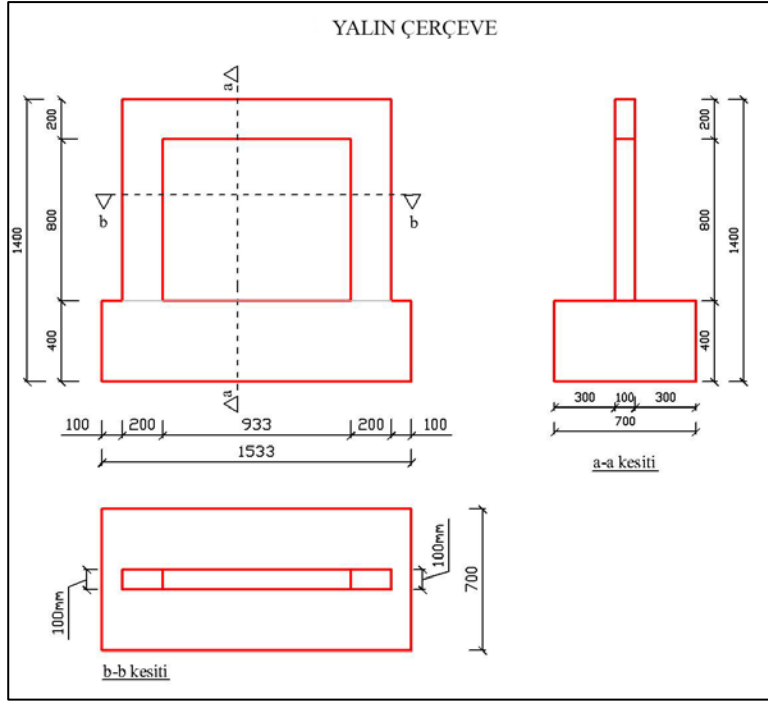
Üretilen 8 adet betonarme çerçeve numunesinden 6 tanesi CFRC ile güçlendirilen numunelerden oluşmaktadır. Diğer iki numune yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçevedir. Güçlendirilmiş numuneler “CFRC” kodu ile gösterilmektedir. CFRC kodundan sonra gelen ilk rakam duvarın bir veya iki yüzünün güçlendirildiğini, ikinci rakam ise güçlendirmenin bir veya iki kat olduğunu göstermektedir. Ankraj uygulanan numunelerde ayrıca A harfi eklenmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : Güçlendirilmiş çerçevelerin kod açılımı.

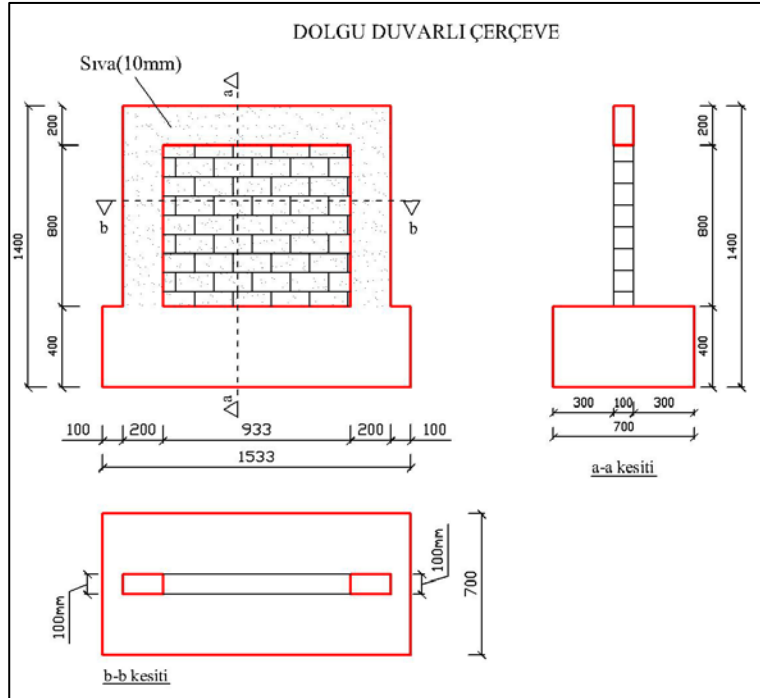
Bunların dışında CFRC-D-A kodlu numune 25cm kalınlığında diyagonal bant ile yapılan 2 kat ankrajlı güçlendirilmiş çerçeveyi, CFRC-2-2-W kodlu numune ise çerçeveye taşmayan sadece duvar yüzeyiyle sınırlı kalan ankrajlı güçlendirmeyi göstermektedir.

Betonarme çerçeveler tersinir tekrarlı ve sabit eksenel yükler altında üç ayrı grupta test edilmiştir. Birinci grupta, çerçevenin yalın halde yatay yük altındaki davranışını görmek için çerçeve arasında dolgu duvarları bulunmayan çıplak çerçeve numunesi bulunmaktadır. İkinci grup, çerçevedeki dolgu duvar etkisinin belirlenmesi amacıyla üretilen, çerçeve arasında sıvalı dolgu duvar bulunan numuneden oluşmaktadır. Bu iki grup deney numuneleri kontrol (referans) grupları olarak değerlendirilmektedir. Üçüncü grup, çerçeve arasındaki sıvalı dolgu duvarların CFRC ile altı farklı şekilde güçlendirilmesiyle oluşturulmuştur. Güçlendirmelerin sıva üzerinden tatbik edilmesi, bu sistemin mevcut binalarda kullanılırken uygulama kolaylığı getirmesi içindir. Bu açıklamalara göre çerçeve içinde dolgu duvar bulunmayan yalın çerçeve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.17).



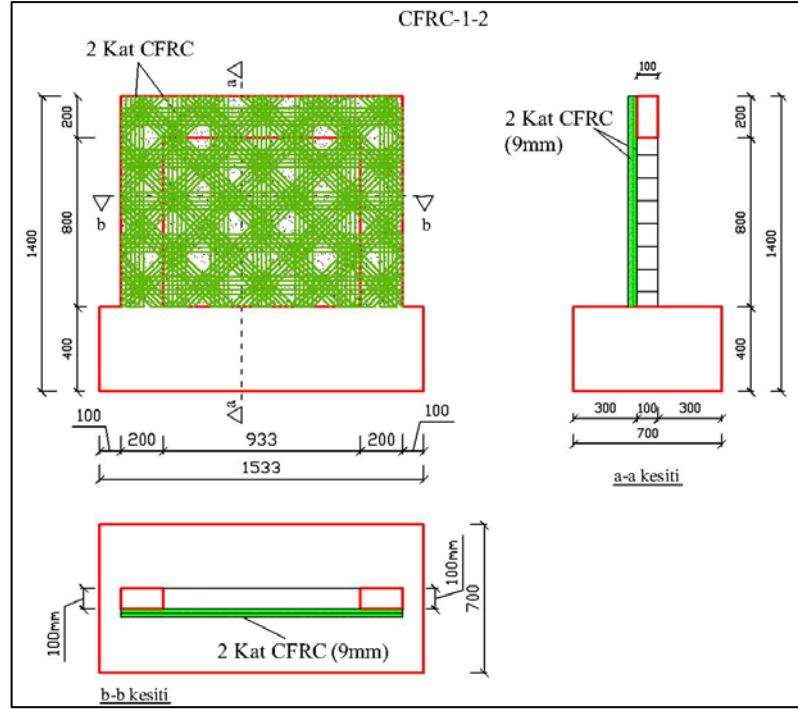
Şekil 3.17 : Yalın çerçeve.

Çerçeve içinde dolgu duvar bulunan iki yüzü sıvalı numune, dolgu duvarlı çerçevedir (Şekil 3.18).



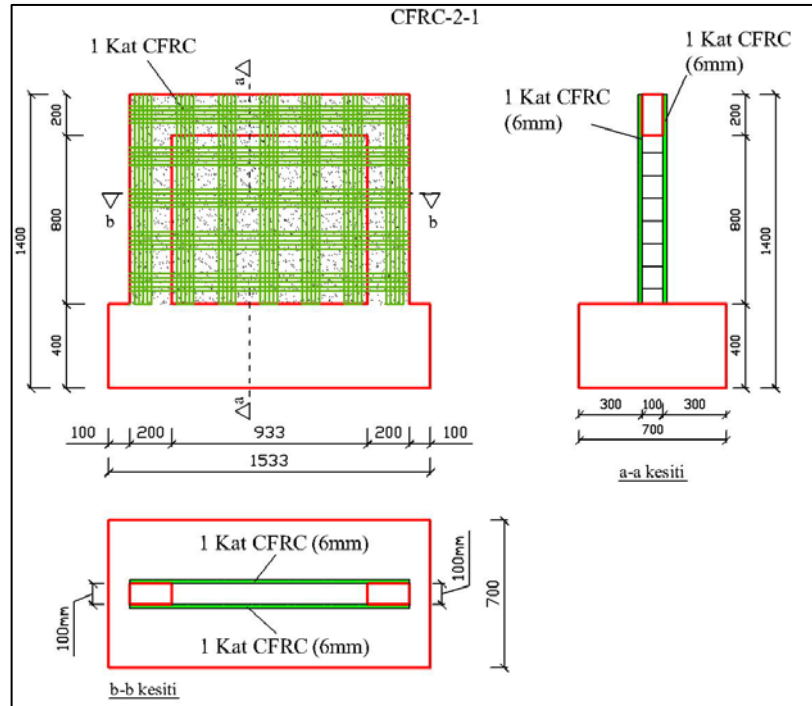
Şekil 3.18 : Dolgu duvarlı çerçeve.

CFRC ile sıvalı çerçevenin bir yüzünden iki kat güçlendirilen numune, bitişik nizam binalardaki uygulama yöntemini araştırmak amacıyla üretilmiştir (Şekil 3.19).



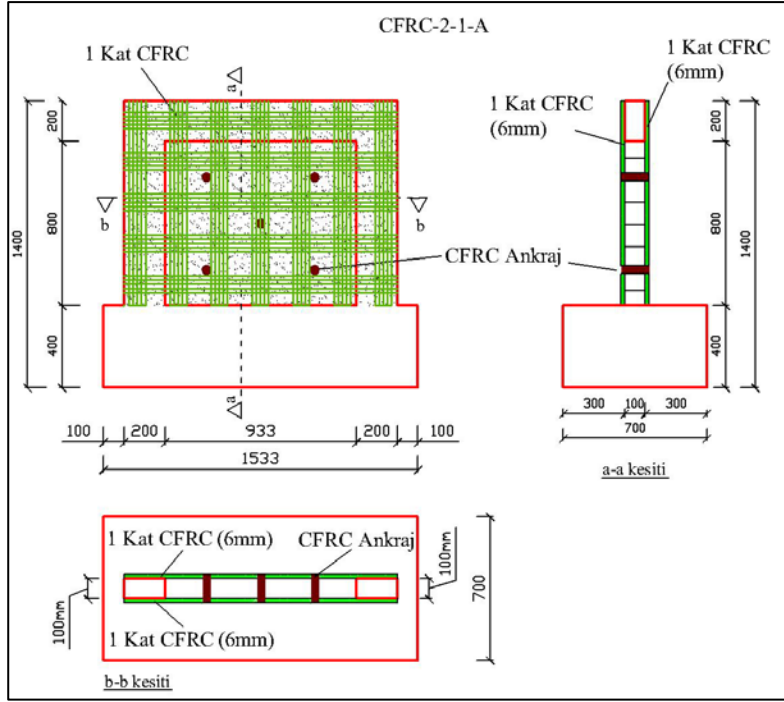
Şekil 3.19 : CFRC-1-2 numunesi.

Betonarme çerçevenin her iki tarafından bir kat CFRC ile güçlendirilen numune aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 3.20).



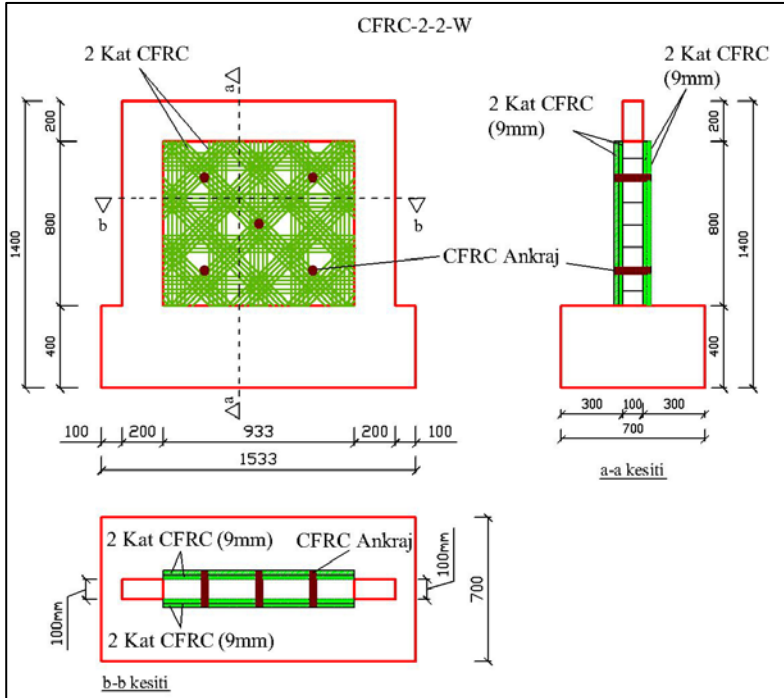
Şekil 3.20 : CFRC-2-1 numunesi.

Aynı numune, CFRC malzeme ile yapıştığı yüzey arasındaki oluşabilecek aderans sorunlarını en aza indirmek amacıyla ankrajlı olarak da üretilmiştir (Şekil 3.21).



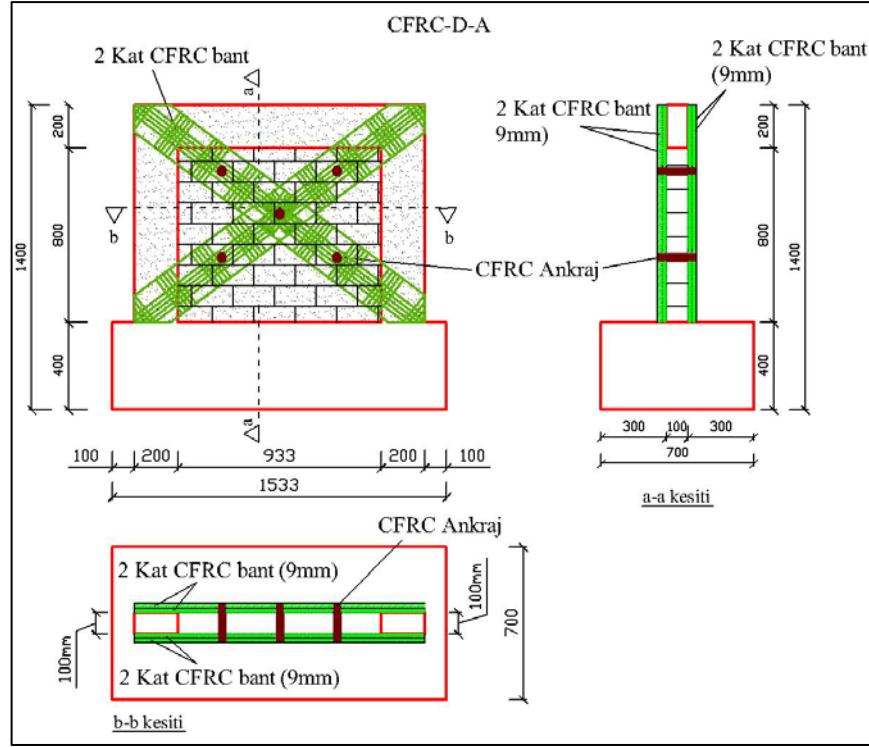
Şekil 3.21 : CFRC-2-1-A numunesi.

CFRC güçlendirmenin dolgu duvar alanıyla sınırla kaldığı, çerçeveye taşmadığı numune iki taraftan iki kat ve ankrajlı olarak üretilmiştir (Şekil 3.22).



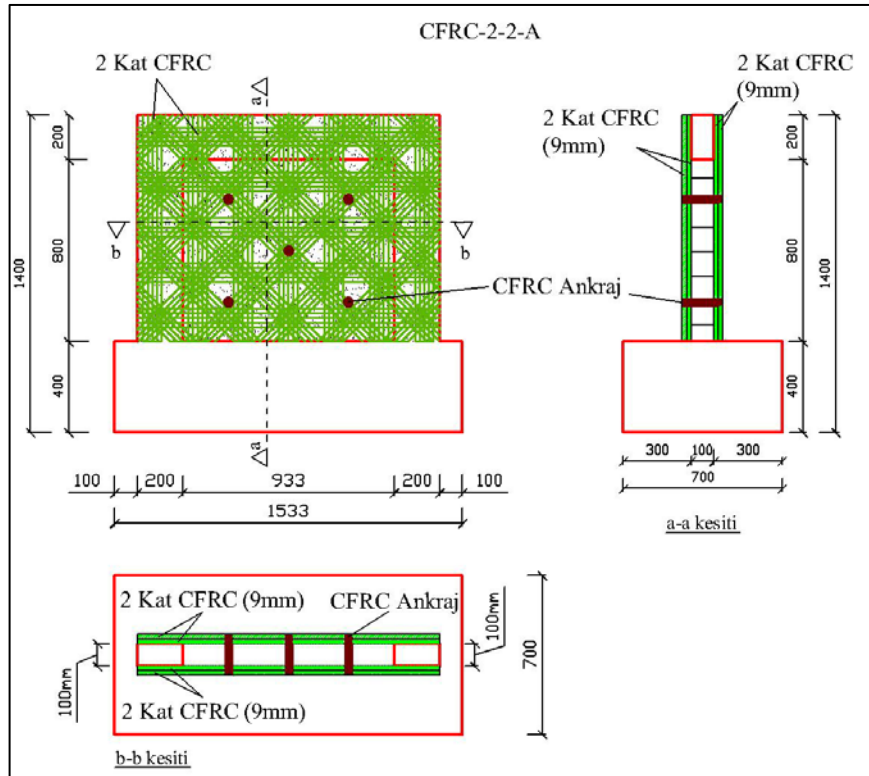
Şekil 3.22 : CFRC-2-2-W numunesi.

CFRC güçlendirmenin 25cm'lik diyagonal bantlar ile çerçevenin her bir tarafına iki kat uygulandığı ankrajlı numune aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 : CFRC-D-A numunesi.

Hazırlanan son çerçeve, iki taraftan iki kat ve ankrajlı olarak güçlendirilmiş betonarme çerçeve numunesidir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 : CFRC-2-2-A numunesi.

Üretilen ve güçlendirilen bütün betonarme çerçeve numuneleri aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : Betonarme çerçeve deney numuneleri.

BETONARME ÇERÇEVE NUMUNELERİ				
Numune Adı	Numune Tipi	CFRC Uygulama Şekli	CFRC Tekstil Malzemesi (Ticari Adı)	Güçlendirme Harcı
Çıplak (Yalın) Çerçeve	İçi Boş	—	—	—
Dolgu Duvarlı Çerçeve	Dolgu Duvarlı	—	—	—
CFRC-1-2	Güçlendirilmiş	1 Taraftan 2 Kat	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
CFRC-2-1	Güçlendirilmiş	2 Taraftan 1 Kat	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
CFRC-2-1-A	Güçlendirilmiş	2 Taraftan 1 Kat Ankrajlı	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
CFRC-2-2-W	Güçlendirilmiş	2 Taraftan 2 Kat Duvar	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
CFRC-D-A	Güçlendirilmiş	2 Taraftan 2 Kat Diyagonal	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25
CFRC-2-2-A	Güçlendirilmiş	2 Taraftan 2 Kat Ankrajlı	Ruredil X Mesh C10	Ruredil X Mesh M25

3.3 Malzeme Deneyleri

Betonarme çerçeve numunelerinin üretimi sırasında kolon ve kirişte kullanılan donatı ve betonun karakteristik özelliklerini saptamak amacıyla çeşitli malzeme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çerçevelerin içine örülen dolgu duvarların üretiminde kullanılan çimento harcı ve tuğla ile çerçevelerin güçlendirilmesinde kullanılan CFRC harcından numuneler alınarak, malzeme deneylerine devam edilmiştir.

Çalışma süresince beton harcı, sıva harcı, tuğla örneği ve CFRC harçlarının standart basınç deneyleri, donatı çekme deneyi ve beton gerilme-şekil değiştirme deneyleri yapılmıştır. Tüm bu deneyler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan aletler ile ilgili TSE yönetmeliklerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Standart basınç deneyleri, donatı çekme deneyi ve çerçevelerin üretiminde kullanılan betonun gerilme-şekil değiştirme deneylerinde kullanılan aletler sırasıyla Şekil 3.25 ve Şekil 3.26’da görülebilmektedir.



Şekil 3.25 : Standart donatı çekme deney düzeneği.



Şekil 3.26 : Beton gerilme-şekil değiştirme deney düzeneği.

3.3.1 Sıva harcı deneyleri

Yalın halde bulunan betonarme çerçeve numunelerinin içine örülen tuğlalarda ve bu şekilde oluşturulan dolgu duvarlı çerçevelerin dış yüzeylerinin 10mm kalınlığında sıvanmasında aynı çimento harcı kullanılmıştır. Bu çimento harcı, ülkemizde yaygın olarak kullanılan ve çimento, su ve kumdan oluşan standart çimento harcıdır. Bu çimento harcı hazırlanırken birçok standart silindir numunesi alınarak harcın standart basınç deneyleri yapılmış ve basınç dayanımı belirlenmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27 : Sıva harcı standart basınç deneyi.

Bu sıva harcı basınç deneyi sonuçları Çizelge 3.2’de görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre harcin son durumdaki ortalama basınç dayanımı 6.97 MPa’dır.

Çizelge 3.2 : Tuğlalarda ve çerçevenin yüzeyinde kullanılan harcin basınç dayanımı.

SIVA HARCI				
NUMUNE	H Yükseklik (mm)	d Çap (mm)	Pmax (kN)	σmax (MPa)
1	300	150	125.80	7.12
2			127.90	7.24
3			117.10	6.63
4			121.60	6.88
Ortalama σ (MPa)				6.97

3.3.2 Tuğla deneyleri

Dolgu duvarlı betonarme çerçeve numunelerinin dolgu duvarlarında kullanılan 1/3 ölçekli tuğlalar, örnekler alınarak tuğlaların basınç değerleri ölçülmek üzere hazırlanmıştır. Tuğla numunelerinin basınç deneyleri, tuğlaların delik doğrultusunda ve delik doğrultusuna dik yönde elektronik pres makinesi yardımıyla verilen basınç ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28 : Tuğla standart basınç deneyi.

Pres makinesinin yükü uygulayan tablalarının, düz bir yüzeye oturması için öncelikle tuğlaların delikli ve deliğe dik yüzeylerine harç ile düzgün bir yüzey hazırlanmıştır. Hazırlanan 8 adet tuğla numunesi, standart basınç deneylerini gerçekleştiren pres makinesi ile denenmiştir. Tuğla basınç değerleri Çizelge 3.3’de görülmektedir. Bu çizelgedeki değerlere göre tuğlaların ortalama basınç dayanımı delik doğrultusunda 8.10 MPa, delik doğrultusuna dik yönde ise 1.68 MPa olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.3 : Tuğla basınç deneyi sonuçları.

TUĞLA NUMUNELERİ					
Delik Doğrultusunda	Pmax (kN)	σ_{max} (MPa)	Delğe Dik Doğrultuda	Pmax (kN)	σ_{max} (MPa)
1	59.10	9.25	1	15.60	1.70
2	46.10	7.31	2	15.20	1.50
3	55.90	8.85	3	32.90	-
4	45.30	7.00	4	16.50	1.83
Ortalama σ (MPa)		8.10	1.68		

3.3.3 CFRC harcı deneyleri

Dolgu duvarlı betonarme çerçeveler üretildikten sonra bu çerçevelerden 6 tanesi CFRC kompozit malzeme ile çeşitli şekillerde güçlendirilmiştir. Bu güçlendirme, puzolanik esaslı harçtan oluşan bir güçlendirmedir. Harcın mekanik özellikleri eşkenar dörtgen duvar deneyleri anlatılırken verilmiştir. CFRC harcı ile ilgili basınç deneyleri elektronik pres makinesi yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29 : CFRC harcı basınç deneyleri.

Güçlendirme için hazırlanan harçtan 2 adet 15cm×30cm ve 2 adet 10cm×20cm ebatlarında silindir numune alınarak harcın basınç değerleri ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 3.4’de verilmiştir. Buna göre, betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde kullanılan CFRC harcının ortalama nihai basınç değeri 24.99 MPa’dır.

Çizelge 3.4 : CFRC harcı basınç deneyi sonuçları.

CFRC HARCİ		
NUMUNE ADI	P _{max} (kN)	σ_{max} (MPa)
1	420.90	23.82
2	446.30	25.26
3	205.60	26.93
4	193.40	23.95
Ortalama σ (MPa)		24.99

3.3.4 Donatı çekme deneyleri

Betonarme çerçeve numunelerinin kolon ve kirişlerinde kullanılan Ø8'lik donatılardan numuneler alınarak donatı çekme dayanımını belirlemek amacıyla çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Donatı çekme deneyi, ilgili standart olan TS708'e uyularak, mekanik çekme aleti yardımıyla yapılmıştır.

Alınan donatı numuneleri, öncelikle şekildeğiştirme ölçerlerin donatıya iyice yapışması için zımpara yardımıyla temizlenmiş, daha sonra donatıların temizlenen yerlerine şekildeğiştirme ölçerler yapıştırılarak bantlanmıştır. Şekildeğiştirme ölçerler veri toplayıcıya bağlanmış ve bilgisayar yardımıyla deney düzeneğinin kontrolü sağlanmıştır (Şekil 3.30).



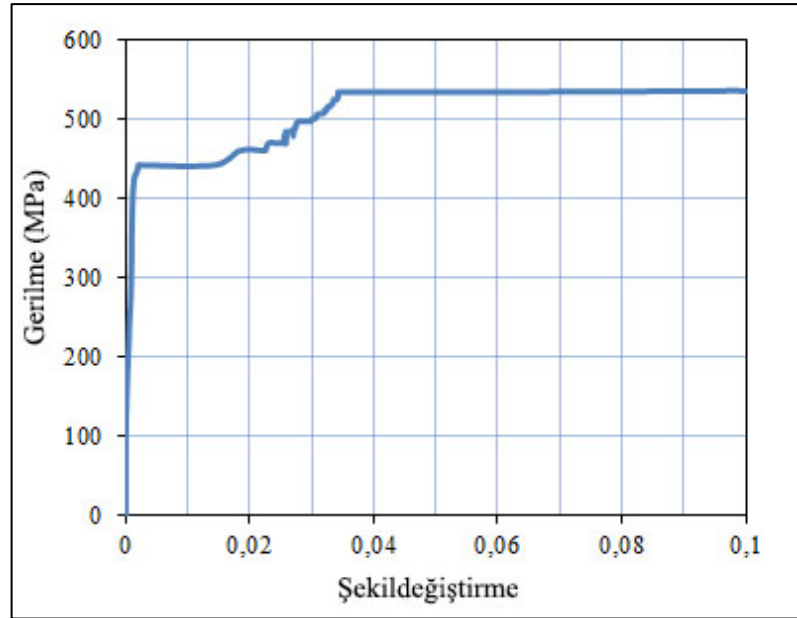
Şekil 3.30 : Donatı çekme deneyi.

Toplam 3 adet Ø8 çapındaki donatı numunesi denenmiştir. Numunelerin deney esnasında ve sonrasındaki resimleri Şekil 3.31'de verilmiştir.



Şekil 3.31 : Donatı numunelerinin resimleri.

Deney sırasında alınan verilerden, donatı numunelerinin ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Şekil 3.32) elde edilmiştir.



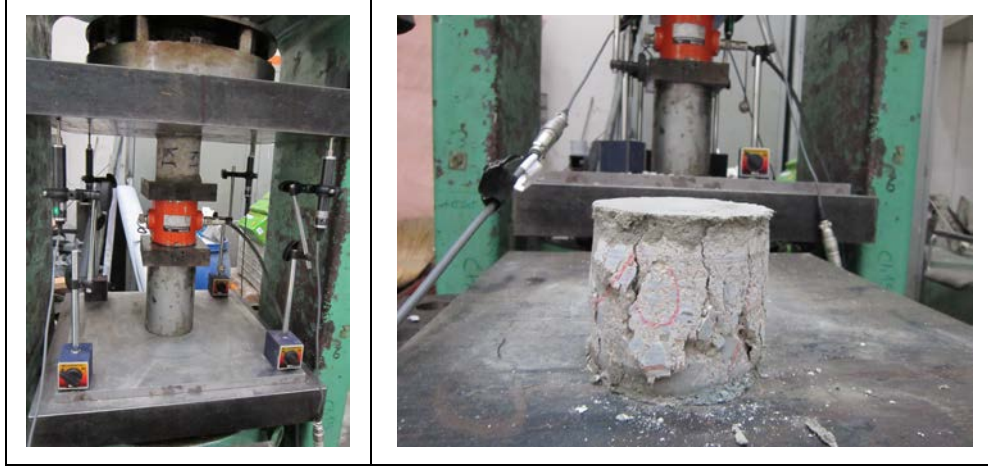
Şekil 3.32 : Donatıların ortalama gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

3.3.5 Beton basınç deneyleri

Betonarme çerçevelerin kolonlarında ve kirişlerinde kullanılan betonun, basınç dayanımını ve gerilme-şekil değiştirme eğrilerini elde etmek için, statik deneyleri tamamlanmış betonarme çerçeve numunelerinin değişik yerlerinden 9cm×10cm ebatlarında 6 adet silindir karot numunesi alınmıştır. Alınan karotlardan iki tanesi standart basınç deneyinde, diğer dördü gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin bulunmasında kullanılmıştır.

Karotlar numunelerden alındıktan sonra karotların yüzeylerinin düzgün olması amacıyla çimento harcından karotlara düz yüzeyli ve pürüzsüz başlıklar yapılmıştır.

Hazırlanan karotlar, beton gerilme-şekil değiştirme eğrisinin elde edilmesi için hazırlanan düzeneğe yerleştirilmiştir. Düzenekte bulunan yük ölçer yardımıyla yük, LVDT'ler yardımıyla da yer değiştirme değerleri veri toplayıcıya aktarılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Beton numunelere basınç uygulayan başlığın her bir köşesinde bir tane olmak şartıyla toplam 4 adet LVDT kullanılmıştır (Şekil 3.33). Sonuçlar değerlendirilirken bu LVDT'lerin ortalaması kullanılmıştır.



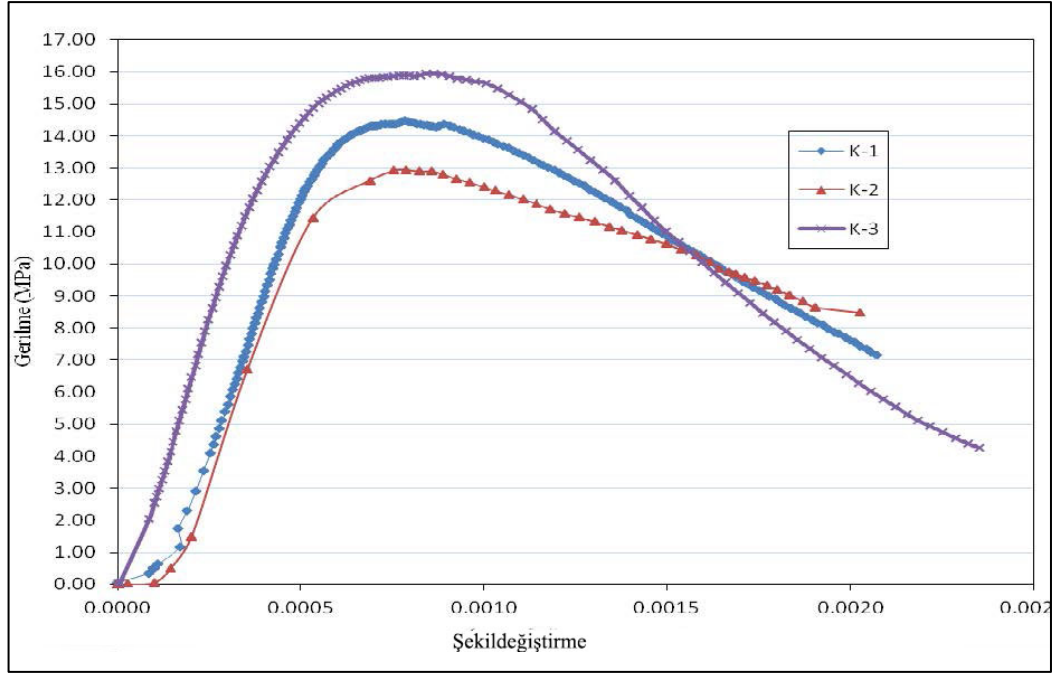
Şekil 3.33 : Karot numunesi basınç deneyleri.

Betonarme çerçeve numunelerine ait karot numunelerinin basınç dayanımı ve betonun ortalama dayanımı Çizelge 3.5’de görülmektedir. Betonun nihai dayanımı, ortalama 13.45 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.5 : Karot numunelerinin basınç deneyi sonuçları.

ÇERÇEVEDEN ALINAN KAROTLAR				
NUMUNE ADI	Çap (mm)	Yükseklik (mm)	Pmax (kN)	σ_{max} (MPa)
1	93.5	91	68.5	9.87
2	93.5	82	93.9	13.53
3	94.0	97	100.5	14.47
4	94.0	91	96.7	13.93
5	94.0	94	89.8	12.94
6	94.0	91	110.7	15.96
Ortalama σ (MPa)				13.45

Deneyler sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 3.34’de görülmektedir.



Şekil 3.34 : Betonarme çerçeve betonunun gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

3.4 Deney Düzenegi

Bu bölümde betonarme çerçeve deneylerinde kullanılan ölçüm düzeneği, yükleme düzeneği ve yükleme protokolü anlatılmıştır.

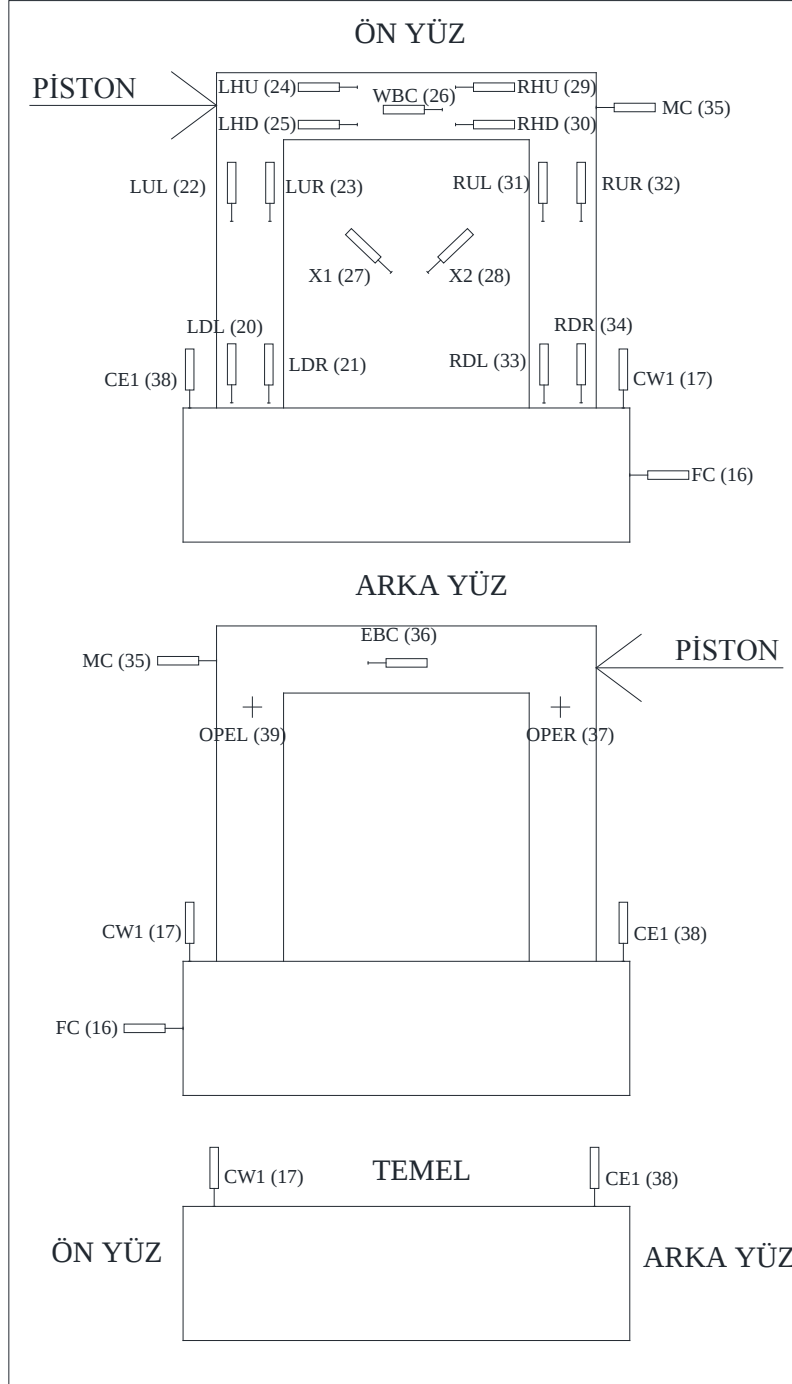
3.4.1 Ölçüm düzeneği

Betonarme çerçeve numunelerinin, deney sürecindeki davranışlarına göre farklı yerlerinde meydana gelen yer değiştirmelerin ölçümü için, TML marka CDP-5, CDP-10, CDP-25 ve SDP-100 tipi LVDT'ler kullanılmıştır. Bu LVDT'lerin, bilgisayara bağlı olan elektronik veri toplayıcıya bağlanmasıyla ölçüm alınabilmektedir. Ölçümler, her adımda otomatik olarak toplanarak bilgisayara aktarılmıştır.

LVDT'ler, numune yüzeyine, numuneyi itme ve çekme esnasında veri alacak şekilde yerleştirilmiştir. Yer değiştirme ölçüm düzeneği ve kanal numaraları Şekil 3.35'de verilmiştir.

Deney numunelerinin farklı bölgelerindeki yer değiştirmelerin belirlenmesi ve kontrol amaçlı olarak, numune temelinde meydana gelen genel kalkma, numune gövdesindeki toptan kayma ve numunenin düzlem dışı hareketlerinin ölçülebilmesi için numune üzerine toplam 22 adet LVDT yerleştirilmiştir. Kolon ve kiriş uç bölgelerinde oluşan şekil değiştirme, dönme ve eğriliklerin hesaplanabilmesi için

CDP-5 tipi LVDT'ler kullanılmıştır. Bu LVDT'ler, imalat aşamasında numuneye yerleştirilmiş dişli çubuklar üzerine, somunlarla her iki taraftan, ölçerin dönme hareketini engelleyecek biçimde sıkıştırarak monte edilmiştir.



Şekil 3.35 : LVDT yerleri ve kanal numaraları.

Toplam 12 adet yerdeğiştirme ölçer, kolon ve kiriş uç bölgelerine yerleştirilmiştir. Numunenin tepe yer değiştirmesinin ölçümü için üç adet LVDT kullanılmıştır. Bunlar numunenin ön yüzündeki WBC, arka yüzündeki EBC ve kiriş-kolon birleşim

noktasındaki MC kodlu yerdeğiştirme ölçerlerdir. Bu LVDT'ler, numuneye uygulanan tersinir yüklemeler sonucu kiriş ekseninde oluşan tepe yer değiştirmesini ölçmektedir. MC ve WBC kodlu yerdeğiştirme ölçerler, SDP-100 tipinde olup veri toplayıcının (Data Logger) 35. (MC) ve 26. (WBC) kanallarından ölçüm almıştır (Çizelge 3.6).

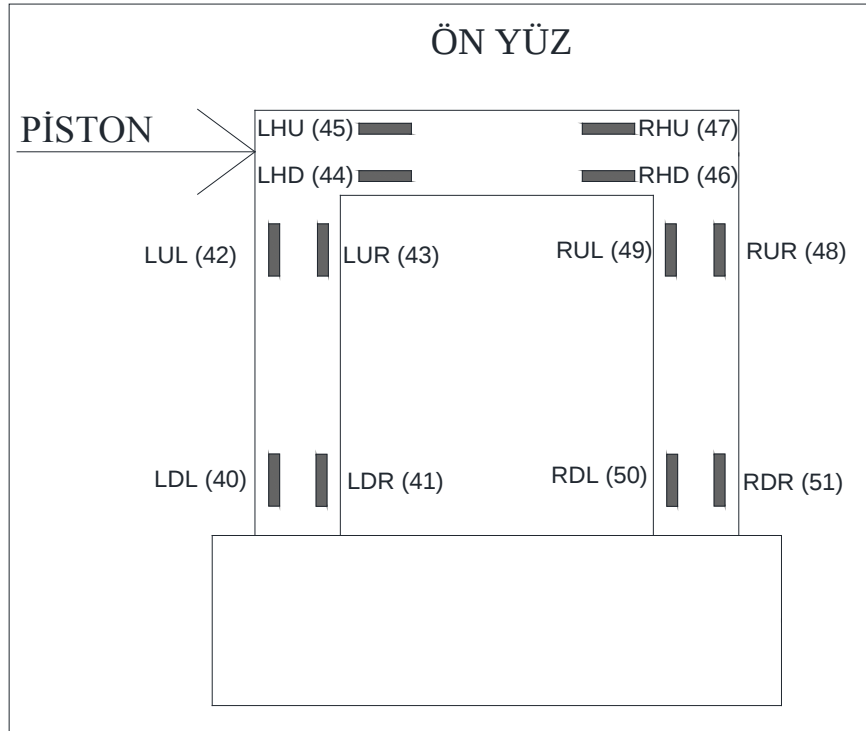
Çizelge 3.6 : Deneylerde kullanılan LVDT listesi.

YERDEĞİŞTİRME ÖLÇER (LVDT) LİŐTESİ		
LVDT Kodu	LVDT Tipi	Kanal Numarası
FC	CDP-10	16
CW1	CDP-25	17
LDL	CDP-5	20
LDR	CDP-5	21
LUL	CDP-5	22
LUR	CDP-5	23
LHU	CDP-5	24
LHD	CDP-5	25
WBC	SDP-100	26
X1	CDP-10	27
X2	CDP-10	28
RHU	CDP-5	29
RHD	CDP-5	30
RUL	CDP-5	31
RUR	CDP-5	32
RDL	CDP-5	33
RDR	CDP-5	34
MC	SDP-100	35
EBC	CDP-25	36
OPER	CDP-25	37
CE1	CDP-25	38
OPEL	CDP-25	39

Numunenin arka yüzündeki tepe yer değiştirmesini ölçen EBC kodlu LVDT ise CDP-25 tipinde olup 36. kanaldan ölçülmüştür. EBC ve WBC kodlu yerdeğiştirme

ölçerler, numunenin düzlem dışı hareketini engelleyen sabit çubuklara mesnetlenmiştir. Deney sırasında numunede oluşabilecek düzlem dışı hareket, OPEL ve OPER kodlu ölçerlerden kontrol edilmiştir. Taban kayması FC kodlu ölçerden, temeldeki genel kalkma CE1 ve CW1 kodlu ölçerlerden, veri toplayıcının, sırasıyla 16, 38 ve 17 nolu kanallarından kontrol edilerek ölçülmüştür. Çizelge 3.6'da tüm yerdeğiştirme ölçerlerin kodları, yerdeğiştirme ölçer tipi ve kanal numaraları verilmiştir.

Yapılan yer değiştirme okumalarına ilave olarak, donatılara yapıştırılan şekildeğiştirme ölçerlerin (strain gauge) yardımıyla, yine deney sırasındaki numune davranışına göre, donatılarda meydana gelen şekil değiştirme okumaları yapılmıştır. Şekil değiştirme ölçüm düzeneği ve kanal numaraları Şekil 3.36'da görülmektedir.



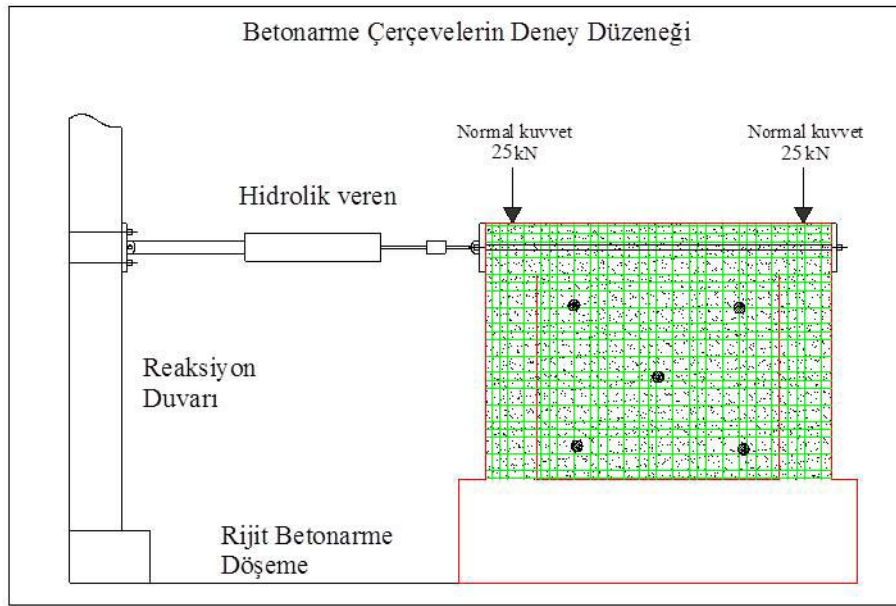
Şekil 3.36 : Şekildeğiştirme ölçer yerleri ve kanal numaraları.

3.4.2 Yükleme düzeneği

Deneyisel çalışma, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında mevcut bulunan yükleme düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çelik profillerden oluşmuş yükleme çerçevesi oluşan reaksiyon kuvvetlerini rijit laboratuvar döşemesine emniyetle aktarmaktadır. Tersinir yatay yükleme, ± 280 kN yükleme ve ± 94 mm yer değiştirme kapasiteli DARTEC hidrolik veren ile gerçekleştirilmiştir. DARTEC hidrolik verenin reaksiyon kuvveti, betonarme

reaksiyon duvarına aktarılmıştır. Hidrolik verenin her iki ucunda düzlem ve düzleme dik doğrultuda çalışabilen mafsallar bulunmaktadır.

Ayrıca, numuneler 5 katlı bir yapının zemin katında bulunan bir aksın betonarme çerçevesi olarak düşünüldüğünden, eksenel yük etkisine de maruz bırakılmıştır. Eksenel yük değeri, kolonların taşıma gücü kapasitesinin %20'sini geçmeyecek şekilde her bir kolon için 25kN olmak üzere hesaplanmıştır. Hidrolik krika ile uygulanan eksenel yük değeri, yük ölçer yardımıyla veri toplayıcıya ve bilgisayara aktarılarak deney süresince sürekli kontrol edilmiştir (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 : Betonarme çerçeve deney düzeneği.

Tersinir yükleme yapabilmek için hidrolik verenin başlığındaki deliklerden geçirilen Ø18 mm çaplı iki adet yüksek dayanımlı ankraj çubukları, numunenin diğer ucundaki kalın çelik plakaya somunlar yardımıyla bağlanmıştır. Yatay yükler etkisinde, temelin ankastrelik koşullarını sağlayabilmesi için 24 adet Ø18 mm çaplı ankraj bulonu kullanılmıştır. Ankraj bulonlarına ön germe verilmiştir. Deneyler sırasında yapılan kontrol ölçümleri, mesnetlenmenin ankastrelik durumuna çok yakın olduğunu göstermiştir. Deney esnasında numunenin düzlem dışı hareketinin engellenmesi amacıyla deney düzeneğinin ön ve arka yüzlerinde ve kiriş seviyesinde iki adet çelik çubuk kullanılmıştır. Bu çelik çubuklar deney çerçevesine takılıp çıkarılabilecek şekildedir. Çelik çubukların kesitindeki boşluklardan geçirilen özel tekerlek mekanizması, deney numunesini düzlem içinde tutmuştur.

Statik deneyler yer değiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir çevrim için hedeflenen yer değiştirme değerleri, bilgisayar ve kontrol üitesi aracılığı ile DARTEC hidrolik verene iletilmiş ve oluşan reaksiyon kuvveti veren gövdesine bağlı yük ölçer ile ölçölmüştür. elik yükleme erevesi ve deney düzeneğinin diğer parçaları şekil 3.38’de görönmektedir.



şekil 3.38 : Deney düzeneğinin görönuşü.

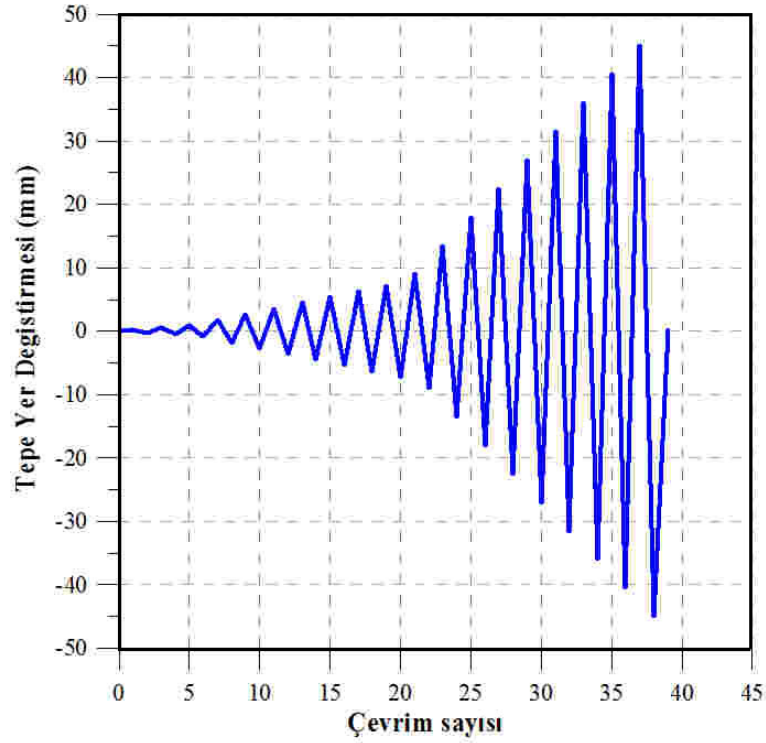
3.4.3 Yükleme protokolü

Deneyler statik ve tek çevrimli olarak yapılmıştır. Statik deneylerde kullanılan yükleme protokolü şekil 3.39’da verilmiştir. Her yer değiştirme genliği, numuneyi bir kez itme ve çekme olarak uygulanmıştır.

Deneylerin tamamı yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Yer değiştirme çevrimleri özel olarak geliştirilen bir yazılımla bilgisayardan hidrolik verene komut olarak iletilmektedir. Hedef yer değiştirme ve adım sayısı değerlerinin yazılıma girilmesi ile istenen hedefe adım adım gidilmektedir.

Bütün betonarme ereve deneyleri, ulaşılan maksimum yatay yük taşıma kapasitesinin % 85’ine düşöldüğünde sonlandırılmıştır. Bunun sebebi beton kalitesinin düşöklüğünden dolayı, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi değerinden

hemen sonra numunelerin ağır hasar seviyelerine ulaşmasıdır. Bu durum deney düzeneğini ve ölçümlerini etkilediği için deneyler sonlandırılmıştır.

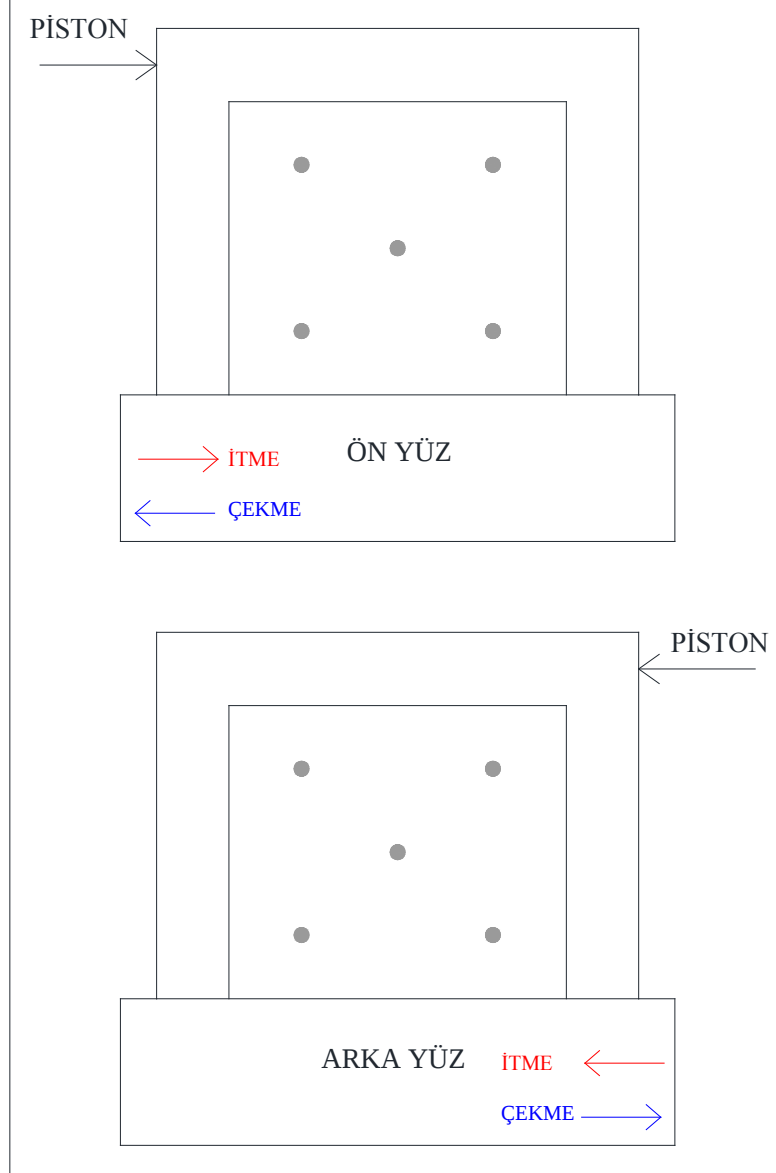


Şekil 3.39 : Statik deneylerde uygulanan yükleme protokolü.

3.5 Betonarme Çerçeve Deneyleri

Betonarme çerçeveler, önceki bölümlerde anlatılan deney ve ölçüm düzenekleri kullanılarak, yükleme protokolüne uygun bir vaziyette, numunelere itme ve çekme hareketleri uygulanarak tersinir ve aynı zamanda eksenel yükler altında statik olarak denenmiştir. Numunelere, deneylerde uygulanan eksenel yük sabit tutulmuş ve her bir kolona 25 kN olmak üzere verilmiştir.

Deneylerde, her bir itme ve çekme hareketi bir çevrim (cycle) olarak tanımlanmıştır. Deney sırasında numunelerde oluşan çatlaklar harflerle isimlendirilmiştir. Numunenin ön yüzünde oluşan ilk çatlak A harfi ile gösterilmiş sonra oluşan çatlaklara da sırasıyla diğer harfler verilmiştir. Numunenin arka yüzünde oluşan ilk çatlak ise A' ile isimlendirilmiştir. Sonraki çatlaklar da sırasıyla harflere (') işareti verilerek tanımlanmıştır. Verilen çatlak genişlikleri, tamamlanan çevrimin sonunda ölçülen genişliklerdir. Kırmızı kalem ile çizilmiş çatlaklar itme sırasında, mavi kalemle çizilen çatlaklar ise çekme sırasında oluşan çatlaklardır (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 : Deneylerde uygulanan itme-çekme yönleri ve kalem renkleri.

Deneylere öncelikle referans grupları (yalın ve dolgu duvarlı çerçeveler) ile başlanıp daha sonra CFRC ile güçlendirilen numunelere geçilmiştir. Deney sonunda her bir numunenin deneysel parametrelerinden yola çıkılarak yük-yer değiştirme ilişkisi ve zarf eğrileri çizilmiş, enerji tüketimleri belirlenmiş ve referans gruplarıyla karşılaştırılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bir sonraki bölümde, her bir numunenin deneyi sırasında meydana gelen önemli olaylar, numunelerde oluşan çatlaklar ve deneylerde yapılan gözlemler kısaca özetlenmektedir.

3.5.1 Yalın çerçeve deneyi

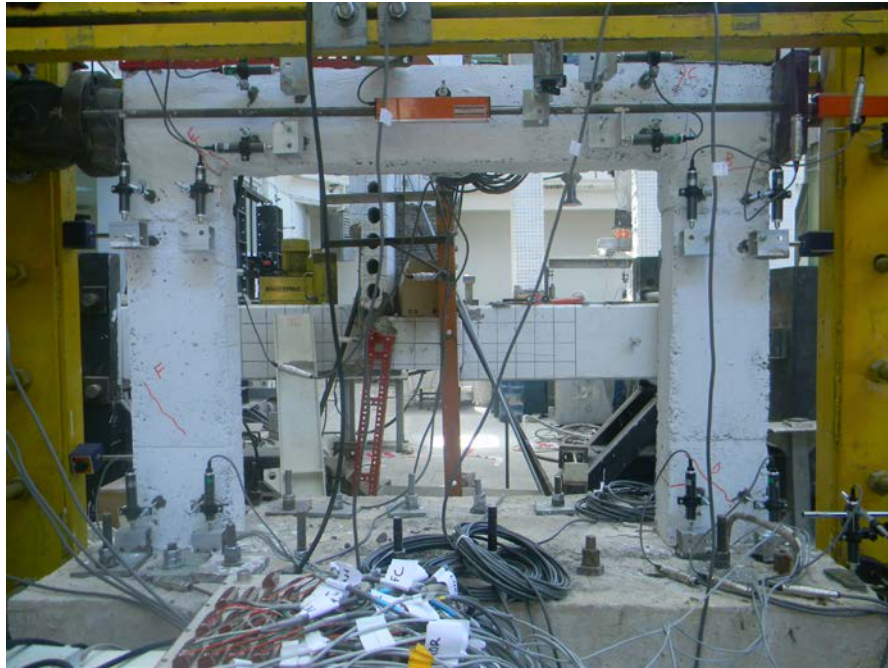
Deneyde ilk çatlak 7.çevrimde çekme sırasında ön yüzde oluşmuştur. Pistonun karşı tarafında bulunan kolon-kiriş birleşim bölgesinde 0.1mm'den küçük A çatlağı

oluşturmuştur. Çekme sırasında arka yüzde simetrik olarak aynı genişlikte A' çatlakları meydana gelmiştir.



Şekil 3.41: 7. çevrimde ön ve arka yüzde oluşan çatlaklar.

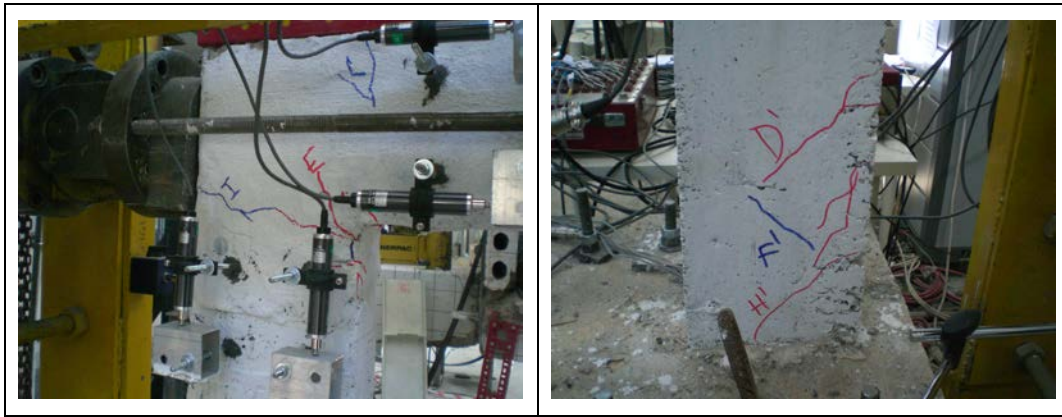
8. çevrimde itme sırasında ön yüzde sırasıyla B, C ve D çatlakları oluşmuştur. Bu çatlakların genişlikleri 0.1mm'den küçüktür. A çatlaklarının genişliği 0.1mm'ye ulaşmıştır. Arka yüzde yine itme sırasında B', C', D' ve E' çatlakları meydana gelmiştir. Bu çatlakların da genişliği 0.1mm'den küçüktür. Bir önceki çevrimde oluşan A' çatlaklarının genişliği 0.1mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.42).



Şekil 3.42 : Çerçevenin 8. çevrim sonundaki durumu.

9. çevrimde itme sırasında ön yüzde piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde E çatlakları oluşmuştur. Bu çatlakları her iki kolonun temele yakın bölgelerinde oluşan F, G ve H çatlakları takip etmiştir. Çatlak genişlikleri

0.1mm'den küçüktür. Mevcut A çatlakları çekme sırasında ilerlemiştir ve genişliği 2mm olarak ölçülmüştür. Çekme sırasında ön yüzde ayrıca I çatlakları meydana gelmiştir. Bu çatlakların da genişliği 0.1mm olarak ölçülmüştür. Çekme sırasında pistonun karşı tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesi iç tarafındaki köşeden çatlamıştır. Mevcut A ve A' çatlakları kiriş altından ilerleyerek birleşmiştir. Benzer şekilde H çatlakları da ilerleyerek kolon içine doğru dönmüştür. Arka yüzde çekme sırasında genişliği 0.1mm'den küçük F' ve G' çatlakları her iki kolonun temele yakın alt bölgelerinde ortaya çıkmıştır. Mevcut C' çatlaklarının genişliği 1.5mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.43).



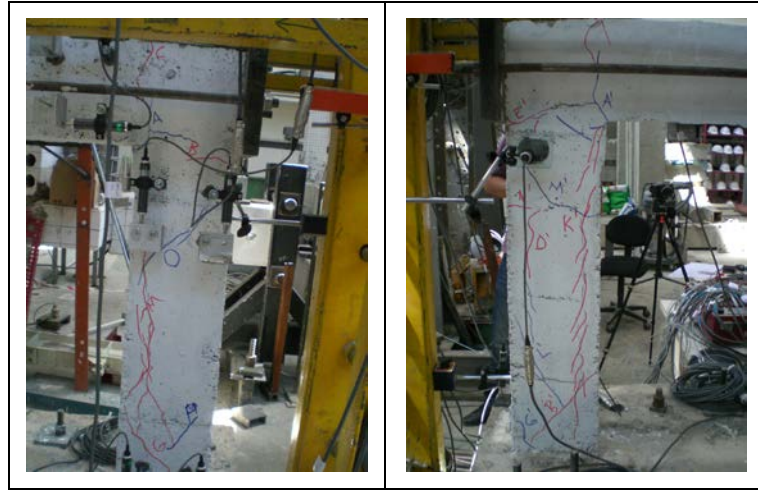
Şekil 3.43 : 9. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

10. çevrimde itme sırasında ön yüzde, piston tarafındaki kolonun alt bölgesinde K çatlakları oluşmuştur. Çekmede ise kirişte L çatlakları ortaya çıkmıştır. İki çatlakların da genişliği 0.1mm'den küçüktür. Bu çevrimde ön yüzde piston tarafındaki kolon-kiriş bölgesi ayrılmaya başlamış E ve C' çatlakları kiriş altından ilerleyerek birleşmiştir. Arka yüzde itme sırasında piston tarafındaki kolonda parçalı H' çatlakları 0.1mm'den küçük genişlikte oluşmuştur. Mevcut C' çatlakları 1.5mm genişlikte ölçülmüştür. Çekme sırasında piston tarafındaki kolonda bulunan C' çatlakları ilerlemiştir.

11. çevrimde itme sırasında ön yüzdeki C çatlaklarının genişliği 2mm olarak ölçülmüştür. I çatlakları ilerlemiştir. Çekmede ise A-A' çatlaklarının genişliği 2.5mm olarak ölçülmüştür. Arka yüzde H' çatlakları ilerleyerek kolon dışına doğru dönmüştür.

12. çevrimde itme sırasında ön yüzde pistonun karşı tarafındaki kolonda parçalı M çatlakları oluşmuştur. Bu çatlak 0.1mm genişlikte ortaya çıkmıştır. Mevcut C çatlaklarının genişliğinde bir değişiklik olmamıştır. F çatlaklarının genişliği 0.1mm olarak ölçülmüş ve bu çatlakların J çatlakları ile birleştiği görülmüştür. G ve H çatlaklarının

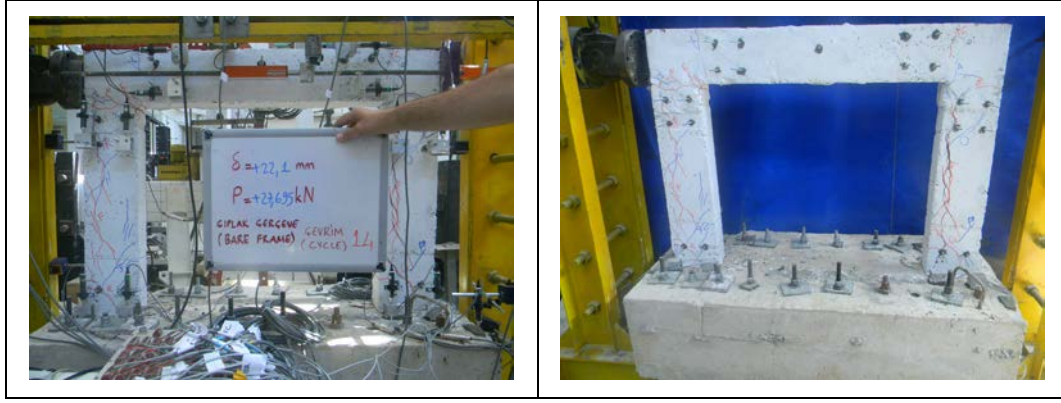
genişlikleri ise 2.5mm'ye ulaşmıştır. Çekme sırasında ise ön yüzde O, N ve P çatlakları oluşmuştur. Bu çatlakların da genişliği 0.1mm'nin altındadır. Arka yüzde itme sırasında pistonun karşı tarafındaki kolonda parçalı olarak K' çatlakları ortaya çıkmıştır. Bu çatlaklar ön yüzdeki M çatlaklarının simetriğidir. Çekme sırasında L' ve M' çatlakları yine pistonun karşı tarafındaki kolon yüzeyinde meydana gelmiştir. Mevcut C' çatlağının genişliği 2.5mm'ye B' çatlağının genişliği ise 2mm'ye ulaşmıştır. L' ve M' çatlakları 0.1mm'den küçük çatlaklardır. F' çatlağı ilerlemiştir (Şekil 3.44).



Şekil 3.44 : 12. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

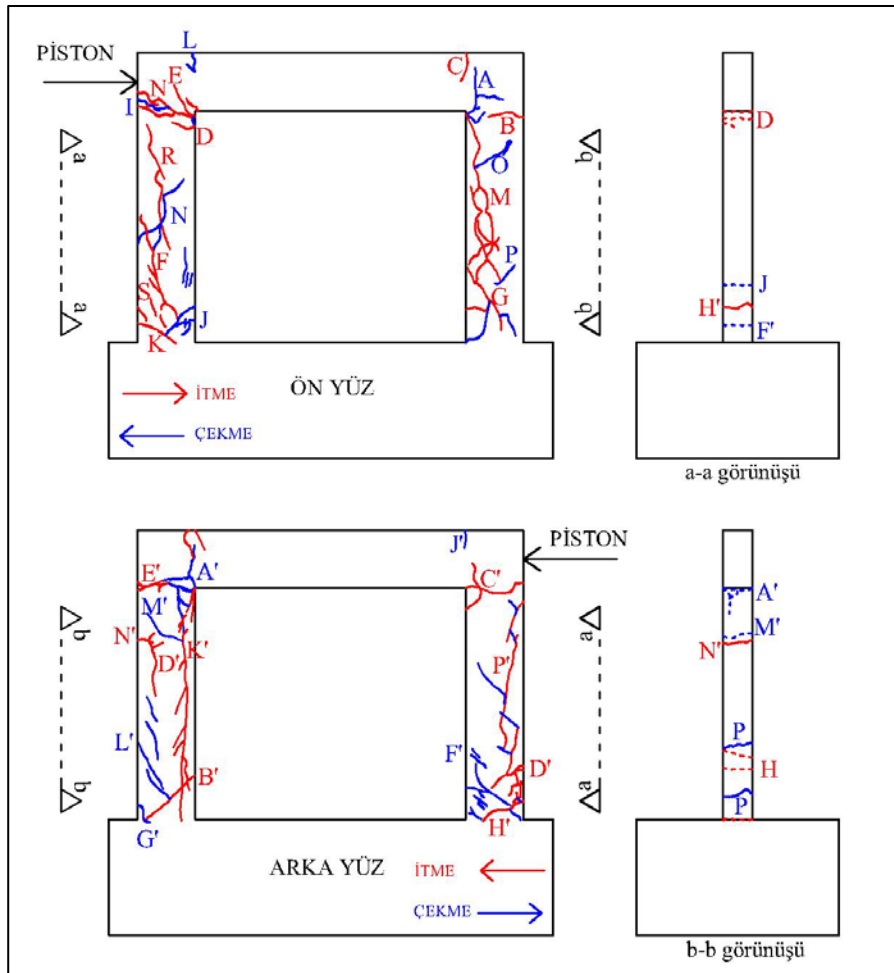
13. çevrimde itme sırasında ön yüzde R ve S çatlakları oluşmuştur. Piston tarafındaki kolonda oluşan bu çatlaklar parçalı çatlaklardır. Mevcut olan F çatlağı da parçalı hale bu çevrimde gelmiştir ve genişliği 3mm olarak ölçülmüştür. N ve M çatlakları bu çevrimde ilerlemiştir. G, M ve K çatlaklarının genişlikleri sırasıyla 3mm, 2mm ve 3mm olarak ölçülmüştür. Çekme de ise mevcut I, M ve O çatlaklarının genişliği sırasıyla 0.8mm, 1.3mm ve 0.7mm olarak ölçülmüştür. Arka yüzde itme sırasında piston tarafındaki kolonda P' parçalı çatlakları oluşmuştur. Bu çatlaklar da ön yüzdeki R çatlaklarının simetriğidir. Mevcut B' çatlağının genişliği 3mm'ye ulaşmıştır.

14. çevrimde itme sırasında kolon-temel birleşim bölgeleri, çekme sırasında ise kolon-kiriş birleşim bölgeleri kırılmıştır. Mevcut çatlak genişlikleri yüksek değerlere ulaşmıştır. Ağır hasar gören numune üzerindeki deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.45).



Şekil 3.45 : Son çevrim sonrası numunenin görüntüsü.

Deney sırasında yalın çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.46’da gösterilmiştir.



Şekil 3.46 : Yalın çerçeve hasar şeması.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7: Yalın çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
7	4.50	0.5	$A < 0.1\text{mm}$, $A' < 0.1\text{mm}$
8	5.40	0.6	$A = 0.1\text{mm}$, $A' = 0.1\text{mm}$, $B, C, D < 0.1\text{mm}$, $B', C', D', E' < 0.1\text{mm}$
9	6.30	0.7	$E, F, G, H < 0.1\text{mm}$, $I = 0.1\text{mm}$, $A = 2\text{mm}$, A çatlağı ilerledi, A ve A' çatlakları birleşti. H kolonun içine devam etti. $F', G' < 0.1\text{mm}$, $C' = 1.5\text{mm}$
10	7.20	0.8	$K, L < 0.1\text{mm}$, E ve C' çatlakları birleşti, $H' < 0.1\text{mm}$, $C' = 1.5\text{mm}$ C' çatlağı ilerledi.
11	9.00	1	$A = 2.5\text{mm}$, $C = 2\text{mm}$, I çatlağı ilerledi. $A' = 2.5\text{mm}$, $J' < 0.1\text{mm}$
12	13.50	1,5	$G, H = 2.5\text{mm}$, $C = 2\text{mm}$, $M, F = 0.1\text{mm}$, $N, O, P < 0.1\text{mm}$, F ve J çatlağı birleşti, $A' = 3\text{mm}$, $C' = 2.5\text{mm}$, $B' = 2\text{mm}$, $K', L', M' < 0.1\text{mm}$, F' çatlağı kolon içine ilerledi.
13	18.00	2	$G, F, K = 3\text{mm}$, $M = 2\text{mm}$, $R, S < 0.1\text{mm}$, $I = 0.8\text{mm}$, $O = 0.7\text{mm}$, $K = 1.5\text{mm}$, M, N çatlağı ilerledi, $B' = 3\text{mm}$, $P' < 0.1\text{mm}$
14	22.50	2.5	$E, K, R = 1.5\text{mm}$, $F = 1\text{mm}$, $G = 2\text{mm}$, $M = 6\text{mm}$, $B' = 3.5\text{mm}$, $H' = 1.5\text{mm}$, $K', M' = 5\text{mm}$

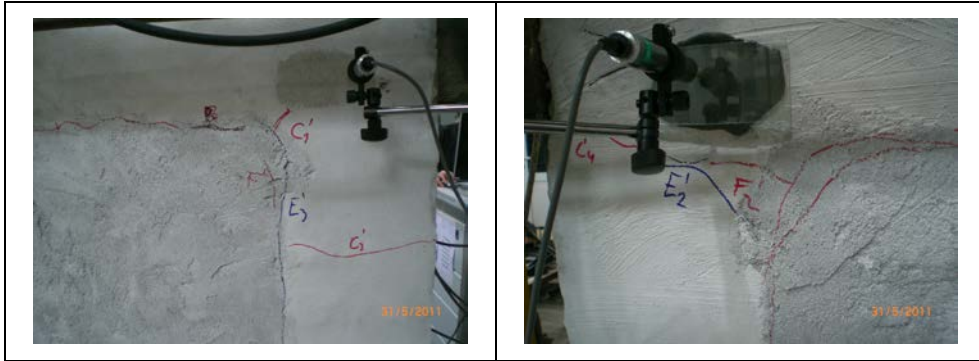
3.5.2 Dolgu duvarlı çerçeve deneyi

Bu deneyde ilk hasar, 2. çevrimde çekme sırasında ön yüzde oluşmuştur. Pistonun karşı tarafındaki kolon ile duvar arasında, sıva üzerinde 0.1mm'den küçük A çatlağı oluşmuştur. Bir sonraki çevrim olan 3. çevrimde, itmede ön yüzde genişliği 0.1mm'den küçük B çatlağı meydana gelmiştir. Arka yüzde de aynı genişlikte B' çatlağı oluşmuştur. Çekmede ise ön yüzdeki A çatlağının simetriği arka yüzde A' çatlağı olarak belirginleşmiştir (Şekil 3.47).



Şekil 3.47 : 3. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

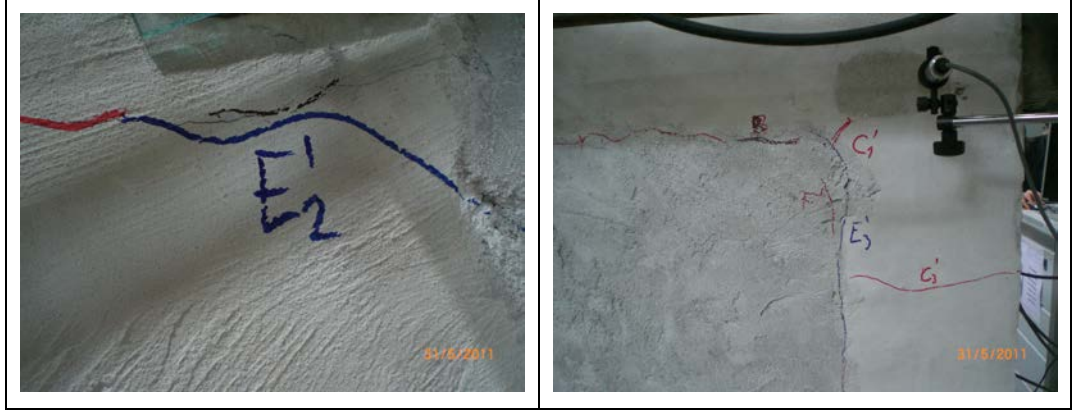
4. çevrim itmede, numunenin arka yüzünde piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde C₁' çatlağı, bu çatlağın altında kolon orta bölgesinde de duvar ile ayrılma sınırını gösteren C₂' çatlağı oluşmuştur (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 : 4. çevrim itme sırasında oluşan çatlaklar.

Bu çatlakları sırasıyla genişliği 0.1mm'den küçük C₃', C₄', C₅' ve C₆' çatlakları izlemiştir. C₄' çatlağı pistonun karşı tarafındaki kolonda oluşmuştur. Kolon ile duvar sınır bölgesinde sıva dökülmeleri başlamıştır. Ön yüzde bu sefer piston tarafındaki kolon ile duvar sınırı sıva üzerinden belirginleşmiş ve 0.1mm'den küçük C₁ çatlağı oluşmuştur. Yine bu kolonda, kolon-kiriş ile birleşim bölgesinde 0.1mm'den küçük C₂ çatlağı oluşmuştur. F₁' ve F₂' çatlakları arka yüzde her iki kolon-kiriş birleşim bölgesinde de meydana gelmiştir. D çatlağı 0.1mm genişlikte numunenin ön yüzünde

belirmiştir. İtme sırasında B' çatlağı ilerlemiştir. Çekme sırasında arka yüzde genişliği 0.1mm'den küçük E_1' , E_2' ve E_3' çatlakları meydana gelmiştir. A' çatlağı ise büyüyerek 0.2mm genişliğe ulaşmıştır (Şekil 3.49).



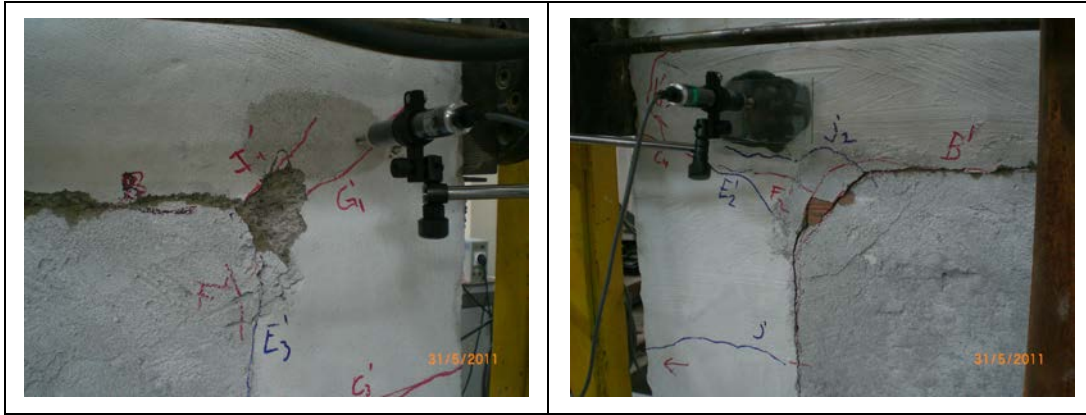
Şekil 3.49 : 4. çevrim sonunda oluşan çatlaklar.

5. çevrimde itme sırasında genişliği 0.1mm olan G_1' çatlağı arka yüzde piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuştur. Mevcut C_1' çatlağının genişliği 0.1mm, B' çatlağının genişliği ise 0.2mm ölçülmüştür. Bu çevrimde sıvalar dökülmeye başlamış, C_5' çatlağı ilerlemiştir. Çekmede ise ön yüzde ilk olarak 0.1mm genişlikte G_1 çatlağı oluşmuştur. Piston tarafındaki kolon ile üst duvar kösesi arasında oluşan bu çatlağı sırasıyla H_1 , H_2 ve H_3 çatlakları izlemiştir. 0.1mm'den küçük olan bu çatlaklar numunenin ön yüzünde, pistonun karşı tarafındaki kolon üzerinde yatay çizgiler olarak ortaya çıkmıştır. Arka yüzde ise 0.1mm'den küçük H_1' , ve H_2' çatlakları pistonun karşı tarafındaki kolonda, temele yakın bölgede belirmiştir. Bu çevrimde B çatlağının genişliği 0.3mm, A çatlağının genişliği ise 0.2mm olmuştur. Numune yüzeyinde sıvalar dökülmeye devam etmiştir (Şekil 3.50).



Şekil 3.50 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

6. çevrim itmede ön yüzde A çatlağı ilerleyerek temele kadar inmiştir. C_2 çatlağı da yukarı doğru ilerlemiştir. Kiriş ile duvar sınırında sıva dökülmeleri gözlemlenmiştir. Piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde, 0.1mm genişliğe sahip I kayma çatlağı oluşmuştur. Simetrik olarak arka yüzde aynı bölgede I_1' çatlağı meydana gelmiş, mevcut C_1' çatlağı da ilerlemiştir. Çekme sırasında ön yüzde pistonun karşısındaki kolonda J_1 ve J_2 çatlakları görülmüştür. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde yoğunlaşan bu çatlaklar 0.1mm'den küçük olarak meydana gelmiştir. Arka yüzde bu çatlakların simetriği olan J_1' ve J_2' çatlakları oluşmuştur. Çekme sırasında B ve C_2' çatlaklarının genişliği 1.5mm olarak ölçülmüştür. B' çatlağının etrafında ileri seviyede sıva dökülmeleri başlamış ve H_2' çatlağı ilerlemiştir (Şekil 3.51).



Şekil 3.51 : 6. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

7. çevrim itmede arka yüzde, 0.1mm genişlikten küçük K_1' , K_2' ve K_3' çatlakları oluşmuştur. C_2' çatlağı 2mm genişliğe ulaşmıştır. Arka yüzde kolon-kiriş birleşim bölgelerinde sıvalar dökülmüş ve tuğlalar gözükmeye başlamıştır. Diğer bölgelerde çerçeve-duvar sınırı iyice belirginleşmiştir. B ve A' çatlaklarının genişliği 5mm, D çatlağının genişliği 3mm ölçülmüştür. B' çatlağında da sıva dökülmeleri devam etmiştir. Çekme sırasında ise arka yüzde, pistonun karşı tarafındaki kolonda L_1' , L_2' çatlakları ve duvarın kiriş ile birleştiği köşede ise L_3' çatlağı oluşmuştur. Bu çatlaklar 0.1mm'den küçük olarak ölçülmüştür (Şekil 3.52).

8. çevrimde itme sırasında arka yüzde duvarda M_1' çatlağı oluşmuştur. Duvar çerçeveden tamamen ayrılmış ve F' çatlağı ilerlemiştir. Bu çevrimde A ve B çatlaklarının genişliği 7mm, I_1' çatlağının genişliği ise 3mm olarak ölçülmüştür. Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki dökülmeler çoğalarak devam etmiştir. Çekme sırasında ise ön yüzde piston tarafındaki kolonun alt bölgesinde M_1 çatlağı, bunun



Şekil 3.52 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

simetriği olarak arka yüzde M_2' çatlağı oluşmuştur. Arka yüzde her iki kolon-kiriş birleşim bölgesinde de M_3' ve M_4' çatlakları meydana gelmiştir. Özellikle pistonun karşı tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesi büyük hasar görmüştür. F' çatlağı ilerlemeye devam etmiştir. Kolonların temellere bağlandığı alt uçları çatlamaya başlamıştır. C_4' , E_2' ve F_2' çatlakları 2mm genişliğe ulaşmıştır (Şekil 3.53).



Şekil 3.53 : 8. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

9. çevrimde itme sırasında çerçeve yüzeyinden beton parçaları ayrılmaya başlamıştır. Bunun sonucunda F_1 ve I_2 çatlaklarının bulunduğu bölgeler, parçalar halinde dökülmüştür. Piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesinde 10mm genişlikte N_1 çatlağı oluşmuştur. Piston karşılarındaki kolonun temelle birleştiği bölgede O_1 çatlağı, arka tarafında da simetrik olarak O_1' çatlağı meydana gelmiştir. H_3 ve M_1 çatlakları ilerlemiştir (Şekil 3.54).

10. çevrimde itmede duvar üzerinde P_1 , P_2 ve P_3 çatlakları oluşmuştur. Ön yüzde oluşan bu çatlaklar piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesine yakın olarak meydana gelmiştir. Arka yüzde ise her iki kolonun temele mesnetlendiği noktalarda



Şekil 3.54 : 9. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

P_1' ve P_2' çatlakları oluşmuştur. Çekme sırasında temel-duvar arasındaki çatlak iyice belirgin hale gelmiştir (Şekil 3.55).



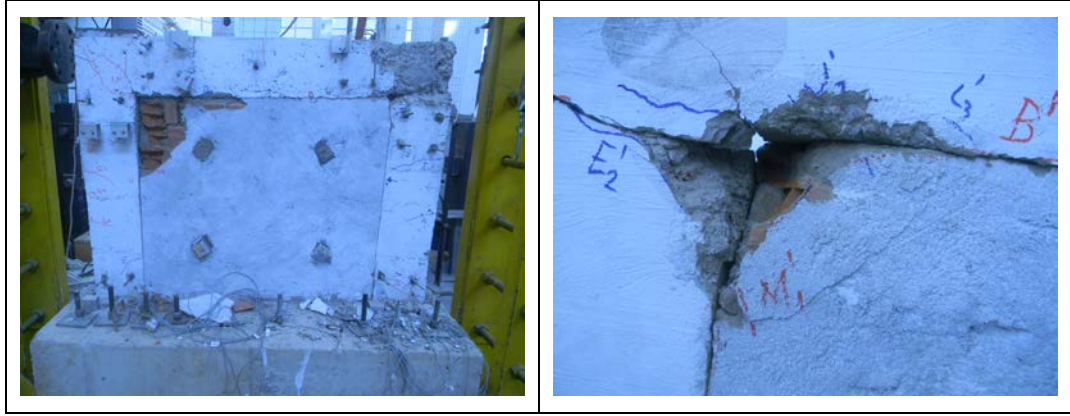
Şekil 3.55 : 10. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

11. çevrimde itmede, piston tarafındaki kolon-kiriş birleşim bölgesi ile temasta bulunan duvar köşesi parçalanmıştır. Simetrik olarak karşı köşede de aynı hasar görülmüştür. Duvar üzerinde R_1 ve R_5 çatlakları, piston tarafındaki kolonda ise R_2 , R_3 ve R_4 çatlakları oluşmuştur. Arka yüzde de çerçeve üzerinde R_1' , R_2' , R_3' , R_4' , R_5' ve R_6' çatlakları meydana gelmiştir (Şekil 3.56).



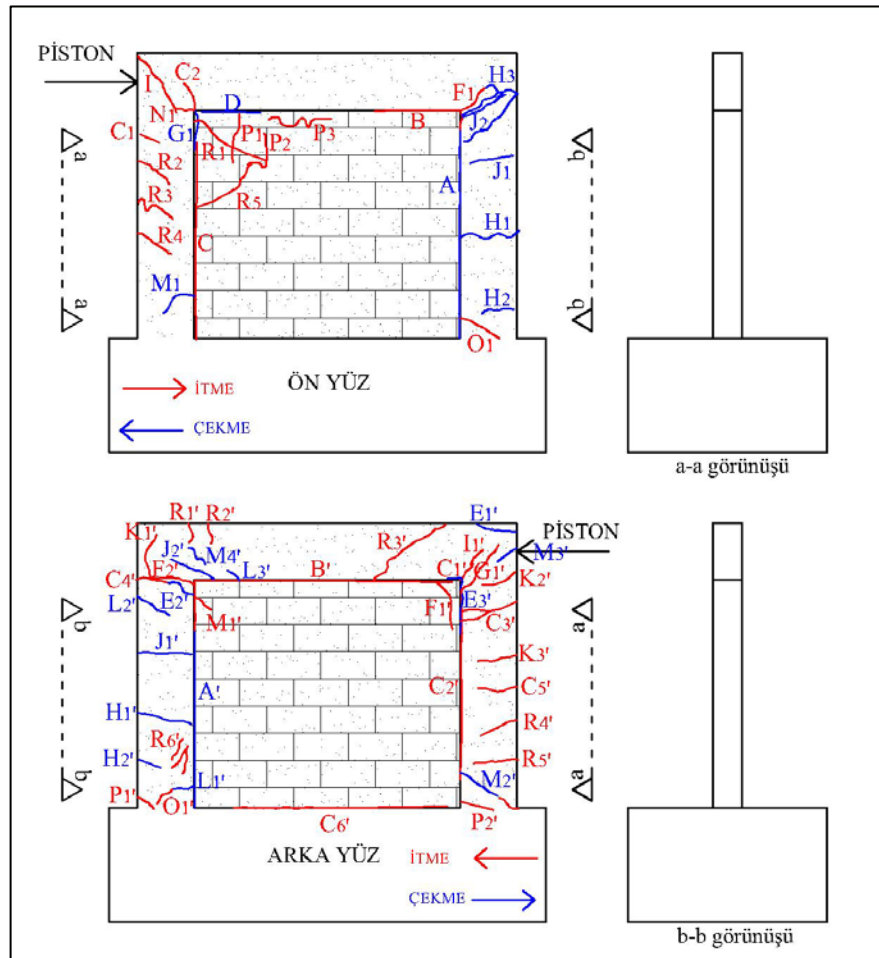
Şekil 3.56 : 11. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

Bu çevrimde duvar-temel arasındaki çatlak 3mm genişliğe ulaşmıştır. Çevrim sonunda kolon-kiriş birleşim bölgeleri ağır hasar gördüğü için deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.57).



Şekil 3.57 : Son çevrim sonunda numunenin durumu.

Deney sırasında dolgu duvarlı çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.58’de gösterilmiştir.



Şekil 3.58 : Dolgu duvarlı çerçeve hasar şeması.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8: Dolgu duvarlı çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Görelî Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
2	0.54	0.06	$A < 0.1\text{mm}$
3	0.90	0.1	$B, B', A' < 0.1\text{mm}$
4	1.80	0.2	$C_1, C_2, F_1 < 0.1\text{mm}, D = 0.1\text{mm},$ $C_1', C_2', C_3' < 0.1\text{mm},$ $C_4', C_5', C_6' < 0.1\text{mm},$ $E_1', E_2', E_3', F_1', F_2' < 0.1\text{mm},$ $A' = 0.2\text{mm}$
5	2.70	0.3	$A = 0.2\text{mm}, B = 0.3\text{mm},$ $G_1 = 0.1\text{mm}, D < 0.1\text{mm},$ $H_1, H_2, H_3 < 0.1\text{mm},$ $C'_1 = 0.1\text{mm}, B' = 0.2\text{mm},$ $G'_1 = 0.1\text{mm}, H'_1, H'_2 < 0.1\text{mm}$
6	3.60	0.4	$B = 1.5\text{mm}, I = 0.1\text{mm},$ $J_1, J_2 < 0.1\text{mm}, C'_2 = 1.5\text{mm},$ $I'_1, J'_1, J'_2 < 0.1\text{mm},$ A, C'_1, H'_2 ilerledi.
7	4.50	0.5	$L_1, L_2 < 0.1\text{mm},$ $D = 3\text{mm}, B = 5\text{mm},$ $A' = 5\text{mm}, C'_2 = 2\text{mm},$ $K'_1, K'_2, K'_3 < 0.1\text{mm},$ $L'_1, L'_2, L'_3 < 0.1\text{mm}$
8	5.40	0.6	$A, B = 7\text{mm}, M_1 = 0.1\text{mm},$ $M'_1, M'_2, M'_3, M'_4 = 0.1\text{mm},$ $I'_1 = 3\text{mm}, C'_4, E'_2, F'_2 = 2\text{mm},$ F' ilerledi.
9	6.30	0.7	$N_1 = 10\text{mm}, O_1 = 0.2\text{mm},$ $O'_1 = 0.2\text{mm}, H_3, M_1$ ilerledi.
10	9.00	1	$P_1, P_2, P_3 = 0.2\text{mm},$ $P'_1, P'_2 = 0.1\text{mm}$
11	13.50	1.5	$R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 = 0.1\text{mm},$ $R'_1, R'_2, R'_3 = 0.1\text{mm},$ $R'_4, R'_5, R'_6 = 0.1\text{mm}$

3.5.3 CFRC-1-2 çerçeve deneyi

Deneyde ilk çatlaklar 3.çevrimde, itme sırasında arka yüzde oluşmuştur. Piston tarafındaki kolon alt bölgesinde, yatay doğrultuda birbirlerine paralel A' ve B' çatlakları meydana gelmiştir. Bu çatlakların genişliği 0.1mm'den küçüktür (Şekil 3.59).



Şekil 3.59 : 3. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

4.çevrimde arka yüzde çekme sırasında C' çatlağı oluşmuştur. Piston karşısındaki kolonun alt bölgesinde oluşan bu çatlak da 0.1mm'den küçük genişliğe sahiptir (Şekil 3.60).



Şekil 3.60 : 4. çevrim sırasında oluşan çatlak.

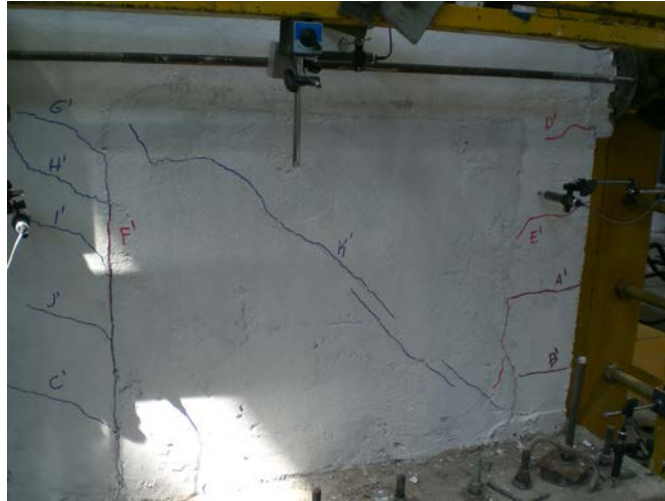
5. çevrim çatlakların arka arkaya çok sayıda meydana geldiği bir çevrim olmuştur. Arka yüzde, itmede piston tarafındaki kolonda D', E' çatlakları, çekmede ise piston karşısındaki kolonda sırasıyla F', G', H', I' ve J' çatlakları görülmüştür. Bu çatlaklar 0.1mm ila 0.2mm genişliklerinde ölçülmüştür. Piston karşısındaki kolon ile duvar sınırı arasında, özellikle alt bölgelerde, 1.1mm'ye varan açılmalar gözlemlenmiştir.

Bu çevrimde itmede ve çekmede numuneden gelen çatlama sesleri duyulmuştur (Şekil 3.61).



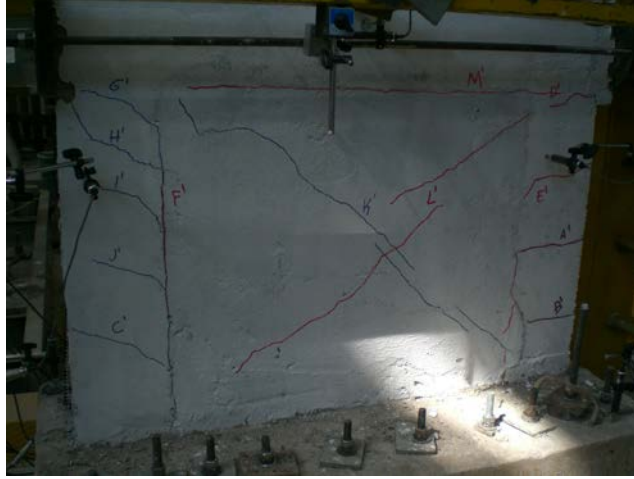
Şekil 3.61 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

6. çevrimde arka yüzde, çekme sırasında, duvar üzerinde eğik çatlaklar oluşmuştur. Deprem esnasında bölücü duvarlarda oluşan tipik X çatlaklarının bir koluna benzer olan bu çatlaklar, genişliği 0.7mm ölçülen K' çatlaklarıdır. Bu çatlakların oluşumu sırasında numuneden gelen sesler duyulmuştur (Şekil 3.62).



Şekil 3.62 : 6. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

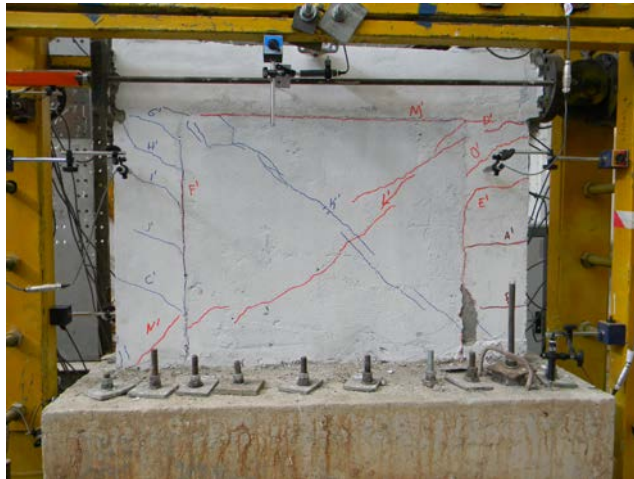
7. çevrimde itme sırasında K' çatlaklarına dik olarak L' çatlakları oluşmuştur. Bu çatlakların oluşumuyla arka yüzdeki X çatlağı tamamıyla ortaya çıkmıştır. Yine itme sırasında kiriş-duvar sınırı arasında yatay doğrultuda M' çatlağı meydana gelmiştir. M' ve L' çatlakları 0.7mm, K' çatlağı ise 1.2mm genişlikte ölçülmüştür (Şekil 3.63).



Şekil 3.63 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

8. çevrimde arka yüzde oluşan mevcut çatlaklar genişlemiştir. K' ve L' çatlaklarının genişliği sırasıyla 1.5mm ve 0.9mm ölçülmüştür. Arka yüzde çekme sırasında, piston tarafındaki kolonun alt köşesinde CFRC tabakası üzerinde kabarma meydana gelmiştir.

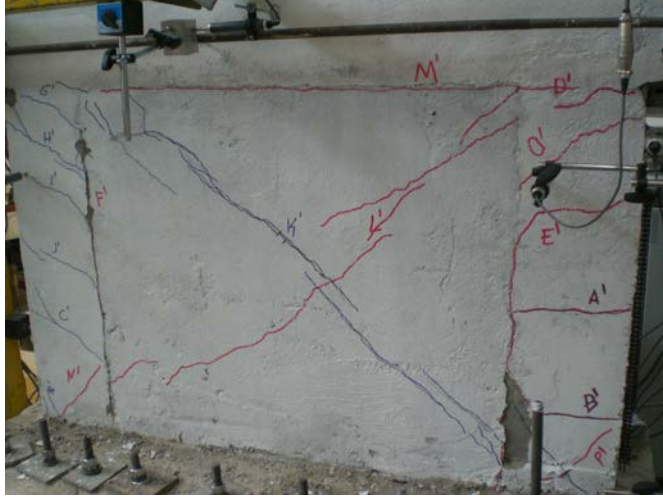
9. çevrimde itmede, arka yüzde, piston karşısındaki kolonun alt bölgesinde eğik N' çatlağı, piston tarafındaki kolonun üst bölgesinde ise yine eğik O' çatlağı görülmüştür. N' çatlağı 0.2mm, O' çatlağı ise 0.1mm genişlikte ölçülmüştür. Çekmede ön yüzde, piston karşısındaki kolon ile duvar sınırı üzerine gelen CFRC tabakası üzerinde çatlaklar görülmüştür. Bu sırada tuğlalardan gelen çatlama sesleri de duyulmuştur (Şekil 3.64).



Şekil 3.64 : 9. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

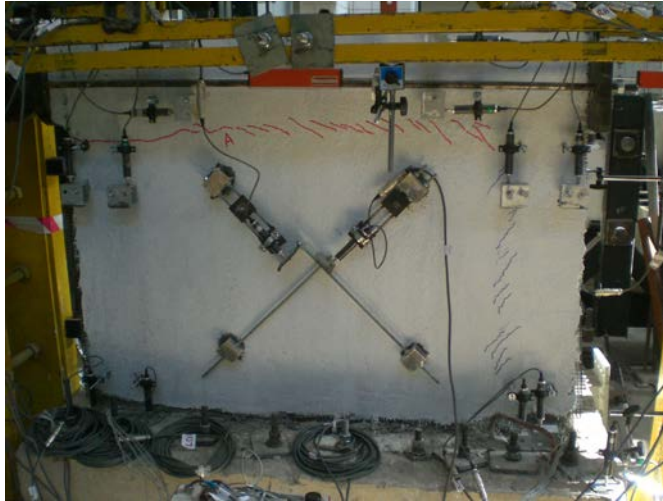
10. çevrimde arka yüzde oluşan çatlaklar devam etmiştir. İtmede, piston karşısındaki kolonda genişliği 0.7mm olan P' çatlağı, çekmede ise piston tarafındaki kolonda

genişliği yine 0.7mm olan R' çatlağı g r lm şt r. Mevcut L' çatlağının genişliği itmede 1.8mm olarak ölçülmüştür. Numuneden gelen sesler kararlı bir şekilde devam etmiştir (şekil 3.65).



şekil 3.65 : 10.  evrim sırasında oluşan çatlaklar.

11.  evrimde itme sırasında  er eve-duvar arası sıva dökülmeleri başlamıştır. L' çatlağı daha da genişleyerek 2.5mm olarak ölçülmüştür. Sesler yoğun bir şekilde duyulmaktadır. İtme sırasında  n yüzde, kiriş-duvar sınırının  zerindeki CFRC tabakasında birbirine paralel giden ufak çatlaklar oluşmuştur (şekil 3.66).



şekil 3.66 : 11.  evrim sonunda  n yüzde ilerleyen çatlaklar.

12.  evrimde sıva dökülmeler devam etmiştir. B çatlağı 0.7mm, L' çatlağı ise 2.8mm genişliğe ulaşmıştır. Mevcut çatlakların hepsinde açılmalar gözlemlenmiştir (şekil 3.67).



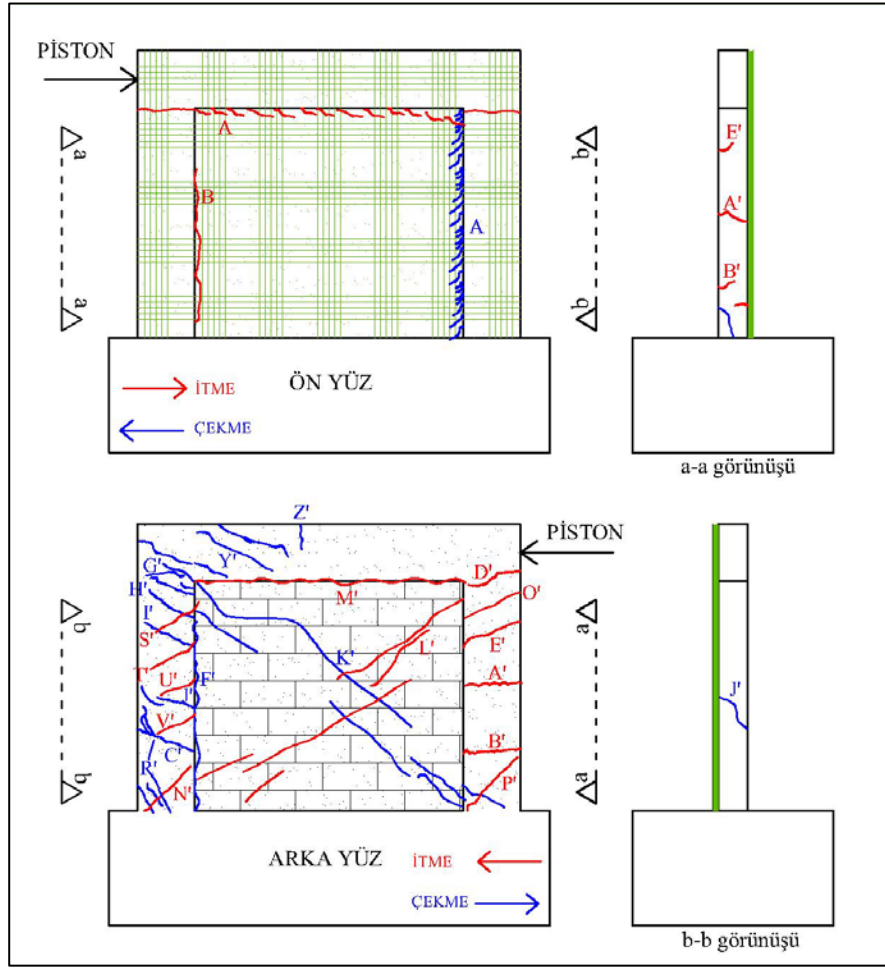
Şekil 3.67 : 12. çevrim yük ve tepe yer değıştirme değeri.

13. çevrimde itme sırasında, genişlikleri 0.7mm olan S', T', U' ve V' çatlakları piston karşısındaki kolon üzerinde oluşmuştur. İtme sırasında piston tarafındaki kolon dibinde hasar oluşmuştur. Çekmede ise kiriş üzerinde, eğik Y' ve Z' çatlakları 0.7mm genişlikte ölçülmüştür. Mevcut K' çatlağı 3.5mm'ye genişlemiştir. Numunenin ön ve arka yüzlerinde, çerçeve-duvar arasında büyük açılmalar gözlemlenmiştir. Artan hasar seviyesi ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sonucunda deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.68).



Şekil 3.68 : 13. çevrim sonunda numunenin durumu.

Deney sırasında CFRC-1-2 çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.69’da gösterilmiştir.



Şekil 3.69 : CFRC-1-2 çerçeve hasar şeması.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : CFRC-1-2 çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Görelî Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
3	0.90	0.1	A', B' < 0.1mm
4	1.80	0.2	C' < 0.1mm D', E', F' = 0.2mm G', H', I', J' = 0.1mm
5	2.70	0.3	İtmede ve çekmede numuneden çatlama sesi geldi. Pistonun karşısındaki kolon-duvar alt köşesinde 1.1mm aralık oluştu.

Çizelge 3.9 (devam): CFRC-1-2 çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Görelî Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
6	3.60	0.4	K' = 0.7mm, Çekmede numuneden kuvvetli ses geldi.
7	4.50	0.5	L', M' = 0.7mm, K' = 1.2mm
8	5.40	0.6	L' = 0.9mm, K' = 1.5mm Çekmede çatlama sesi geldi. Piston tarafındaki kolon dibinde kabarma oluştu.
9	6.30	0.7	N' = 0.2mm, O' = 0.1mm, Çekmede çatlama sesleri geldi. Ön yüzde CFRC tabaka üzerinde yırtılmalar başladı, piston karşısındaki kolon-duvar sınırında A çatlakları oluştu.
10	7.20	0.8	P' = 0.7mm, R' = 0.7mm L' = 1.8mm İtmede ve çekmede tuğladan gelen sesler devam etti.
11	9.00	1	İtmede çerçeve-duvar arası sıva dökülmeleri başladı. Sürekli çatlama sesleri duyuldu. L' = 2.5mm, A çatlakları kiriş-duvar sınırına ilerledi.
12	13.50	1.5	Sıva dökülmeleri devam etti. B = 0.7mm, L' = 2.8mm Mevcut çatlaklar genişledi.
13	18.00	2	S', T', U', V' = 0.7mm Y', Z' = 0.7mm, K' = 3.5mm Çekmede çerçeve ile duvar arasında 0.7mm'ye varan açılmalar oldu. Ön yüzdeki mevcut çatlaklar genişledi. İtmede piston tarafındaki kolon dibinde hasar oluştu.

3.5.4 CFRC-2-1 çerçeve deneyi

Deneyde ilk çatlak 6.çevrimde çekme sırasında ön yüzde görülmüştür. Pistonun karşı tarafındaki kolon ile duvar yüzeyi sınırında 0.1mm'den küçük A çatlağı oluşmuştur (Şekil 3.70).



Şekil 3.70 : 6. çevrim sırasında oluşan çatlak.

7. çevrimde itme sırasında A çatlağı ilerlemiştir. Yine çekme sırasında arka yüzde genişliği 0.1mm'den küçük A' çatlağı meydana gelmiştir. Bu çatlak ön yüzdeki A çatlağının tam olarak arka yüzdeki simetriğidir (Şekil 3.71).

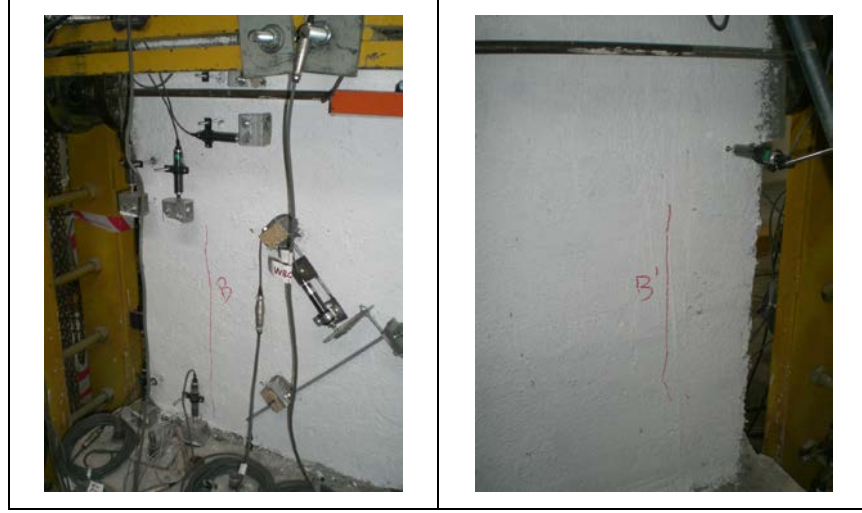


Şekil 3.71 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlak.

8. çevrimde çekme sırasında A' çatlağı aynı doğrultuda kirişin altına kadar ilerlemiştir.

9. çevrimde itme sırasında, piston tarafındaki kolon ile duvar sınırı arasında B' çatlağı oluşmuştur. B' çatlağının genişliği 0.1mm'den küçük ölçülmüştür. Ön yüzde

de B' çatlağının simetriği olarak B çatlağı aynı genişlikte olmak üzere meydana gelmiştir. Çekme sırasında A çatlağı ilerlemiştir (Şekil 3.72).



Şekil 3.72 : 9. çevrim sonunda oluşan çatlaklar.

10. çevrimde itme ve çekme sırasında CFRC tabakasından yırtılma sesleri gelmiştir. İtmede B çatlağının genişliği 0.1mm ölçülmüştür. Çekme sırasında ise arka yüzde C' çatlağı görülmüştür. Arka yüzde, kiriş ile duvar sınırı doğrultusunda uzanan bu çatlak 0.1mm'den küçüktür (Şekil 3.73).



Şekil 3.73 : 10.çevrim sonunda oluşan çatlak.

11. çevrimde itme ve çekmede, kolon diplerinde çatlaklar oluşmuştur. Piston tarafındaki kolon dibinde, itme sırasında 1mm'den büyük C çatlağı, çekme sırasında ise piston karşısındaki kolon dibinde 0.2mm genişliğinde D' çatlağı oluşmuştur. Bu çevrimde mevcut çatlaklar ilerlemiş ve numuneden göçme sesleri gelmiştir (Şekil 3.74).



Şekil 3.74 : Kolon diplerinde oluşan hasarlar.

12. çevrimde, betonarme çerçeve numunesi üzerinde meydana gelen bütün çatlaklar ilerlemiş ve genişlemiştir. Numuneden gelen göçme sesleri bu çevrimde de devam etmektedir. Özellikle kolon diplerindeki mevcut çatlaklar büyüyerek kırılmalara ve parçalanmalara yol açmıştır. Numunenin arka yüzünde, piston tarafındaki kolonun alt bölgesinde CFRC malzeme ile ayrılmalar gözlemlenmiştir (Şekil 3.75).

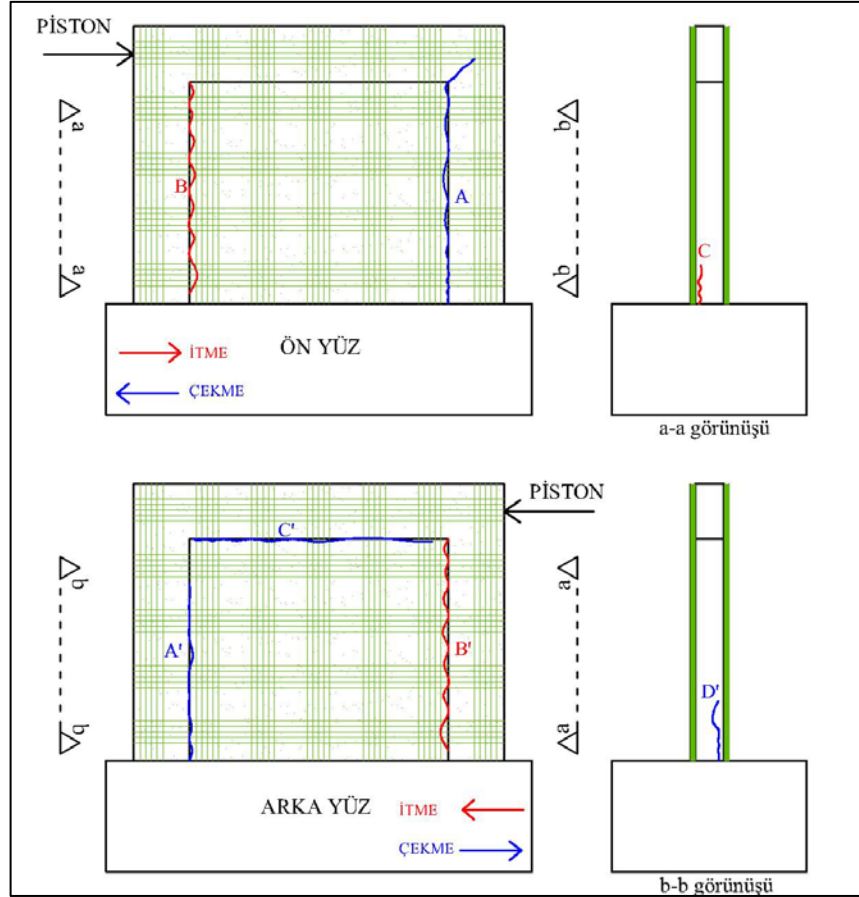


Şekil 3.75 : 12. çevrim hasarları.

13. çevrimde kolon diplerindeki hasar artmış, donatılar açığa çıkmış ve donatılardaki burkulmalar rahatlıkla gözlemlenebilir olmuştur. Mevcut çatlaklar daha da ilerlemiştir. A, B, B' ve A' çatlakları sırasıyla 0.2mm, 0.3mm, 0.2mm ve 0.3mm genişlikte ölçülmüştür. 14. çevrimde kolon diplerindeki ağır hasar ve düşen yatay yük taşıma kapasitesine bağlı olarak deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.76). Deney sırasında CFRC-2-1 çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.77'de gösterilmiştir.



Şekil 3.76 : 13. çevrim sonunda oluşan hasar durumu.



Şekil 3.77 : CFRC-2-1 çerçevesi çatlak şeması.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.10 : CFRC-2-1 çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Görelî Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
6	3.60	0.4	$A < 0.1\text{mm}$
7	4.50	0.5	A çatlağı ilerledi.
8	5.40	0.6	$A' < 0.1\text{mm}$ Çekmede A' çatlağı ilerledi.
9	6.30	0.7	$B < 0.1\text{mm}$ Çekmede A çatlağı ilerledi. $B' < 0.1\text{mm}$
10	7.20	0.8	İtmede ve çekmede CFRC tabakasından yırtılma sesi geldi. $B = 0.1\text{mm}$
11	9.00	1	B çatlağı ilerledi. $C > 1\text{mm}$, $D' > 0.2\text{mm}$ $C' < 0.1\text{mm}$ Çekmede çatlama sesleri duyuldu.
12	13.50	1.5	İtmede ve çekmede kolon diplerinde ağır hasar oluştu.
13	18.00	2	$A = 0.2\text{mm}$, $B = 0.3\text{mm}$ B' çatlağı ilerledi, $B' = 0.2\text{mm}$ $A' = 0.3\text{mm}$, C' çatlağı ilerledi. Kolon diplerindeki donatılar gözüktü.
14	22.50	2.5	Kolon dipleri ağır hasar gördü.

3.5.5 CFRC-2-1-A çerçeve deneyi

Deneyde ilk çatlak 10.çevrimde çekme sırasında oluşmuştur. Pistonun karşı tarafında bulunan kolonda temel ile birleştiği köşede 0.1mm'den küçük A çatlağı oluşmuştur (Şekil 3.78).

Aynı bölgede 11. çevrimde yine çekme sırasında çatlakların arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.78 : Kolon diplerinde oluşan hasarlar.

12. çevrimde itme sırasında güçlendirme malzemesi olan karbon liflerden ses gelmeye başlanmıştır. Bu çevrimde çekme sırasında A çatlağının genişliği 0.1mm olmuş, bu çatlağın bulunduğu köşenin ön ve arka yüzlerinde sıva ile beton yüzeyi arasında açılmalar başlamıştır. Ön yüzde B çatlağı arka yüzde de A' çatlağı oluşmuştur.

13. çevrimde itme sırasında piston tarafındaki kolon yüzünde 0.1mm genişliğinde C çatlağı oluşmuştur. Karşı kolonda da 0.2mm genişliğinde 2 adet çatlak meydana gelmiştir (D çatlağı). Çekme sırasında ön ve arka yüzlerde, her iki kolonun temel ile birleştiği bölgede sıva ile beton yüzeyi arasında büyük açılmalar meydana gelmiştir. Pistonun olmadığı kolon yüzünde 0.1mm genişliğinde E ve F çatlakları oluşmuştur (Şekil 3.79).



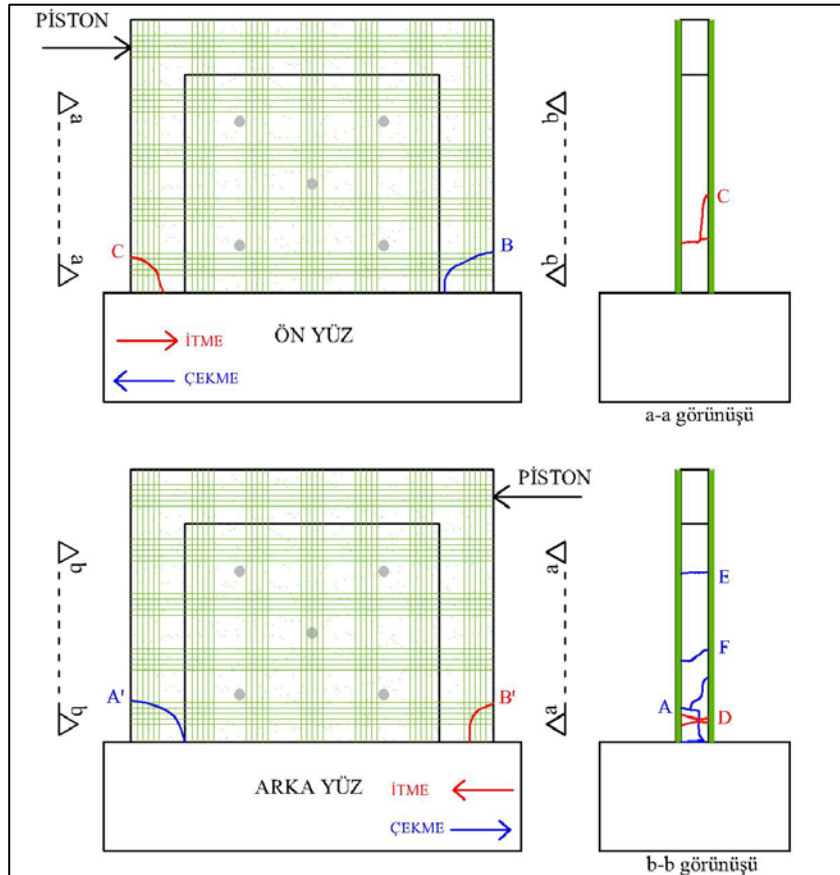
Şekil 3.79 : 13. çevrim sırasında ilerleyen hasarlar.

14. çevrimde itme çekme sırasında kolon yüzeylerinde düşey çatlaklar oluşmuş, kolon dipleri tamamen kırılmış ve donatılar gözükmiştir. Bunun sonucunda deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.80).



Şekil 3.80 : 14. çevrim sonunda numune oluşan hasar durumu.

Deney sırasında CFRC-2-1-A çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.77’de gösterilmiştir (Şekil 3.81).



Şekil 3.81 : CFRC-2-1-A çerçevesi hasar şeması.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : CFRC-2-1A çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
10	7.20	0.8	A<0.1mm
11	9.00	1	A çatlağı ilerledi.
12	13.50	1.5	A, B =0.1mm
13	18.00	2	C=0.1mm, D=0.2mm E, F=0.1mm A', B' =0.1mm
14	36.00	4	Donatılar gözüktü, deney sonlandırıldı.

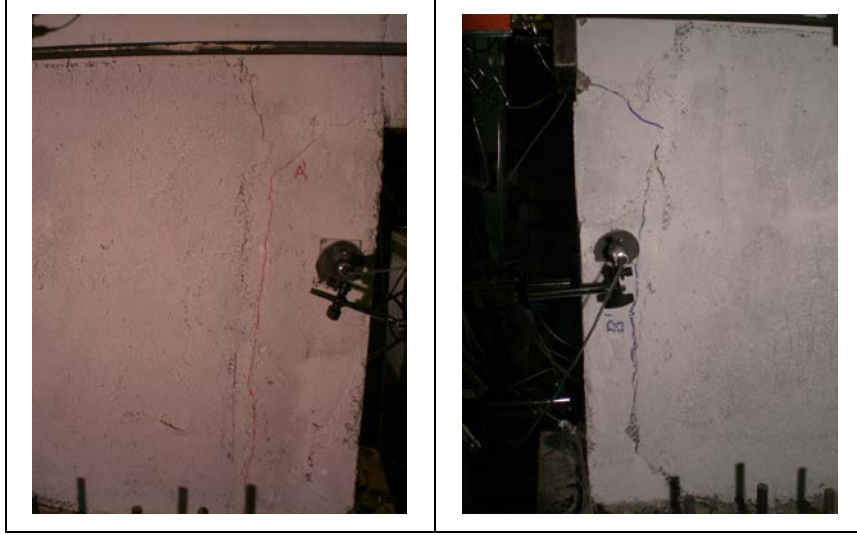
3.5.6 CFRC-2-2-W çerçeve deneyi

Deneyde ilk hasar 4.çevrimde çekme sırasında arka yüzde görülmüştür. Güçlendirme malzemesi olan CFRC tabakası, duvarın alt köşesinden açılarak duvar yüzeyinden ayrılmaya başlamıştır. Bu sırada genişliği 0.3mm olan A çatlağı, piston tarafındaki kolon ile duvarın birleştiği yüzey boyunca oluşmuştur. A çatlağı ön yüzde ortaya çıkmıştır (Şekil 3.82).



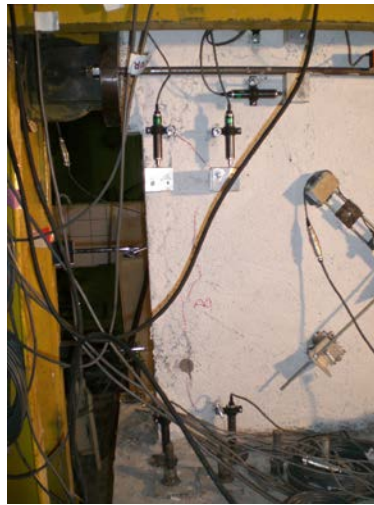
Şekil 3.82 : 4. çevrim sırasında oluşan çatlak.

5. çevrim itmede, A çatlağının simetriği A' çatlağı olmak üzere arka yüzde görülmüştür. A' çatlağı piston tarafında ortaya çıkmıştır. Karşı taraftaki kolonda ise çekme sırasında B' çatlağı meydana gelmiştir. B' çatlağının genişliği 0.1mm'den küçük ölçülmüştür. 4. çevrimde oluşan CFRC tabaka ayrılması bu çevrimde daha da artmıştır (Şekil 3.83).



Şekil 3.83 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

6. çevrimde itmede, A' çatlağı ilerlemiştir. Kolon-duvar birleşim yüzeyinin ayrılması daha da belirginleşmiştir. Ön yüzde genişliği 0.2mm olan B çatlağı, piston tarafındaki kolonda oluşmuştur. Çekme sırasında B' çatlağının genişliği 0.9mm olarak ölçülmüştür, A' çatlağı ise 1.4mm genişliğe ulaşmıştır. CFRC tabaka ayrılması artarak devam etmiştir (Şekil 3.84).



Şekil 3.84 : 6. çevrimde oluşan çatlak.

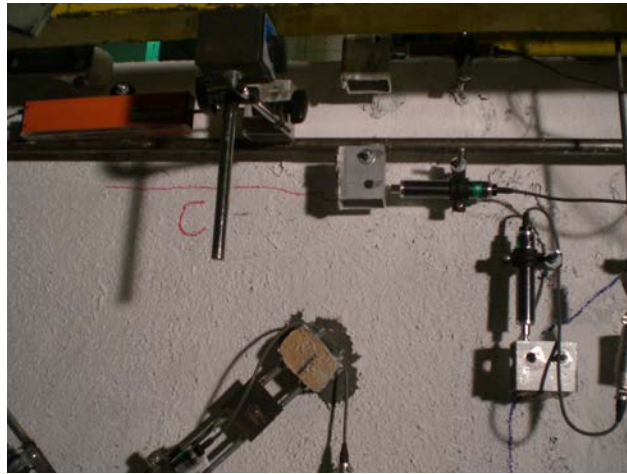
7. çevrim itmede, A' çatlağı ilerlemiş ve 1.7mm genişliğe ulaşmıştır. Kolon diplerinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Çekme sırasında B' çatlağı ilerlemiştir. A çatlağı 2.3mm olarak ölçülmüştür. CFRC tabaka ayrılması bu çevrimde de artarak devam etmiştir.

8. çevrim itmede, arka yüzde, kirişte D' çatlağı oluşmuştur. Genişliği 0.6mm ölçülen bu çatlak kiriş üzerinden devam edip ön yüze ulaşmıştır. A' çatlağı sebebiyle oluşan kolon-duvar ayrışması ileri seviyededir. Piston tarafından kolon dibinde oluşan C' çatlağı, 0.2mm genişlikte ölçülmüştür. İtme ve çekmede her iki kolon yüzeyinde de çatlaklar görülmüştür (Şekil 3.85).



Şekil 3.85 : 8. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

9. çevrimde itme ve çekme sırasında kolon diplerinde, kolon-duvar yüzeylerinde bulunan mevcut çatlaklar ilerlemiş ve genişlikleri artmıştır. İtme sırasında kiriş-duvar birleşim yüzeyinde genişliği 0.1mm olan C çatlağı oluşmuştur (Şekil 3.86).



Şekil 3.86 : Kiriş-duvar birleşim yüzeyinde oluşan C çatlağı.

10. çevrimde C' çatlağı kolonda ilerleyerek ön yüzdeki B çatlağı ile birleşmiştir. İtmede C çatlağı 0.7mm, çekmede A çatlağı 3.2mm ölçülmüştür (Şekil 3.87).



Şekil 3.87 : Çatlağın ön yüze doğru ilerlemesi.

11. çevrimde itmede, piston tarafındaki kolon-kiriş birleşiminin duvar ile temas ettiği iç köşede büyük hasar oluşmuştur. Duvar ile çerçeve tamamen ayrılmıştır. Kolon dış yüzeylerinde oluşan çatlaklar genişlemiştir. Çekme sırasında ise piston karşısındaki kolon-kiriş birleşiminin dış yüzeyinde pas payı atmış ve donatılar açığa çıkmıştır. Kolon dış yüzeyinde oluşan çatlaklar bu çevrimde de genişlemiştir (Şekil 3.88).

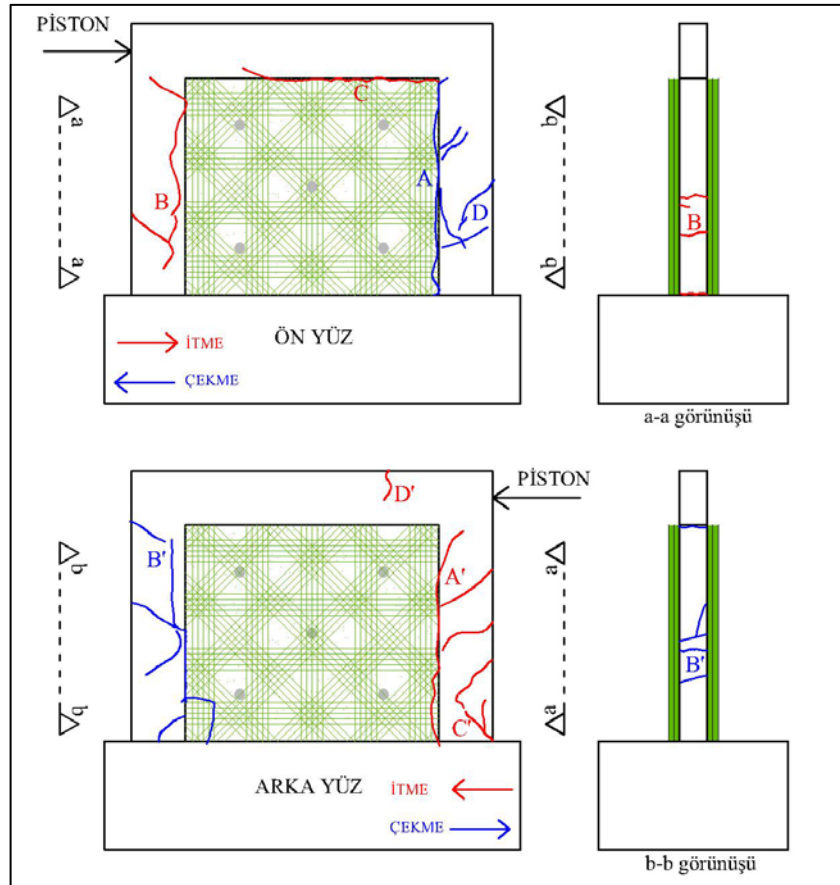


Şekil 3.88 : 11. çevrim sırasında oluşan hasarlar.

Çevrim sırasında oluşan hasar seviyeleri daha da artmış, mevcut çatlaklardan donatılar gözükmeye başlamıştır. Oluşan ileri hasar seviyesi ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sonucunda deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.89). Deney sırasında CFRC-2-2-W çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.90'da gösterilmiştir.



Şekil 3.89 : Çevrim sonunda numunenin hasar durumu.



Şekil 3.90 : CFRC-2-2-W çerçevesi hasar şeması.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

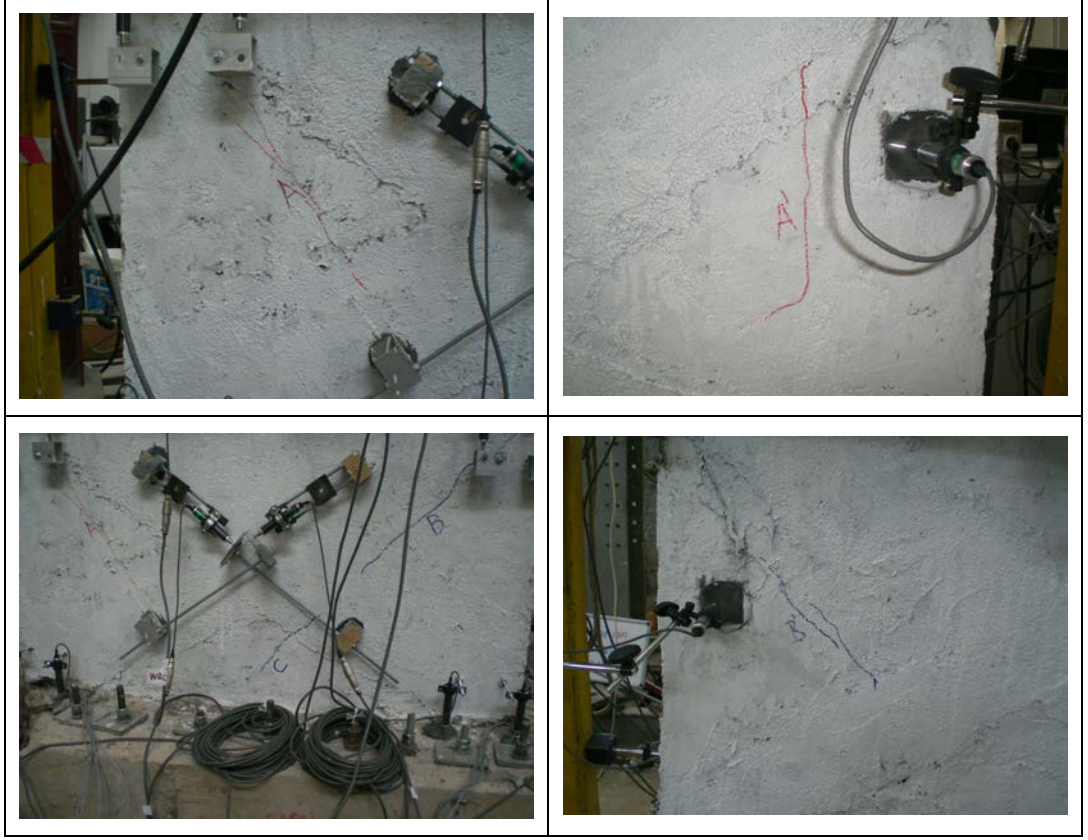
Çizelge 3.12 : CFRC-2-2-W çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değişirme (mm)	Kat Görelî Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
4	1.80	0.2	A = 0.3mm
5	2.70	0.3	A' = 0.3mm, B' < 0.1mm
6	3.60	0.4	B = 0.2mm A' = 1.4mm, B' = 0.9mm A' çatlağı ilerledi, kolon-duvar ayrışması belirginleşti.
7	4.50	0.5	A = 2.3mm A' = 1.7mm A' ve B' çatlakları ilerledi.
8	5.40	0.6	A' çatlağı genişledi, kolon-duvar tamamıyla ayrıştı. Kolon dış yüzlerinde çatlak oluştu. C' = 0.2mm, D' = 0.6mm D' çatlağı ilerledi.
9	7.20	0.8	C = 0.1mm Kolon diplerinde çatlaklar oluştu.
10	9.00	1	A = 3.2mm, C = 0.7mm C' çatlağı ilerledi, ön yüzdeki B çatlağı ile birleşti.
11	13.50	1.5	Piston karşısındaki kolonda, dış yüzeyde, kolon-kiriş birleşim bölgesinde donatılar açığa çıktı. Piston tarafındaki kolonda, iç yüzeyde, kolon-kiriş birleşim bölgesinde donatılar açığa çıktı.

3.5.7 CFRC-D-A çerçeve deneyi

Deneyde ilk çatlak 5.çevrimde itme sırasında ön yüzde oluşmuştur. Diyagonal bandın hemen altında oluşan A çatlağının genişliği 0.1mm’dir. Çekme sırasında bu çatlağın simetriği olarak B ve C çatlakları yine duvar üzerinde diyagonal bandın

altında oluşmuşlardır. Çatlakların genişliği sırasıyla 0.2mm ve 0.1mm'dir. Arka yüzde benzer olarak itme sırasında A' çatlağı, çekme sırasında ise B' çatlakları oluşmuştur. Çatlakların genişliği sırasıyla 0.2mm ve 0.4mm'dir (Şekil 3.91).



Şekil 3.91 : 5. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

6. çevrimde itme sırasında, ön yüzde, piston tarafındaki kolonda D, E ve F çatlakları oluşmuştur. Bu çatlakların da genişlikleri sırasıyla 0.1mm, 0.2m ve 0.1mm'dir (Şekil 3.92).



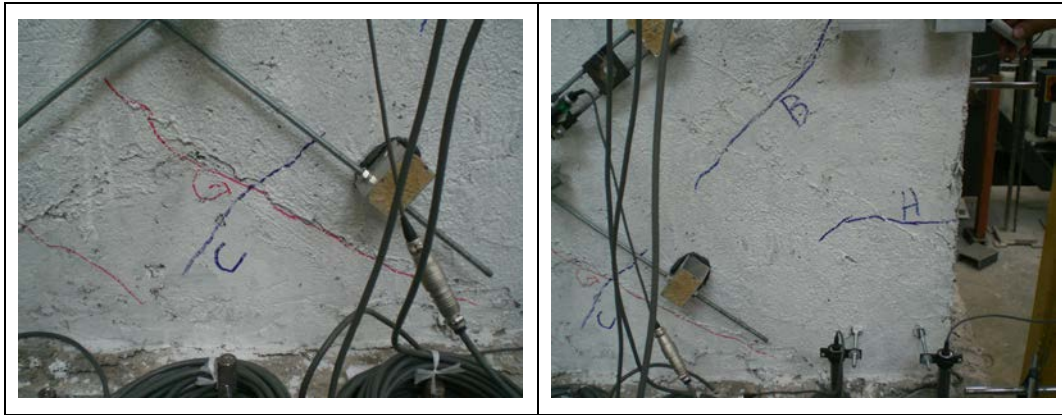
Şekil 3.92 : 6. çevrimde itme sırasında ön yüzde oluşan çatlaklar.

İtme sırasında mevcut A çatlak 1.1mm, çekme sırasında ise mevcut B çatlak 0.8mm genişlikte ölçülmüştür. Arka yüzde, itme sırasında, piston tarafındaki kolon üzerinde C' ve D' çatlakları meydana gelmiştir. Bu çatlakları aynı kolonun alt köşesinden temele inen E' çatlak iletmiştir. Çatlakların hepsi 0.1mm genişlikte oluşmuştur. Bu çevrimde mevcut A' çatlak ilerlemiş ve 0.8mm genişliğe ulaşmıştır. Çekme sırasında, E' çatlak ın simetriği olarak F' çatlak 0.1mm'den küçük genişlikte duvar üzerinde belirmiştir. Mevcut B' çatlak ın genişliği 0.2mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.93).



Şekil 3.93 : 6. çevrimde itme sırasında arka yüzde oluşan çatlaklar.

7. çevrimde, itme sırasında, ön yüzde G çatlak oluşmuştur. Duvar üzerinde diyagonal şeklinde oluşan bu çatlak 0.1mm'den küçük genişliğe sahiptir. İtme sırasında A çatlak ilerlemiş ve 1.8mm genişliğe ulaşmıştır. Çekmede ise piston karşısındaki kolon üzerinde H çatlak oluşmuş ve bu çatlak ilerleyerek duvar üzerinde de belirgin hale gelmiştir. 0.1mm'den küçük olan bu çatlak ön yüzde yer almaktadır (Şekil 3.94).



Şekil 3.94 : 7. çevrim itme sırasında ön yüzde oluşan çatlaklar.

Çekme sırasında B çatlığının genişliği 1.1mm olarak ölçülmüştür. Arka yüzde, itme sırasında, mevcut A' çatlığı ilerlemiş ve 1mm genişliğe ulaşmıştır. E' çatlığı da 0.6mm olarak ölçülmüştür. Bu yüzde çekme sırasında G' ve H' çatlakları oluşmuştur. Pistonun karşı tarafındaki kolon üzerinde oluşan bu çatlaklar 0.1mm'den küçüktür. Bu çevrimde mevcut B' çatlığı kolon etrafından ilerleyerek ön yüzdeki B çatlığı ile birleşmiştir ve çatlığın genişliği 0.8mm olarak ölçülmüştür (Şekil 3.95).



Şekil 3.95 : 7. çevrimde çekme sırasında arka yüzde oluşan çatlaklar.

8. çevrimde, itme sırasında, mevcut A çatlığı 2.1mm'ye genişlemiştir. A' ve E' çatlakları da 1.5mm değerine ulaşmıştır. C' çatlığı ilerleyerek kolon etrafını dönmeye başlamıştır. Çekme sırasında B' çatlığı ilerlemiştir (Şekil 3.96).



Şekil 3.96 : 8. çevrimde çatlığın ilerlemesi.

9. çevrimde, itme sırasında E çatlığı ilerlemiştir. A, D ve E çatlakları ön yüzde birleşmiştir. Duvar-kolon sınır bölgesi ayrılmaya başlamıştır. Arka yüzde sıvalar dökülmüştür. A' ve D' çatlakları birleşmiştir. Piston tarafındaki kolonun temel ile birleştiği bölgede güçlendirme malzemesiyle ayrılmalar başlamıştır. Çekme sırasında I' çatlığı oluşmuştur. Arka yüzde, pistonun karşı tarafındaki kolon üzerinde oluşan

bu çatlak 0.1mm'den küçüktür. Bu çatlak kolon etrafından devam edip ön yüzdeki H çatlağı ile birleşmiştir (Şekil 3.97).



Şekil 3.97 : 9.çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

10. çevrimde itme sırasında kolon-duvar sınır bölgeleri tamamen ayrılmıştır. A, D ve E çatlaklarının genişlikleri 3mm'ye ulaşmıştır. Çekmede mevcut B çatlağı 2mm genişlikte ölçülmüştür. İtme sırasında, pistonun karşı tarafındaki kolon dip bölgesinden tamamen parçalanmış ve buradaki donatılar ortaya çıkmıştır. Donatıdaki burkulmalar gözle görülebilir hale gelmiştir (Şekil 3.98).



Şekil 3.98 : 10. çevrim sonunda numunedeki hasar durumu.

11. çevrimde, itme sırasında, ön yüzde mevcut D çatlaklarının genişliği 5mm olarak ölçülmüştür. Kolon ile duvar arasındaki ayrışmalar, ileri seviyededir. Çekme sırasında kiriş ile duvar sınırını belirleyen J çatlakları ortaya çıkmış ve bu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde diyagonal olarak ilerlemiştir. Duvar üzerinde 0.2mm genişlikte I çatlakları meydana gelmiştir. Mevcut B çatlakları 2.5mm, J çatlakları ise 0.3mm genişlikte ölçülmüştür. Yatay yük çekme sırasında aniden 130kN'dan 85kN'a düşmüştür. Numuneden ezilme sesleri gelmiştir. Arka yüzde, çekme sırasında, ön yüzde oluşan J ve I çatlaklarının simetriği K' ve J' çatlakları olarak meydana gelmiştir. Kolon-duvar arasındaki boşluktan numunenin diğer tarafı görülebilir hale gelmiştir. Diyagonal bantlar, sıva üzerinden köşe noktalarında ayrılmıştır (Şekil 3.99).



Şekil 3.99 : 11. çevrim sonunda numunedeki hasar durumu.

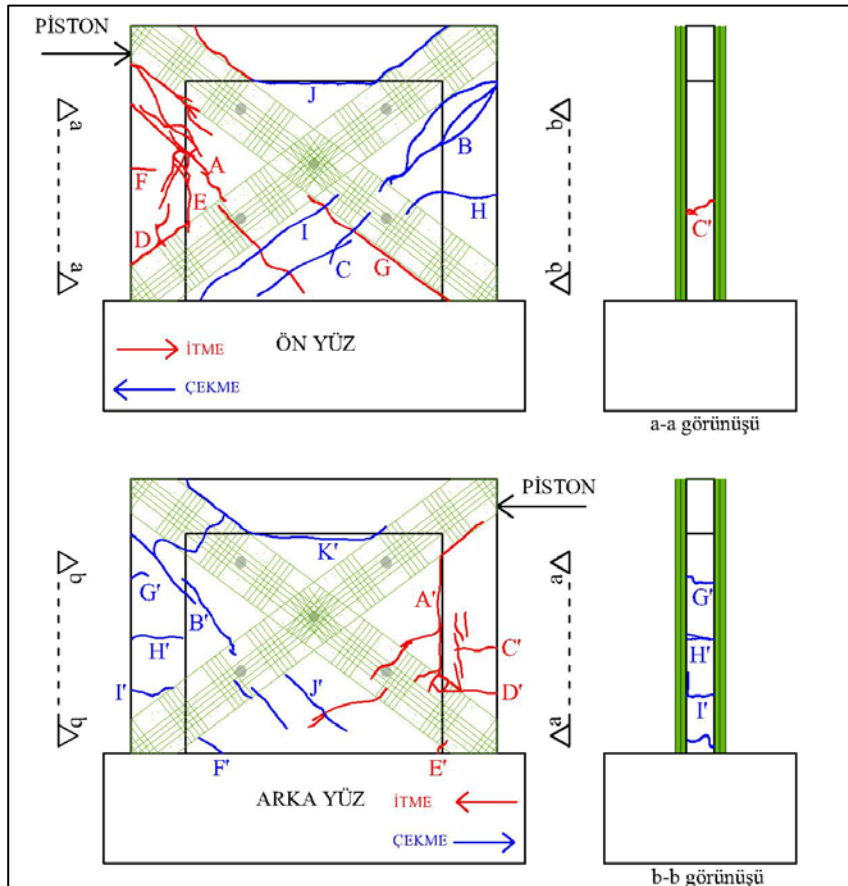
12. çevrimde mevcut çatlak genişlikleri ileri seviyelere ulaşmış ve özellikle kolon-temel birleşim bölgeleri hasar görmeye başlamıştır. Çerçevenin bütününde görülen ağır hasar sonucu deney sonlandırılmıştır (Şekil 3.100).

CFRC-D-A çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.101'de gösterilmiştir.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.100 : Deney sonunda numunedeki hasar durumu.



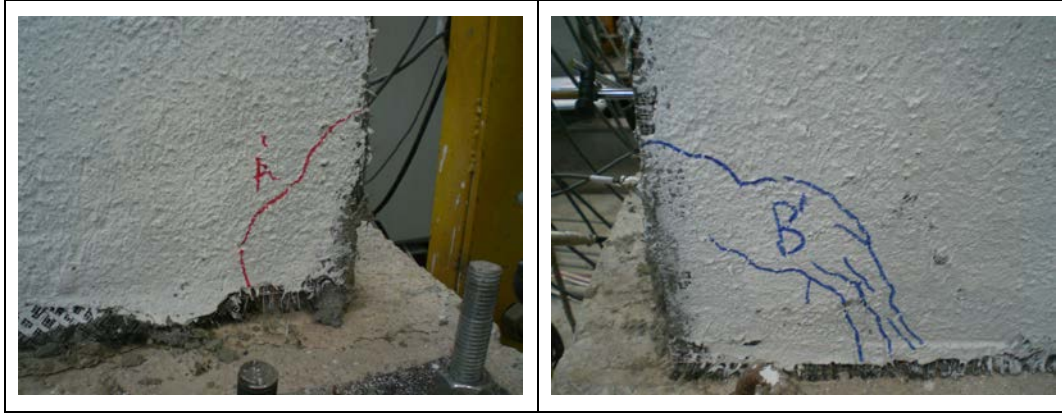
Şekil 3.101 : CFRC-D-A çerçevesi hasar şeması.

Çizelge 3.13 : CFRC-D-A çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Görelî Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
5	2.70	0.3	A, C = 0.1mm, B = 0.1mm A' = 0.2mm, B' = 0.2mm
6	3.60	0.4	D, F = 0.1mm, E = 0.2mm A = 1.1mm, B = 0.8mm A' = 0.8mm, B' = 0.4mm C', D', E' = 0.1mm F' < 0.1mm
7	4.50	0.5	G, H < 0.1mm A = 1.8mm, B = 1.1mm G', H' < 0.1mm A' = 1mm, B' = 0.8mm E' = 0.6mm
8	5.40	0.6	A = 2.1mm A', E' = 1.5mm B' ve C' çatlakları ilerledi.
9	6.30	0.7	E çatlağı ilerledi. A, D ve E çatlakları birleşti. I' < 0.1mm A' ve D' çatlakları birleşti.
10	7.20	0.8	A, D, E = 3mm, B = 2mm
11	9.00	1	I = 0.2mm, J = 0.3mm B = 2.5mm, D = 5mm J' = 0.1mm, K' = 0.2mm
12	18.00	2	Duvar-kolon ayrışmaları ileri seviyede. D çatlağı ilerledi. D' çatlağı ilerledi.

3.5.8 CFRC-2-2-A çerçeve deneyi

Deneyde ilk çatlak 7. çevrimde itme sırasında arka yüzde kolon dibinde oluşmuştur (A' çatlağı). Çekme sırasında yine arka yüzde bu çatlağın simetriği olan B' çatlağı meydana gelmiştir (Şekil 3.102).



Şekil 3.102 : 7. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

8. çevrimde itme sırasında A' çatlağının genişliği 1.2mm olmuştur ve çatlak aşağıya doğru ilerlemiştir.

9. çevrimde itme sırasında ön yüzdeki karbon liflerin gerginliği belirginleşmeye başlamıştır. A' çatlağının genişliği 2.2mm ölçülmüştür.

10. çevrimde itme sırasında pistonun bulunduğu taraftaki kolon dibinden kırılmaya başlamış ve A çatlağı oluşmuştur. Aynı tarafta tabanda da çatlak oluşmuştur. A' çatlağı kolon ile temelin birleştiği yere kadar ilerlemiştir. Çatlağın genişliği 3.5mm ölçülmüştür. 10. çevrimde çekme sırasında pistonun karşısında olan kolon, dibinden kırılmış ve B çatlağı oluşmuştur. B' çatlakları ilerleyerek kolon-temel birleşim yüzeyine ulaşmıştır (Şekil 3.103).



Şekil 3.103 : 10. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

11. çevrimde itmede ön yüzde piston tarafında bulunan kolon-temel birleşim bölgesindeki A çatlağı altındaki parça ile birlikte koparak donatı yüzeyinden ayrılmıştır. Bu çevrimde çekme sırasında ön yüzde bulunan diğer kolon-temel birleşim bölgesindeki B çatlağı daha da belirgin hale gelmiştir. Kolon-temel birleşim

köşelerinde sıva ayrılmaları başlamıştır. Arka yüzdeki A' çatlağının genişliği 4mm ölçülmüştür (Şekil 3.104).



Şekil 3.104 : 11. çevrim sırasında oluşan çatlaklar.

12. çevrimde itme sırasında piston tarafındaki kolondaki çatlaklar yukarı doğru ilerlemiş ve çatlaklar arasındaki beton parçaları dökülerek kolondan ayrılmaya başlamıştır. Arka yüzde A' çatlağının genişliği 5mm'yi geçmiştir. Bu çevrimde çekme sırasında B çatlağı büyüyerek bu bölgenin parça halinde donatı yüzeyinden ayrılmasına sebebiyet vermiştir. Çevrim sonunda donatılar açığa çıkmıştır (Şekil 3.105).



Şekil 3.105 : 12. çevrimde donatıların açığa çıkması.

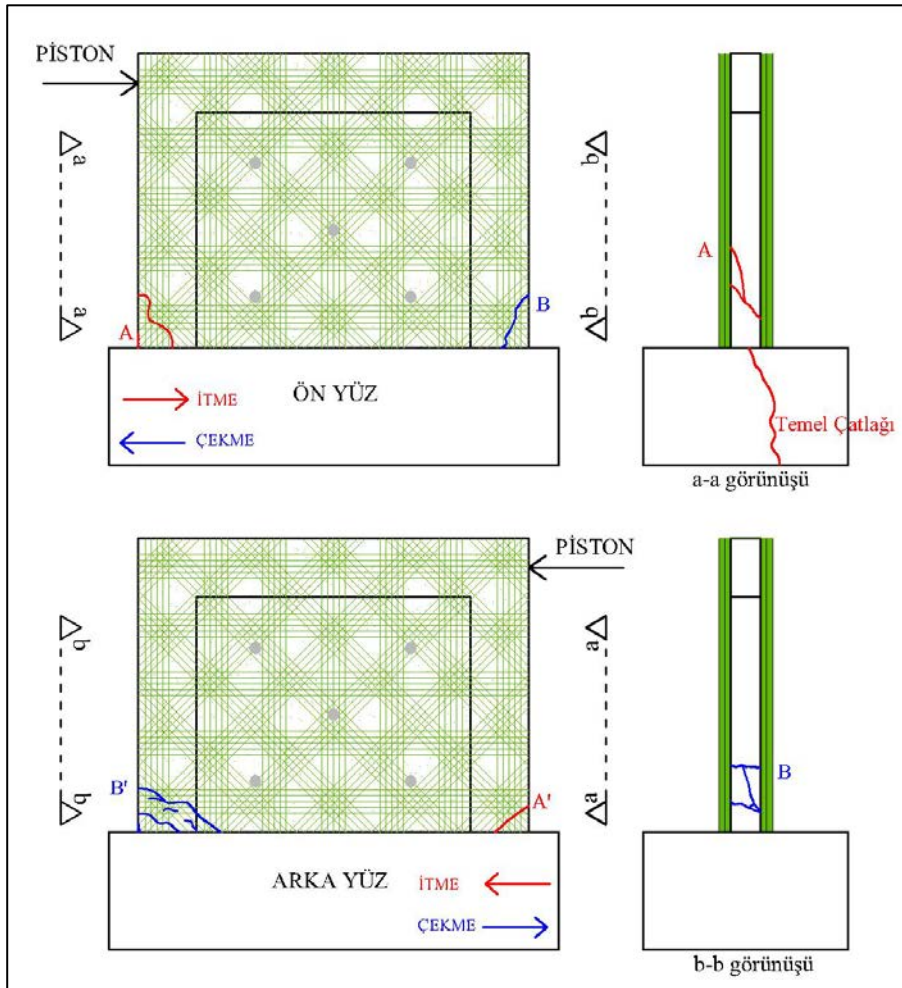
13. çevrimde itme sırasında A bölgesi tamamen parçalanmış ve donatı burkulmaları gözlemlenebilir olmuştur. Arka yüzde A' çatlağı parçalanmıştır.

14. çevrimde itme ve çekme sırasında numunenin temel üzerinde büyük ötelenmeler yaptığı görülmüş ve deney sonlandırılmıştır. CFRC-2-2-A numunesinde hasar özellikle kolon diplerinde oluşmuştur. Her iki kolon dibinde de beton donatı yüzeyinden parçalanarak ayrılmıştır. Donatı burkulmaları ileri çevrimlerde rahatlıkla gözlemlenebilmiştir (Şekil 3.106).



Şekil 3.106 : Son çevrimlerde gözlemlenen donatı burkulmaları.

CFRC-2-2-A çerçeve üzerinde oluşan tüm çatlaklar Şekil 3.107’de gösterilmiştir.



Şekil 3.107 : CFRC-2-2-A çerçevesi çatlak şeması.

Çevrimler esnasında oluşan çatlaklar ve genişlikleri Çizelge 3.14’de verilmiştir.

Çizelge 3.14 : CFRC-2-2-A çerçevede oluşan çatlaklar ve genişlikleri.

Çevrim No	Tepe Yer Değiştirme (mm)	Kat Göreli Öteleme Yüzdesi (%)	Oluşan Çatlaklar ve Genişlikleri (mm)
7	4.50	0.5	A' = 0.6mm, B' = 0.2mm
8	5.40	0.6	A' = 1.2mm
9	6.30	0.7	A' = 2.2mm
10	7.20	0.8	A' = 3.5mm, A = 0.2mm Temel çatlağı = 0.1mm
11	9.00	1	A' = 4.0mm, B = 0.2mm
12	13.50	1.5	A' > 5mm
13	18.00	2	Donatı burkulması
14	36.00	4	Deney sonlandırıldı.

3.6 Betonarme Çerçeve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde tersinir tekrarlı yatay yükler altında test edilen 8 adet betonarme çerçevenin deney sonuçları sırasıyla değerlendirilmiştir.

3.6.1 Yalın çerçeve

Deney grupları içerisinde kontrol grubunda bulunan yalın çerçevede, tersinir tekrarlı yükler altında 14 çevrim tamamlamıştır. Çerçeve üzerinde dolgu duvar ve güçlendirme bulunmayan bu numune, itme ve çekme sırasında, beklenildiği üzere numuneler arasında en düşük yatay yük değerlerine sahiptir. Numunede ilk çatlak, 7. çevrimde kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. İlerleyen çevrimlerde kolon-kiriş birleşim bölgelerine yakın yerlerde çatlak oluşumu devam etmiş, sonraki çevrimlerde ise kolon-temel birleşim bölgelerinde çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Dolayısıyla plastik mafsallaşma ilk olarak kolon-kiriş düğüm noktasında başlayıp daha sonra kolon-temel düğüm noktasında oluşmuştur. Kolon üzerinde oluşan çatlaklar homojen biçimde yayılmıştır. Çizelge 3.15’de yalın çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir. Tepe yer değiştirmesindeki ilk değer hedef yer değiştirme, parantez içindeki değer ise çevrim sırasında gidilen gerçek yer değiştirmedir.

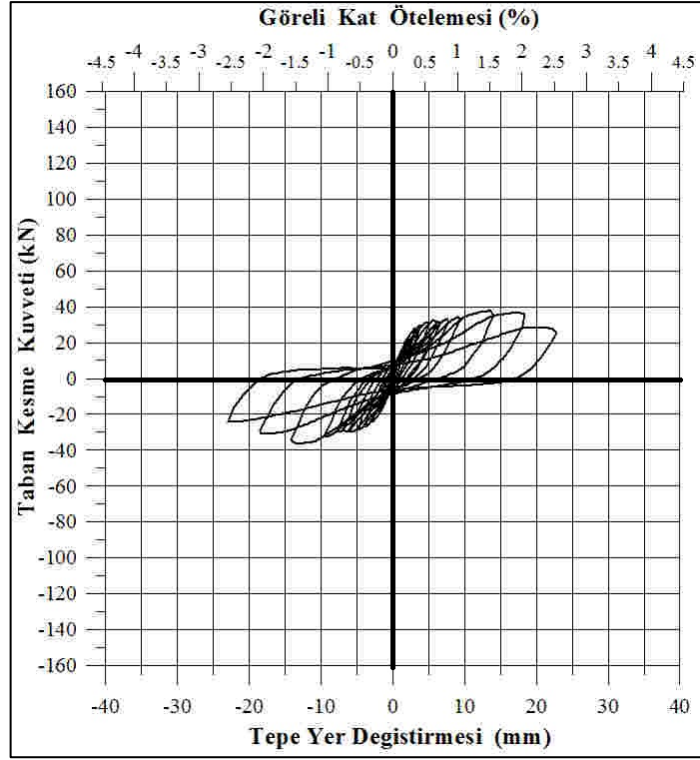
Çizelge 3.15 : Yalın çerçeve çevrim bilgileri.

ÇIPLAK ÇERÇEVE				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0.27 (+0.30)	+5.036	-0.27 (-0.26)	-3.897
2	+0.54 (+0.54)	+9.043	-0.54 (-0.56)	-8.021
3	+0.90 (+1.04)	+14.579	-0.90 (-1.14)	-14.256
4	+1.80 (+1.94)	+22.255	-1.80 (-1.86)	-20.24
5	+2.70 (+3.04)	+27.879	-2.70 (-2.76)	-24.24
6	+3.60 (+3.80)	+30.018	-3.60 (-3.64)	-27.055
7	+4.50 (+4.88)	+31.084	-4.50 (-4.52)	-28.452
8	+5.40 (+5.52)	+32.474	-5.40 (-5.38)	-29.489
9	+6.30 (+6.36)	+31.827	-6.30 (-6.20)	-29.776
10	+7.20 (+7.48)	+32.878	-7.20 (-7.16)	-29.614
11	+9.00 (+9.02)	+34.268	-9.00 (-9.14)	-32.738
12	+13.50 (+13.54)	+37.378	-13.5 (-13.30)	-36.481
13	+18.00 (+18.20)	+35.856	-18.00 (-18.22)	-31.106
14	+22.50 (+22.10)	+27.695	-22.50 (-22.86)	-24.085

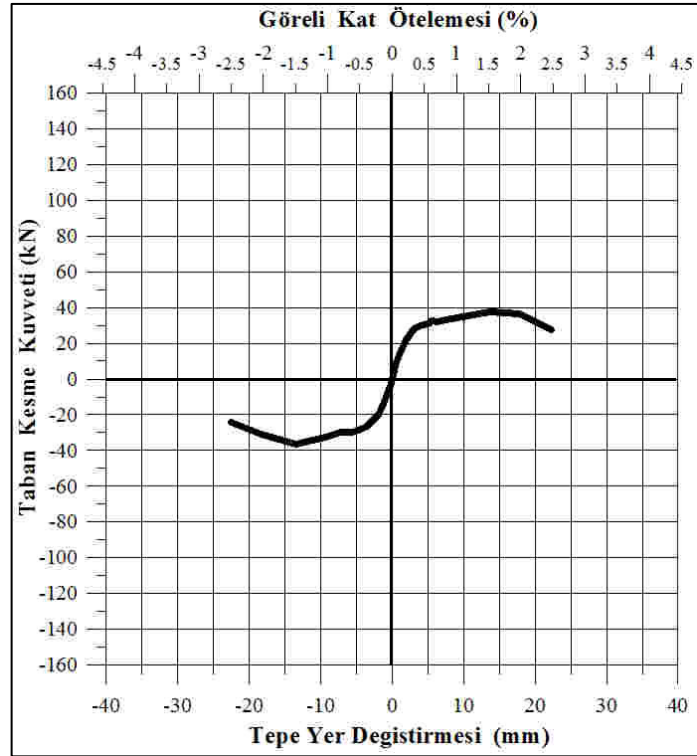
Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük (taban kesme kuvveti) değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 22.86mm'dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 12. çevrimde itme sırasında ulaşmıştır; bu değer, 13.54mm tepe yer değiştirmesinde 37.378kN olarak elde edilmiştir.

Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinin yerine bakıldığında, bu değer son çevrime yakın bir çevrimde (12. çevrim) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 6. çevrimden itibaren elde edilen yatay yük değerleri maksimum değere çok yakındır. Yalın çerçeve, maksimum taşıma kapasitesine ulaştıktan hemen sonra ağır hasara uğramış, yatay yük taşıma kapasitesini kaybetmiş ve deney sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.108'de ve bu şekilden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.109'da verilmiştir.



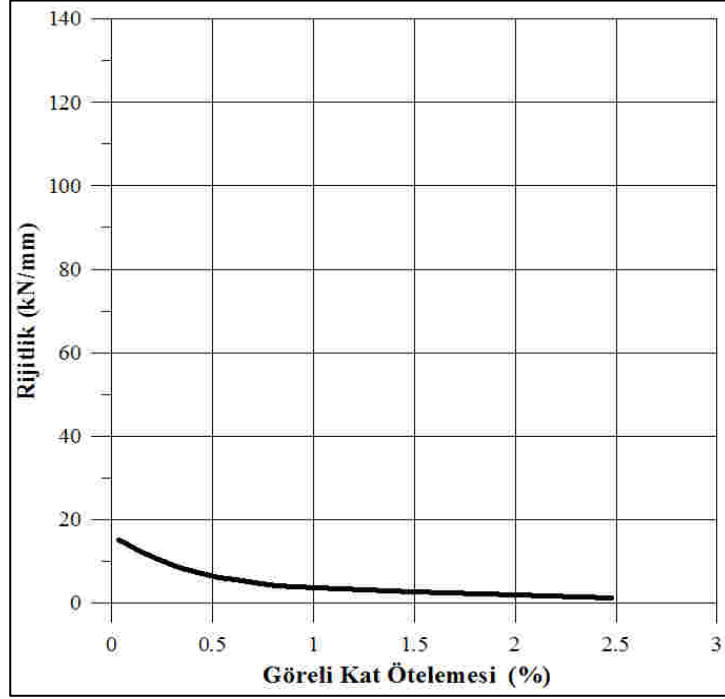
Şekil 3.108 : Yalın çerçeve yatay yük-tepe yer değıştirmesi ilişkisi.



Şekil 3.109 : Yalın çerçeve yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.

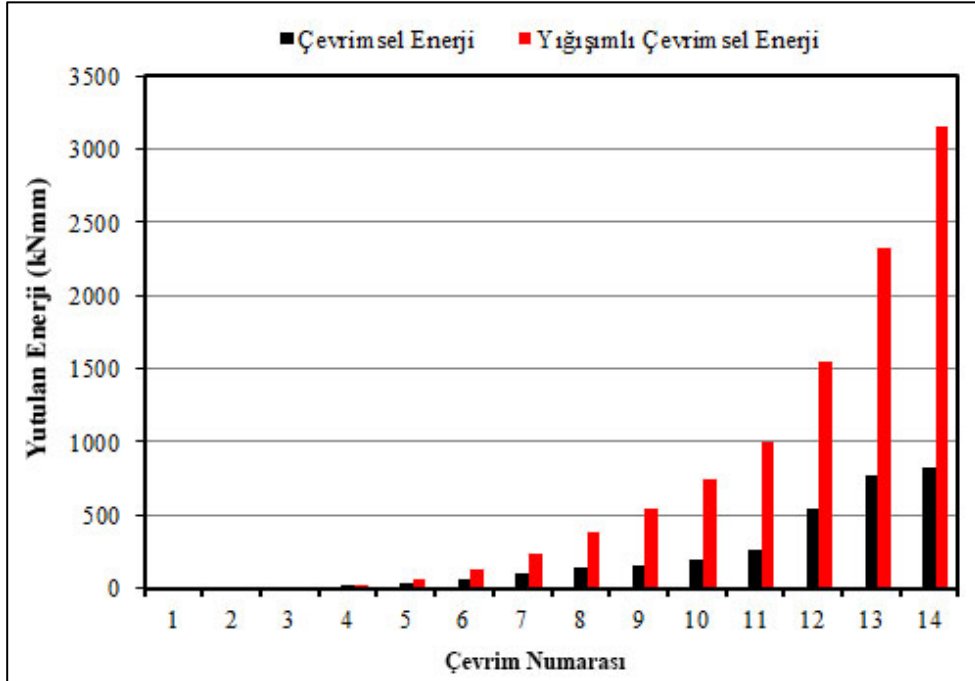
Deneylerde yatay rijitlikler, her çevrimin itme ve çekme yönlerindeki en büyük taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirmesi noktalarını birleştiren doğrunun eğimi

hesaplanarak elde edilmiştir. Şekil 3.110’da yalın çerçevenin yatay rijitlik grafiği verilmiştir.



Şekil 3.110 : Yalın çerçeve yatay rijitlik değişimi.

Çevrimler sırasında tüketilen enerji, taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi eğrilerinin altında kalan alanların hesaplanmasıyla bulunmuştur (Şekil 3.111).



Şekil 3.111 : Yalın çerçeve yutulan enerji grafiği.

Yalın çerçeve numunesinin 14. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 3152 kN.mm'dir.

3.6.2 Dolgu duvarlı çerçeve

Deney grupları içerisinde kontrol grubunda bulunan dolgu duvarlı çerçeve, tersinir tekrarlı yükler altında 11 çevrim geçirmiştir. Numunede ilk çatlak, 2. çevrimde kolon ile dolgu duvarın birleştiği yüzeyde meydana gelmiştir. Daha sonraki çevrimde kiriş ile dolgu duvarın birleştiği yüzeyde de çatlak oluşmuştur. İlerleyen çevrimlerde kolon-kiriş birleşim bölgelerine yakın yerlerde çatlak oluşumu devam etmiş, sonraki çevrimlerde ise kolon-temel birleşim bölgelerinde çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Ayrıca dolgu duvarın çerçeve köşesi ile temas ettiği yerlerde ezilmeler ve çatlaklar oluşmuştur. Çevrimler sırasında kolon yüzeyinde oluşan çatlaklar homojen biçimde yayılmıştır.

Çizelge 3.16'da yalın çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir.

Çizelge 3.16 : Dolgu duvarlı çerçeve çevrim bilgileri.

DOLGU DUVARLI ÇERÇEVE				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0.27 (+0.30)	+26.048	-0.27 (-0.32)	-31.996
2	+0.54 (+0.52)	+41.803	-0.54 (-0.58)	-43.436
3	+0.90 (+0.94)	+55.559	-0.90 (-0.94)	-52.28
4	+1.80 (+1.84)	+62.918	-1.80 (-1.90)	-68.594
5	+2.70 (+2.74)	+69.043	-2.70 (-2.72)	-71.601
6	+3.60 (+3.58)	+73.777	-3.60 (-3.68)	-79.21
7	+4.50 (+4.52)	+72.829	-4.50 (-4.50)	-74.167
8	+5.40 (+5.44)	+72.998	-5.40 (-5.42)	-69.24
9	+6.30 (+6.30)	+73.983	-6.30 (-6.48)	-65.425
10	+9.00 (+9.04)	+79.196	-9.00 (-9.02)	-64.418
11	+13.50 (+13.88)	+76.615	-13.50 (-13.50)	-55.50

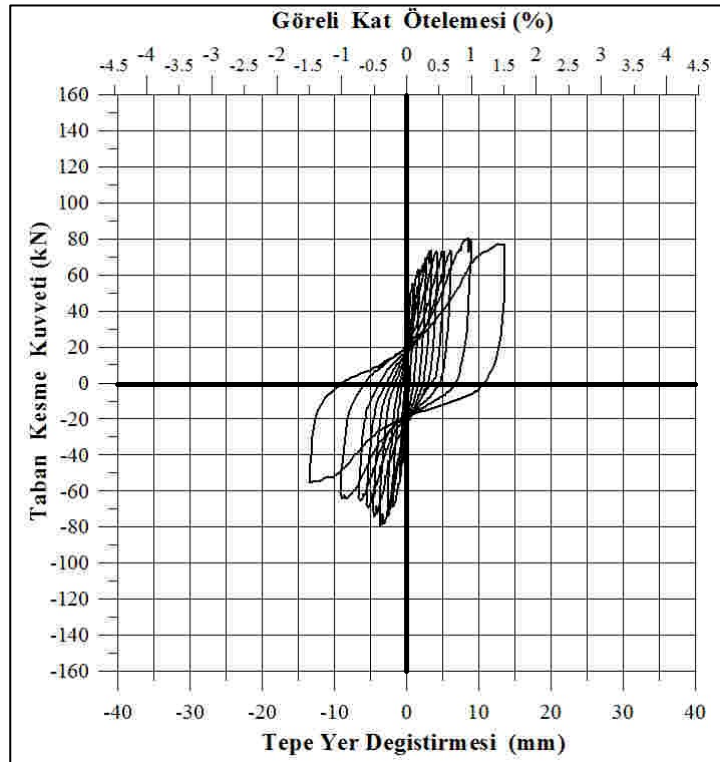
Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük değerleri son çevrimlere kadar birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Son çevrimlerde yatay yük değerleri arasında bir miktar farklılık görülmüştür. İtme ve çekme sırasında görülen bu farklılık, son çevrimlerde meydana gelen plastik mafsallaşma ve dolgu duvar

hasarları düşünülüğünde dolgu duvarlı betonarme çerçeve için beklenen bir durumdur. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değıştirmesi 13.88mm'dir. Numune, maksimum yatay yük değeri, 6. çevrimde çekme sırasında ulaşmıştır; bu değeri, 3.68mm tepe yer değıştirmesinde 79.21kN olarak elde edilmiştir.

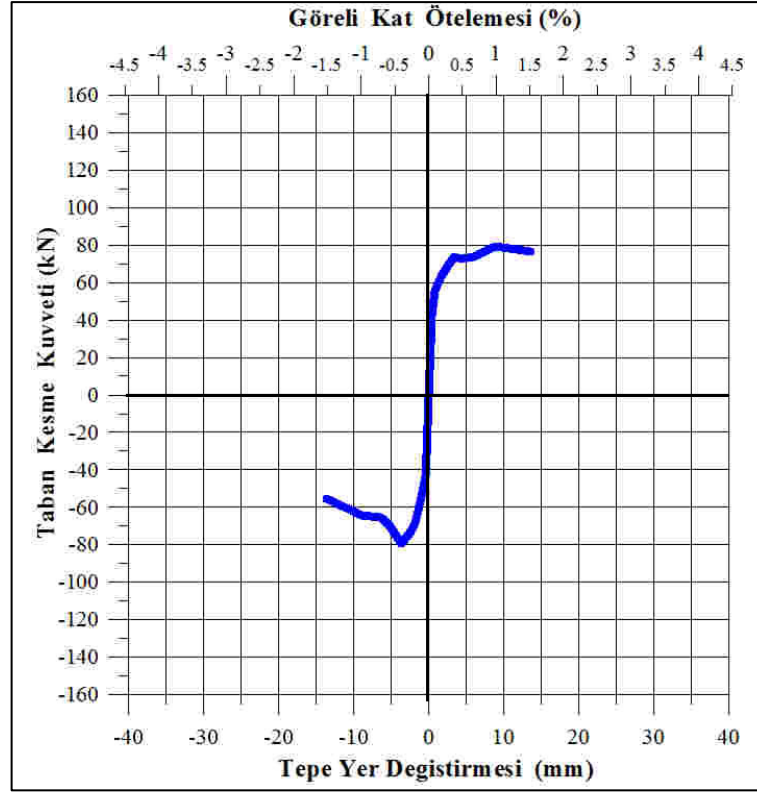
Dolgu duvarlı betonarme çerçeve deneyinden elde edilen maksimum yatay yük değeri, çıplak betonarme çerçeve numunesi maksimum yatay yük değeri göre yaklaşık olarak %112 civarında artış göstermektedir.

Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değeri yerine bakıldığında, bu değeri toplam çevrimlerin ortasında (6. çevrim) oluştuğu görülmektedir. Dolgu duvarlı çerçeve, maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra dayanımını kaybetmemiş ve üzerine gelen kuvvetleri taşımaya devam etmiştir. Deney 11. çevrimde, kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelen ağır hasar sonucu numuneye düşey yük verilememesi sebebiyle sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan yatay yük-tepe yer değıştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.112'de ve bu şekilden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.113'de verilmiştir.

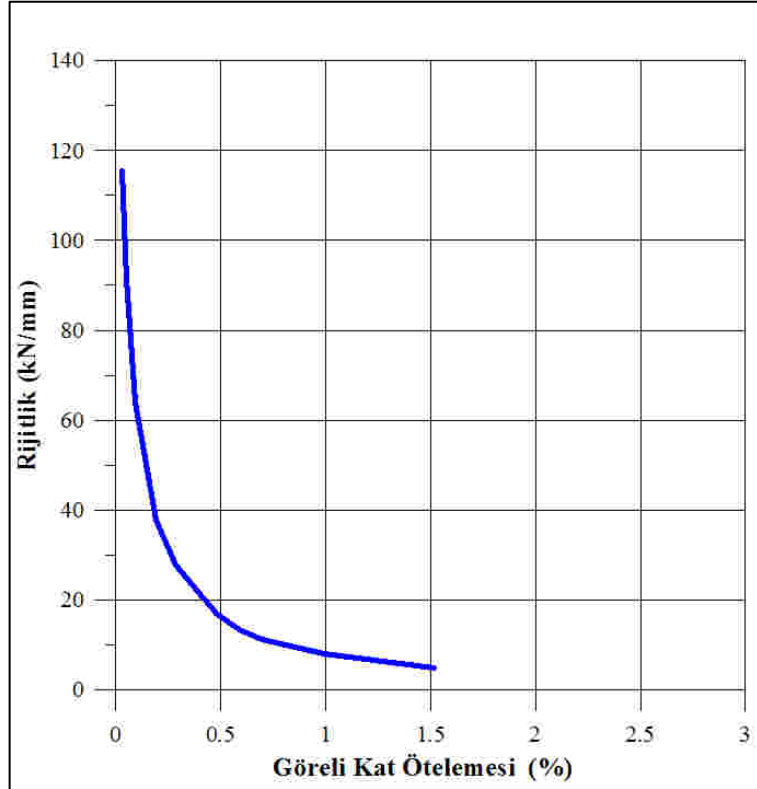


Şekil 3.112 : Dolgu duvarlı çerçeve yatay yük-tepe yer değıştirmesi ilişkisi.



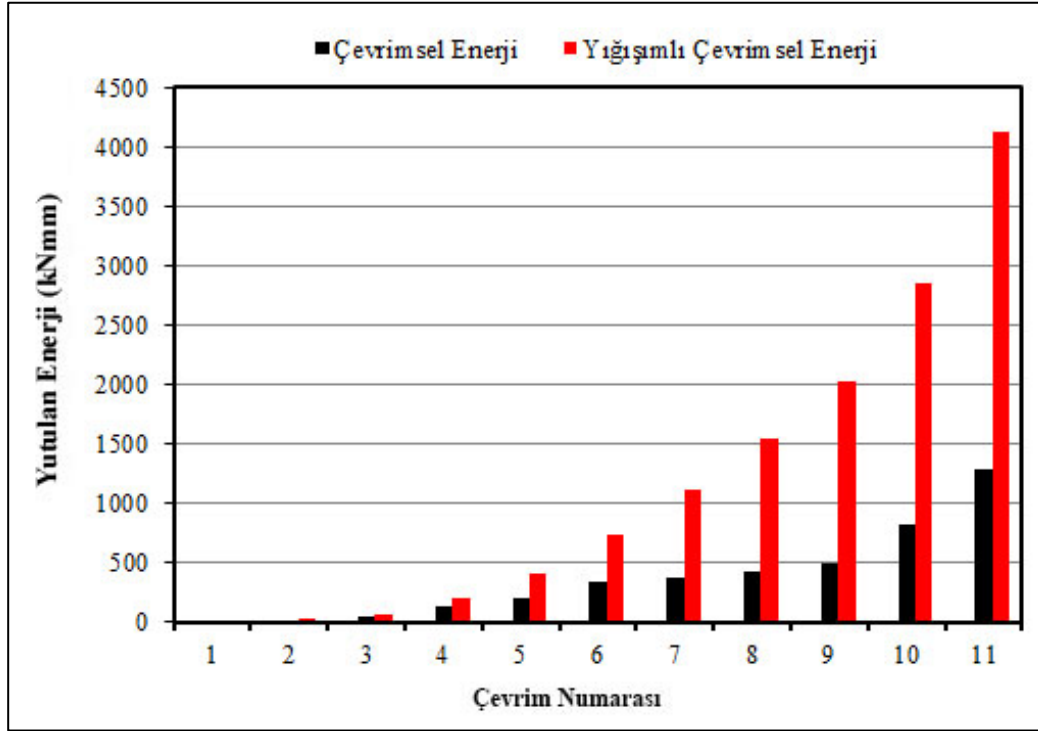
Şekil 3.113 : Dolgu duvarlı çerçeve yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.

Şekil 3.114'de dolgu duvarlı çerçevenin yatay rijitlik grafiğı verilmiştir.



Şekil 3.114 : Dolgu duvarlı çerçeve yatay rijitlik değışimi.

Dolgu duvarlı çerçevenin başlangıç rijitliği, yalın çerçevenin yaklaşık 7.6 katıdır. Çevrimler sırasında dolgu duvarlı çerçevenin tükettiği enerji miktarı Şekil 3.115’de verilmiştir.



Şekil 3.115 : Dolgu duvarlı çerçeve yutulan enerji miktarı.

Dolgu duvarlı çerçeve numunesinin 11. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 4134 kN.mm’dir. Bu değer yalın çerçeveye göre 1.3 kat daha fazladır.

3.6.3 CFRC-1-2 çerçevesi

CFRC kompozit malzeme ile güçlendirilmiş deney numuneleri içerisinde bulunan, bir yüzü iki kat güçlendirilmiş CFRC-1-2 çerçevesi, tersinir tekrarlı yükler altında 13 çevrim tamamlamıştır. Numunede ilk çatlak, 3. çevrimde kolon orta bölgesinde, güçlendirmenin olmadığı arka yüzde oluşmuştur. 4. çevrimle birlikte oluşan çatlaklar kolon alt bölgesine biraz daha yaklaşmıştır. Sonraki çevrimlerde, güçlendirmenin olduğu ön yüzde, kolon ve kirişlerin dolgu duvar ile birleştiği yüzeylerde çatlaklar belirginleşmiştir. İlerleyen çevrimlerde, güçlendirilmeyen arka yüzde, dolgu duvarın çerçeve köşesi ile temas ettiği yerlerde ezilmeler ve diyagonal deprem çatlakları oluşmuştur. Son çevrimlere yaklaşıldıkça oluşan hasarlar kolon-temel birleşim bölgelerinde meydana gelmiştir.

Çizelge 3.17’de CFRC-1-2 çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir.

Çizelge 3.17 : CFRC-1-2 çerçevesi çevrim bilgileri.

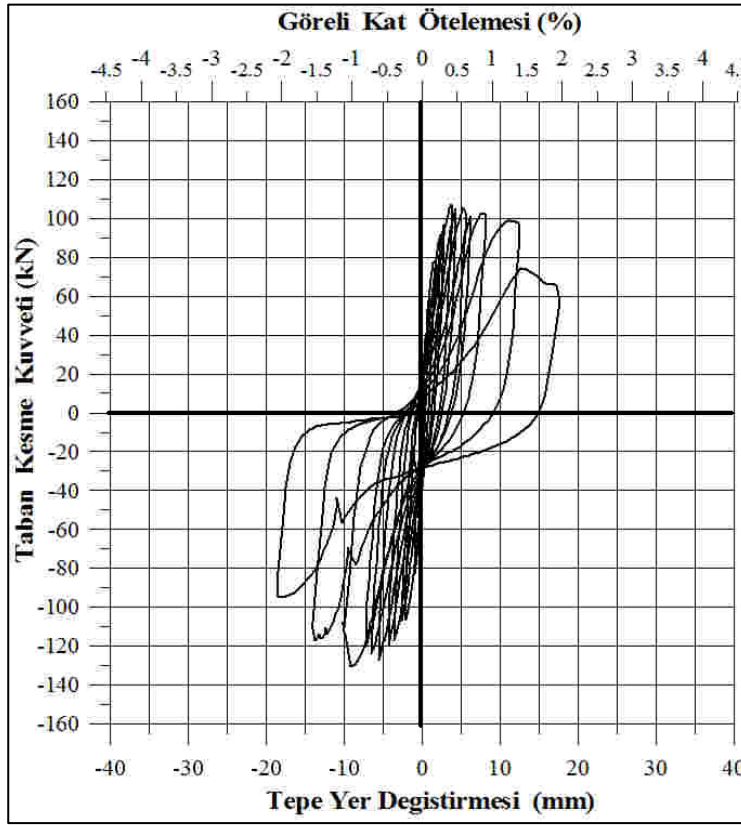
CFRC-1-2				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0.27 (+0.30)	+22.027	-0.27 (-0.24)	-28.342
2	+0.54 (+0.60)	+37.944	-0.54 (-0.52)	-50.714
3	+0.90 (+0.88)	+53.140	-0.90 (-1.16)	-83.181
4	+1.80 (+1.82)	+77.122	-1.80 (-1.94)	-101.369
5	+2.70 (+2.88)	+91.716	-2.70 (-2.66)	-106.950
6	+3.60 (+3.46)	+96.782	-3.60 (-3.68)	-117.184
7	+4.50 (+4.60)	+107.008	-4.50 (-4.36)	-119.904
8	+5.40 (+5.32)	+105.031	-5.40 (-5.60)	-126.947
9	+6.30 (+6.26)	+105.435	-6.30 (-6.52)	-124.043
10	+7.20 (+7.26)	+100.884	-7.20 (-7.24)	-120.654
11	+9.00 (+9.18)	+102.649	-9.00 (-9.14)	-130.704(*)
12	+13.50 (+13.50)	+97.605	-13.50 (-13.76)	-117.147
13	+18.00 (+18.18)	+65.425	-18.00 (-18.44)	-94.231

Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük değerlerinde bir miktar farklılık görülmüştür. İtme ve çekme sırasında görülen bu farklılık, numunedeki asimetrik güçlendirme, ileri çevrimlerde meydana gelen plastik mafsallaşma ve dolgu duvar hasarları düşünüldüğünde beklenen bir durumdur. 11. çevrimde çekme yatay yük değerinde görülen artış ise, kolonlara verilen sabit düşey yükün, krikonun ayarlanması sırasında bir miktar artması sebebiyle oluşmuştur. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 18.44mm’dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 8. çevrimde çekme sırasında ulaşmıştır; bu değer, 5.60mm tepe yer değiştirmesinde 126.947kN olarak elde edilmiştir.

Bir yüzü iki kat güçlendirilmiş CFRC-1-2 betonarme çerçeve deneyinden elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %60, yalın betonarme çerçeveye göre ise %240 oranında bir artış göstermektedir.

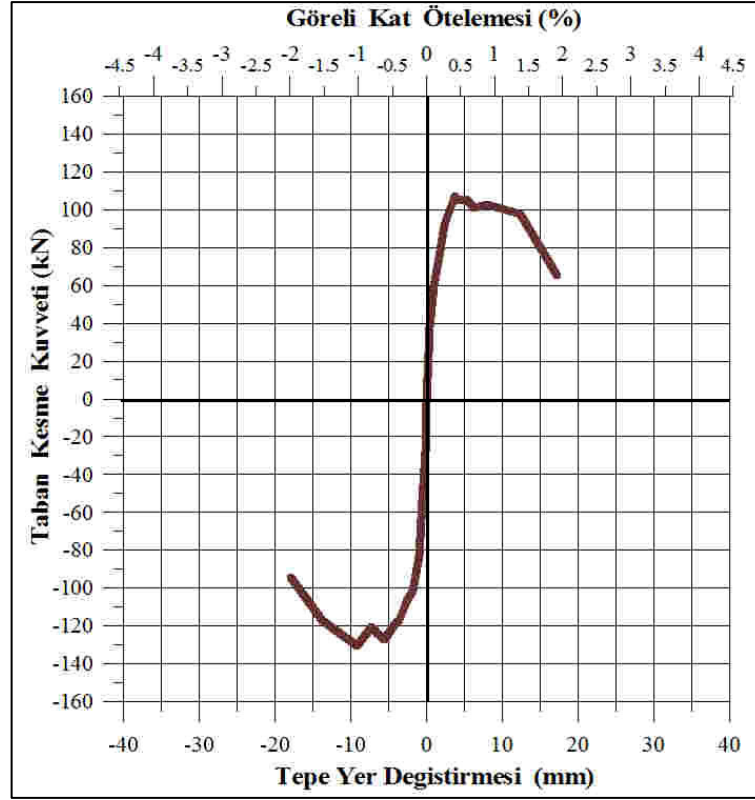
Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinin yerine bakıldığında, bu değer toplam çevrimlerin ortasına yakın bir çevrimde (8. çevrim) oluştuğu görülmektedir. CFRC-1-2 çerçevesi, maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra dayanımını kaybetmemiş ve üzerine gelen kuvvetleri taşımaya devam etmiştir. Deney 13. çevrimde, güçlendirilmeyen arka yüzdeki dolgu duvarda oluşan ağır hasarlar, kirişte oluşan kayma çatlakları ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sebebiyle sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan yatay yük-tepe yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.116'da verilmiştir.

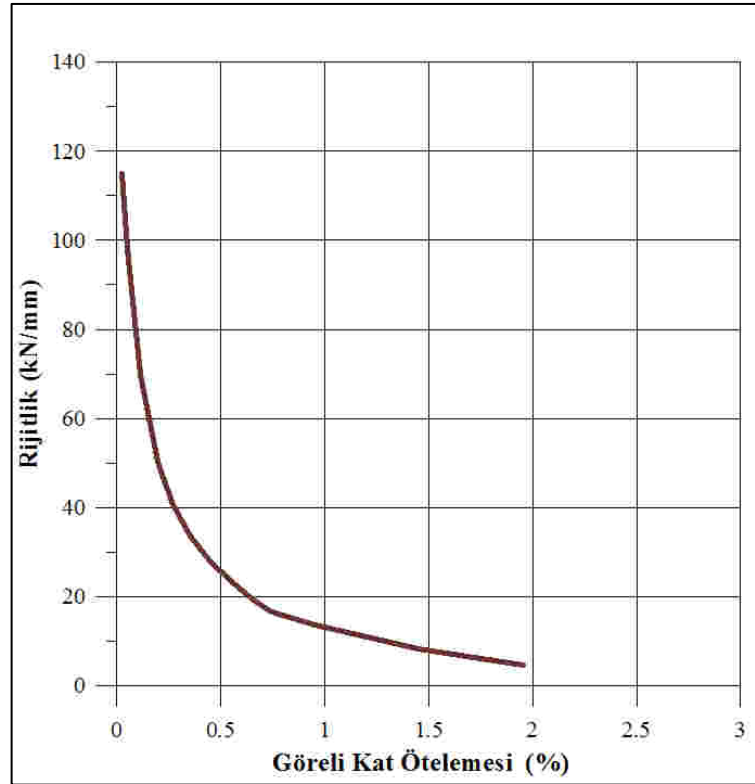


Şekil 3.116 : CFRC-1-2 çerçevesi yatay yük-tepe yer değıştirmesi ilişkisi.

CFRC-1-2 çerçevesi yatay yük-tepe yer değıştirmesi ilişkisinden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.117'de verilmiştir. Ayrıca CFRC-1-2 çerçevesinin yatay rijitlik grafiğı Şekil 3.118'de gösterilmiştir.

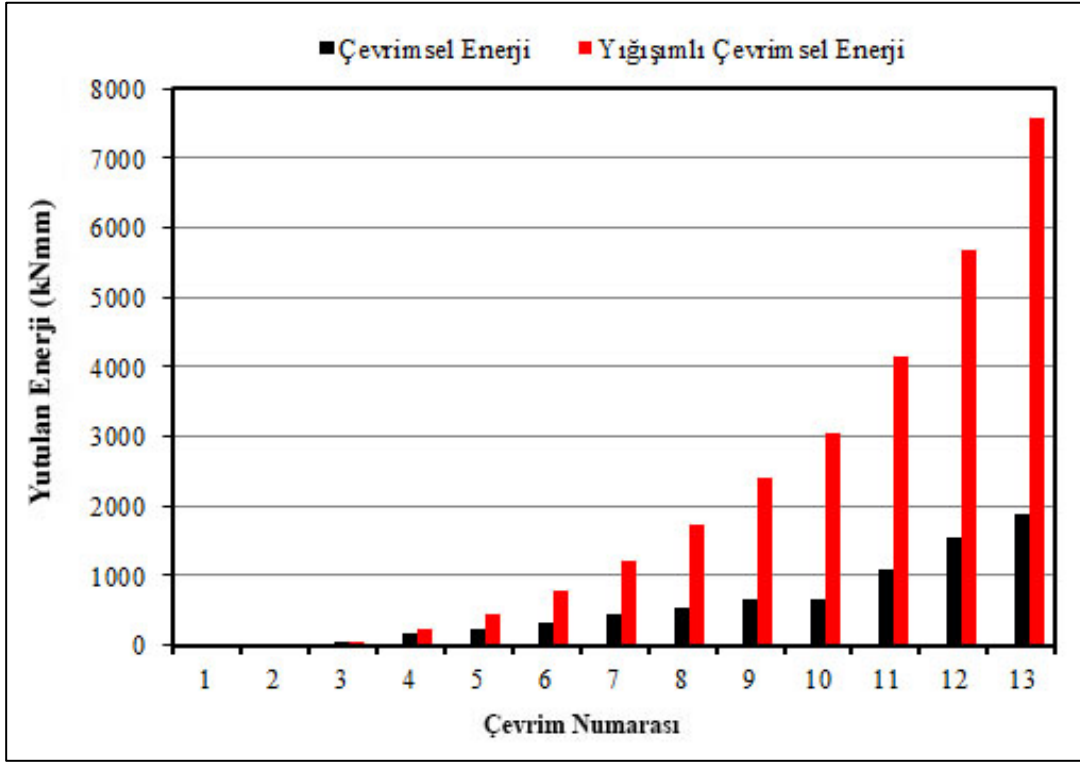


Şekil 3.117 : CFRC-1-2 çerçevesi yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.



Şekil 3.118 : CFRC-1-2 çerçevesi yatay rijitlik değışimi.

CFRC-1-2 çerçevesinin başlangıç rijitliği değeri dolgu duvarlı çerçeveye aynı çıkmıştır. Bu değer yalın çerçevenin ise yaklaşık 7.6 katıdır. Çevrimler sırasında CFRC-1-2 çerçevenin tükettiği enerji miktarı Şekil 3.119’da verilmiştir.



Şekil 3.119 : CFRC-1-2 çerçevesi yutulan enerji miktarı.

CFRC-1-2 çerçeve numunesinin 13. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 7577 kN.mm’dir. Bu değer yalın çerçeveye göre 2.4 kat, dolgu duvarlı çerçeveye göre ise 1.8 kat daha fazladır.

3.6.4 CFRC-2-1 çerçevesi

CFRC kompozit malzeme ile güçlendirilmiş deney numuneleri içerisinde bulunan, iki yüzü bir kat güçlendirilmiş CFRC-2-1 çerçevesi, tersinir tekrarlı yükler altında 14 çevrim tamamlamıştır. Numunede ilk çatlak, 6. çevrimde ön yüzde, kolon ile duvarın birleştiği yüzey doğrultusunda oluşmuştur. Sonraki çevrimlerde bu çatlaklar artmış ve ilerlemiş, çerçeve-dolgu duvar birleşim sınırı iyice ortaya çıkmıştır. Çevrimlerin sonuna doğru kolon diplerinde ağır hasar gözlemlenmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde ise, ön yüzde oluşan kayma çatlağı dışında önemli bir hasar oluşmamıştır. Bu çatlaklar dışında CFRC ile güçlendirilen yüzeylerde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

Çizelge 3.18’de CFRC-2-1 çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir.

Çizelge 3.18 : CFRC-2-1 çerçevesi çevrim bilgileri.

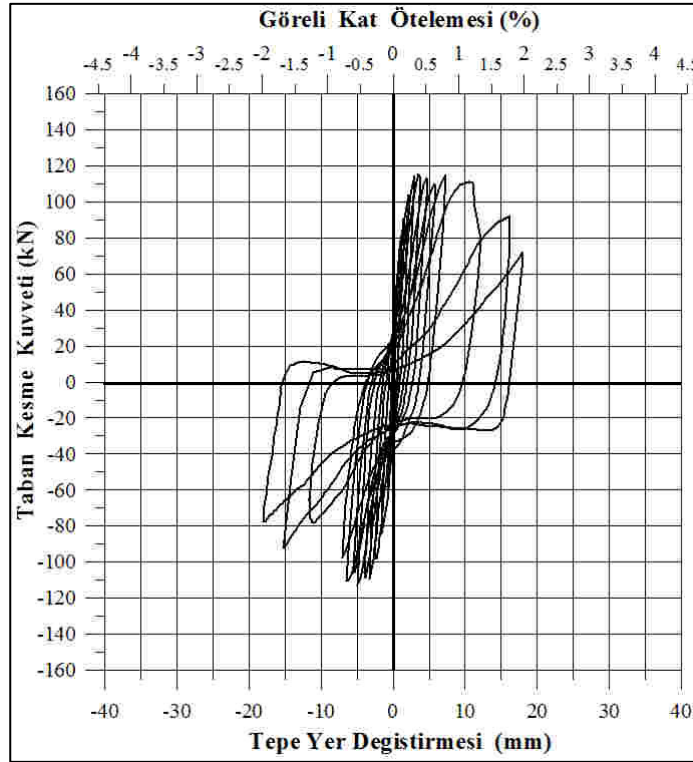
CFRC-2-1				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0.27 (+0.28)	+23.446	-0.27 (-0.22)	-24.887
2	+0.54 (+0.48)	+36.856	-0.54 (-0.50)	-46.112
3	+0.90 (+0.94)	+54.272	-0.90 (-0.88)	-58.375
4	+1.80 (+1.98)	+74.887	-1.80 (-1.76)	-84.401
5	+2.70 (+2.70)	+90.400	-2.70 (-2.70)	-98.223
6	+3.60 (+3.64)	+103.957	-3.60 (-3.84)	-109.148
7	+4.50 (+4.78)	+114.110	-4.50 (-4.58)	-108.685
8	+5.40 (+5.36)	+115.382	-5.40 (-5.34)	-108.876
9	+6.30 (+6.34)	+113.338	-6.30 (-6.34)	-105.898
10	+7.20 (+7.46)	+109.883	-7.20 (-7.24)	-109.898
11	+9.00 (+9.14)	+114.831	-9.00 (-8.90)	-97.826
12	+13.50 (+13.32)	+110.427	-13.50 (-13.44)	-78.416(*)
13	+18.00 (+18.50)	+92.062	-18.00 (-18.84)	-92.201
14	+22.50 (+19.78)	+68.874	-22.50 (-18.01)	-77.560

Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük değerleri 12.çevrim dışında birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. 12.çevrim çekmede, kolonlara verilen sabit düşey yükün krika tarafından ayarlanması sırasında düşey yük değerinde bir miktar azalma olmuş ve bunun sonucunda yatay yük değeri düşmüştür. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 19.78mm’dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 8. çevrimde itme sırasında ulaşmıştır; bu değer, 5.36mm tepe yer değiştirmesinde 115.382kN olarak elde edilmiştir.

İki yüzü bir kat güçlendirilmiş CFRC-2-1 çerçeve deneyinden elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %46, yalın betonarme çerçeve numunesine göre ise yaklaşık olarak %209 civarında artış göstermektedir.

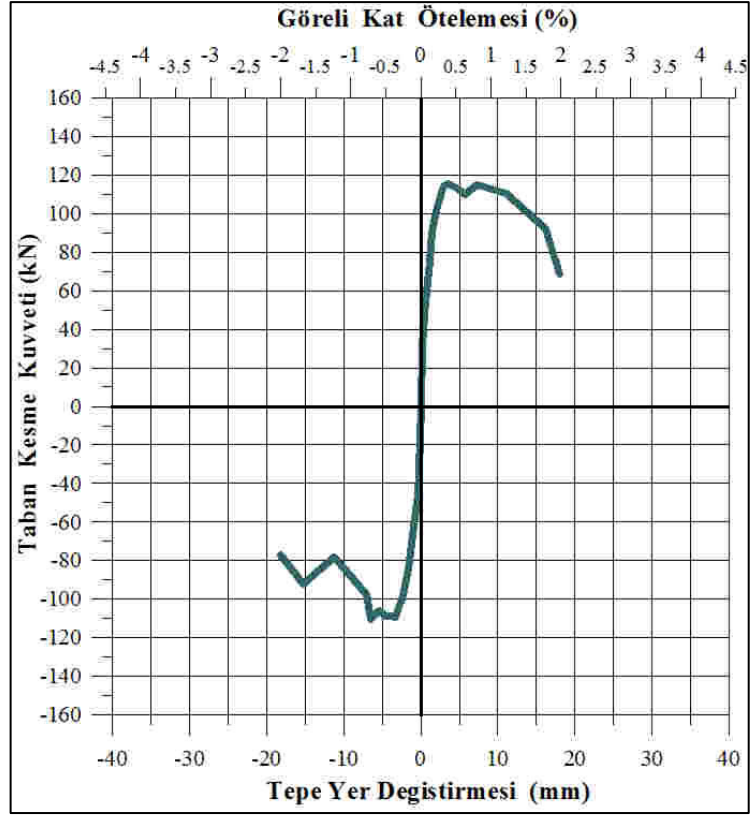
Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinin yerine bakıldığında, bu değer toplam çevrimlerin ortasında (8. çevrim) olduğu görülmektedir. CFRC-2-1 çerçevesi, maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra dayanımını kaybetmemiş, üzerine gelen kuvvetlerin değerlerinde önemli bir düşüş olmadan 5 çevrim sonra hedeflenen yer değiştirmelere ulaşmış ve göçme anına kadar sünek bir davranış göstermiştir. Deney 14. çevrimde, kolon-temel birleşim bölgelerinde meydana gelen ağır hasar sonucu ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sebebiyle sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan yatay yük-tepe yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.120’de verilmiştir.

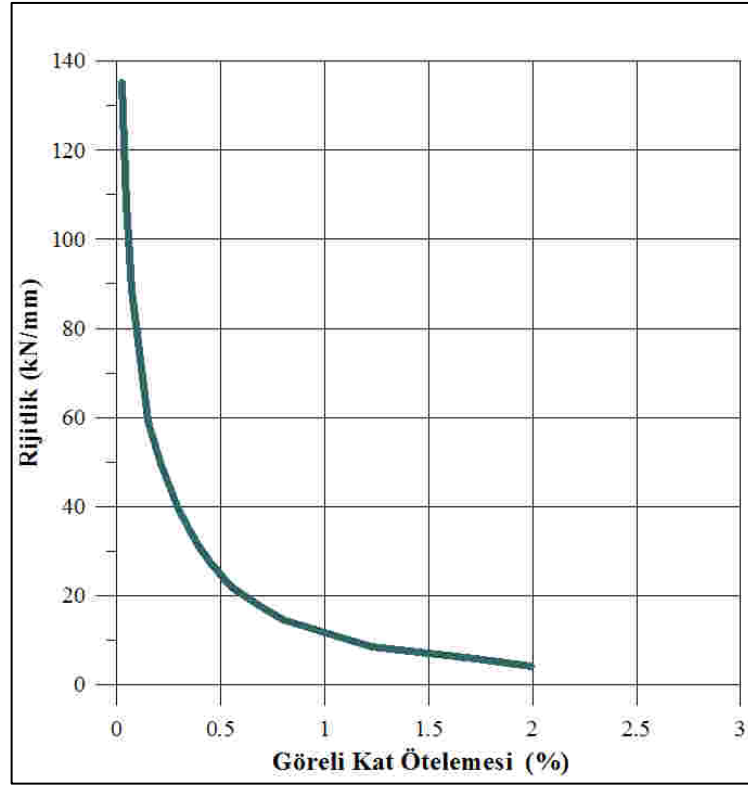


Şekil 3.120 : CFRC-2-1 çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.

CFRC-2-1 çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisinden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.121’de verilmiştir. Ayrıca CFRC-2-1 çerçevesinin yatay rijitlik grafiği Şekil 3.122’de gösterilmiştir.

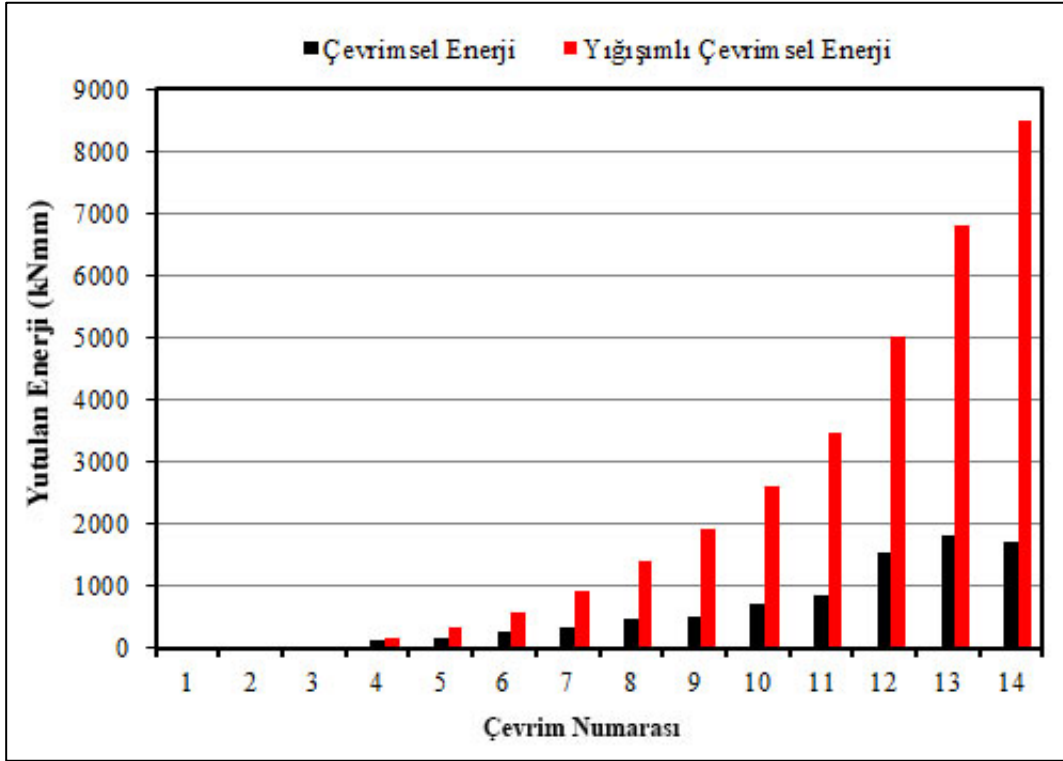


Şekil 3.121 : CFRC-2-1 çerçevesi yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.



Şekil 3.122 : CFRC-2-1 çerçevesi yatay rijitlik değışimi.

CFRC-2-1 çerçevesinin başlangıç rijitliği değeri, dolgu duvarlı çerçevenin yaklaşık 1.2 katı, yalın çerçevenin ise 8.9 katıdır. Çevrimler sırasında CFRC-2-1 çerçevenin tükettiği enerji miktarı Şekil 3.123’de verilmiştir.



Şekil 3.123 : CFRC-2-1 çerçevesi yutulan enerji miktarı.

CFRC-2-1 çerçeve numunesinin 14. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 8496 kN.mm’dir. Bu değer yalın çerçeveye göre 2.7 kat, dolgu duvarlı çerçeveye göre ise 2.1 kat daha fazladır.

3.6.5 CFRC-2-1-A çerçevesi

CFRC kompozit malzeme ile güçlendirilmiş deney numuneleri içerisinde bulunan, iki yüzü bir kat ankraj kullanılarak güçlendirilmiş CFRC-2-1-A çerçevesi, tersinir tekrarlı yükler altında 13 çevrim tamamlamıştır. Numunede ilk çatlak, 10. çevrimde piston tarafındaki kolon ile temel birleşim bölgesinde oluşmuştur. Sonraki çevrimlerde diğer kolonun temel ile birleştiği bölgede de aynı tip çatlaklar oluşmuştur. Çatlaklar yaklaşık olarak 45^0 açı ile oluşan diyagonal ve yatay çatlaklar şeklinde gelişmiştir. Çevrimlerin sonuna doğru kolon diplerinde ağır hasar gözlemlenmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde önemli bir hasar oluşmamıştır. Ayrıca bu çatlaklar dışında CFRC ile güçlendirilen yüzeylerde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

Çizelge 3.19’da CFRC-2-1-A çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir.

Çizelge 3.19 : CFRC-2-1-A çerçevesi çevrim bilgileri.

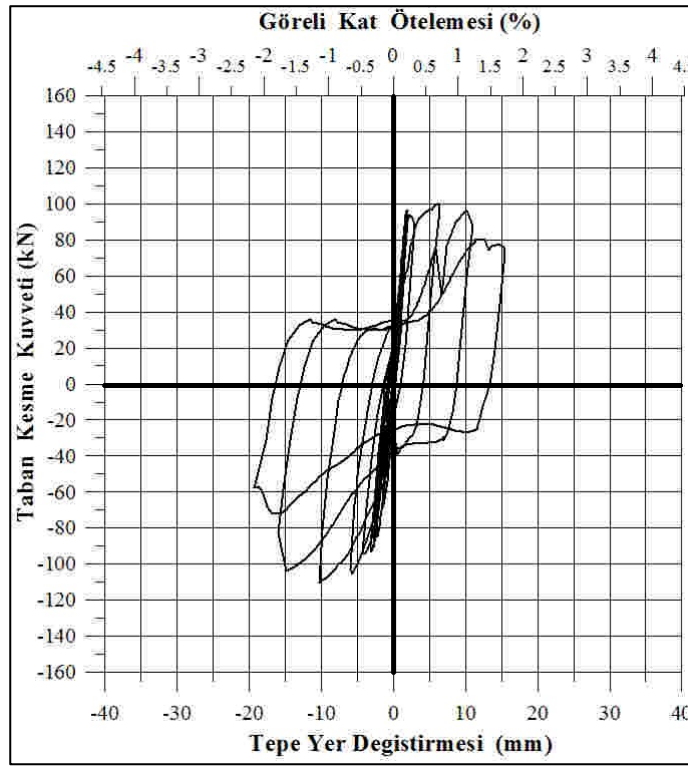
CFRC-2-1-A				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0.54 (+0.52)	+24.901	-0.54 (-0.52)	-34.157
2	+0,90 (+1,06)	+45,193	-0,90 (-0,96)	-51,251
3	+1,80 (+1,80)	+64,367	-1,80 (-1,98)	-69,153
4	+2,70 (+2,62)	+93,650	-2,70 (-2,90)	-84,585
5	+3,60 (+3,48)	+96,451	-3,60 (-3,48)	-83,923
6	+4,50 (+4,58)	+82,137	-4,50 (-4,80)	-82,622
7	+5,40 (+5,40)	+84,798	-5,40 (-5,62)	-90,871
8	+6,30 (+6,30)	+84,254	-6,30 (-6,48)	-93,356
9	+7,20 (+7,26)	+87,628	-7,20 (-7,26)	-94,282
10	+9,00 (+9,46)	+92,223	-9,00 (-9,06)	-105,398
11	+13,50 (+13,72)	+100,259	-13,50 (-13,68)	-110,390
12	+18,00 (+17,64)	+96,635	-18,50 (-18,22)	-103,847
13	+22,50 (+22,74)	+75,931	-22,50 (-22,74)	-57,397

Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük değerleri birbirlerine yakın çıkmıştır. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 22.74mm’dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 11. çevrimde çekme sırasında ulaşmıştır. Bu değer, 13.68mm tepe yer değiştirmesinde 110.390kN olarak elde edilmiştir.

İki yüzü ankrajlı bir kat güçlendirilmiş CFRC-2-1-A çerçeve deneyinden elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %39, yalın betonarme çerçeve numunesine göre ise yaklaşık olarak %195 civarında artış göstermektedir.

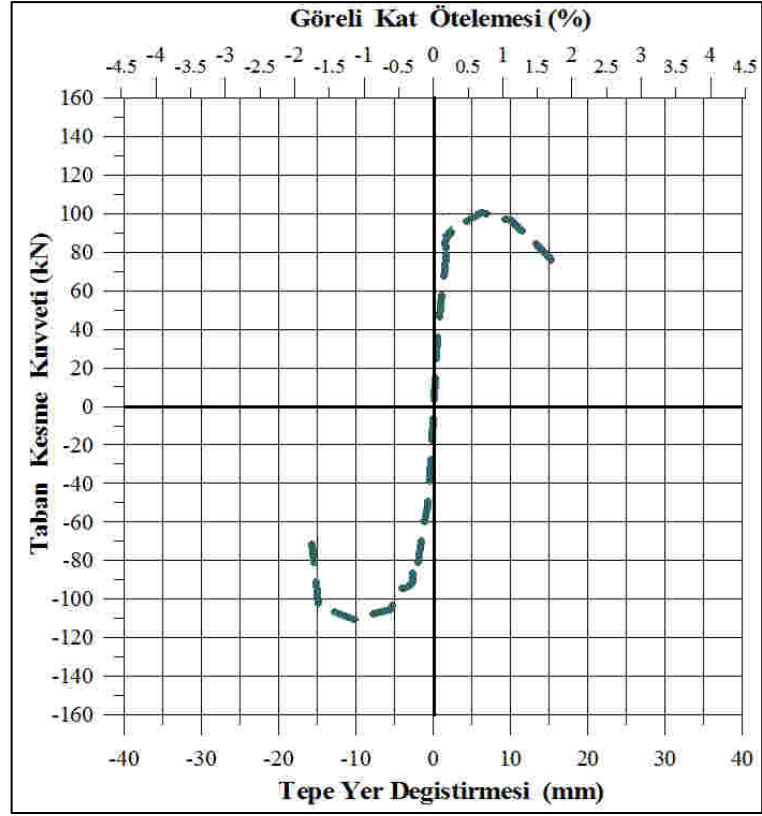
Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinin yerine bakıldığında, bu değerin toplam çevrimlerin sonuna doğru (11. çevrim) oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte önceki çevrimlerdeki yatay yük değerlerinin maksimum değere yakın olduğu görülmüştür. CFRC-2-1-A çerçevesi, 7. ile 12. çevrimler arasında yaklaşık aynı yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmış ve göçme anına kadar sünek bir davranış göstermiştir. Deney 13. çevrimde, kolon-temel birleşim bölgelerinde meydana gelen ağır hasar sonucu ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sebebiyle sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan yatay yük-tepe yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.124’de verilmiştir.

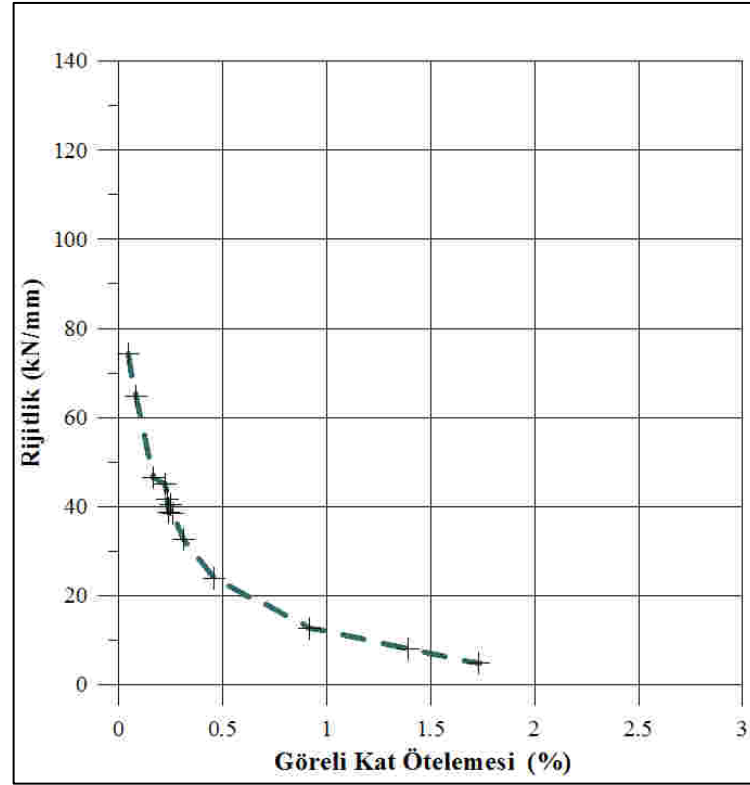


Şekil 3.124 : CFRC-2-1-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi.

CFRC-2-1-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisinden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.125’de verilmiştir. Ayrıca CFRC-2-1-A çerçevesinin yatay rijitlik grafiği Şekil 3.126’da gösterilmiştir.

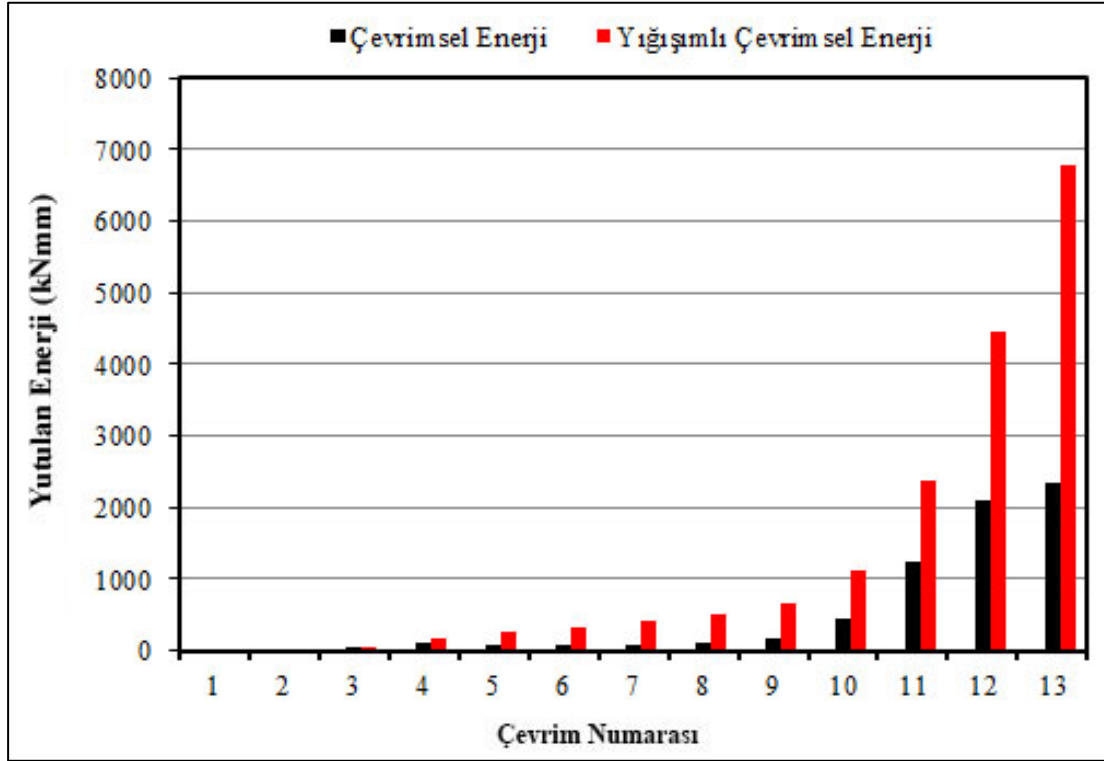


Şekil 3.125 : CFRC-2-1-A çerçevesi yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.



Şekil 3.126 : CFRC-2-1-A çerçevesi yatay rijitlik değışimi.

CFRC-2-1-A çerçevesinin başlangıç rijitliği değeri, dolgu duvarlı çerçevenin yaklaşık 0.6 katı, yalın çerçevenin ise 4.9 katıdır. Çevrimler sırasında CFRC-2-1-A çerçevenin tükettiği enerji miktarı Şekil 3.127’de verilmiştir.



Şekil 3.127 : CFRC-2-1-A çerçevesi yutulan enerji miktarı.

CFRC-2-1-A çerçeve numunesinin 13. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 6796 kN.mm’dir. Bu değer yalın çerçeveye göre 2.2 kat, dolgu duvarlı çerçeveye göre ise 1.6 kat daha fazladır.

3.6.6 CFRC-2-2-W çerçevesi

CFRC güçlendirmenin, dolgu duvar alanıyla sınırla kaldığı, çerçeveye taşmadığı, iki taraftan, iki kat ve ankrajlı olarak üretilen CFRC-2-2-W çerçevesi, tersinir tekrarlı yükler altında 11 çevrim tamamlamıştır. Numunede ilk çatlak, 4. duvarın çerçeve ile temas ettiği yüzeyde oluşmuştur. Sonraki çevrimlerde bu sınır bölgesi iyice belirginleşmiş, kolon yüzeylerinde de hasarlar gözlemlenmiştir. CFRC-2-2-W çerçevesinde diğer numunelerden farklı olarak kolon-kiriş birleşim bölgesinde ağır hasar meydana gelmiştir. Kolonun temel ile birleştiği bölgede önemli bir çatlak oluşmamıştır. Bunların dışında CFRC ile güçlendirilen yüzeylerde herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir.

Çizelge 3.20’de CFRC-2-2-W çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir.

Çizelge 3.20: CFRC-2-2-W çerçevesi çevrim bilgileri.

CFRC-2-2-W				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0,27 (+0,24)	+22,321	-0,27 (-0,30)	-30,628
2	+0,54 (+0,54)	+39,855	-0,54 (-0,56)	-44,186
3	+0,90 (+0,90)	+53,956	-0,90 (-1,06)	-62,543
4	+1,80 (+1,84)	+74,623	-1,80 (-1,88)	-77,990
5	+2,70 (+2,78)	+85,305	-2,70 (-2,70)	-87,665
6	+3,60 (+3,48)	+87,077	-3,60 (-3,62)	-90,775
7	+4,50 (+4,76)	+83,033	-4,50 (-4,54)	-91,981
8	+5,40 (+5,72)	+82,350	-5,40 (-5,42)	-76,887
9	+7,20 (+7,18)	+80,431	-7,20 (-7,22)	-77,034
10	+9,00 (+9,14)	+77,887	-9,00 (-8,98)	-67,477
11	+13,50 (+13,34)	+65,595	-13,50 (-13,72)	-51,942

Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 13.72mm’dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 7. çevrimde çekme sırasında ulaşmıştır. Bu değer, 4.54mm tepe yer değiştirmesinde 91.981kN olarak elde edilmiştir.

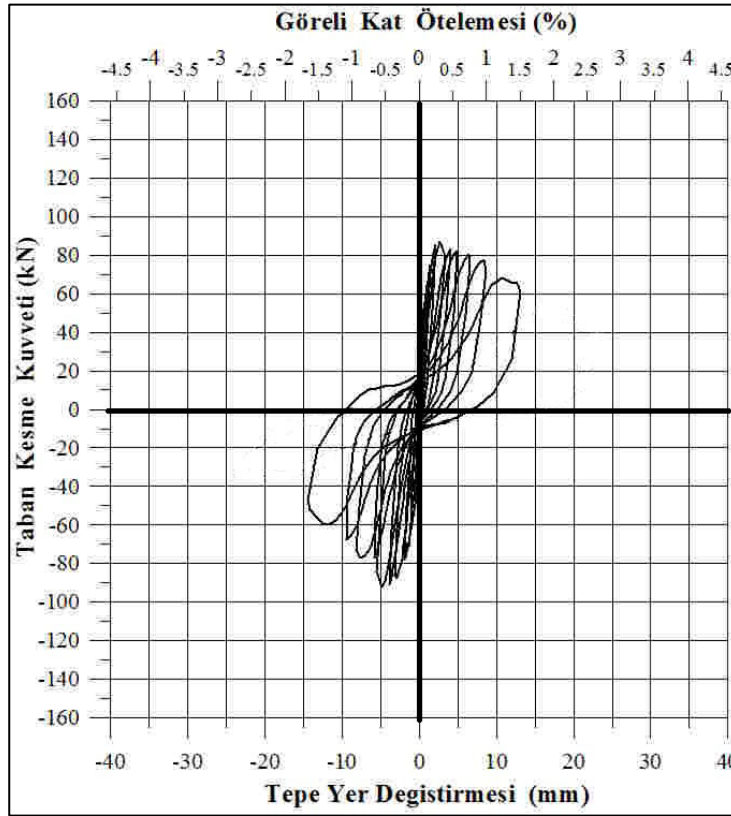
CFRC-2-2-W çerçeve deneyinden elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %16, yalın betonarme çerçeve numunesine göre ise yaklaşık olarak %146 civarında artış göstermektedir.

Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinin yerine bakıldığında, bu değer toplam çevrimlerin ortasına yakın bir çevrimde (7. çevrim) olduğu

görülmektedir. Bununla birlikte önceki iki çevrimde de yatay yük değerlerinin maksimum değere yakın olduğu görülmüştür.

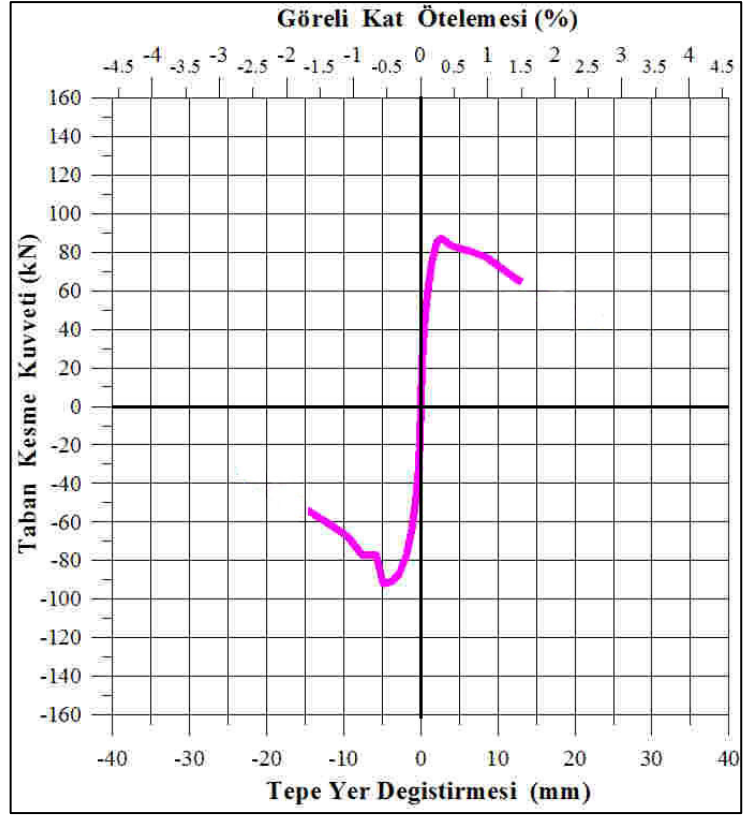
CFRC-2-2-W çerçevesi, dolgu duvar çerçevesi ile karşılaştırıldığında, aynı çevrim sayısına ulaşmış ve göçme modu olarak da benzer davranışı sergilemiştir. Çerçeveye taşmayan güçlendirme sonucu yatay yük değerlerinde dolgu duvarlı numuneye göre az da olsa bir artış elde edilmiştir. Kolon yüzeylerinde dolgu duvarlı numuneye göre daha az çatlak oluşmuştur. Dolgu duvarlı numunede görülen kolon-temel birleşim bölgesi hasarı, CFRC-2-2-W çerçevesinde oluşmamıştır. Deney 11. çevrimde, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen ağır hasar sonucu ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sebebiyle sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan yatay yük-tepe yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.128’de verilmiştir.

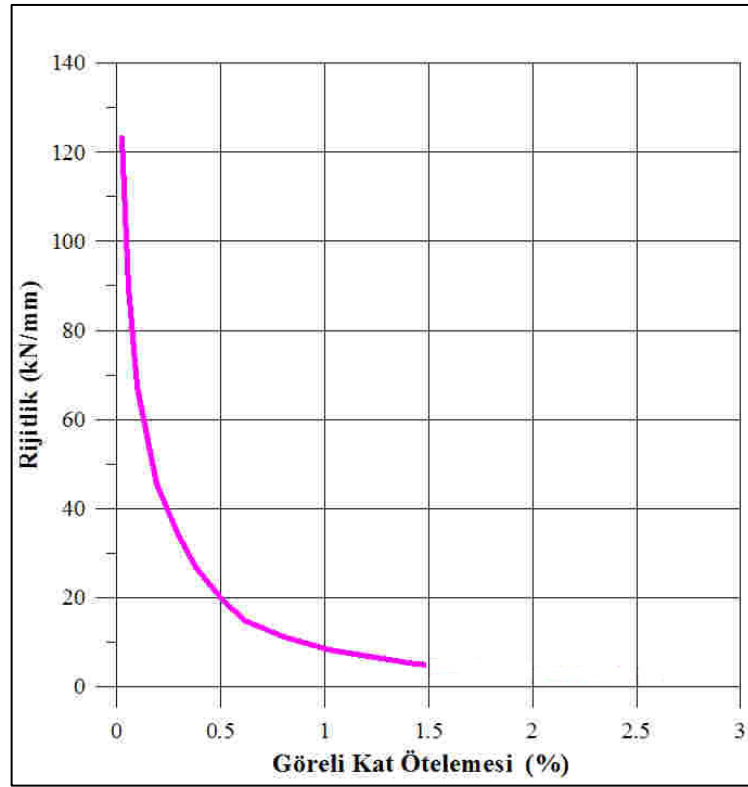


Şekil 3.128 : CFRC-2-2-W çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi.

CFRC-2-2-W çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisinden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.129’da verilmiştir. Ayrıca CFRC-2-2-W çerçevesinin yatay rijitlik grafiği Şekil 3.130’da gösterilmiştir.

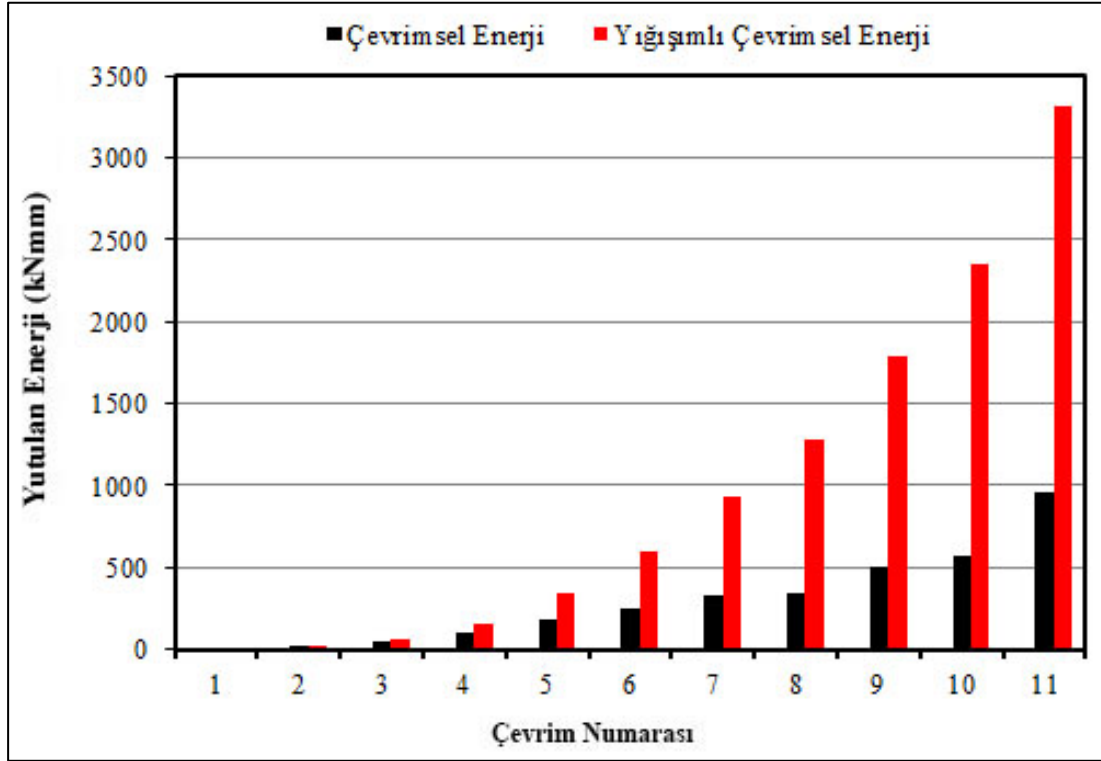


Şekil 3.129 : CFRC-2-2-W çerçevesi yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.



Şekil 3.130 : CFRC-2-2-W çerçevesi yatay rijitlik değışimi.

CFRC-2-2-W çerçevesinin başlangıç rijitliği değeri, dolgu duvarlı çerçevenin yaklaşık 1.1 katı, yalın çerçevenin ise 8.1 katıdır. Çevrimler sırasında CFRC-2-2-W çerçevenin tükettiği enerji miktarı Şekil 3.131’de verilmiştir.



Şekil 3.131 : CFRC-2-2-W çerçevesi yutulan enerji miktarı.

CFRC-2-2-W çerçeve numunesinin 11. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 3317 kN.mm’dir. Bu değer yalın çerçevenin 1.1 katı, dolgu duvarlı çerçevenin ise 0.8 katıdır. Bu sonuç, betonarme çerçeve ile ilişkilendirilmeyen sadece dolgu duvar üzerinde kalan güçlendirmenin efektif bir güçlendirme olmadığını göstermektedir.

3.6.7 CFRC-D-A çerçevesi

CFRC kompozit malzeme ile güçlendirmenin, 25cm’lik diyagonal bantlar ile çerçevenin her bir tarafına, iki kat uygulandığı, ankrajlı CFRC-D-A çerçevesi, tersinir tekrarlı yükler altında 12 çevrim tamamlamıştır. Numunede ilk çatlak, 5. çevrimde diyagonal bandın altında, güçlendirmenin olmadığı yüzeyde oluşmuştur. Yaklaşık 45° açı ile diyagonal kayma çatlakları şeklinde oluşan bu tipik hasar türü ilerleyen çevrimlerde de devam etmiştir. Ayrıca çevrimler ilerledikçe betonarme çerçeve ile duvar arasında ayrılmalar görülmüştür. Numune üzerinde oluşan çatlakların tamamına yakını güçlendirilmeyen yüzeylerde, betonarme çerçeve ve

duvara yayılarak meydana gelmiştir. Diğer numunelerden farklı olarak kiriş üzerinde kayma çatlakları bandın hemen kenarında yer alacak şekilde oluşmuştur. Son çevrimlere doğru kolon-temel birleşim bölgelerinde plastik mafsallaşma oluşmuş ve bu bölgeler ağır hasar görmüştür.

Çizelge 3.21’de CFRC-D-A çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir.

Çizelge 3.21 : CFRC-D-A çerçevesi çevrim bilgileri.

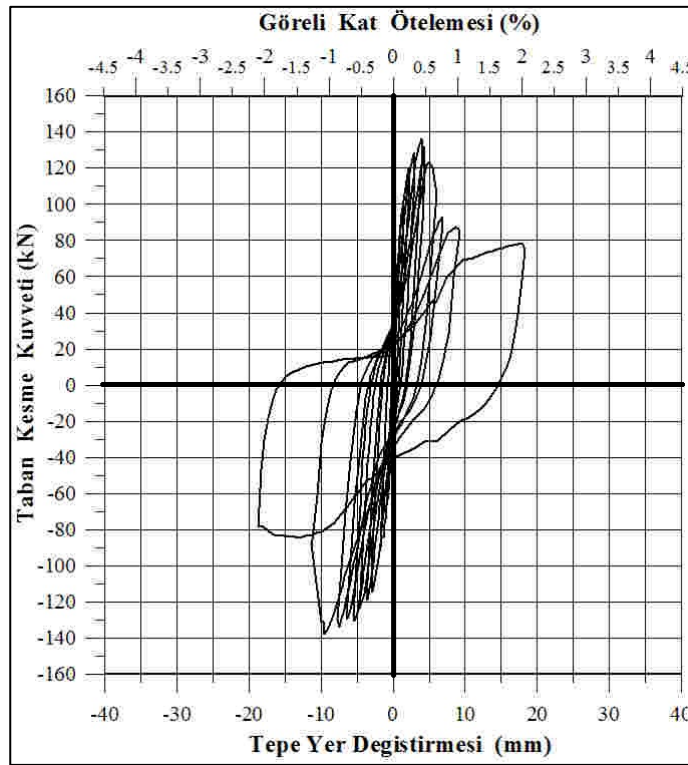
CFRC-D-A				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0,27 (+0,30)	+25,070	-0,27 (-0,26)	-31,209
2	+0,54 (+0,54)	+43,693	-0,54 (-0,56)	-47,509
3	+0,90 (+0,96)	+71,131	-0,90 (-0,88)	-63,536
4	+1,80 (+1,80)	+99,649	-1,80 (-1,82)	-89,856
5	+2,70 (+2,66)	+119,566	-2,70 (-2,78)	-108,663
6	+3,60 (+3,54)	+128,307	-3,60 (-3,74)	-118,852
7	+4,50 (+4,72)	+136,284	-4,50 (-4,82)	-123,962
8	+5,40 (+5,30)	+131,799	-5,40 (-5,56)	-130,682
9	+6,30 (+6,42)	+120,345	-6,30 (-6,24)	-129,425
10	+7,20 (+7,10)	+93,172	-7,20 (-7,10)	-133,593
11	+9,00 (+9,04)	+86,276	-9,00 (-9,14)	-131,108
12	+18,00 (+17,90)	+78,247	-18,00 (-18,06)	-78,174

Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük değerleri birbirlerine yakın olmakla birlikte, maksimum yatay yük değerine ulaşılan 7. çevrimden sonra bu değerlerde bir miktar farklılık görülmüştür. İtme ve çekme sırasında görülen bu farklılık, ileri çevrimlerde meydana gelen plastik mafsallaşma ve dolgu duvar hasarları düşünüldüğünde oluşabilecek bir durumdur. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 18.06mm’dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 7. çevrimde itme sırasında ulaşmıştır. Bu değer, 4.72mm tepe yer değiştirmesinde 136.284kN olarak elde edilmiştir.

İki yüzü, iki kat diyagonal bant ile ankraj kullanılarak güçlendirilmiş CFRC-D-A betonarme çerçeve deneyinden elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve numunesine göre %72, yalın betonarme çerçeveye göre ise %265 oranında bir artış göstermektedir.

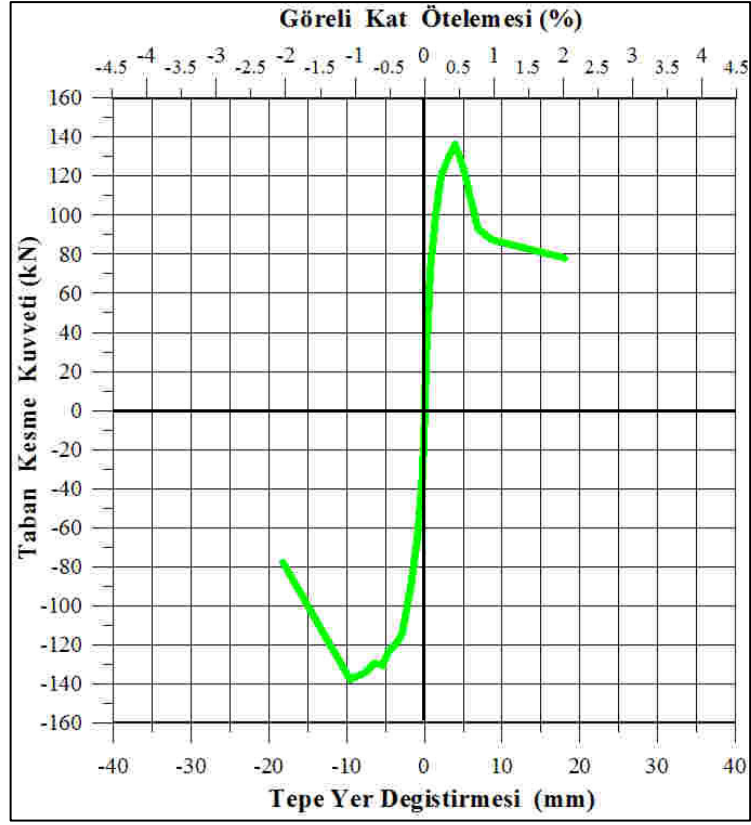
Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinin yerine bakıldığında, bu değer toplam çevrimlerin ortasına yakın bir çevrimde (7. çevrim) oluştuğu görülmektedir. CFRC-D-A çerçevesi, maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra dayanımını kaybetmemiş ve üzerine gelen kuvvetleri taşımaya devam etmiştir. Deney 12. çevrimde, güçlendirilmeyen yüzeylerdeki dolgu duvarda oluşan ağır hasarlar, kirişte oluşan kayma çatlakları, kolon-temel birleşim bölgesi hasarı ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sebebiyle sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan yatay yük-tepe yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.132’de verilmiştir.

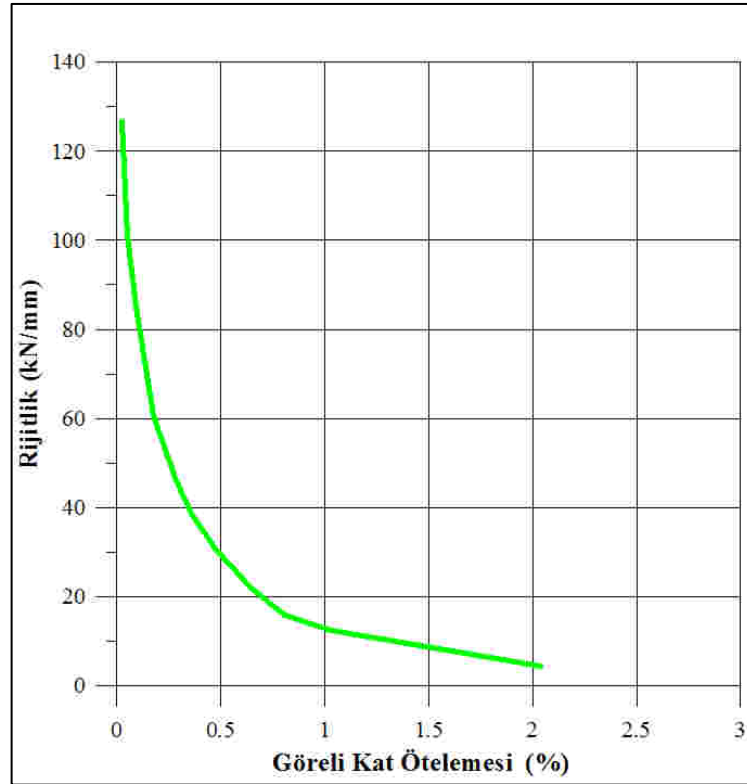


Şekil 3.132 : CFRC-D-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisi.

CFRC-D-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirmesi ilişkisinden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.133’de verilmiştir. Ayrıca CFRC-D-A çerçevesinin yatay rijitlik grafiği Şekil 3.134’de gösterilmiştir.

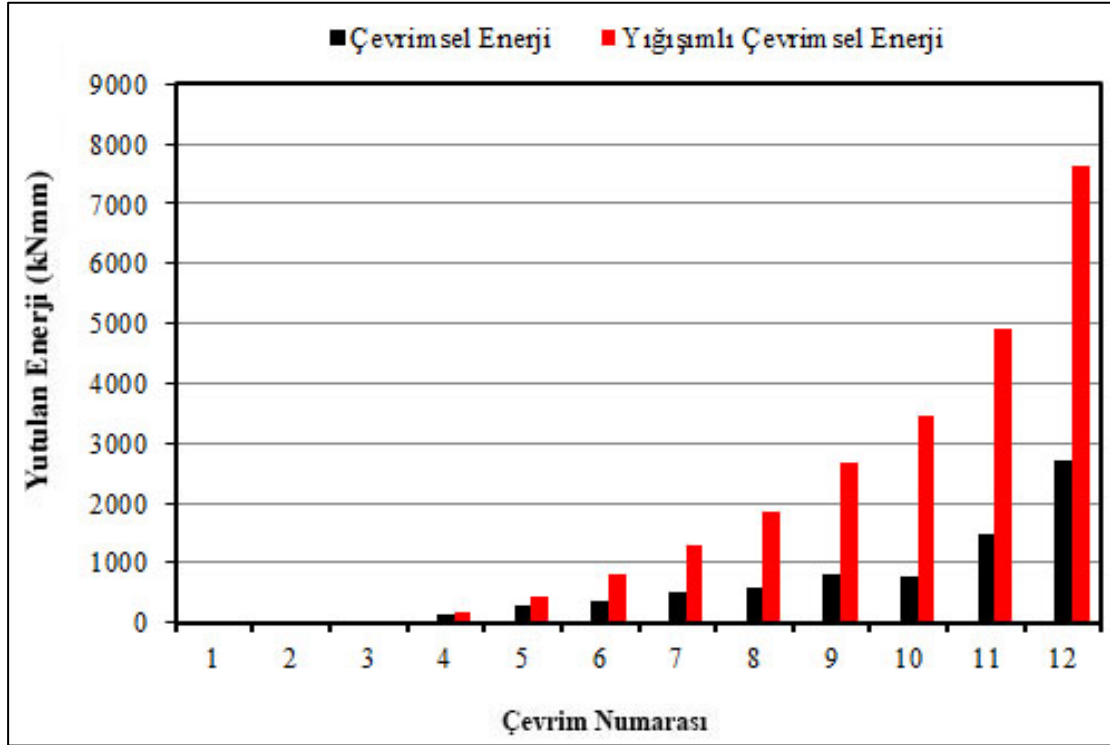


Şekil 3.133 : CFRC-D-A çerçevesi yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.



Şekil 3.134 : CFRC-D-A çerçevesi yatay rijitlik değışimi.

CFRC-D-A çerçevesinin başlangıç rijitliği değeri, dolgu duvarlı çerçevenin yaklaşık 1.1 katı, yalın çerçevenin ise yaklaşık 8.3 katıdır. Çevrimler sırasında CFRC-D-A çerçevenin tükettiği enerji miktarı Şekil 3.135’de verilmiştir.



Şekil 3.135 : CFRC-D-A çerçevesi yutulan enerji miktarı.

CFRC-D-A çerçeve numunesinin 12. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 7626 kN.mm’dir. Bu değer yalın çerçeveye göre 2.4 kat, dolgu duvarlı çerçeveye göre ise 1.8 kat daha fazladır.

3.6.8 CFRC-2-2-A çerçevesi

CFRC kompozit malzeme ile güçlendirilmiş deney numuneleri içerisinde bulunan, iki yüzü iki kat ankraj kullanılarak güçlendirilmiş CFRC-2-2-A çerçevesi, tersinir tekrarlı yükler altında 13 çevrim tamamlamıştır. Numunede ilk çatlak, 7. çevrimde kolon-temel birleşim bölgesinde oluşmuştur. İlerleyen çevrimlerde kolon diplerinde oluşan hasarlar artmıştır. Güçlendirme malzemesinin üzerinde herhangi bir çatlak oluşmamıştır. Bununla birlikte karbon liflerin uzayarak gerilmesi numune üzerinde gözlemlenmiştir. Son çevrimlere doğru kolon-temel birleşim bölgelerindeki hasar iyice artmış ve plastik mafsallaşma meydana gelmiştir.

Çizelge 3.22’de CFRC-2-2-A çerçeveye uygulanan çevrim sayısı, tepe yer değiştirmeleri ve bu yer değiştirmelere karşılık gelen yatay yükler verilmiştir.

Çizelge 3.22 : CFRC-2-2-A çerçevesi çevrim bilgileri.

CFRC-2-2-A				
ÇEVİRİM NO	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (İTME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)	TEPE YER DEĞİŞTİRMESİ (ÇEKME/mm)	UYGULANAN YÜK (kN)
1	+0,27 (+0,26)	+23,063	-0,27 (-0,24)	-27,011
2	+0,54 (+0,60)	+46,979	-0,54 (-0,50)	-53,758
3	+0,90 (+0,90)	+62,382	-0,90 (-1,00)	-80,056
4	+1,80 (+1,86)	+97,907	-1,80 (-1,80)	-104,104
5	+2,70 (+2,84)	+121,249	-2,70 (-2,68)	-123,197
6	+3,60 (+3,60)	+138,828	-3,60 (-3,56)	-137,284
7	+4,50 (+4,48)	+141,335	-4,50 (-4,64)	-142,291
8	+5,40 (+5,40)	+139,137	-5,40 (-5,50)	-144,290
9	+6,30 (+6,46)	+133,887	-6,30 (-6,32)	-140,188
10	+7,20 (+7,28)	+126,675	-7,20 (-7,56)	-133,079
11	+9,00 (+9,46)	+122,705	-9,00 (-9,02)	-127,109
12	+13,50 (+13,36)	+117,375	-13,50 (-13,44)	-119,904
13	+18,00 (+18,12)	+112,662	-18,00 (-18,26)	-99,318

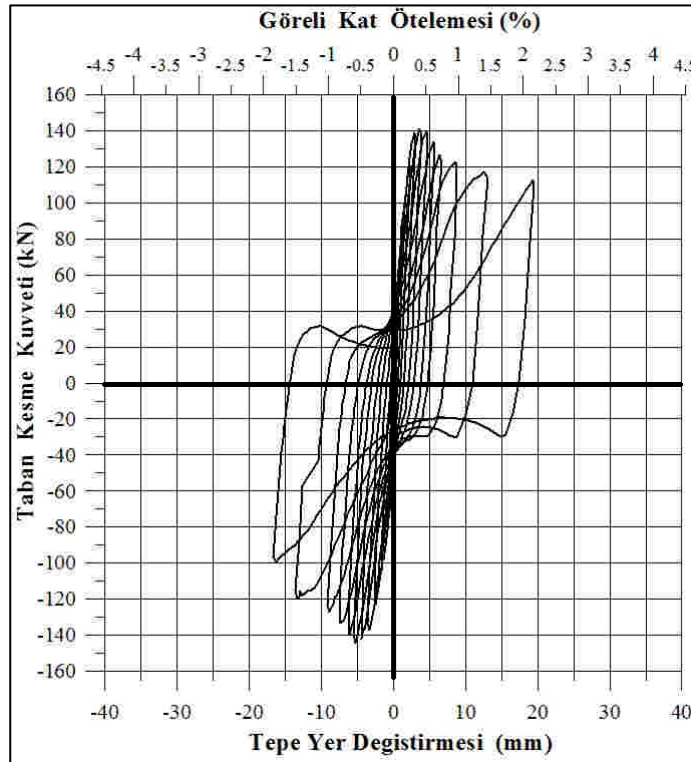
Çevrimlerde, itme ve çekme sırasında elde edilen yatay yük değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Deney sonunda ulaşılan maksimum tepe yer değiştirmesi 18.26mm'dir. Numune, maksimum yatay yük değerine, 8. çevrimde çekme sırasında ulaşmıştır. Bu değer, 5.50mm tepe yer değiştirmesinde 144.290kN olarak elde edilmiştir. Bütün deney numuneleri içerisinde yatay yük değeri açısından en yüksek değere beklenildiği üzere CFRC-2-2-A çerçevesi ulaşmıştır. Ayrıca CFRC-2-2-A çerçevesi, çevrim sayısı olarak da en fazla çevrim uygulanan numunelerden biridir.

İki yüzü, iki kat, ankrajlı olarak güçlendirilmiş CFRC-2-2-A betonarme çerçeve deneyinden elde edilen maksimum yatay yük değeri, dolgu duvarlı çerçeve

numunesine göre %82, yalın betonarme çerçeveye göre ise %286 oranında bir artış göstermektedir.

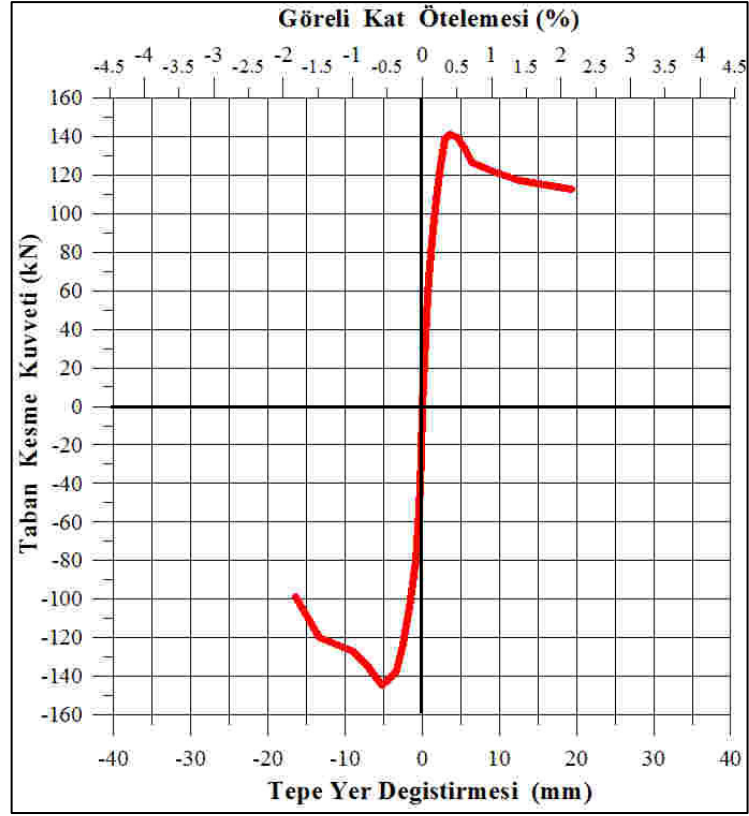
Çevrimler içinde ulaşılan maksimum yatay yük değerinin yerine bakıldığında, bu değer toplam çevrimlerin ortasına yakın bir çevrimde (8. çevrim) oluştuğu görülmektedir. CFRC-2-2-A çerçevesi, maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra dayanımını kaybetmemiş ve maksimum yatay yüke yakın değerlerde üzerine gelen kuvvetleri taşımaya devam etmiştir. Deney 13. çevrimde, kolon-temel birleşim bölgesinde meydana gelen ağır hasar ve düşen yatay yük taşıma kapasitesi sebebiyle sonlandırılmıştır.

Deney sonundaki verilerden elde edilerek hazırlanan yatay yük-tepe yer değiştirme eğrisi ilişkisi Şekil 3.136’da verilmiştir.

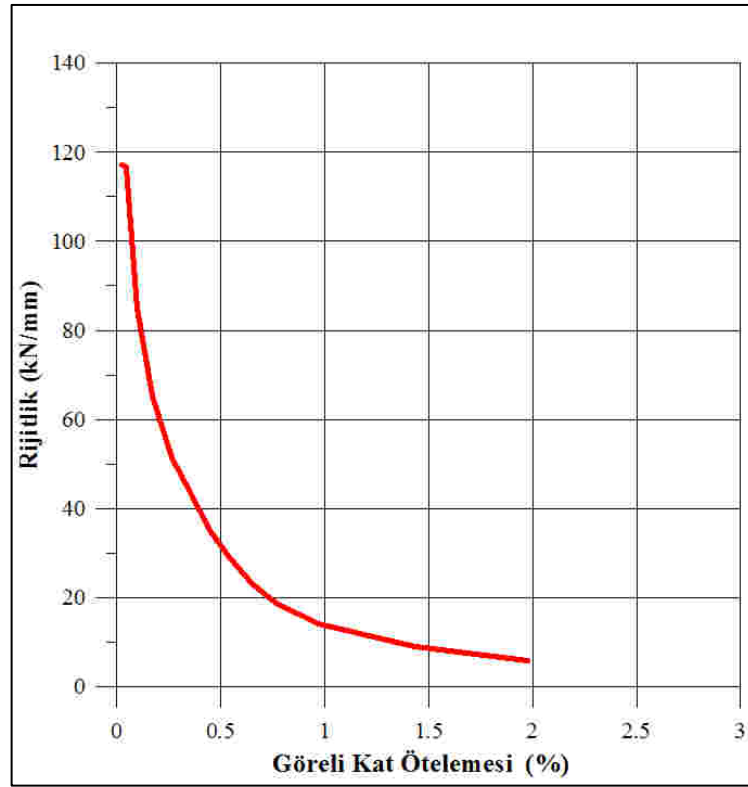


Şekil 3.136 : CFRC-2-2-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisi.

CFRC-2-2-A çerçevesi yatay yük-tepe yer değiştirme ilişkisinden elde edilen zarf eğrisi Şekil 3.137’de verilmiştir. Ayrıca CFRC-2-2-A çerçevesinin yatay rijitlik grafiği Şekil 3.138’de gösterilmiştir.

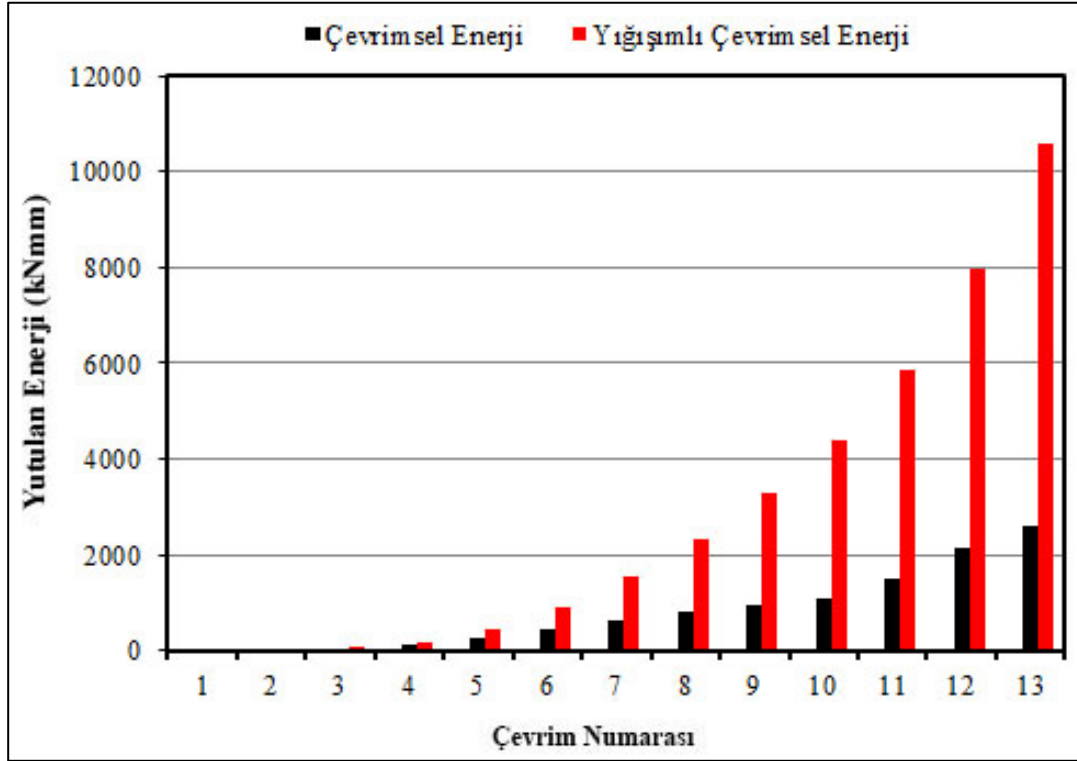


Şekil 3.137 : CFRC-2-2-A çerçevesi yük-tepe yer değıştirmesi zarfı.



Şekil 3.138 : CFRC-2-2-A çerçevesi yatay rijitlik değışimi.

CFRC-2-2-A çerçevesinin başlangıç rijitliği değeri dolgu duvarlı çerçeveye aynı çıkmıştır. Bu değer yalın çerçevenin ise yaklaşık 7.7 katıdır. Çevrimler sırasında CFRC-2-2-A çerçevenin tükettiği enerji miktarı Şekil 3.139’da verilmiştir.



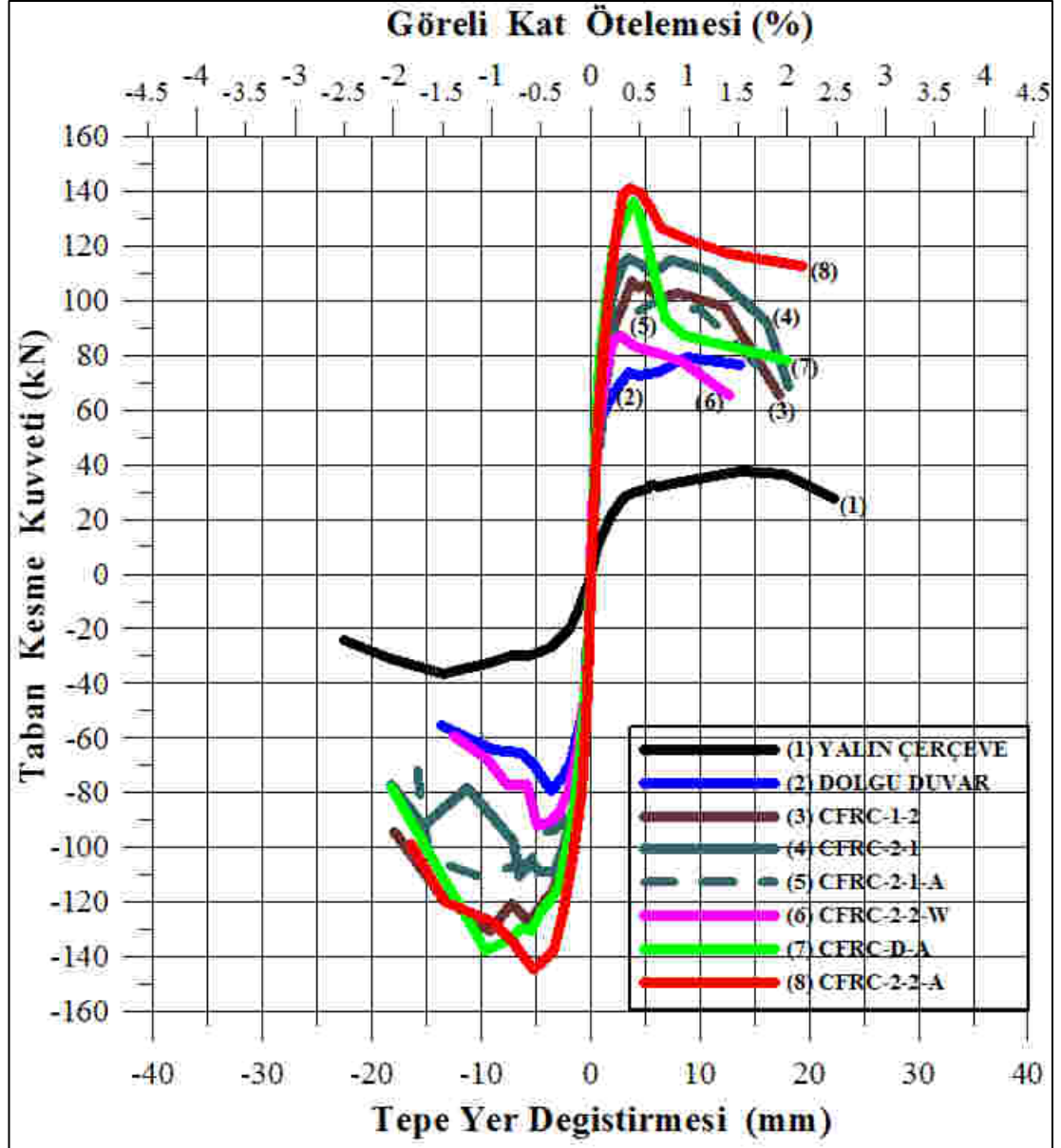
Şekil 3.139 : CFRC-2-2-A çerçevesi yutulan enerji miktarı.

CFRC-2-2-A çerçeve numunesinin 13. çevrim sonunda tükettiği toplam enerji miktarı yaklaşık 10583 kN.mm’dir. Bu değer yalın çerçeveye göre 3.4 kat, dolgu duvarlı çerçeveye göre ise 2.6 kat daha fazladır.

3.7 Betonarme Çerçeve Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışma kapsamında 8 adet betonarme çerçeve yukarıda anlatılan betonarme çerçeve deneyi yöntemiyle, verilen yükleme protokolü ve sabit eksenel yük etkisi altında denenmiştir. Bu çerçevelerden biri yalın halde, biri dolgu duvarlı ve sıvalı olarak bırakılmış, diğer altı numune ise çeşitli şekillerde CFRC ile güçlendirilerek denenmiştir. Bu kapsamda yalın ve dolgu duvarlı çerçeveler, kontrol grupları olarak kullanılmıştır. Tüm güçlendirilmiş numune deneyleri sonuçları, kontrol gruplarıyla kıyaslanarak uygulanan güçlendirme şeklinin performansı ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

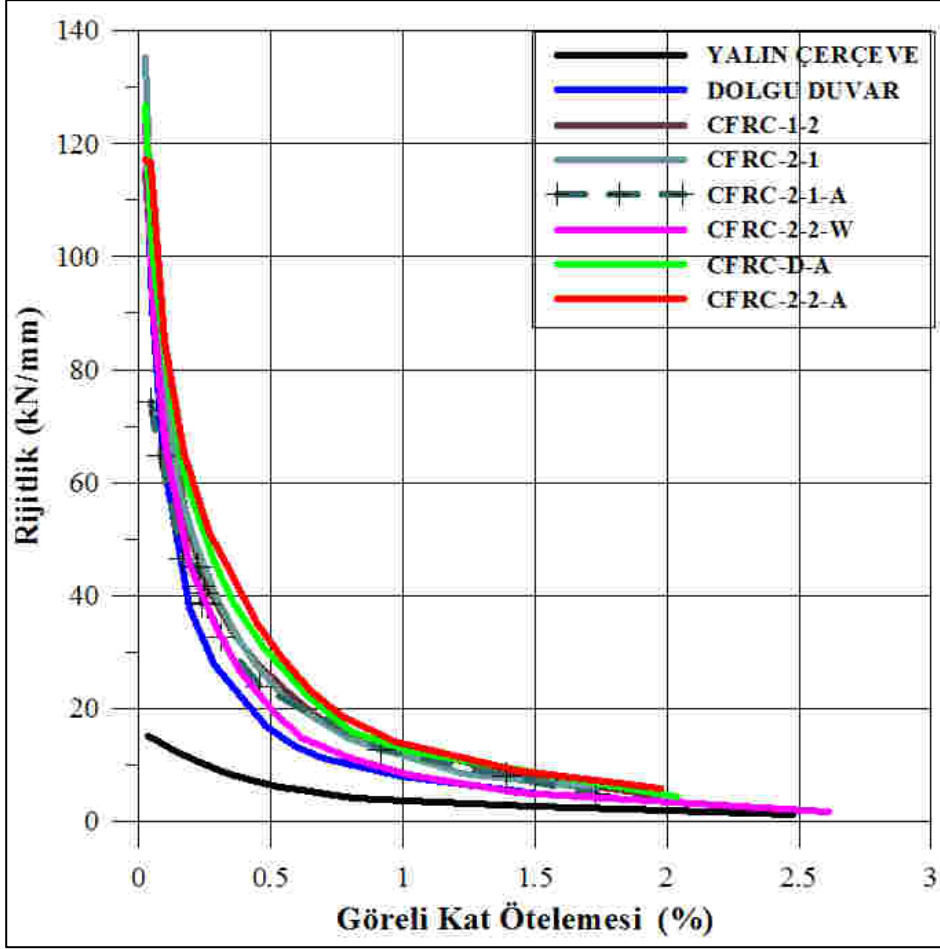
Numunelerin yüzeylerindeki çeşitli bölgelere yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden, deney süresince numunelerin hareketlerine göre alınan veriler yardımıyla çizilen yük-yer değiştirme ilişkisi, tüm numuneler bir arada olacak şekilde Şekil 3.140'da verilmektedir.



Şekil 3.140 : Çerçeve numunelerinin yük-tepe yerdeğiştirmesi zarf eğrileri.

Numunelerin yük-yer değiştirme ilişkilerine bakıldığında yalın çerçeve numunesinin diğer numunelere göre oldukça sünek olduğu ancak yatay yük taşıma kapasitesinin de aşırı düşük seviyede olduğu görülmektedir. Dolgu duvarlı çerçevede, dolgu duvar etkisiyle sünek davranış bir miktar azalmış, bununla birlikte dayanım artmıştır. CFRC ile değişik şekillerde güçlendirilen diğer tüm çerçevelerde süneklik ve

dayanım açısından, dolgu duvarlı çerçeveye göre artışlar elde edilmiştir. Ayrıca güçlendirilen diğer tüm dolgu duvarlı numunelere bakıldığında, dolgu duvarın çerçeveleri oldukça rijitleştirdiği ve başlangıç rijitlik değerinin yalın çerçeve ve CFRC-2-1-A numunesi dışında yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir (Şekil 3.141).

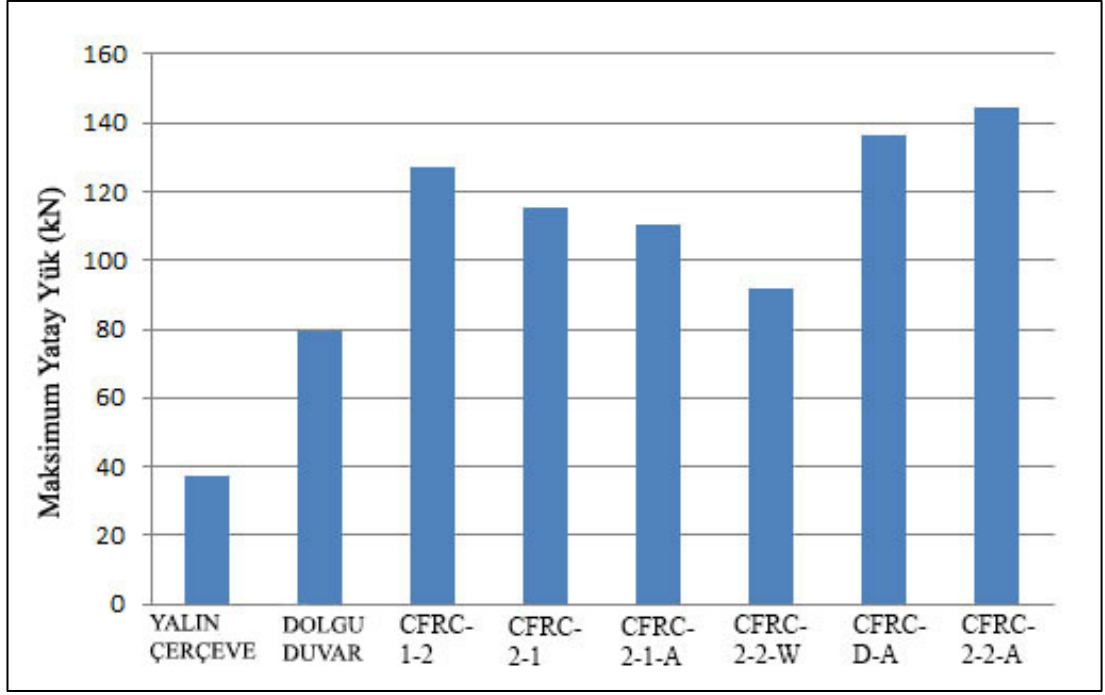


Şekil 3.141 : Çerçeve numunelerinin yatay rijitlik değişimi eğrileri.

Bununla birlikte güçlendirilen tüm çerçevelerde yatay yük taşıma kapasitesinin yalın çerçeveye göre büyük oranda arttırdığı görülmektedir. Güçlendirilmiş çerçevelerdeki yatay yük taşıma kapasiteleri, dolgu duvar numunesi ile karşılaştırıldığında, CFRC-2-2-W numunesi dışında kayda değer artışlar elde edilmiştir.

Yalın çerçeve numunesi ile karşılaştırıldığında, ulaşılan maksimum yatay yük seviyelerinde elde edilen artışlar yaklaşık olarak; dolgu duvarlı çerçevede 2.1 kat, CFRC-1-2 çerçevesinde 3.4 kat, CFRC-2-1 çerçevesinde 3.1 kat, CFRC-2-1-A çerçevesinde 3 kat, CFRC-2-2-W çerçevesinde 2.5 kat, CFRC-D-A çerçevesinde 3.6 kat, CFRC-2-2-A çerçevesinde ise 3.9 kat olarak elde edilmiştir.

Maksimum yatay yük seviyeleri dolgu duvarlı çerçeve ile karşılaştırıldığında, CFRC-1-2 çerçevesinde 1.6 kat, CFRC-2-1 çerçevesinde 1.5 kat, CFRC-2-1-A çerçevesinde 1.4 kat, CFRC-2-2-W çerçevesinde 1.2 kat, CFRC-D-A çerçevesinde 1.7 kat, CFRC-2-2-A çerçevesinde ise 1.8 kat artış görülmüştür (Şekil 3.142).



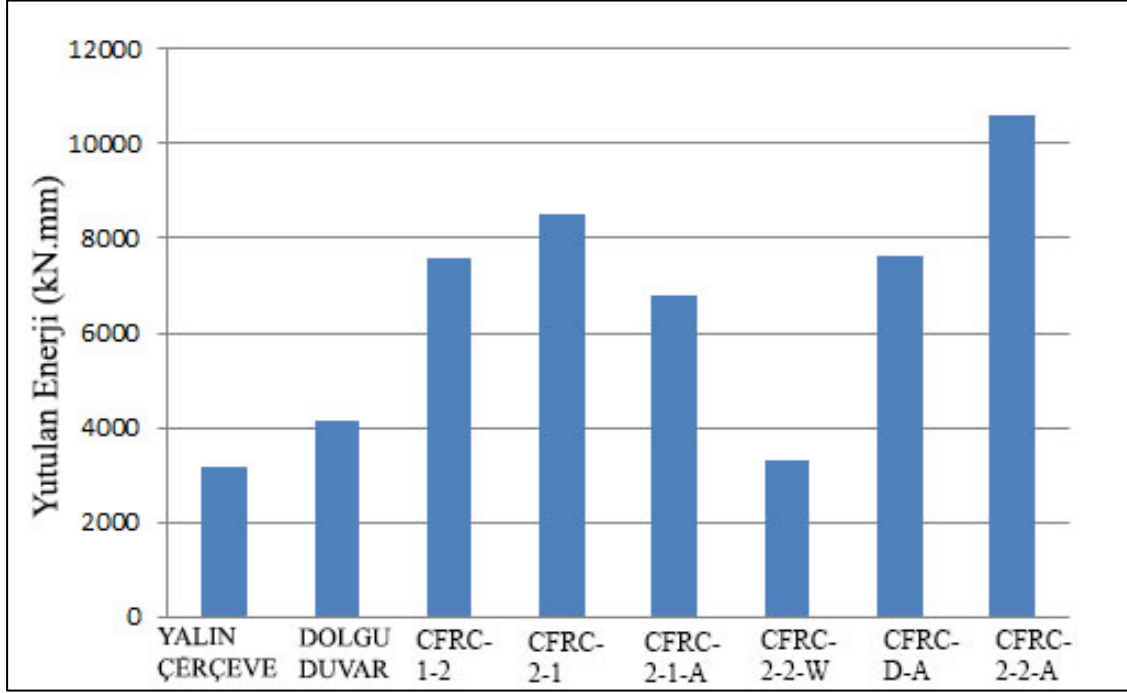
Şekil 3.142 : Çerçeve numunelerinde ulaşılan maksimum yatay yük.

Deney çerçeveleri arasında yapılan bir diğer değerlendirme de çerçevelerin çevrimler sırasında tükettikleri enerji miktarları ile ilgilidir. CFRC-2-2-W çerçevesi dışındaki bütün çerçevelerde, yutulan enerji miktarı açısından yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre artış gözlemlenmiştir.

Yalın çerçeveyle diğer çerçevelerin enerji tüketme değerleri karşılaştırıldığında, dolgu duvarlı çerçeve numunesinde 1.3kat, CFRC-1-2 çerçevesinde 2.4 kat, CFRC-2-1 çerçevesinde 2.7 kat, CFRC-2-1-A çerçevesinde 2.2 kat, CFRC-D-A çerçevesinde 2.4 kat, CFRC-2-2-A çerçevesinde ise 3.4 kat artış meydana gelmiştir. Deney çerçeveleri içerisinde sadece CFRC-2-2-W çerçevesinde kayda değer bir artış görülmemiştir.

Dolgu duvarlı çerçeveyle diğer güçlendirilmiş çerçevelerin enerji tüketme değerleri karşılaştırıldığında, CFRC-1-2 çerçevesinde 1.8 kat, CFRC-2-1 çerçevesinde 2.1 kat, CFRC-2-1-A çerçevesinde 1.6 kat, CFRC-D-A çerçevesinde 1.8 kat, CFRC-2-2-A çerçevesinde ise 2.6 kat artış meydana gelmiştir. CFRC-2-2-W çerçevesinin tükettiği

toplam enerji, dolgu duvarlı çerçevenin 0.8 katıdır ve yaklaşık %20'lik bir düşüş meydana gelmiştir (Şekil 3.143).



Şekil 3.143 : Çerçeve numunelerinin tükettiği toplam enerji.

Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, karbon lifli bir ağ ile çimento esaslı harçtan oluşan CFRC güçlendirme sisteminde en etkin uygulamanın, iki taraftan, iki kat ve ankraj kullanılarak CFRC ile güçlendirilen CFRC-2-2-A çerçevesinde gerçekleştiği görülmüştür; bu da beklenen bir sonuçtur.

4. ANALİTİK ÇALIŞMA

Karbon lifli çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışı analitik çalışma olarak bu bölümde incelenmiştir. Analitik çalışma, analitik tahminler ve analitik modeller olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Analitik tahminler bölümünde, DBYBHY (2007) bölüm 7F'ye benzer olarak betonarme çerçevelerin maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Analitik modeller bölümünde ise, betonarme çerçeveler SeismoStruct V6 programı ile modellenmiş ve çerçevelerin tersinir yatay yük çevrimleri altındaki yatay yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Her iki bölümde de hesaplanan sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.1 Analitik Öngörüler

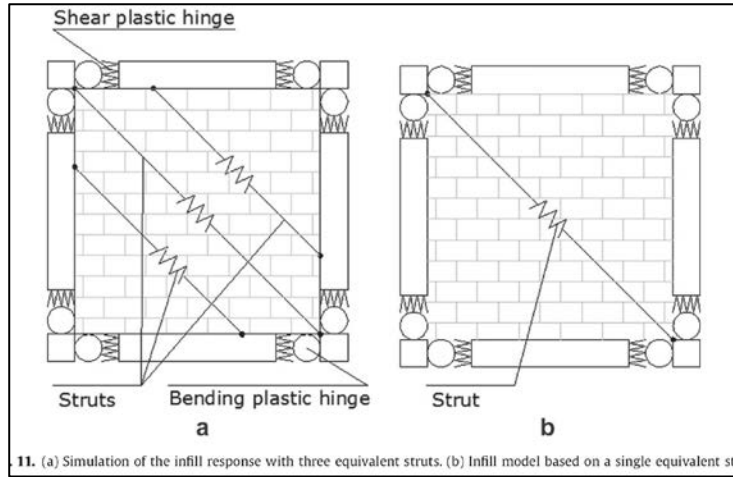
Mevcut deprem yönetmeliğimizin DBYBHY (2007) 7F bölümünde, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için dolgu duvarlarının güçlendirilmesinden bahsedilmiştir. Dolgu duvarların güçlendirilmesinde, hasır çelik donatılı özel sıva, lifli polimer ve prefabrike beton paneller ile güçlendirmeler önerilmektedir.

Yönetmelikte lifli polimer güçlendirme yönteminde bahsedilen güçlendirme tekniği, lifli polimerlerin duvar yüzeylerine epoksi harcı ile uygulanmasıdır. Ülkemiz için yeni bir güçlendirme tekniği olan çimento esaslı kompozitlerle yapılan uygulamalar ise şimdilik mevcut yönetmelikte yer almamaktadır. Bu bölümde çimento esaslı kompozitler ile yapılacak uygulamalar için gerekli olan modelleme esasları ve yatay yük yaşama kapasitesi hesabı yönetmelikten faydalanılarak, benzer şekilde geliştirilmiştir.

Güçlendirilmiş veya güçlendirilmemiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altında davranışı araştırmacılar tarafından yoğun olarak incelenen bir konudur. Dolgu duvarların betonarme yapı sistemlerinde en çok kullanılan elemanlar olmasına rağmen bu elemanların taşıyıcı sistem yatay yük taşıma kapasitelerine ve taşıyıcı sistem rijitliğine olan etkileri hesaplarda çoğunlukla dikkate alınmamaktadır.

Bu durumun başlıca sebepleri dolgu duvar elemanlarının modellenmesinin karmaşık hesap modelleri gerektirmesi ve hesaplarda güvenli tarafta kalmak için bu etkinin ihmal edilmesi olarak düşünülebilir. Bununla birlikte dolgu duvar elemanlarının mevcut betonarme taşıyıcı sistemli yapılara olan etkileri göz ardı edilmemelidir. Ülkemizde bulunan mevcut betonarme çerçeve yapılar düşünüldüğünde, bu yapıların çoğunlukla iyi projelendirilmemiş düşük dayanımlı ve yetersiz malzeme özelliklerine sahip yapılar olduğu görülmemektedir. Dolgu duvarların bu tür yapılarda taşıyıcı sistem davranışına etkisi daha da önem kazanmakta ve yapının davranışı önemli değişmektedir.

Uva ve diğ. (2012), sismik olarak hareketli bir bölge olan Güney İtalya’da, 1970’li yıllarda sadece düşey yüklere göre inşa edilmiş bir betonarme yapının, yığma dolgu duvarlarının betonarme çerçeveye etkisini araştırmışlardır. SAP 2000 programı ile modelledikleri bina üzerinde doğrusal olmayan statik itme analizleri yapmışlardır. Yığma dolgu duvarlı betonarme çerçeve modellerinde tek veya çoklu olarak eşdeğer basınç çubukları kullanmışlardır (Şekil 4.1).



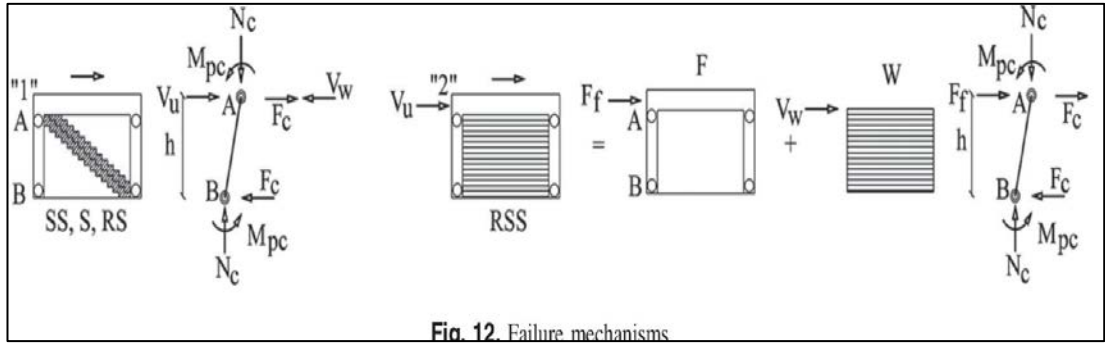
Şekil 4.1 : Yığma dolgu duvarlı betonarme çerçeve modeli.

Koutromanos vd. (2011), dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tekrarlı yatay yükler altındaki davranışlarını ve göçme durumlarını belirleyebilmek için doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli kullanmışlardır. Betonarme çerçeve içindeki donatılar elasto-plastik çubuk elemanlar olarak modellenmiştir. Sonlu elemanlar modeli ile yapılan analiz sonuçları ve deneysel veriler yakın değerler vermiştir.

Mohyeddin vd. (2013), dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri ANSYS programını kullanarak üç boyutlu ayrık sonlu elemanlar metodu ile modellemiştir.

Modelleme sırasında betonarme çerçeve ve dolgu duvarı birbirinden ayrı sistemler olarak düşünülmüşlerdir. Sonlu elemanlar modeli ile davranışı tahmin edilen betonarme çerçevenin, kayıt edilen deneysel verilerle farklılık gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bunun sebebinin sonlu elemanlar modelinde hesaba katılmayan faktörlerden kaynaklandığını vurgulamışlardır. Bu faktörler, tuğla malzemenin mekanik özelliklerinde değişkenlik gösteren büyük katsayılar ve kalitesiz işçilik sonucu oluşabilecek dolgu duvar içindeki zayıf alanlardır.

Kakaletsis (2012), betonarme çerçeve içindeki dolgu duvarların güçlendirilmesi ile ilgili deney sonuçlarını sunmuştur. Önceden hasar verdiği çerçevelerin kolon-kiriş birleşim bölgelerini epoksi enjeksiyonu ve CFRP plakalarla güçlendirmiş, daha sonra da dolgu duvarı CFRP çapraz bantlar ve cam lifli çimento esaslı kompozitlerle güçlendirmiştir. Çalışmasında dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin yatay yükler altındaki davranış modellerini sunmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Çerçevelerin göçme mekanizması.

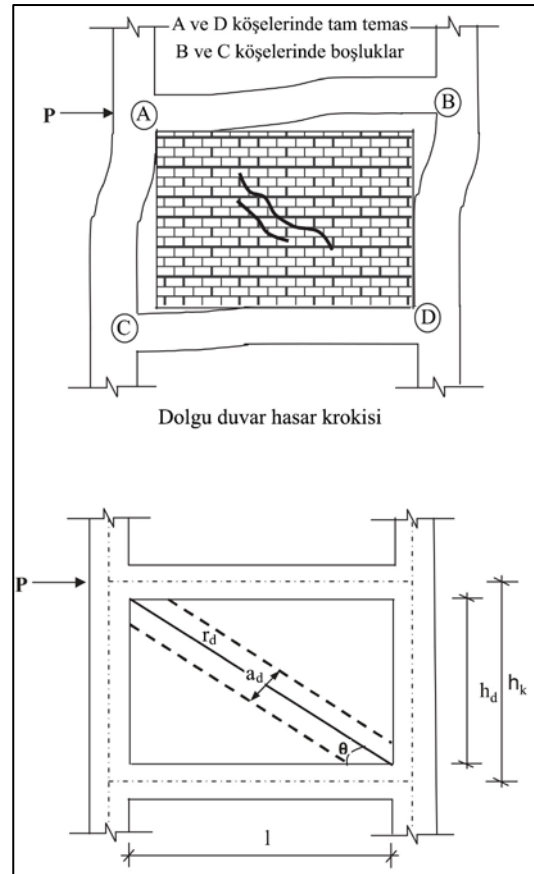
Araştırmalar ve incelemeler sonucunda dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin modellenmesinin özellikle iki ana başlık altında toplandığı görülmektedir. Bu başlıklar,

- Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı ve
- Sonlu elemanlar yaklaşımı

olarak iki ana başlıkta özetlenebilir. Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı, kat hizalarına etki eden yatay kuvvetler altındaki dolgu duvarın, yatay kuvvetin tesir ettiği düğüm noktası ile bu düğüm noktasından çizilen köşegenin alt ucundaki düğüm noktası arasında bir basınç çubuğu gibi davrandığını varsaymaktadır. Sonlu elemanlar yaklaşımında ise, dolgu duvar sistemi, üçgen, dörtgen veya daha değişik tiplere sahip elemanlar ile modellenmektedir. Bu elemanların düğüm noktalarında, denge ve

süreklilik şartlarını sağlayan, sonlu sayıda elemanlardan oluşmuş, yüksek dereceden hiperstatik gerilme denklemleri elde edilmektedir (Beklen ve Çağatay, 2009).

Eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı, sonlu elemanlar yaklaşımına göre pratik ve basit bir hesap yöntemidir. Bilgisayar programlarının kullanımının zorunlu olduğu sonlu elemanlar yaklaşımında ise dolgu duvar ve çerçevenin modellenmesi daha detaylı yapılabilmekte, dolgu ile çerçeve arasındaki uygunluk tam olarak sağlanabilmektedir. Bununla birlikte çok fazla parametre gereksinimi, detaylı ve uzun süren çalışma yükü bu yaklaşımın zorluklarıdır. Ayrıca malzeme özelliklerinin homojen olmadığı sistemlerde, sonlu elemanlar modelinden hesaplanan sonuçlar ile deneysel sonuçlar farklılık gösterebilmektedir. Dolayısıyla kolaylıkla uygulanabilen bir yaklaşım olduğu için burada analitik tahminlerde eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımı kullanılmıştır. Dolgu duvar davranışının bu şekilde tanımlanabilmesi için DBYBHY 2007’de birçok parametre kullanılmıştır. Eşdeğer basınç çubuğu modeli Şekil 4.3’da gösterilmektedir.



Şekil 4.3 : Eşdeğer basınç çubuğu modeli.

Eşdeğer basınç çubuğu denklemleri, DBYBHY 2007’de tanımlanan şekilde 4.1 ve 4.2 bağıntılarıyla bellidir:

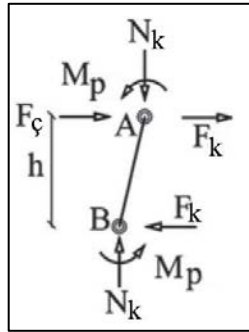
$$a_{duvar} = 0.175(\lambda_{duvar} h_k)^{-0.4} r_d \quad (4.1)$$

$$\lambda_{duvar} = \left[\frac{E_{duvar} t_{duvar} \sin 2\theta}{4E_c I_k h_{duvar}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4.2)$$

Bu bağıntılarda, a_{duvar} eşdeğer sanal çubuk genişliği (mm), h_k kolon boyu (mm), h_d duvar boyu (mm), r_d dolgu duvar köşegen uzunluğu (mm), t_{duvar} duvar kalınlığı (mm), I_k kolon atalet momenti (mm⁴), E_{duvar} duvar elastisite modülü (N/mm²), θ eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açıdır.

Deney çerçeve numunelerinin maksimum yatay yük taşıma kapasitelerini hesaplayabilmek için ilk olarak çerçevelere uygun davranış modelinin belirlenmesi, bunun için de tersinir tekrarlı yükler altında test edilen çerçevelerin göçme durumlarının (mekanizmalarının) incelenmesi gerekmektedir.

Yalın çerçevenin göçme durumu incelendiğinde, kolonların kiriş ve temelle birleştiği düğüm noktalarında yoğun bir şekilde çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. Dolayısıyla yalın çerçevenin göçme mekanizmasında, kolonların alt ve üst uçlarında plastik mafsallaşma oluştuğu varsayılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Yalın çerçeve göçme mekanizması.

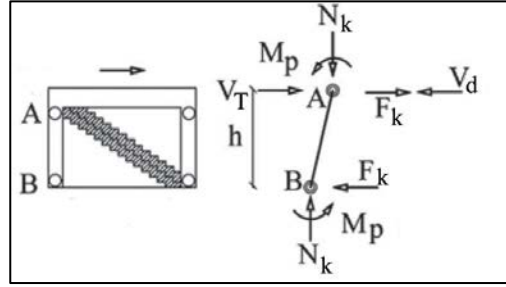
Bu göçme mekanizmasına göre çerçevenin eğilme dayanımı ($F_ç$), AB kolonunda A noktasında oluşan moment ve yatay yöndeki denge durumu göz önüne alınarak hesaplanmaktadır (4.3).

$$F_ç = 4 \cdot M_p / h \quad (4.3)$$

Bu bağıntıda M_p , eksenel yük etkisi altında kolonun plastik moment taşıma kapasitesi, h ise moment koludur. Bu değer duvar yüksekliğinden (H), plastik mafsallık uzunluğunun (l_p) çıkarılması ile bulunmuştur (4.4). Plastik mafsallık uzunluğu, kesitin eğilmeye dik olan kenarının yarısı kadar alınmaktadır (DBYBHY, 2007).

$$h = H - l_p \quad (4.4)$$

Dolgu duvarlı çerçeve ve CFRC-D-A çerçevelerinin göçme durumu, kolonların temelle birleştiği noktalarda plastik mafsallaşma oluşmasıyla birlikte çerçeve içindeki dolgu duvarın da yatay yük taşıma kapasitesinin sonuna ulaşarak göçmesi sonucu gerçekleşmiştir. Göçme mekanizmasında kirişle dolgu duvar arasında önemli bir kesme kuvveti transferi olmadığı varsayılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 : Dolgu duvar ve CFRC-D-A çerçeveleri göçme mekanizması.

Bu duruma göre AB kolonunun A noktasında olduğu varsayılan moment sonucunda, her bir kolondaki kesme kuvveti (F_k) ve eksenel yük etkisi altında kolonlardaki plastik moment taşıma kapasitesi M_p hesaplanmıştır (4.5):

$$F_k \cdot h = 2 \cdot M_p \quad (4.5)$$

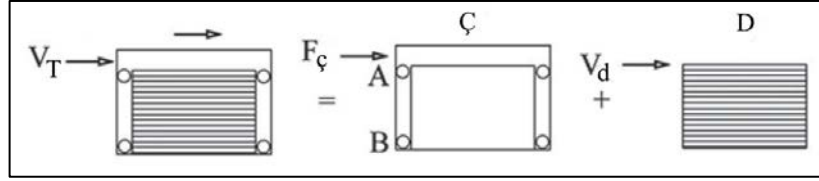
Çerçevenin yatay doğrultudaki denge durumunun göz önüne alınmasıyla aşağıdaki bağıntı ortaya çıkmıştır (4.6):

$$V_T = V_d + 2F_k = V_d + 4 \cdot M_p / h \quad (4.6)$$

Bu bağıntıda geçen V_d , köşegen çubuğun eşdeğer basınç dayanımının yatay bileşenidir (DBYBHY, 2007, FEMA 306, 1999).

Son olarak karbon lifli çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilmiş CFRC-1-2, CFRC-2-1, CFRC-2-1-A, CFRC-2-2-W ve CFRC-2-2-A çerçevelerinin göçme

durumları incelenmiş ve göçme mekanizmaları belirlenmiştir. Güçlendirilmiş dolgu duvarlı bu çerçevelerde, betonarme çerçeve ve dolgu duvar, basınç etkisi altında olan köşelerde yer değiştirme uyumluluğu olan birbirine paralel sistemler olarak dikkate alınmıştır (Şekil 4.6).



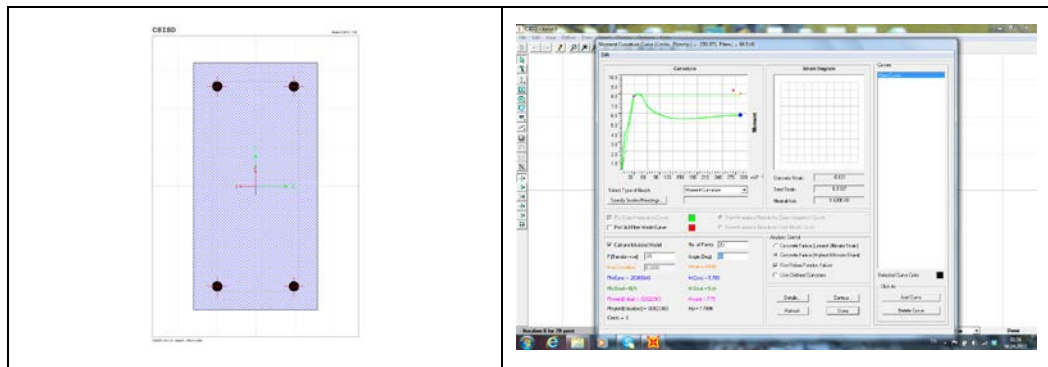
Şekil 4.6 : Güçlendirilmiş çerçevelerin göçme mekanizması.

Bunun sonucunda yatay etkilere karşı toplam dayanım, yalın çerçevenin eğilme dayanımını ve duvarın kesme kayması dayanımını toplamak suretiyle elde edilebilir (4.7).

$$V_T = V_d + F_ç \quad (4.7)$$

Duvarın karşıladığı kesme kayması dayanımı hesaplanırken üzerindeki sıva ve CFRC güçlendirme sistemi de (güçlendirme harcı ve karbon lifli ağ) hesaba katılmıştır (DBYBHY, 2007, FEMA 306, 1999).

Betonarme çerçevede oluşan plastik moment taşıma kapasitesi M_p , SAP 2000 v14.02 bilgisayar programının section designer bölümünde, kolon kesitlerinin, malzeme özelliklerinin ve kolon eksenel yükünün tanımlanmasıyla elde edilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 : Sap 2000 ile hesaplanan M_p değeri.

Çizelge 4.1’de, deney çerçevelerinin maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri bu bölümde bahsedilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 : Deney çerçevelerinin analitik tahmin dayanım tablosu.

Numune	Yalın Çerçeve	Dolgu Duvarlı Çerçeve	CFRC -1-2	CFRC -2-1	CFRC -2-1-A	CFRC -2-2-W	CFRC -D-A	CFRC -2-2-A
Parametreler								
Kolonun Plastik Momenti, M_p (kN.m))	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79	7.79
Duvar Yüksekliği, $H(m)$	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Plastik Mafsal Boyu, l_p (m)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$h = H - l_p$ (m)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Eşdeğer Basınç Çubuğunun Genişliği, $a_d(m)$	-	0.186	-	-	-	-	0.30	-
Duvar Kalınlığı, $t(m)$	-	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
Sıva Harcının Kalınlığı, t_{sh} (m)	-	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Güçlendirme Harcının Kalınlığı, t_{gh} (m)	-	-	0.009	0.012	0.012	0.018	-	0.018
Duvarın Basınç Dayanımı, f_d (MPa)	-	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05
Sıva Harcının Basınç Dayanımı, f_{sh} (MPa)	-	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97	6.97
Güçlendirme Harcının Basınç Dayanımı, f_{gh} (MPa)	-	-	24.99	24.99	24.99	24.99	-	24.99
$\Theta = (H/l)^{-1}$	-	40.61	-	-	-	-	40.61	-
Duvar Uzunluğu, $l(m)$	-	-	0.933	0.933	0.893	0.893	-	0.893
Sıva Harcının Uzunluğu, l_{sh} (m)	-	-	1.333	1.333	1.293	0.893	-	1.293
Güç. Harcının Uzunluğu, l_{gh} (m)	-	-	1.333	1.333	1.293	0.893	-	1.293
Duvarın Kompozit Kesit Alanı, A_d (m ²)	-	-	0.091	0.095	0.091	0.084	-	0.099

Çizelge 4.1 (devam): Deney çerçevelerinin analitik tahmin dayanım tablosu.

Numune	Yalın Çerçeve	Dolgu Duvarlı Çerçeve	CFRC -1-2	CFRC -2-1	CFRC -2-1-A	CFRC -2-2-W	CFRC -D-A	CFRC -2-2-A
Duvarın Kayma Dayanımı, τ_d (MPa)	-	-	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
Sıva Harcının Kayma Dayanımı, τ_{sh} (MPa)	-	-	0.44	0.44	0.44	0.44	-	0.44
Güçlendirme Harcının Kayma Dayanımı, τ_{gh} (MPa)	-	-	0.83	0.83	0.83	0.83	-	0.83
Karbon Fiber Ağın Hacimsel Oranı, ρ_{kfa} (%)	-	-	1	0.78	0.78	1	-	1
Karbon Fiber Ağın Kopma Dayanımı, f_{kfa} (MPa)	-	-	3338.00	3338.00	3338.00	3338.00	-	3338.00
Çerçeve Dayanımı $F_c = 4M_p / h$ (kN)	41.55	41.55	41.55	41.55	41.55	41.55	41.55	41.55
Duvar Dayanımı								
Basınç Göçmesi $V_{d,b} = atf_d \cos \Theta$ (kN)	-	32.02	-	-	-	-	51.65	-
Sıva Harcının Kesme Göçmesi $V_{sh,b} = atf_{sh} \cos \Theta$ (kN)	-	19.68	-	-	-	-	31.75	
Duvar Kesme Göçmesi, $V_{d,k} = \tau_d t_l$ (kN)	-	-	17.76	17.76	17.00	17.00	-	17.00
Güç. Harcı Kesme Göçmesi, $V_{gh,k} = \tau_{gh} t_{gh} l_{gh}$ (kN)	-	-	9.96	13.28	12.88	13.34	-	19.32
Sıva Harcı Kesme Göçmesi, $V_{sh,k} = \tau_{sh} t_{sh} l_{sh}$ (kN)			11.73	11.73	11.38	7.86		11.38
Karbon Fiber Ağın Taşıdığı Kesme Kuvveti, $V_{kfa,k} = \rho_{kfa} f_{kfa} t_{gh} l_{gh}$ (kN)	-	-	400.46	416.48	416.48	560.58	-	776.89

Çizelge 4.1 (devam): Deney çerçevelerinin analitik tahmin dayanım tablosu.

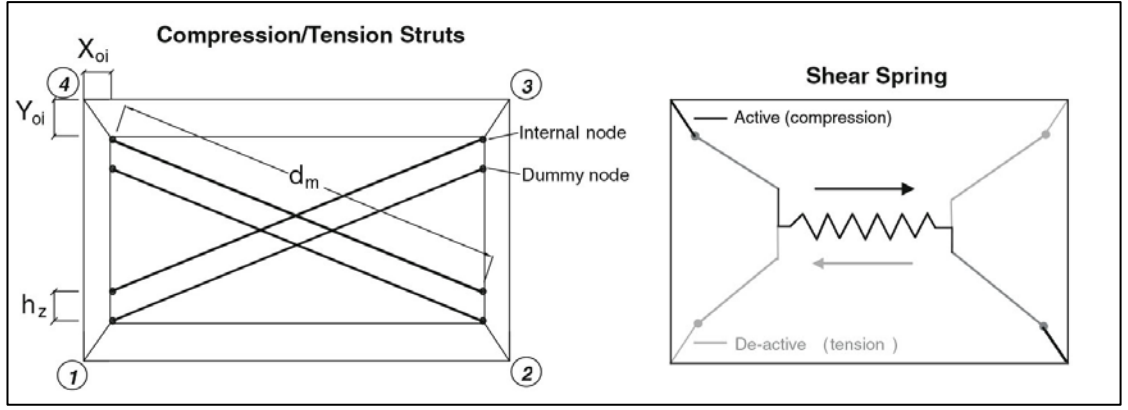
Numune	Yalın Çerçeve	Dolgu Duvarlı Çerçeve	CFRC-1-2	CFRC-2-1	CFRC-2-1-A	CFRC-2-2-W	CFRC-D-A	CFRC-2-2-A
$V_d = V_{d,k} + V_{gh,k} + V_{sh,k} + V_{kfa,k} \leq 0.22A_d f_d$	-	-	439.91 $\leq$ 81.00	459.25 $\leq$ 84.56	457.74 $\leq$ 81.42	598.78 $\leq$ 74.79	-	824.59 $\leq$ 88.34
Dolgu Duvarlı Çerçeve Dayanımı								
$V_T = F_\zeta + V_{d,b} + V_{sh,b}$ veya $V_T = F_\zeta + V_d$ (kN)	41.55	93.25	122.55	126.11	122.97	116.34	124.95	129.89
Deneyde Elde Edilen Dayanım, $V_{deneysel}$ (kN)	37.38	79.21	126.95	115.38	110.39	91.98	136.28	144.29
Dayanım Oranları, $V_{deneysel} / V_T$	0.90	0.85	1.04	0.92	0.90	0.79	1.09	1.11

Analitik tahminler, deney sonuçları ile kabul edilebilir yakınsaklıkta sonuçlar vermiştir. Yakınsaklık olarak en uzak sonuç karbon lifli çimento esaslı kompozit kullanılarak yapılan güçlendirmenin dolgu duvar alanıyla sınırlı kaldığı, iki taraftan, iki kat ve ankrajlı olarak güçlendirilen CFRC-2-2-W numunesinde görülmüştür. Bu numunede analitik tahminden elde edilen sonuç, deney sonucuna göre yaklaşık %26 daha fazladır. Bu farklılığın numunenin üretimi sırasında oluşabilecek ön çatlaklardan ve homojen olmayan malzeme özelliklerinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.2 Analitik Modeller

Deneysel olarak test edilen yalın, dolgu duvarlı ve karbon lifli çimento esaslı kompozitler ile güçlendirilen çerçeveler, SeismoStruct v.6 programında mevcut olan dolgu duvar modeli ile kuramsal olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda deneysel ve kuramsal olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Analitik inceleme için sunulan model, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin davranışı için temsil eden 4 noktalı dolgu duvar panel elemanıdır. Panel eleman 6 çubuk tarafından temsil edilmektedir (Şekil 4.8). Bu çubuklar, her bir köşegen doğrultusunda iki adet bulunan, birbirine paralel basınç/çekme çubuklarından ve kesme etkisini panel elemanın iki karşı köşesi boyunca yukarıdan aşağıya aktaran iki çubuktan oluşmaktadır (Smyrou vd., 2011).



Şekil 4.8 : Analitik incelemede kullanılan duvar modeli (Crisafulli ve Carr, 2007).

Modelde köşegenlerde kullanılan iki nokta duvar ile çerçeve arasındaki temas uzunluğunu dikkate almak için kullanılmıştır. Bu modelde duvarın basınç dayanımı köşegen çubuklarının taşıma kapasitesini DBYBHY 2007'ye benzer olarak etkilemektedir. Duvarın kayma dayanımı da yine DBYBHY 2007'ye benzer olarak hesaplanmaktadır. Modelde duvarın kayma dayanımı τ_m , duvarın bağ (yapışma) dayanımı τ_m ve tuğlalar ile harç arasındaki sürtünme direncinin toplanması ile hesaplanmaktadır (4.7). μ sürtünme katsayısı, σ ise duvar düşey gerilmesidir.

$$\tau_m = \tau_0 + \mu\sigma \quad (4.7)$$

Analitik modelde betonarme elemanlar için kullanılan malzeme karakteristikleri verilmiştir. f_c beton basınç dayanımını, f_y ve ε_y donatı akma dayanımını ve şekil değiştirmesini, ε_u en büyük şekil değiştirme ve f_u da ona karşı gelen dayanımı göstermektedir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 : Analitik modelde kullanılan malzeme özellikleri.

Malzeme	f_c (MPa)	f_y (MPa)	ε_y (%)	f_u (MPa)	ε_y (%)
Sargısız Beton	13.45	-	-	-	0.2
Sargılı Beton	13.45	-	-	-	0.2
Boyuna Donatı	-	430	0.2	530	10
Enine Donatı	-	430	0.2	530	10

Dolgu duvarlarda programa girilecek malzeme bilgileri için ön deneylerden faydalanılmış ve modelde kullanılan bilgiler verilmiştir. f_m duvar basınç dayanımı, f_t duvar çekme dayanımı, ε_m en büyük gerilmedeki şekil değiştirme, E_m duvar elastisite modülü ve ε_u en büyük şekil değiştirmedir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 : Modelde girilen dolgu duvar özellikleri.

Malzeme	f_m (MPa)	f_t (MPa)	ϵ_m	E_m (MPa)	ϵ_u
Dolgu Duvar	4.05	0	0.001	4050	0.02

Eşdeğer basınç çubuğunun genişliği, deprem yönetmeliğimize uygun olarak denklem 4.1 ve 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır. Al-Chaar ve Lamb (2002), eşdeğer basınç çubuğu genişliğine dolgu duvarlardaki boşluk oranının, dolgu duvarın hasar durumunun ve güçlendirme şeklinin etki ettiğini belirterek geliştirilmiş eşdeğer basınç çubuğu genişliğini hesaplamışlardır (4.8).

$$a_g = a \cdot (R_1) \cdot (R_2) \cdot \xi_1 \quad (4.8)$$

Bu formülde R_1 duvardaki boşluk oranına göre azaltma katsayısını göstermektedir (4.9).

$$R_1 = 0.6 \left(\frac{A_{\text{boş}}}{A_{\text{duvar}}} \right)^2 - 1.6 \left(\frac{A_{\text{boş}}}{A_{\text{duvar}}} \right) + 1 \quad (4.9)$$

Formüldeki R_2 değeri ise duvardaki hasar durumuna göre belirlenen bir katsayıdır. Duvar yüksekliğinin duvar kalınlığına oranının 21 veya daha az olduğu değerler için hesaplanan bu katsayı, orta ve ağır hasarlı duvarlar için sırasıyla 0.7 ve 0.4'tür. Hasarsız duvarlar için bu değer 1.0 olarak alınmıştır. Formülde son olarak karbon lif kaplama düzenine göre geliştirilmiş dayanım artırma katsayısı yer almaktadır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 : Dayanım artırma katsayısı.

Karbon Lif Kaplama Düzeni	ξ_1
2 Tabaka Tamamen Kaplama	1.51
1 Tabaka Güçlendirilmiş Kaplama	1.48
1 Tabaka Tamamen Kaplama	1.41
2 Tabaka Diyagonal Kaplama	1.33
1 Tabaka Diyagonal Kaplama	1.29
1 Tabaka H Kaplama	1.20

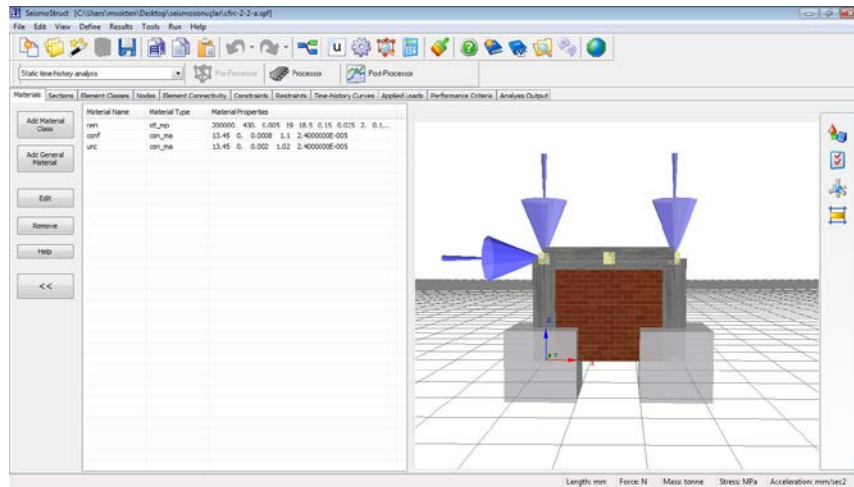
Modelde bu çalışmadan faydalanılarak hesaplanan geliştirilmiş eşdeğer basınç çubuğu genişliği kullanılmıştır. Ankraj deliklerindeki boşluktan dolayı hesaplanan R_1

azaltma katsayısı değeri 0.99 çıktığı için ihmal edilmiştir. Duvarlarda herhangi bir hasar bulunmadığı için R_2 katsayısı 1.0 olarak alınmıştır. Eşdeğer basınç çubuğunun alanı duvar kalınlığı ile çarpılarak hesaplanmıştır. Bu alanların hesaplanmasında sıva kalınlıkları ve deney numunelerine göre değişen güçlendirme harcı kalınlığı dikkate alınmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 : Eşdeğer basınç çubuğu alanları.

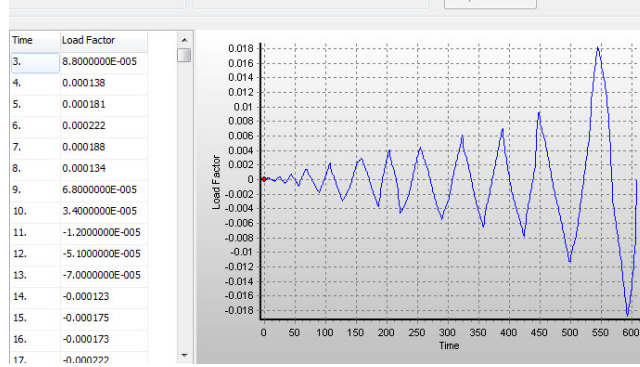
Malzeme	Dolgu Duvar	CFRC-1-2	CFRC-2-1-(A)	CFRC-2-2-W	CFRC-2-2-D-A	CFRC-2-2-A
Duvar Kalınlığı (mm)	56	56	56	56	56	56
Sıva Kalınlığı (mm)	20	20	20	20	20	20
Güçlendirme Harcı Kalınlığı (mm)	-	9	12	18	18	18
Toplam (mm)	76	85	88	94	94	94
Geliştirilmiş Eşdeğer Basınç Çubuğu Genişliği (mm)	186	262	262	186	275	281
Eşdeğer Basınç Çubuğu Alanı (mm ²)	14136	22270	23056	17484	25850	26414

SeismoStruct ile yer değiştirme kontrollü olarak yapılan analitik çözümlemelerde elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirme eğrileri deneysel sonuçlar ile birlikte verilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 : SeismoStruct programı.

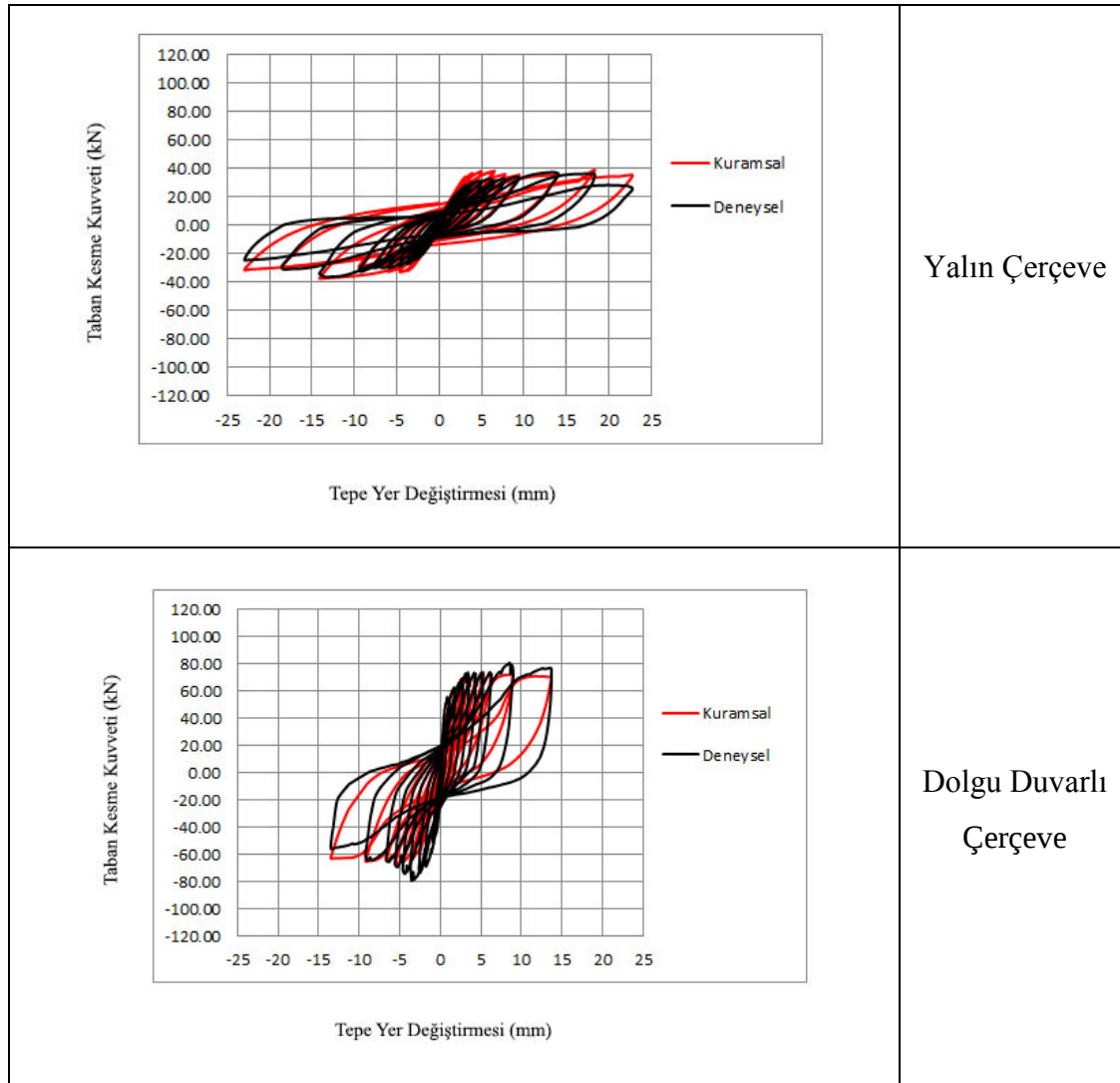
Her bir numunenin deneylerinde izlenen çevrimsel yer değıştirme değeri programa o numuneye özel olmak üzere girilmiştir (Şekil 4.10).



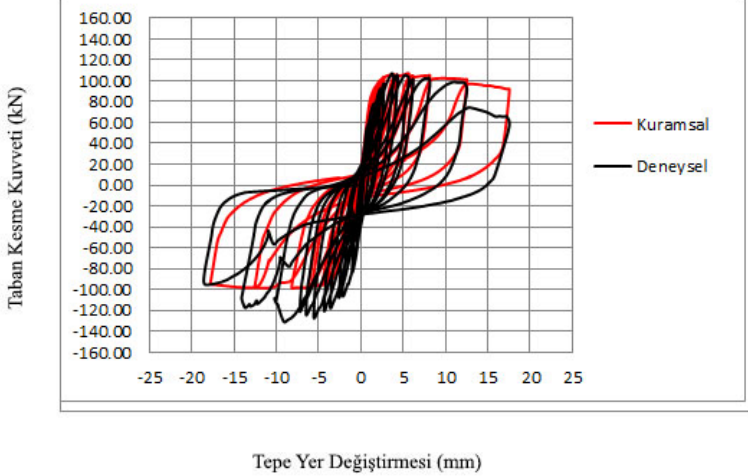
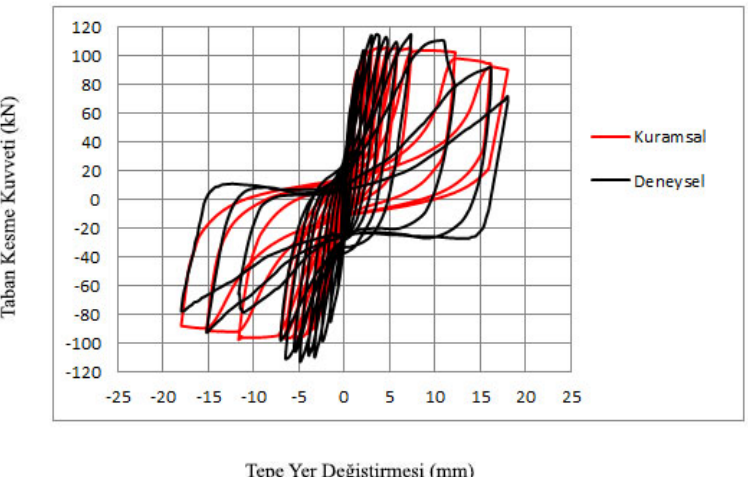
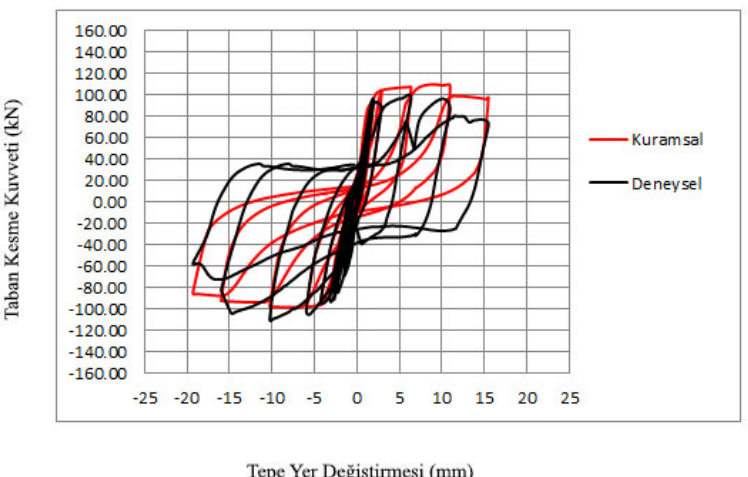
Şekil 4.10 : Modele girilen CFRC-D-A yer değıştirme değeri.

Analitik modellemeler sonucunda elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yer değıştirmesi çevrimleri verilmiştir (Çizelge 4.).

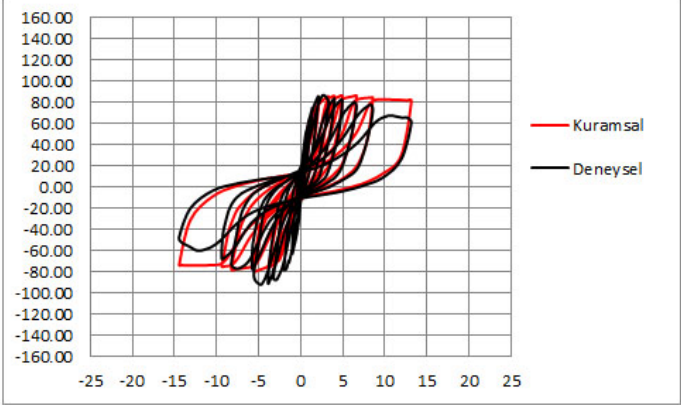
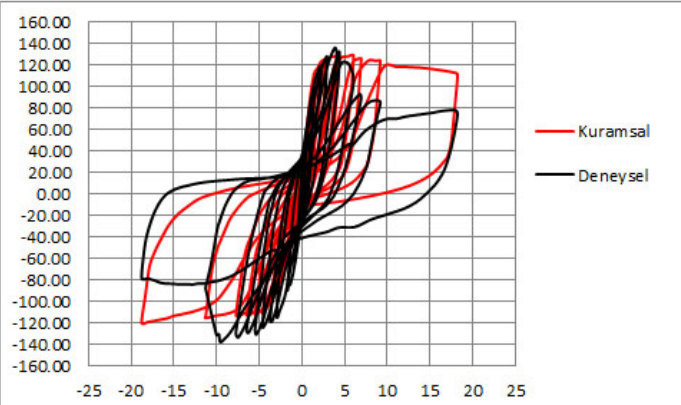
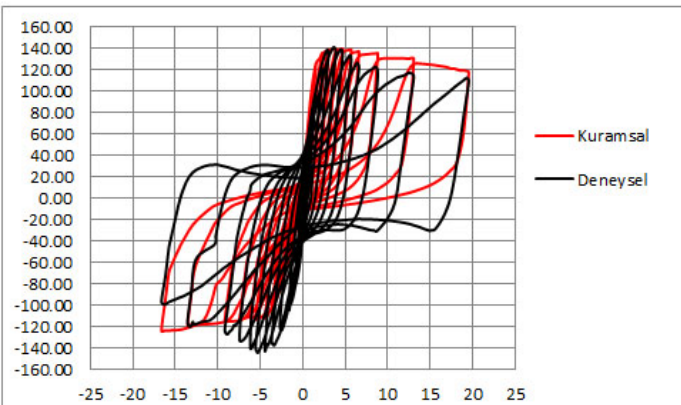
Çizelge 4.6 : Deneyel ve analitik sonuçların karşılaştırılması.



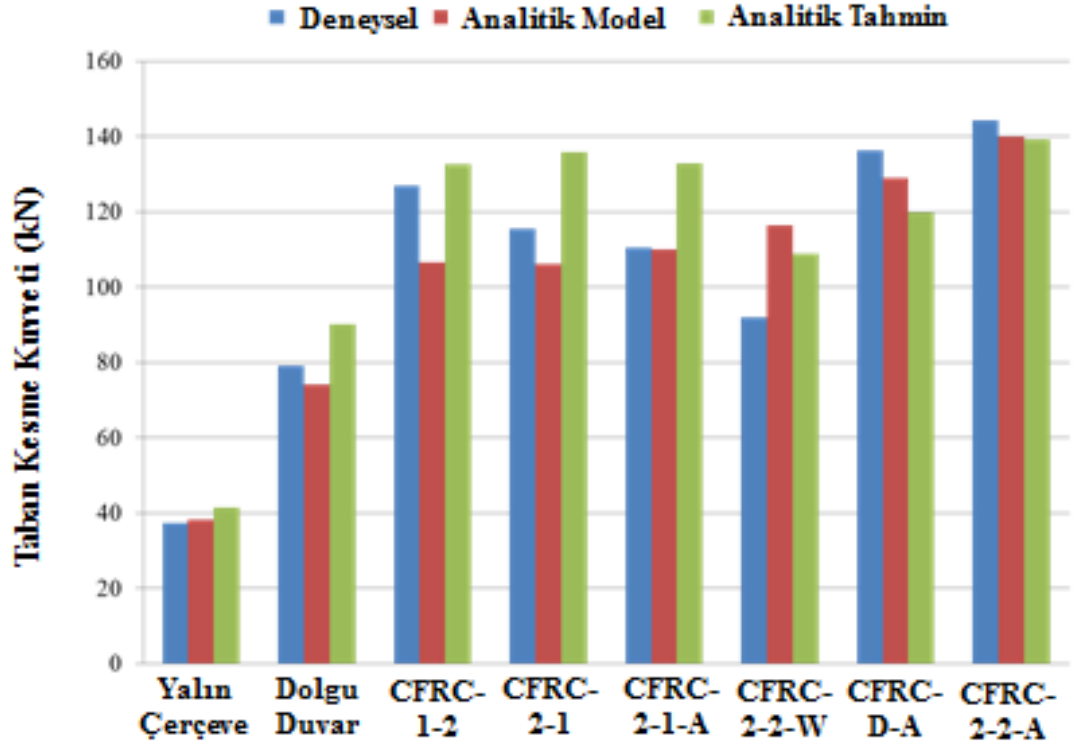
Çizelge 4.6 (devam) : Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması.

 Taban Kesme Kuvveti (kN) Tepe Yer Değiştirmesi (mm) Kuramsal Deneysel	CFRC-1-2 Çerçevesi
 Taban Kesme Kuvveti (kN) Tepe Yer Değiştirmesi (mm) Kuramsal Deneysel	CFRC-2-1 Çerçevesi
 Taban Kesme Kuvveti (kN) Tepe Yer Değiştirmesi (mm) Kuramsal Deneysel	CFRC-2-1-A Çerçevesi

Çizelge 4.6 (devam) : Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması.

Taban Kesme Kuvveti (kN)  Tepe Yer Değiştirmesi (mm)	CFRC-2-2-W Çerçevesi
Taban Kesme Kuvveti (kN)  Tepe Yer Değiştirmesi (mm)	CFRC-D-A Çerçevesi
Taban Kesme Kuvveti (kN)  Tepe Yer Değiştirmesi (mm)	CFRC-2-2-A Çerçevesi

Bilgisayar programı ile oluşturulan analitik modellerin ve deneylerin çevrimsel taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi grafikleri karşılaştırıldığında sonuçların birbirine oldukça yakın çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte analitik çalışmalardan ve deney sonuçlarından elde edilen maksimum taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırıldığında, bu değerlerin kabul edilebilir bir yakınsaklık gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 : Deneysel ve kuramsal sonuçların karşılaştırılması.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ülkemizde meydana gelebilecek olası depremlere karşı etkin olarak kullanılabilecek ve özellikle mevcut betonarme çerçeve, dolgu duvarlı yapılarda kolaylıkla uygulanabilecek, mimari estetiği bozmayan, ekonomik bir güçlendirme sistemi araştırılmıştır. Güçlendirme uygulamaları çeşitli olmakla birlikte bir takım olumlu veya olumsuz parametreleri de içinde barındırmaktadır. Uygulama sırasında yapıya mümkün olduğunca az ilave yük getiren ve deprem yüklerini arttırmayan sistemlerin tercih edilmesi dikkat edilmesi gereken bir konudur. Güçlendirme sırasında kullanılan malzemenin durabilite özellikleri, zaman, korozyon ve atmosferik dış etkiler sonucunda dayanımını kaybetmemesi yine güçlendirme malzemesinin seçimi konusunda bir tercih sebebidir. Bununla birlikte güçlendirme sistemlerinin ekonomik olarak uygulanabilir düzeyde olması, bu sistemlerin yaygın olarak kullanılabilmelerini doğrudan etkilemektedir. Lifli çimento esaslı kompozitlerle yapılan bu çalışma, bahsedilen bu parametrelerin dikkate alınmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma iki bölümden oluşmuştur. Birinci bölüm olan ön deneylerde, 1 adet güçlendirilmemiş ve 4 adet güçlendirilmiş duvar grubu, kayma deneyleri uygulanarak denenmiştir. Tezin esas konusunu oluşturan ikinci bölümde, ön deneyler sonucunda birinci bölümde elde edilen sonuçlara göre daha etkin olan güçlendirme yöntemi üzerinde durulmuş ve bu sistem geliştirilerek tersinir tekrarlı yükler altında, güçlendirilmiş betonarme çerçeveler üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Lifli çimento esaslı kompozitlerle, 6 farklı şekilde güçlendirilen tüm betonarme çerçeve numunelerinde, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre artışlar elde edilmiştir. Bu parametre açısından en yüksek değere iki taraftan, iki kat ve ankrajlı olarak CFRC ile güçlendirilen CFRC-2-2-A çerçevesi ulaşmıştır. Bu çerçevedeki maksimum yatay yük taşıma kapasitesi artışı, yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre sırasıyla 3.9 ve 1.8 kat olarak gerçekleşmiştir.

Bununla birlikte diyagonal bantlar ile güçlendirilen CFRC-D-A numunesi de, ulaşılan maksimum yatay yük değeri açısından CFRC-2-2-A numunesine oldukça yaklaşmıştır. Bu çerçevedeki maksimum yatay yük taşıma kapasitesi artışı da yine yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre sırasıyla 3.6 ve 1.7 kat olarak gerçekleşmiştir. Diyagonal bantlar kullanıldığı için tüm yüzeye uygulanan güçlendirmeyle karşılaştırıldığında, CFRC-D-A güçlendirmesinin maliyet açısından ekonomik olduğu görülmektedir.

- Bitişik nizamlı, güçlendirme uygulamasının dolgu duvarın her iki tarafına yapılamadığı yapılar için tasarlanan, bir taraftan, iki kat CFRC ile güçlendirilen CFRC-1-2 çerçevesi, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından oldukça başarılı bir davranış sergilemiştir. Bu çerçevedeki maksimum yatay yük taşıma kapasitesi artışı, yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre sırasıyla 3.4 ve 1.6 kat olarak gerçekleşmiştir.
- Ön deneyler ve betonarme çerçeve deneyleri sırasında, CFRC güçlendirme malzemesi ile yapıştığı yüzey arasında herhangi bir ayrılma, aderans problemi gözlemlenmemiştir. Ayrıca, iki taraftan, bir kat CFRC ile güçlendirilen CFRC-2-1 çerçevesi ile aynı çerçevenin ankraj kullanılarak üretilen CFRC-2-1-A numunesi, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından yaklaşık olarak aynı değerlere ulaşmıştır. Ankraj kullanımının ilave bir etkisi görülmemiştir. Bu durum CFRC ile uygulandığı duvar yüzeyinin kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak uyum içinde olduğunu ve arada ankraj etkisinin minimize edildiği, yüksek performanslı bir aderans bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, olası uygulama hatalarından doğabilecek aderans problemlerine karşı, önlem olarak ankraj kullanımı düşünülebilir.
- Uygulamada betonarme çerçeve ile teması olmayan, sadece dolgu duvarın güçlendirildiği CFRC-2-2-W çerçevesi, dolgu duvarlı çerçeveye yaklaşık olarak aynı maksimum yatay yük taşıma kapasitesine ve enerji tüketme kapasitesine ulaşmıştır. Bu güçlendirme sisteminden olumlu bir sonuç elde edilememiştir.
- Betonarme çerçevelerin enerji tüketme kapasiteleri karşılaştırıldığında, yine en etkin davranışı iki taraftan, iki kat ve ankrajlı olarak güçlendirilen CFRC-2-2-A çerçevesi göstermiştir. Bu çerçevedeki enerji tüketme kapasitesi artışı,

yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre sırasıyla 3.4 ve 2.6 kat olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca daha ekonomik bir güçlendirme olan, iki taraftan, bir kat CFRC ile güçlendirilen CFRC-2-1 çerçevesi de enerji tüketme kapasitesi açısından oldukça başarılıdır. Bu çerçevedeki enerji tüketme kapasitesi artışı da yine yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre sırasıyla 2.7 ve 2.1 kat olarak gerçekleşmiştir.

- Dolgu duvarlı çerçeve ile CFRC kullanılarak güçlendirilmiş çerçevelerin başlangıç rijitlik değerleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Ayrıca bu değerler yalın çerçeveye göre 7.5 ila 8.9 kat artış göstermiştir. Bununla birlikte ankraj kullanılarak, iki taraftan, tek kat CFRC ile güçlendirilmiş CFRC-2-1-A çerçevesinin başlangıç rijitlik değeri, dolgu duvarlı ve güçlendirilen diğer çerçevelere göre düşüktür. Ayrıca güçlendirilen diğer numunelerin aksine bu çerçevede, ulaşılan maksimum yatay yük seviyesinden sonra dayanım hemen düşmüştür. Bu farklılığın dolgu duvarlı çerçevede tuğla ile betonarme çerçeve arasında oluşabilecek olası ayrışmalardan ve ankraj deliklerinin açılması sırasında oluşabilecek ön hasarlardan oluşabileceği düşünülmektedir.
- Yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçevede, ilk hasarlar kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuş, ilerleyen çevrimlerde kolon diplerinde ve kolon ortalarında hasarlar meydana gelmiştir. Güçlendirilen çerçevelerde ise uygulanan CFRC kat sayısı ve alanı arttıkça, hasar oluşumları özellikle kolon diplerinde yoğunlaşmıştır. Dolayısıyla güçlendirilen çerçevelerde plastik mafsallı oluşumu kolon-temel birleşim bölgelerine doğru kaymıştır.
- CFRC ile güçlendirilen çerçevelerde, yalın çerçeve ve dolgu duvarlı çerçeveye göre daha az çatlak oluşmuştur. Bunun sonucunda betonarme çerçeve ile etkileşimde bulunan dolgu duvarın dayanım değeri yükselmiş ve artan bu değer ileri çevrimlerde devam ederek çerçevenin dayanım ve süneklik kapasitesini yükseltmiştir.
- Güçlendirilen bütün çerçevelerde, dolgu duvarın dağılması ve düzlem dışına doğru devrilme hareketi önlenmiştir. Hasar sonucu oluşan tuğla ve sıva kırıkları, güçlendirilmeyen yalın ve dolgu duvarlı çerçeveye göre oldukça

azdır. Bu durum çerçevenin dolgu duvarla bir bütün olarak çalışarak dayanımını arttırmıştır.

- Betonarme çerçeve deneyleri sırasında, CFRC güçlendirme malzemesinin içindeki karbon lifli ağda kopma oluşmamıştır. Dayanımın sürekliliği açısından bu davranış olumlu olarak nitelendirilse de, kompozit sistemin performansı sonuçta yapıştığı yüzeyin dayanımına bağlıdır. Göçme durumu zayıf olan duvar elemanlarından kaynaklandığı için karbon fiber elyaftan oluşan ağlar yüksek dayanım kapasitelerini sınırlı olan yüzey dayanımıyla yansıtabilmektedirler. Düşük dayanımlı elemanlarda daha düşük kopma gerilmesine sahip fiber elemanlar kullanmak araştırılması gereken bir konudur.
- Analitik çalışmalar sonucunda, dolgu duvarların yapının deprem sırasındaki davranışına, yatay yük taşıma kapasitesi ve enerji sönümlemesi açısından önemli etkisi olduğu görülmüştür. Bu durum düşük dayanımlı betonarme çerçeve elemanlarında daha da önem kazanmaktadır. Statik hesaplarda bu etkinin ihmal edilmesi doğru sonuçlar elde edilmemesine yol açacaktır.
- Analitik çalışmalar deney sonuçlarına yakın değerler vermiştir. Modelleme sırasında kullanılan malzeme özellikleri önem taşımaktadır.
- Lifli çimento esaslı kompozitlerle yapılan güçlendirmeler, nemli ortamlarda da uygulanabildikleri için epoksi kullanılarak yapılan uygulamalara göre avantajlıdır. Ayrıca çimento tabakası ısı etkisine karşı epoksiye göre daha dayanıklıdır.
- Lifli çimento esaslı kompozitlerle yapılan güçlendirmeler, epoksi kullanılarak yapılan güçlendirmelerle karşılaştırıldığında, atmosferik dış etkilere karşı sıva gibi ilave bir koruyucu tabaka uygulaması gerektirmemektedir. CFRC güçlendirmeler titizlikle uygulandığında pürüzsüz bir yüzey elde edilmekte ve bu yüzey üzerine direkt boya uygulanabilmektedir. Bu durum da mimari açıdan bir avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışma sonucunda düşük dayanımlı beton kalitesine sahip betonarme yapılar için etkili güçlendirme sistemi olan iki taraftan, iki kat, ankrajlı uygulama düzeni, başka numunelerde daha denenerek ve detayları geliştirilerek enerji yutma kapasitesi, dayanım ve süneklik özelliklerinin artırılmasıyla daha etkin bir hale getirilebilir.

Ayrıca bu güçlendirme sisteminin, gözlemlenen üstün aderans özellikleri, atmosferik etkilere karşı dayanıklılığı ve puzolanik özellikli olması, yığma yapıların güçlendirilmesi için de kullanılabileceğini düşündürmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Chaar, G. & Lamb, G. E.** (2002). Design of Fiber-Reinforced Polymer Materials for Seismic Rehabilitation of Infilled Concrete Structures (Report Number ERDC/CERL TR-02-33). Champaign, Illinois, USA : U.S. Army Engineer Research and Development Center (ERDC), Construction Engineering Research Laboratory (CERL).
- Anil, Ö. & Altin, S.** (2007). An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames. *Engineering Structures*, 29(3), 449–460.
doi:10.1016/2006.05.011.
- Aref, A. J., Asce, A. M., & Jung, W.** (2003). Energy-dissipating polymer matrix composite-infill wall system for seismic retrofitting. *Journal of structural engineering*, 129, 440–448.
- Arya, C., Clarke, J. L., Kay, E. A., & O'Regan, P. D.** (2002). TR 55: Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials: a review. *Engineering Structures*, 24 (7), 889–900.
doi:10.1016/S0141-0296(02)00027-5
- Beklen, C. ve Çağatay, İ. H.** (2009). Çerçeveselerde dolgu duvar modellerinin incelenmesi. *Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi*, 24 (1-2), 77–90.
- Benjamin, J. & William, H.** (1957). The behavior of one story reinforced concrete shear wallstle. *Journal of the Structural Division of the American Society of Civil Engineers*, 83 (3), 1–30.
- Biondo, A. S. & Cusenza, A. M. C.** (2007). Restoration of the Florio Tuna Plant on the Island of Favignana (Trapani). *Proceedings of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures* (pp. 1–9). Patra, Greece : University of Patras.
- Burke, P. J., Bisby, L. A., & Green, M. F.** (2013). Effects of elevated temperature on near surface mounted and externally bonded FRP strengthening systems for concrete. *Cement and Concrete Composites*, 35 (1), 190–199.
doi:10.1016/2012.10.003
- Chen, B., Wu, K., & Yao, W.** (2004). Conductivity of carbon fiber reinforced cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, 26 (4), 291–297.
doi:10.1016/S0958-9465(02)00138-5
- Chen, S., Jeng, V., Chen, S., & Chen, C.** (2001). Seismic assessment and strengthening method of existing RC buildings in response to code revision. *Earthquake Engineering and Engineering Seismology*, 3, 67–77.

- Coza, H.** (2009). *Dolgu duvarlı çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Crisafulli, F. J. & Carr, A. J.** (2007). Proposed macro-model for the analysis of infilled frame structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 40 (2), 69–77.
- Çılı, F., Karadoğan, H., & Erol, G.** (2007). Karbon liflerle güçlendirilmiş bölme duvarlı betonarme çerçeveler (Proje No. 104M562). İstanbul : TÜBİTAK Kurumsal Raporu.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.** (2007). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Ehsani, M., Saadatmanesh, H., & Al-Saidy, A.** (1997). Shear behavior of URM retrofitted with FRP overlays. *Journal of Composites for Construction*, 1 (1), 17–25. Retrieved from <http://www.u.arizona.edu/~ehsani/papers/26.pdf>
- Ehsani, M., Saadatmanesh, H., & Valezquez-Dimas, J.** (1999). Behavior of retrofitted URM walls under simulated earthquake loading. *Journal of Composites for Construction*, 3, 134–142.
- Faella, C., Martinelli, E., Nigro, E., & Paciello, S.** (2004). Tuff masonry walls strengthened with a new kind of C-FRP sheet: experimental tests and analysis. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver. Retrieved from http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_923.pdf
- FEMA 306.** (1999). Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings. *Applied Technology Council (ATC-43 Project)*, California, USA.
- Kakaletsis, D.** (2012). Comparison of CFRP and alternative seismic retrofitting techniques for bare and infilled rc frames. *Journal of Composites for Construction*, 15 (4), 565–577. doi:10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000196.
- Kesner, K. & Billington, S. L.** (2005). Investigation of infill panels made from engineered cementitious composites for seismic strengthening and retrofit. *Journal of structural engineering*, (November), 1712–1720. doi:10.1061/(ASCE)0733-9445(2005)131:11(1712)
- Khalil, A. & Ghobarah, A.** (2005). Behaviour of rehabilitated structural walls. *Journal of earthquake engineering*, 9 (3), 371–391. doi:10.1080/13632460509350547
- Kolsch, H.** (1998). Carbon fiber cement matrix (CFCM) overlay system for masonry strengthening. *Journal of Composites for Construction*, 2, 105–109. Retrieved from [http://home.anadolu.edu.tr/~ygunes/cemil_historical/ASCE/QCC000105\[1\].pdf](http://home.anadolu.edu.tr/~ygunes/cemil_historical/ASCE/QCC000105[1].pdf)

- Koutromanos, I., Stavridis, A., Shing, P. B., & Willam, K.** (2011). Numerical modeling of masonry-infilled RC frames subjected to seismic loads. *Computers & Structures*, 89 (11-12), 1026–1037. doi:10.1016/j.compstruc.2011.01.006
- Lignola, G., Prota, A., & Manfredi, G.** (2009). Nonlinear analyses of tuff masonry walls strengthened with cementitious matrix-grid composites. *Journal of Composites for Construction*, 13 (4), 243–251.
- Mohyeddin, A., Goldsworthy, H. M., & Gad, E. F.** (2013). FE modelling of RC frames with masonry infill panels under in-plane and out-of-plane loading. *Engineering Structures*, 51, 73–87. doi:10.1016/j.engstruct.2013.01.012
- Özkaynak, H.** (2010). *Dolgu duvarlı lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçeve sistemlerin deprem davranışı ve yapısal sönüm özellikleri* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ritchie, P., Thomas, D., Lu, L., & Connelly, G.** (1991). External reinforcement of concrete beams using fiber reinforced plastics. *Structural Engineering*, 88, 490–500.
- Saadatmanesh, H., Ehsani, M., & Jin, L.** (1996). Seismic strengthening of circular bridge pier models with fiber composites. *ACI Structural Journal*, 93.
- SAP 2000.** Structural Analysis Program v.14.02. *Computers and Structures Inc.*, Berkeley, California. State University of New York at Buffalo.
- SeismoStruct.** Finite Element Package v.6. *Seismosoft Earthquake Engineering Software Solutions*, Messina, Italy.
- Sharif, A., Al-Sulaimani, G., Basunbul, A., Baluch, M., & Ghaleb, B.** (1994). Shear repair for reinforced concrete by fibreglas plate bonding. *ACI Structural Journal of Structural Engineering*, 91, 458–464.
- Smyrou, E., Blandon, C., Antoniou, S., Pinho, R., & Crisafulli, F.** (2011). Implementation and verification of a masonry panel model for nonlinear dynamic analysis of infilled RC frames. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9 (5), 1519–1534. doi:10.1007/s10518-011-9262-6
- Tommaso, A. Di, Focacci, F., & Mantegazza, G.** (2007). FRCM versus FRP composites to strengthen rc beams: a comparative analysis. *Proceedings of the 8th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures* (pp. 1–10). Patras, Greece : University of Patras. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:FRCM+vs+.+FRP+COMPOSITES+TO+STRENGTHEN+RC+BEAMS+:+A+COMPARATIVE+ANALYSIS#0>
- Uva, G., Porco, F., & Fiore, A.** (2012). Appraisal of masonry infill walls effect in the seismic response of RC framed buildings: A case study. *Engineering Structures*, 34, 514–526. doi:10.1016/j.engstruct.2011.08.043

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Mehmet Selim ÖKTEN

Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL-26/11/1978

Adres: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı, Meclis-i Mebusan Caddesi, No:24, Fındıklı 34427 İstanbul

E-Posta: msokten@msgsu.edu.tr

Lisans: Sakarya Üniversitesi-İnşaat Müh. Bölümü

Yüksek Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi-İnşaat Müh. Bölümü

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

Uluslararası Konferanslar:

- **Okten, M.S.,** Ozkan, C., Gencoglu, M. 2013: Shear Strength Behavior of Infill Walls Strengthened by Carbon Fiber Reinforced Cementitious Matrix. *New Developments in Structural Engineering and Construction*, Honolulu, USA, June 18-23.
- Ozkan, C., **Okten, M.S.,** Gencoglu, M., Guler, K. 2012: Experimental Investigation of Infill Walls Strengthened by Cementitious Matrix-Fabric Composites. *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, September 24-28.
- Atakul, N., **Okten, M.S.** 2010: Ekolojik Sorumluluğun Sağlanmasında Türkiye'deki Mimarlık Eğitiminin Mevcut Durum Analizi. *1. Uluslararası Yeşilçağ Sempozyumu*, MSGSÜ, İstanbul, Türkiye, Aralık.

Ulusal Kongreler:

- **Okten, M.S.,** Ozgen, K. 2004: Betonarme Kirişlerin Karbon Elyafıla Güçlendirilmesi; Deneysel Bir İnceleme. *Türkiye İnşaat Mühendisliği On Yedinci Teknik Kongre ve Sergisi*, YTÜ, İstanbul, Türkiye, Nisan.

