

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK DAYANIMLI BETON PANELLERİN İLERİ
TEKNOLOJİ MALZEMELER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yasin CANDAN**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2007

**DÜŞÜK DAYANIMLI BETON PANELLERİN İLERİ
TEKNOLOJİ MALZEMELER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Yasin CANDAN
(501041224)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Alper İLKİ
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Zekai CELEP (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Şevket ÖZDEN (K.O.Ü.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana her konuda destek olan sayın hocam Doç. Dr. Alper İlki'ye teşekkürlerimi sunarım.

Değerli katkıları için, Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir'e ve Prof. Dr. Nahit Kumbasar'a; çalışma süresince yanımda olan İdris Bedirhanoğlu'na, İsmail Hakkı Başeğmez'e, Orkun İncecik'e, Yılmaz Kaya'ya, Cem Demir'e, Cengiz Şengül'e, Doğan Akgün'e, Ozan Göray'a, Fundagül Aş'a, Bahadır Demirtaş'a, Yapı ve Deprem Laboratuvarı personeline, Yapı Malzemesi Laboratuvarı personeline ve adlarını buraya sığdıramadığım tüm dostlarıma teşekkür ederim.

Çalışmayı destekleyen, BASF-YKS'ye, Şişecam'a ve İston Beton'a ise teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca, maddi ve manevi açıdan her türlü desteği gösteren aileme ve herşeyin sahibi Yüce Kaynağa tüm kalbimle teşekkür ederim.

Ocak 2007

Yasin CANDAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. ELEMANLARIN TASARIMI, ÜRETİMİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ	8
2.1. Giriş	8
2.2. Elemanların Tasarımı	8
2.3. Elemanların Üretimi	8
2.3.1. Kalıpların Hazırlanması	8
2.3.2. Beton Dökümü	9
2.4. HPFRCC Paneller İle Güçlendirme	10
2.4.1. HPFRCC Karışımının Geliştirilmesi	10
2.4.1.1. Sıcak Kür, Liflerin Önceden Ayrıştırılması ve Liflerin Korozyona Uğramasının Basınç ve Çekme Dayanımına Etkisi	10
2.4.1.2. Çelik Lif İçeriğinin Mekanik Özelliklere Etkisi	15
2.4.2. Güçlendirme Panellerinin Tasarımı	27
2.4.3. Karışım Sırası	28
2.4.4. Kalıba Alınma ve Kür	30
2.4.5. Yüzey Hazırlığı	31
2.4.6. Güçlendirme Panellerinin Yapıştırılması	31
2.4.7. Güçlendirme Panellerinde Ankraj Detayının Uygulanması	32
2.5. LP Kompozitler İle Güçlendirme	33
2.5.1. Deney Düzeneği İçin Ankraj Uygulaması	33
2.5.2. Yüzey Hazırlığı	33
2.5.3. Güçlendirme Uygulaması	34
2.5.4. Ankraj Detayının Uygulanması	35
3. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYLERİ	37
3.1. Giriş	37
3.2. Elemanların Üretiminde Kullanılan Beton	37
3.3. HPFRCC Panellerin Üretiminde Kullanılan Malzemeler	40

3.3.1. Çelik Lifler	40
3.3.2. Silis Dumanı	41
3.3.3. Hiperakışkanlaştırıcı	42
3.3.4. Kum	43
3.3.5. Çimento	43
3.4. Panel Üretiminde Kullanılan HPFRCC Karışımının Mekanik Özellikleri	43
3.5. Lifli Polimer Malzemelerin Mekanik Özellikleri	47
3.6. Lifli Polimerlerin ve Öndöküm HPFRCC Panellerin Yapıştırılmasında Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri	48
4. DENEY DÜZENEGİ	52
4.1. Giriş	52
4.2. Referans Elemanlar İçin Deney Düzenegi	52
4.3. Güçlendirilmiş Elemanlar İçin Deney Düzenegi	55
5. DENEY SONUÇLARI	57
5.1. Giriş	57
5.2. Referans Elemanların Deney Sonuçları	59
5.3. HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları	62
5.3.1. DS-HPFRCC-2	62
5.3.2. DS-HPFRCC-3	64
5.3.3. DS-HPFRCC-3-1 side	65
5.3.4. DS-HPFRCC-4	67
5.3.5. DS-HPFRCC-5	68
5.3.6. DS-HPFRCC-2-A	70
5.3.7. DS-HPFRCC-3-A	71
5.3.8. DS-HPFRCC-3-A-1 side	73
5.3.9. DS-HPFRCC-4-A	74
5.3.10. DS-HPFRCC-5-A	76
5.4. HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	78
5.5. LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları	88
5.5.1. DS-G-1-1 side	88
5.5.2. DS-G-S-1	90
5.5.3. DS-G-S-3	91
5.5.4. DS-C-S-1	92
5.5.5. DS-C-S-2	94
5.5.6. DS-G-3S-1	95
5.5.7. DS-G-3S-3	97
5.5.8. DS-G-3S-A-3	98
5.5.9. DS-G-1	100
5.5.10. DS-G-2	101
5.5.11. DS-G-A-2	102

5.5.12. DS-G-3	104
5.5.13. DS-C-1	105
5.5.14. DS-C-2	106
5.6. LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	108
6. SONUÇLAR	121
KAYNAKLAR	124
EKA. DENEY SONUNA AİT FOTOĞRAFLAR	127
ÖZGEÇMİŞ	133

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 :Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Genel Özellikleri	6
Tablo 1.2 :LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Genel Özellikleri	7
Tablo 2.1 1. ve 2. Deneme Karışımlarına Ait 7 Günlük Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları (Sıcak Kürden Önce)	11
Tablo 2.2 1. ve 2. Deneme Karışımlarına Ait 15 Günlük Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları (Sıcak Kürden Sonra)	11
Tablo 2.3 :1. ve 2. Deneme Karışımlarında Kullanılan Malzemeler ve 1 m ³ İçin Karışım Miktarları	12
Tablo 2.4 :3. ve 4. Deneme Karışımlarına Ait Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları	15
Tablo 2.5 :Değişik Yüzdelerde Çelik Lif İçeren Deneme Karışımlarına Ait Malzeme Miktarları ve Birim Hacim Ağırlıkları (kg)	16
Tablo 2.6 :Deneme Karışımlarına Ait Basınç Deneylerinin Sonuçları	20
Tablo 2.7 :Deneme Karışımlarına Ait Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları	21
Tablo 2.8 :Değişik Lif Oranlarına Sahip Karışımların Şekildeğiştirme Değerleri	22
Tablo 2.9 :RILEM Kırılma Enerjisi Deneylerinin Sonuçları	26
Tablo 3.1 :Beton Karışımı	37
Tablo 3.2 :Taze Beton Çökme Deneyi Sonuçları	38
Tablo 3.3 :Standart Silindir Basınç Deneylerinin Sonuçları	40
Tablo 3.4 :Dramix ZP30/0.55 Çelik Liflerin Mekanik Özellikleri	41
Tablo 3.5 :Glenium 51 Hiperakışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri	42
Tablo 3.6 :HPFRCC Karışımı	44
Tablo 3.7 :HPFRCC Karışımı Deney Sonuçları	47
Tablo 3.8 :C1-30 ve EG-60AR Türü LP Kompozitlerin Mekanik Özellikleri	48
Tablo 3.9 :C1-30 ve EG-60 Türü LP Kompozitlerin Geometrik Özellikleri	48
Tablo 3.10 :BASF-YKS Astarın Mekanik Özellikleri	49
Tablo 3.11 :BASF-YKS Epoksi Esaslı Yapıştırıcının Mekanik Özellikleri	50
Tablo 3.12 :BASF-YKS Cocresive 1406'nın Mekanik Özellikleri	51
Tablo 4.1 :Şekildeğiştirmeölçer Özellikleri	54
Tablo 4.2 :Yerdeğiştirmeölçerlerin Özellikleri	55
Tablo 5.1 :Referans Elemanların Deney Sonuçları Özeti	61
Tablo 5.2 :Referans Elemanların Şekildeğiştirme Değerleri	62
Tablo 5.3 :Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları Özeti	79
Tablo 5.4 :Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Şekildeğiştirme Değerleri	80
Tablo 5.5 :Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanlar	81

Tablo 5.6 :LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları	109
Özeti	
Tablo 5.7 :LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Şekildeğiştirme	110
Değerleri	
Tablo 5.8 :LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Düşey Yük-Düşey	111
Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanlar	

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 :Beton Elemanların Üretimi	4
Şekil 1.2 :Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirme Uygulaması	4
Şekil 1.3 :Lifli Polimer Kompozitler İle Güçlendirme Uygulaması	4
Şekil 2.1 :Kalıpların Hazırlanması	9
Şekil 2.2 :Beton Dökümü ve Kür	9
Şekil 2.3 :Standart Yarma Çekme ve Basınç Deneyleri	10
Şekil 2.4 :1. Deneme Karışımı (M1) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	12
Şekil 2.5 :2. Deneme Karışımı (M2) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	13
Şekil 2.6 :Çelik Liflere Korozyon Oluşturmaya Çalışılması	13
Şekil 2.7 :3. Deneme Karışımı (M3) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	14
Şekil 2.8 :4. Deneme Karışımı (M4) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	14
Şekil 2.9 :5. Deneme Karışımı (M5) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	17
Şekil 2.10 :6. Deneme Karışımı (M6) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	17
Şekil 2.11 :7. Deneme Karışımı (M7) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	17
Şekil 2.12 :8. Deneme Karışımı (M8) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	18
Şekil 2.13 :9. Deneme Karışımı (M9) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	18
Şekil 2.14 :10. Deneme Karışımı (M10) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	18
Şekil 2.15 :11. Deneme Karışımı (M11) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri	19
Şekil 2.16 :Değişik Oranlarda Çelik Lif İçeren Karışımlar İçin Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkileri	19
Şekil 2.17 :RILEM Kırılma Enerjisi Deney Düzeneginin Genel Görünümü	23
Şekil 2.18 :RILEM Kırılma Enerjisi Deneyi Yükleme Düzeni (boyutlar: mm)	23
Şekil 2.19 :Çelik Lifsiz Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	24
Şekil 2.20 :%2 Çelik Lifli Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	25
Şekil 2.21 :%4 Çelik Lifli Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	25
Şekil 2.22 :%6 Çelik Lifli Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	25
Şekil 2.23 :Değişik Oranlarda Çelik Lif İçeren Karışımlar İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri	26
Şekil 2.24 :Ankrajlı ve Ankrajsız Numunelerde Panel Birleşim Detayları (boyutlar: cm)	27
Şekil 2.25 :Düşey Karıştırıcı	28
Şekil 2.26 :Karışım Sırası	29
Şekil 2.27 :HPFRCC Panellerin Kalıba Alınması ve Kür	30
Şekil 2.28 :Yüzey Hazırlığı	31
Şekil 2.29 :Güçlendirilecek Elemanların Yüzeylerine Epoksi Harcı Uygulanması	31
Şekil 2.30 :Güçlendirme Panellerinin Yapıştırılması	32
Şekil 2.31 :Ankraj Deliklerinin Açılması ve Temizlenmesi	32
Şekil 2.32 :Ankraj Detaylarının Uygulanması	33
Şekil 2.33 :Deney Düzenegi İçin Ankraj Uygulaması	33

Şekil 2.34	:LP Kompozitlerin Hazırlanması	34
Şekil 2.35	:Numune Yüzeylerine Astar Uygulanması	34
Şekil 2.36	:LP Kompozitlerin Yapıştırılması	35
Şekil 2.37	:DS-G-A-2 ve DS-G-M-A-3 Numunelerinde Ankraj Detayları	36
Şekil 2.38	:DS-G-A-2 ve DS-G-M-A-3 Numunelerinde Ankraj Uygulaması	36
Şekil 3.1	:Standart Silindir Basınç Deneyi Düzeneği	38
Şekil 3.2	:28 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları	39
Şekil 3.3	:90 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları	39
Şekil 3.4	:180 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları	39
Şekil 3.5	:Dramix ZP30/0.55 Tipi Çelik Lifler	41
Şekil 3.6	:Tutkalla Birleştirilmiş Çelik Lif Demetlerinin Suyu Değerek Dağılması	41
Şekil 3.7	:Silis Dumanı İçeren Bir Çimento Hamurunda Sıkı Bir Diziliş Elde Edilmesi	42
Şekil 3.8	:Elek Analizi	43
Şekil 3.9	:HPFRCC Standart Silindir ve Yarma Çekme Deneyleri	45
Şekil 3.10	:28 Günlük HPFRCC Karışımı Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları	45
Şekil 3.11	:80 Günlük HPFRCC Karışımı Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları	46
Şekil 3.12	:180 Günlük HPFRCC Karışımı Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları	46
Şekil 3.13	:Tek Yönlü LP Kompozitler	47
Şekil 4.1	:Veri Toplama Sistemi Akış Grafiği	52
Şekil 4.2	:Deney Düzeneğinin Genel Görünümü	53
Şekil 4.3	:Referans Elemanlar İçin Ölçüm Düzeneği	53
Şekil 4.4	:Deney Düzeneğinin Şematik Görünümü	54
Şekil 4.5	:Referans Elemanların Yüzeyindeki Şekildeğiştirmeölçerler	54
Şekil 4.6	:Referans Elemanların Yüzeyindeki Yerdeğiştirmeölçerler	55
Şekil 4.7	:Güçlendirilmiş Elemanlar İçin Ölçüm Düzeneği	56
Şekil 4.8	:Güçlendirilmiş Elemanların Yüzeyindeki Şekildeğiştirmeölçerler	56
Şekil 4.9	:Güçlendirilmiş Elemanların Yüzeyindeki Yerdeğiştirmeölçerler	56
Şekil 5.1	:Süneklik Değerlerinin Hesabında Kullanılan Şekildeğiştirmeler	58
Şekil 5.2	:ASTM E519 Standardında Önerilen Yükleme Düzeneği	59
Şekil 5.3	:Referans Elemanlarına Ait Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkileri	60
Şekil 5.4	:Referans Elemanlarına Ait Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkileri	60
Şekil 5.5	:Referans Elemanların Deney Sırasındaki Görünümleri	61
Şekil 5.6	:DS-HPFRCC-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	63
Şekil 5.7	:DS-HPFRCC-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	63
Şekil 5.8	:DS-HPFRCC-2'nin Deney Sırasındaki Görünümleri	64
Şekil 5.9	:DS-HPFRCC-3 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	64
Şekil 5.10	:DS-HPFRCC-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	65
Şekil 5.11	:DS-HPFRCC-3'ün Deney Sırasındaki Görünümleri	65
Şekil 5.12	:DS-HPFRCC-3-1 side Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	66
Şekil 5.13	:DS-HPFRCC-3-1 side Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	66
Şekil 5.14	:DS-HPFRCC-3-1 side'in Deney Sırasındaki Görünümleri	67
Şekil 5.15	:DS-HPFRCC-4 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	67
Şekil 5.16	:DS-HPFRCC-4 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	68

Şekil 5.17	:DS-HPFRCC-4'ün Deney Sırasındaki Görünümleri	68
Şekil 5.18	:DS-HPFRCC-5 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	69
Şekil 5.19	:DS-HPFRCC-5 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	69
Şekil 5.20	:DS-HPFRCC-5'in Deney Sırasındaki Görünümleri	70
Şekil 5.21	:DS-HPFRCC-2-A Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	70
Şekil 5.22	:DS-HPFRCC-2-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	71
Şekil 5.23	:DS-HPFRCC-2-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri	71
Şekil 5.24	:DS-HPFRCC-3-A Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	72
Şekil 5.25	:DS-HPFRCC-3-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	72
Şekil 5.26	:DS-HPFRCC-3-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri	73
Şekil 5.27	:DS-HPFRCC-3-A-1 side Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	73
Şekil 5.28	:DS-HPFRCC-3-A-1 side Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	74
Şekil 5.29	:DS-HPFRCC-3-A-1 side'in Deney Sırasındaki Görünümleri	74
Şekil 5.30	:DS-HPFRCC-4-A Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	75
Şekil 5.31	:DS-HPFRCC-4-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	75
Şekil 5.32	:DS-HPFRCC-4-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri	76
Şekil 5.33	:DS-HPFRCC-5-A Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	76
Şekil 5.34	:DS-HPFRCC-5-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	77
Şekil 5.35	:DS-HPFRCC-5-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri	77
Şekil 5.36	:Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi	82
Şekil 5.37	:Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi	82
Şekil 5.38	:Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi	83
Şekil 5.39	:Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	83
Şekil 5.40	:Ankraj Uygulanan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi	84
Şekil 5.41	:Ankraj Uygulanan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi	84
Şekil 5.42	:Ankraj Uygulanan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	84
Şekil 5.43	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	85
Şekil 5.44	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	85
Şekil 5.45	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	86
Şekil 5.46	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	86
Şekil 5.47	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	86
Şekil 5.48	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	87
Şekil 5.49	:Uygulama Detayının Davranışa Etkisi	87
Şekil 5.50	:Uygulama Detayının Davranışa Etkisi	88

Şekil 5.51	:DS-G-1-1side Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	89
Şekil 5.52	:DS-G-1-1side Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	89
Şekil 5.53	:DS-G-1-1side'in Deney Sırasındaki Görünümleri	89
Şekil 5.54	:DS-G-S-1 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	90
Şekil 5.55	:DS-G-S-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	90
Şekil 5.56	:DS-G-S-1'in Deney Sırasındaki Görünümleri	91
Şekil 5.57	:DS-G-S-3 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	91
Şekil 5.58	:DS-G-S-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	92
Şekil 5.59	:DS-G-S-3'ün Deney Sırasındaki Görünümleri	92
Şekil 5.60	:DS-C-S-1 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	93
Şekil 5.61	:DS-C-S-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	93
Şekil 5.62	:DS-C-S-1'in Deney Sırasındaki Görünümleri	94
Şekil 5.63	:DS-C-S-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	94
Şekil 5.64	:DS-C-S-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	95
Şekil 5.65	:DS-C-S-2'nin Deney Sırasındaki Görünümleri	95
Şekil 5.66	:DS-G-3S-1 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	96
Şekil 5.67	:DS-G-3S-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	96
Şekil 5.68	:DS-G-3S-1'in Deney Sırasındaki Görünümleri	96
Şekil 5.69	:DS-G-3S-3 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	97
Şekil 5.70	:DS-G-3S-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	97
Şekil 5.71	:DS-G-3S-3'ün Deney Sırasındaki Görünümleri	98
Şekil 5.72	:DS-G-3S-A-3 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	98
Şekil 5.73	:DS-G-3S-A-3 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	99
Şekil 5.74	:DS-G-3S-A-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	99
Şekil 5.75	:DS-G-3S-A-3'ün Deney Sırasındaki Görünümleri	99
Şekil 5.76	:DS-G-1 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	100
Şekil 5.77	:DS-G-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	100
Şekil 5.78	:DS-G-1'in Deney Sırasındaki Görünümleri	101
Şekil 5.79	:DS-G-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	101
Şekil 5.80	:DS-G-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	101
Şekil 5.81	:DS-G-2'nin Deney Sırasındaki Görünümleri	102
Şekil 5.82	:DS-G-A-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	102
Şekil 5.83	:DS-G-A-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	103
Şekil 5.84	:DS-G-A-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	103
Şekil 5.85	:DS-G-A-2'nin Deney Sırasındaki Görünümleri	103
Şekil 5.86	:DS-G-3 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	104
Şekil 5.87	:DS-G-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	104
Şekil 5.88	:DS-G-3'ün Deney Sırasındaki Görünümleri	105
Şekil 5.89	:DS-C-1 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	105
Şekil 5.90	:DS-C-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	106
Şekil 5.91	:DS-C-1'in Deney Sırasındaki Görünümleri	106
Şekil 5.92	:DS-C-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	107
Şekil 5.93	:DS-C-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	107
Şekil 5.94	:DS-C-2'nin Deney Sırasındaki Görünümleri	107
Şekil 5.95	:Kullanılan Kompozit Türünün Davranışa Etkisi	112
Şekil 5.96	:Kullanılan Kompozit Türünün Davranışa Etkisi	112
Şekil 5.97	:LP Kompozit Türünün Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	113
Şekil 5.98	:LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi	113
Şekil 5.99	:LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi	113

Şekil 5.100: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi	114
Şekil 5.101: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi	114
Şekil 5.102: LP Kompozit Kat Sayısının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	114
Şekil 5.103: LP Kompozit Kat Sayısının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	115
Şekil 5.104: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi	115
Şekil 5.105: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi	116
Şekil 5.106: Uygulama Şeklinin Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	116
Şekil 5.107: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi	116
Şekil 5.108: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi	117
Şekil 5.109: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi	117
Şekil 5.110: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi	117
Şekil 5.111: Uygulama Detayının Davranışa Etkisi	118
Şekil 5.112: Uygulama Detayının Davranışa Etkisi	118
Şekil 5.113: Uygulama Detayının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	118
Şekil 5.114: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	119
Şekil 5.115: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	119
Şekil 5.116: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	119
Şekil 5.117: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	120
Şekil 5.118: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	120
Şekil 5.119: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	120

SEMBOL LİSTESİ

a_o	: çentik derinliği
A_{lig}	: prizma numune etkin kesit alanı
B	: prizma numune genişliği
b	: numune derinliği
D_{z305}	: çelik lif çapı
D	: prizma numune yüksekliği
ϵ_c	: eksenel şekildeğiştirme
E_c	: beton veya HPFRCC elastisite modülü
$E_{c,ort}$	: beton veya HPFRCC ortalama elastisite modülü
f_{cts}	: HPFRCC yarma çekme dayanımı
$f_{cts,ort}$	: HPFRCC ortalama yarma çekme dayanımı
f'_c	: 28 günlük standart silindir beton veya HPFRCC basınç dayanımı
f'_{cc}	: güçlendirilmiş eleman basınç dayanımı
f'_{cj}	: deney gününe ait standart silindir beton basınç dayanımı
$f'_{co,j}$	: deney gününe ait güçlendirilmemiş eleman basınç dayanımı
$f'_{c,ort}$	: 28 günlük ortalama standart silindir beton veya HPFRCC basınç dayanımı
g	: yerçekimi ivmesi
GL	: ölçüm boyu
h	: numune genişliği
j	: beton yaşı
k	: HPFRCC panel yaşı
l	: numune yüksekliği
L_{z305}	: çelik lif uzunluğu
L	: prizma numune deneylerinde mesnetler arası uzaklık
m	: prizma numune ağırlığı
P	: prizma numune deneylerinde ulaşılan maksimum yük
t_{HPFRCC}	: HPFRCC panel kalınlığı
t_{FRP}	: lifli polimer kalınlığı
t	: numune kalınlığı
W_o	: yük-yerdeğiştirme eğrisi altında kalan alan
μ	: süneklik
τ	: kesme dayanımı
γ	: kesme şekildeğiştirmesi
δ_o	: prizma numunelerin çentik hizasında yaptığı maksimum yerdeğiştirme

DÜŞÜK DAYANIMLI BETON PANELLERİN İLERİ TEKNOLOJİ MALZEMELER İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada; düşük dayanımlı beton elemanlar, yüksek performanslı lif donatılı öndöküm çimento esaslı kompozit (HPFRCC) paneller ve cam veya karbon lifli polimer (LP) kompozitler ile güçlendirilmiş ve diyagonal çekme etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. HPFRCC paneller ile güçlendirilen numunelerde, HPFRCC panel kalınlığı ve güçlendirme panellerinin mevcut betona ankrajı çalışmada incelenen başlıca değişkenlerdir. LP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde ise, kullanılan kompozit türü, kat sayısı, uygulama detayları (kompozitin tek veya her iki yüzeye uygulanması) ve şekilleri (kompozitin tüm yüzeye veya yüzeyin bir bölümüne uygulanması), kompozitlerin mevcut betona ankrajı çalışmada incelenen başlıca değişkenlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, güçlendirilen düşük dayanımlı beton elemanların; dayanım ve şekildeğiştirme yeteneklerinde belirgin artış gözlenmiş ve ankraj uygulaması, bu artışı olumlu yönde etkilemiştir. Her iki güçlendirme yönteminin karşılaştırılmasına da imkân sağlayan bu çalışmada, öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen numunelerde, LP kompozitler ile güçlendirilen numunelere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışma, aynı zamanda Araş.Gör.İdris Bedirhanoğlu'nun doktora tez çalışmasının bir bölümünü oluşturmaktadır.

STRENGTHENING OF LOW STRENGTH CONCRETE PANELS USING INNOVATIVE MATERIALS

SUMMARY

In this study; low strength concrete members were strengthened using pre-fabricated high performance fiber reinforced cement concrete (HPFRCC) panels and, glass or carbon fiber polymer (LP) sheets, and their behavior under diagonal tensile conditions was examined. Panel thickness and the anchorage of panels to existing concrete, were the primary variables of the examined specimens retrofitted using HPFRCC. The specimens retrofitted using LP sheets were examined under the following parameters; used composite type, ply number, application details and methods, and anchorage of composites to existing concrete. In conclusion to the experiments performed, the retrofitted low strength concrete members were found to exhibit much better performance in terms of strength and deformation. The anchorage application was found to positively effect this improved performance. In this study, which enabled the comparison of the two mentioned strenghtening techniques, samples which were strengthened using pre-fabricated HPFRCC were found to yield better results in comparison to samples strengthened using LP sheets. This study is also a part of doctrate thesis of Research Assistant Idris Bedirhanoglu.

1.GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı kavramına göre, depremin şiddetine göre belirli bir miktar hasarın meydana gelmesi normal bir durum olarak kabul edilir. Bu kavrama göre; kolon, kiriş, perde gibi yapı elemanları, yapının ekonomik ömrü içinde olabilecek hafif şiddetteki depremlerde dikkate değer hasar görmemelidir. Bu süre içinde orta şiddetteki depremlerde, taşıyıcı olan elemanlarında onarılabılır düzeyde hasar görülebileceği gibi yapının taşıyıcı olmayan bölümlerinde de hasarlar görülebilir. Yapının ekonomik ömrü içinde en çok bir kez olabilecek çok şiddetli depremde ise taşıyıcı elemanlar onarılamayacak derecede hasar görebilir. Fakat bu durumda bile can kaybı meydana getirecek yıkımlar olmamalıdır, [1]. Normal olarak depreme dayanıklı bir yapı, bu kavrama uyan bir yapı olarak kabul edilir. Yapının yönetmelik esaslarına göre yapılmaması halinde ise, hafif veya orta şiddetteki depremlerde bile yapıda büyük hasarlar görülebilir. Tasarım ve yapım sırasında gerekli özenin gösterilmemesi, ihmaller, kusurlar depremde hasarının büyümesine neden olur. Yurdumuzda deprem hasarlarının fazla olmasının ana sebepleri; beton dayanımının düşük olması, etriye, donatı ekleri ve ankraj konusundaki yetersizlikler şeklinde sıralanabilir.

Binalarda kütleler özellikle kat seviyesinde yoğunlaşmaktadır. Bu nedenle, depremin yarattığı yatay kuvvetlerin etkileri de kolon-kiriş birleşim noktalarında yoğunlaşır ve bu düğüm yerlerindeki eğilme momentleri ve kayma gerilmeleri büyük değerler alır. Yapı elemanlarının ve özellikle kolon-kiriş birleşim bölgelerinin bu kuvvetlere karşı koyabilmesi ve deprem enerjisinin yutulabilmesi için yeterli dayanıma ve sünekliğe sahip olmaları gerekmektedir. Bu davranışı sağlamak yeterli beton dayanımına sahip ve projeye uygun şekilde yapılmış yapı ve yapı elemanları ile mümkün olmaktadır. Ülkemizdeki mevcut yapılar düşünüldüğünde, beton kalitesinin düşük olması, enine donatıların yetersizliği ve donatı detaylarındaki hatalardan dolayı, yapı elemanları deprem sırasında yeterli sünekliği gösterememekte ve deprem sırasında büyük hasarlar meydana gelebilmektedir, [2]. Tüm bu durumların önüne geçebilmek için; yeni yapılar, yönetmeliklerde yer alan şartlar doğrultusunda inşa edilmeli, mevcut

yetersiz yapılar ise uygun teknikler kullanılarak güçlendirilmeli ya da yıkılarak yeniden inşa edilmelidir.

Günümüzde, yapıların güçlendirilmesi için birçok farklı teknik uygulanmaktadır. Yüksek dayanımlı çimento esaslı kompozitlerin kullanımı, bu tekniklerden bir tanesidir. Özellikle, son yıllarda beton teknolojisindeki ilerlemeler, çok yüksek dayanıma sahip özel betonların üretilmesine olanak sağlamıştır. Ancak, yüksek dayanımlı betonlar tipik olarak gevrek davranış sergiler. Yapılan çalışmalarda, bu olumsuzluk, beton karışımının içine lifler katılarak giderilmeye çalışılmıştır. Böylece; lif donatılı çimento esaslı kompozit (FRCC), lif donatılı beton (FRC), lif donatılı harç (FRM), sünek lif donatılı çimento esaslı kompozit (DFRCC), yüksek performanslı lif donatılı çimento esaslı kompozit (HPFRCC), yüksek oranda ağ şeklinde çelik tel içeren çimento bulamacı (SIMCON), yüksek oranda kısa kesilmiş çelik tel içeren çimento bulamacı (SIFCON), reaktif pudra betonu (RPC) ve tasarlanmış çimento esaslı kompozit (ECC) gibi yeni malzemeler geliştirilmiştir, [3, 4].

Lif katkılı çimento esaslı kompozitlerde en çok kullanılan lif türleri; metalik, mineral ve polimerik liflerdir. Metalik lifler çelik ve paslanmaz çelikten elde edilen farklı kesit ve boyutlardaki liflerdir. Mineral lifler arasında en çok kullanılan cam lifidir. Polimerik lifler sınıfına ise akrilik, aramid, karbon, naylon, polietilen, polipropilen lifler girmektedir.

Yapıların güçlendirilmesi için uygulanan bir diğer yöntem ise, yapı elemanlarının dış yüzeyine lifli polimer (LP) kompozitlerin yapıştırılmasıdır. Yüksek dayanım, yüksek dayanıklılık, düşük öz ağırlık ve kolay uygulanabilir olma gibi avantajlara sahip olan LP kompozitlerin inşaat mühendisliğinin çeşitli alanlarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu malzemeler arasında en yaygın olarak kullanılanlar karbon lifli (CFRP), cam lifli (GFRP) ve aramid lifli (AFRP) polimer kompozitlerdir. Farklı durumlar için, farklı mekanik özelliklere sahip olan bu malzemelerden birinin kullanımı diğerine göre daha uygun olabilmektedir, [5-8].

Bazı araştırmacılar, panellerin kayma davranışını incelemek ve güçlendirme tekniklerini karşılaştırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Collins ve diğ. [9] numune boyutları 890x890x70 mm ve beton dayanımı 20 MPa dolaylarında olan 4 adet betonarme panelin kayma davranışını incelemişlerdir. 13 ülkeden, 27 farklı

araştırmacının betonarme panellerin dayanım ve yük deformasyon ilişkilerini bulmak için önerdikleri yöntemler, deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler sonunda elde edilen sonuçlar ile araştırmacıların önerdiği yöntemlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında, sonuçların çok yakın olmadığı ve genel olarak analitik modellerden elde edilen sonuçların deney sonuçlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Kullanılan formüllerin çok karmaşık ya da basit olması, sonuçlar üzerinde etkili olmamıştır. Bazen basit bir formülle elde edilen sonuçlar bile çok karmaşık formüller ile elde edilen sonuçlardan daha yakın değerler vermiştir. Kanakubo ve diğ. [10] lifli polimerler ile güçlendirilmiş panellerin temel davranışlarını incelemek amacı ile toplam 11 adet numune üzerinde kayma deneyleri yapmışlardır. 300x300x150 mm boyutlarındaki paneller iki, üç ve dört doğrultuda örülmüş karbon ve aramid polimer lifler ile güçlendirilmişlerdir. Deneyler sırasında, tüm numunelerde iki türlü göçme modu (LP kompozitin sıyrılması ve betonun ezilmesi) meydana geldiği görülmüştür. Aramid polimer lifler ile güçlendirilen numunelere ait deney sonuçlarının, analitik formüllerden elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Karbon lifli polimerlerle tek kat güçlendirilmiş numune hariç tüm numunelerde ilk çatlak yükünden itibaren, çatlaklar adım adım ilerlemiştir. Deneyler sonucunda, güçlendirilmiş elemanların yatay ve düşey şekildeğiştirme yapabilme kapasitesinde iyileşme sağlanmıştır.

Bu deneysel çalışmada; zayıf donatılı kolon-kiriş birleşim bölgelerini temsil etmek üzere, yetersiz beton basınç dayanıma sahip 400x400x100 mm boyutlarında 27 beton eleman üretilmiştir, Şekil 1.1. Bu elemanlar, iki farklı güçlendirme tekniği uygulanarak güçlendirilmiş ve monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir. Yapılan güçlendirme uygulamalarında; beton elemanların, kesme dayanımının ve şekildeğiştirme yeteneğinin artırılması hedeflenmiştir. Her iki güçlendirme yönteminin karşılaştırılmasına da imkân sağlayan bu çalışma sırasıyla; giriş (1. Bölüm), elemanların tasarımı, üretilmesi ve güçlendirilmesi (2. Bölüm), malzeme özellikleri ve deneyleri (3. Bölüm) , deney düzeneği (4. Bölüm), deney sonuçları (5. Bölüm) ve sonuçlar (6. Bölüm) olmak üzere altı bölümden oluşmaktadır.



Şekil 1.1: Beton Elemanların Üretimi

Güçlendirme yöntemlerinin ilkinde, hacimce %4 çelik lif oranına sahip öndöküm HPFRCC paneller üretilmiş ve numunelere yapıştırılmıştır, Şekil 1.2. HPFRCC paneller ile güçlendirilen numunelerde, HPFRCC panel kalınlığı ve güçlendirme panellerinin mevcut betona ankrajı çalışmada incelenen başlıca değişkenlerdir.



Şekil 1.2: Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirme Uygulaması

Güçlendirme yöntemlerinin ikincisinde, farklı kalınlıklarda LP kompozitler, belirlenen detaylara göre numunelere yapıştırılmıştır, Şekil 1.3. LP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde ise, kullanılan kompozit türü, kat sayısı, uygulama detayları (kompozitin tek veya her iki yüzeye uygulanması) ve şekilleri (kompozitin tüm yüzeye veya yüzeyin bir bölümüne uygulanması), kompozitlerin mevcut betona ankrajı çalışmada incelenen başlıca değişkenlerdir.



Şekil 1.3: Lifli Polimer Kompozitler İle Güçlendirme Uygulaması

Beton elemanların isimlendirilmesinde, her bir elemanın sahip olduğu özelliklerin yansıtılmasına özen gösterilmiştir. Bu amaçla; öndöküm HPFRCC paneller ile

güçlendirilen elemanlarda, HPFRCC panel kalınlığı ve panellerin mevcut betona ankrajı elemanların isimlerinde kullanılmıştır. Örneğin; DS-HPFRCC-3-A-1 side elemanında; **DS**, diyagonal shear, **3**, cm biriminde öndöküm HPFRCC panel kalınlığını; **A**, mevcut beton elemana ankraj yapıldığını; **1 side**, güçlendirme uygulamasının bir yüzeye yapıldığını göstermektedir. LP kompozitler ile güçlendirilen elemanlarda ise, lif tipi, kat sayısı, güçlendirme uygulamasının detayları (kompozitin tek veya her iki yüzeye uygulanması) ve şekilleri (kompozitin tüm yüzeye veya yüzeyin bir bölümüne uygulanması), kompozitlerin mevcut betona ankrajı elemanların isimlerinde kullanılmıştır. Örneğin; DS-G-3S-A-3 elemanında; **DS**, diyagonal shear, **G**, güçlendirmede cam lifli polimer kompozit kullanıldığını, **3S**, uygulamanın 3 şerit halinde yapıldığını, **A**, mevcut beton elemana ankraj yapıldığını, **3**, bir yüzeye uygulanan lifli polimer kat sayısını göstermektedir. Güçlendirme tekniğine göre sınıflandırılmış genel eleman özellikleri, Tablo 1.1 ve 1.2’de sunulmuştur. Bu tablolarda; f'_c , h , l , b , t_{HPFRCC} ve t_{FRP} sırasıyla; 28 günlük standart silindir beton basınç dayanımını, numune genişliğini, numune yüksekliğini, numune derinliğini, HPFRCC panel kalınlığını ve lifli polimer kalınlığını göstermektedir.

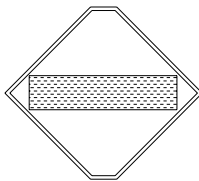
Tablo 1.1: Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Genel Özellikleri

Eleman İsmi	f'_c 28 gün (MPa)	Kesit Boyutları $h \times l \times b$ (mm)	Panel Kalınlığı t_{HPFRCC} (mm)	Ankraj Uygulaması	Uygulama Detayı
DS-HPFRCC-2	~5	400x400x100	20	Yok	Her iki yüzeye
DS-HPFRCC-3	~5	400x400x100	30	Yok	Her iki yüzeye
DS-HPFRCC-3-1 side	~5	400x400x100	30	Yok	Tek yüzeye
DS-HPFRCC-4	~5	400x400x100	40	Yok	Her iki yüzeye
DS-HPFRCC-5	~5	400x400x100	50	Yok	Her iki yüzeye
DS-HPFRCC-2-A	~5	400x400x100	20	Var	Her iki yüzeye
DS-HPFRCC-3-A	~5	400x400x100	30	Var	Her iki yüzeye
DS-HPFRCC-3-A-1 side	~5	400x400x100	30	Var	Tek yüzeye
DS-HPFRCC-4-A	~5	400x400x100	40	Var	Her iki yüzeye
DS-HPFRCC-5-A	~5	400x400x100	50	Var	Her iki yüzeye

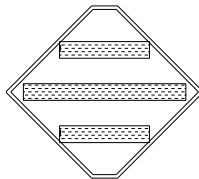
Tablo 1.2: Lifli Polimer Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Genel Özellikleri

Eleman İsmi	f'_c 28 gün (MPa)	Kesit Boyutları $b \times h \times l$ (mm)	Kat Sayısı	Tek Yüzeydeki Kompozit Kalınlığı t_{FRP} (mm)	Ankraj Uygulaması	Uygulama Detayı	Uygulama Şekli
DS-G-1	~5	400x400x100	1	0.23	Yok	Her iki yüzeye	Tüm yüzeye
DS-G-2	~5	400x400x100	2	0.46	Yok	Her iki yüzeye	Tüm yüzeye
DS-G-3	~5	400x400x100	3	0.69	Yok	Her iki yüzeye	Tüm yüzeye
DS-C-1	~5	400x400x100	1	0.165	Yok	Her iki yüzeye	Tüm yüzeye
DS-C-2	~5	400x400x100	2	0.33	Yok	Her iki yüzeye	Tüm yüzeye
DS-G-A-2	~5	400x400x100	2	0.43	Var	Her iki yüzeye	Tüm yüzeye
DS-G-1-1 Side	~5	400x400x100	1	0.23	Yok	Tek yüzeye	Tüm yüzeye
DS-G-S-1	~5	400x400x100	1	0.23	Yok	Her iki yüzeye	Şerit*
DS-G-S-3	~5	400x400x100	3	0.69	Yok	Her iki yüzeye	Şerit
DS-C-S-1	~5	400x400x100	1	0.165	Yok	Her iki yüzeye	Şerit
DS-C-S-2	~5	400x400x100	2	0.33	Yok	Her iki yüzeye	Şerit
DS-G-3S-1	~5	400x400x100	1	0.23	Yok	Her iki yüzeye	3 Şerit**
DS-G-3S-3	~5	400x400x100	3	0.69	Yok	Her iki yüzeye	3 Şerit
DS-G-3S-A-3	~5	400x400x100	3	0.69	Var	Her iki yüzeye	3 Şerit

*



**



2. ELEMANLARIN TASARIMI, ÜRETİMİ VE GÜÇLENDİRİLMESİ

2.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında; öndöküm HPFRCC paneller yapıştırılarak güçlendirilen (10 numune), LP kompozitler yapıştırılarak güçlendirilen (14 numune) ve herhangi bir güçlendirme uygulaması yapılmayan (3 numune) 400x400x100 mm boyutlarında beton elemanların, monoton artan diyagonal çekme etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Elemanlar, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında üretilip güçlendirilmiş, deneyler ise Yapı Malzemesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

2.2 Elemanların tasarımı

Ülkemizdeki yapıların genel durumu göz önüne alınarak; düşük beton dayanımını simgelemek üzere; 28 günlük standart silindir basınç dayanımı yaklaşık 5 MPa olan beton kullanılarak, 27 adet eleman üretilmiştir. Elemanların boyutları (genişlik×derinlik×yükseklik); 400×400×100 mm olarak tasarlanmıştır. Boyutların belirlenmesi sırasında İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda bulunan yükleme aygıtlarının yük kapasiteleri ve geometrik kısıtları dikkate alınmıştır.

2.3 Elemanların Üretimi

2.3.1 Kalıpların Hazırlanması

Elemanların üretiminde kullanılan kalıpların hazırlanması için, su kontrastı adı verilen malzeme alınmış ve ayrıca laboratuvarında bulunan malzemelerden de yararlanılmıştır. Tüm numunelerin aynı günde dökülmesi için kalıpların hepsi hazırlanmış, beton dökümünden önce; tüm yüzeyler, toz ve benzeri yabancı maddelerden temizlenerek, kalıp yağı ile yağlanmıştır, Şekil 2.1.



Şekil 2.1: Kalıpların Hazırlanması

2.3.2 Beton Dökümü

İston Beton tarafından üretilen, 28 günlük standart silindir dayanımı yaklaşık 5 MPa olan hazır beton; tüm elemanlar için aynı şartlarda, 28.02.2006 tarihinde, kalıplara dökülmüştür. Betonun kalıplara mümkün olduğunca iyi yerleşmesini sağlamak amacıyla, döküm sırasında vibrasyon uygulanmıştır. Farklı yaşlardaki betonun mekanik özelliklerini belirlemek üzere, 17 adet standart silindir (150×300) beton örneği alınmıştır. Beton dökümünü izleyen 7 gün boyunca, olası büzülme çatlaklarının önüne geçebilmek için, alınan silindir beton örneklerinin ve elemanların üzeri amerikan beziyle örtülüp sabah ve akşam birer kez sulanarak kür uygulanmıştır. Beton dökümü Şekil.2.2’de görülmektedir. Kullanılan betonun karışımıyla ve mekanik özellikleriyle ilgili ayrıntılı bilgi Malzeme Özellikleri ve Deneyleri bölümü başlığı altında sunulmuştur.



Şekil 2.2: Beton Dökümü ve Kür

2.4 HPFRCC Paneller İle Güçlendirme

2.4.1 HPFRCC Karışımının Geliştirilmesi

2.4.1.1 Sıcak Kür, Liflerin Önceden Ayırıştırılması ve Liflerin Korozyona Uğramasının Basınç ve Çekme Dayanımına Etkisi

HPFRCC paneller üretilmeden önce, karışım oranlarını belirlemek amacıyla çeşitli dökümler yapılmıştır. Başlangıç olarak daha önce laboratuarda yapılan çalışmalar gözden geçirilmiş, hacim olarak %4 çelik lif içeren karışıma ait oranlar kullanılarak ilk döküm yapılmış (M1) ve 6 adet standart yarma diski ile 3 adet standart silindir numunesi üretilmiştir. Yapılan M1 dökümü, laboratuarda daha önce yapılmış olan M3 dökümüne karşı gelmektedir. Numuneler üretildikten 7 gün sonra standart yarma disklerinin bazıları denenmiş, bazıları ise yaklaşık 90°C'deki sıcak kür havuzunda 8 gün daha bekletilmiş ve bu süre sonunda standart silindir numuneleri ile birlikte denenmiştir, Şekil 2.3. Bu şekilde sıcak kürün çelik lifli betonun çekme dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de bu karışıma ait 7. ve 15. günlerde yapılan yarma çekme deneylerinin sonuçları verilmiştir. Deneyler sonucunda çelik lifli betonun sıcak kürden önceki 7 günlük çekme dayanımı ortalaması 10.52 MPa, sıcak kürden sonraki 15 günlük çekme dayanımı ortalaması ise 14.12 MPa olarak ölçülmüştür. Betonun çekme dayanımındaki bu artışın sadece 8 günlük zaman farkından kaynaklanmadığı düşünülmüş, sıcak kürün betonun çekme dayanımına önemli ölçüde katkı sağladığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.3: Standart Yarma Çekme ve Basınç Deneyleri

Yapılan deneyler sırasında çelik liflerin iyi ayrılmayıp beton içerisinde tam olarak dağılmadığı görülmüştür. Bunu için tekrar bir karışım yapılmasına karar verilmiştir. İkinci deneme karışımında (M2) çelik liflerin önceden sıcak su yardımıyla birbirinden ayrılması sağlanarak karışıma bu şekilde ilave edilmesi düşünülmüştür. İkinci karışımın, birinci karışımdan tek farkı çelik liflerin önceden ayırıştırılmasıdır.

Her iki karışımda kullanılan malzemeler ve karışım oranları Tablo 2.3'te görülmektedir.

Tablo 2.1: 1. ve 2. Deneme Karışımlarına Ait 7 Günlük Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları (Sıcak Kürden Önce)

Yarma numuneleri	1. deneme karışımı çekme dayanımı (MPa)	Yarma numuneleri	2. deneme karışımı çekme dayanımı (MPa)
M1-1	10.5	M2-1	10.6
M1-2	10.4	M2-2	11.1
M1-3	10.7	M2-3	11.7
Ortalama	10.5		11.1

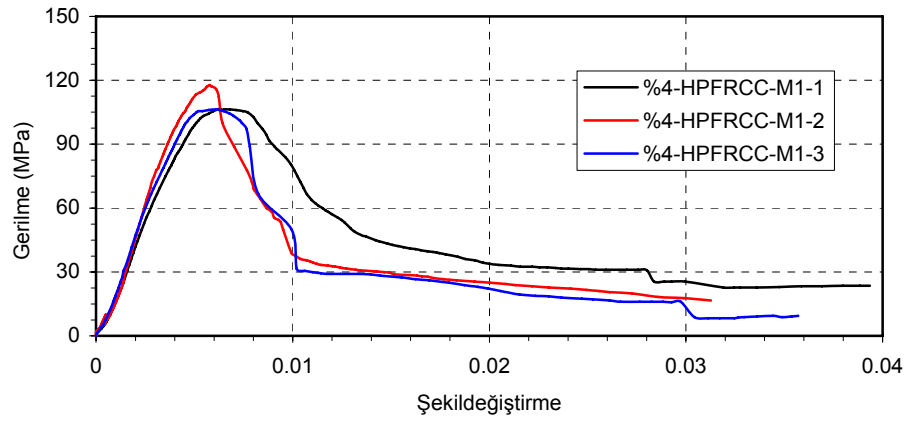
Tablo 2.2: 1. ve 2. Deneme Karışımlarına Ait 15 Günlük Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları (Sıcak Kürden Sonra)

Yarma numuneleri	1. deneme karışımı çekme dayanımı (MPa)	Yarma numuneleri	2. deneme karışımı çekme dayanımı (MPa)
M1-4	15.6	M2-4	16.8
M1-5	13.4	M2-5	16.3
M1-6	13.4	M2-6	14.7
Ortalama	14.2		15.9

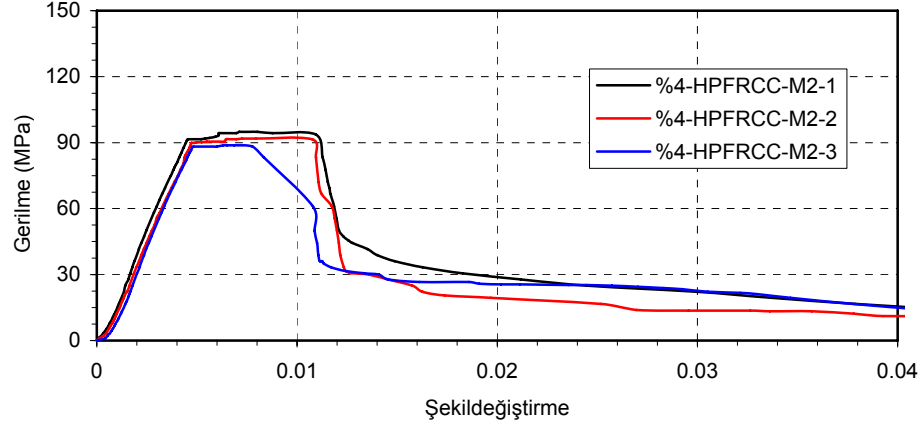
Tablo 2.3: 1. ve 2. Deneme Karışımlarında Kullanılan Malzemeler ve 1 m³ İçin Karışım Miktarları

Kullanılan Malzemeler	Hacimce Karışım Oranı	Ağırlıkça Karışım Oranı	1 m ³ İçin Ağırlıkça Karışım Miktarı (kg)
Çimento	0.298	1.000	924.9
Silis kumu (açık renk)	0.105	0.300	278.5
Silis kumu (koyu renk)	0.105	0.300	278.5
Kum	0.105	0.300	278.5
Silis dumanı	0.089	0.200	185.7
Su	0.220	0.220	203.5
Süper akışkanlaştırıcı	0.033	0.036	33.6
Çelik lif	0.040	—	314.2

Her iki karışıma ait standart silindir deneylerinden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.4: 1. Deneme Karışımı (M1) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.5: 2. Deneme Karışımı (M2) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri

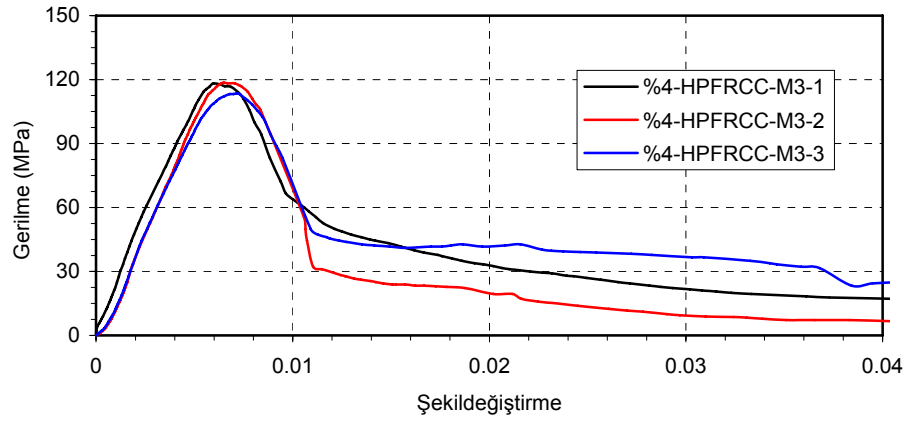
Yukarıdaki gerilme-şekildeğiştirme eğrileri ile çekme dayanımı sonuçları incelenmiş 2. deneme karışımının daha sünek bir davranış gösterdiği ve daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Çelik liflerin ayrıldıktan sonra beton içerisinde iyi bir dağılım göstermesi veya çelik liflerin ayrıldıktan sonra kurumasi sırasında üzerinde azda olsa korozyon meydana gelmiş olması bu farklılıkların oluşmasındaki iki önemli unsur olarak düşünülmüştür. Bunlardan ikincisinin üzerinde durularak iki döküm daha yapılmıştır. 3. deneme karışımında kullanılacak lifler 3 gün, 4. deneme karışımında kullanılacak lifler 6 gün nemli olarak laboratuvar ortamında saklanmış, liflerin az düzeyde korozyona uğraması sağlanmıştır, Şekil 2.6. Her iki deneme karışımında kullanılan malzemeler ve miktarları, ilk iki deneme karışımıyla aynıdır.



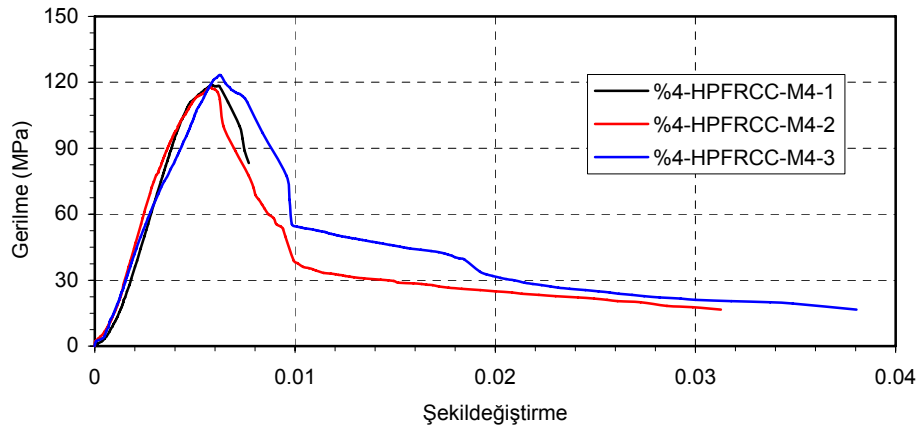
Şekil 2.6: Çelik Liflere Korozyon Oluşturmaya Çalışılması

Sıcak kürün çelik lifli betonun çekme dayanımını artırdığı daha önceki deneylerden anlaşıldığından bu karışımlarda sıcak kürden önce standart disk yarma deneyi yapılmamıştır. 3. ve 4. deneme karışımlarından elde edilen gerilme şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de, yarma çekme deney sonuçları ise Tablo 2.4'te

verilmiştir. Şekil 2.7 ve 2.8’de görüldüğü gibi korozyonun artması ile beton basınç dayanımı çok az artmıştır. Süneklikte ise gözle görülür bir değişim görülmemektedir. Tablo 2.4’e baktığımızda çekme dayanımının da değişmediği görülebilir. Bu deneyler sonucunda, çok az korozyonun çelik lifli betonun karakteristik değerlerini etkilemediği, Şekil 2.5’de verilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinde görülen sünek davranışın bu şekilde açıklanamayacağı anlaşılmıştır.



Şekil 2.7: 3. Deneme Karışımı (M3) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.8: 4. Deneme Karışımı (M4) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri

Tablo 2.4: 3. ve 4. Deneme Karışımlarına Ait Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları

Yarma numuneleri	3. deneme karışımı çekme dayanımı (MPa)	Yarma numuneleri	4. deneme karışımı çekme dayanımı (MPa)
M3-1	15.4	M4-1	13.9
M3-2	16.3	M4-2	16.2
M3-3	14.9	M4-3	15.1
M3-4	15.1	M4-4	15.0
M3-5	15.8	M4-5	14.1
M3-6	14.8	M4-6	13.9
Ortalama	15.4		14.9

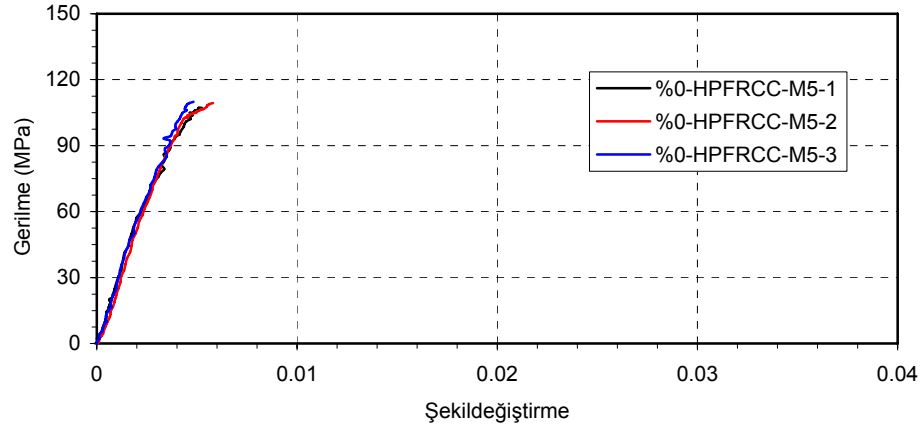
2.4.1.2 Çelik Lif İçeriğinin Mekanik Özelliklere Etkisi

Yukarıda elde edilen sonuçlardan sonra, çelik lif oranının değişiminin betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla; çelik lif oranları %0, %1, %2, %3, %4, %5, %6 olan dökümler (M5, M6, M7, M8, M9, M10 ve M11) yapılmıştır. Tablo 2.5'te bu dökümlerin 1 m³ için karışım oranları verilmiştir. Dökümlerde kullanılan malzemelerin özellikleriyle ilgili ayrıntılı bilgi, Malzeme Özellikleri ve Deneyleri bölümü başlığı altında sunulmuştur. Bütün numuneler, standart olarak 7 gün ılık kür havuzunda (~20°C) bekletildikten sonra 3 gün sıcak suda (~90°C) bekletilmiş, bu işlemten sonra ise tekrar ılık kür havuzuna alınmıştır. Her bir döküme ait bir numune 12. günde çıkarılmış, 150 mm çapında ve yaklaşık 60 mm kalınlığında 4 parçaya bölünerek yarma çekme deneylerinde kullanılmıştır. Geriye kalan numuneler ise 28. gün deneylerinde kullanılmıştır. Bu deneyler sonucunda betonun çekme dayanımı, basınç dayanımı ve gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri belirlenmiştir. Standart silindir numunelerinden ikisi monoton artan yükler altında, diğeri ise tekrarlı yükler altında denenmiştir. %0-%6 deneme karışımlarına ait gerilme-şekildeğiştirme ilişkileri Şekil 2.9-Şekil 2.15'de verilmiştir. Yapılan dökümlerden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme ilişkilerinden birer tanesi Şekil 2.16'da verilmiştir. Ayrıca Tablo 2.6'da karışımların 28. gün standart silindir basınç

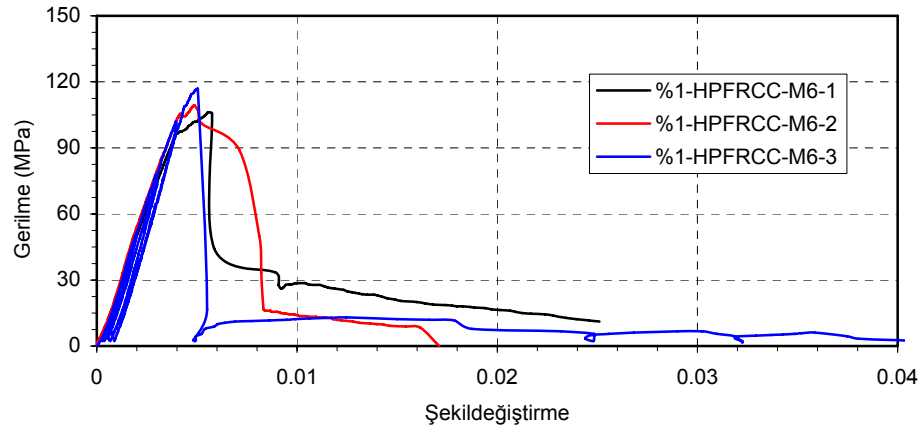
dayanımları ve elastisite modülleri, Tablo 2.7’de 12. ve 28. gün yarma çekme deneylerinin sonuçları verilmiştir. Tablo 2.6’ya bakıldığında, aynı karışıma ait numuneler için elde edilen basınç dayanımları ve elastisite modülleri arasında çok az fark bulunduğu görülmektedir. Sonuçların bu kadar yakın çıkması, numunelerin üretiminin özenli ve standart olduğunu, deneylerin de dikkatli bir biçimde yapıldığını göstermektedir.

Tablo 2.5: Değişik Yüzdelerde Çelik Lif İçeren Deneme Karışımlarına Ait Malzeme Miktarları ve Birim Hacim Ağırlıkları (kg)

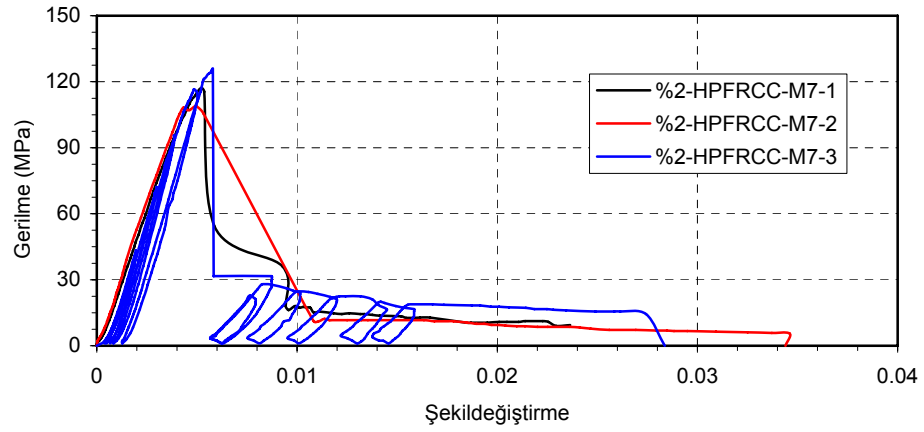
Karışımındaki malzemeler	1m ³ için karışım miktarları ve birim hacim ağırlıkları						
	% 0	%1	%2	%3	%4	%5	% 6
Çelik lif oranı							
Çimento	967.9	957	946.3	939.2	924.9	917.7	907
Silis kumu (açık renk)	289.3	287.5	284.3	281.4	278.5	275	272.5
Silis kumu (koyu renk)	289.3	287.5	284.3	281.4	278.5	275	272.5
Kum	289.3	287.5	284.3	281.4	278.5	275	272.5
Silis dumanı	192.8	192.8	189.3	189.3	185.7	182.1	181.8
Su	210.7	210.7	208.5	207.1	203.5	203.5	200
Süper akışkanlaştırıcı	35	34.6	33.9	33.9	33.6	33.2	32.9
Çelik lif	0.0	78.6	85.7	235.7	314.2	392.8	471.4
Birim hacim ağırlıkları (kg/dm ³)	2.246	2.318	2.372	2.440	2.492	2.503	2.634



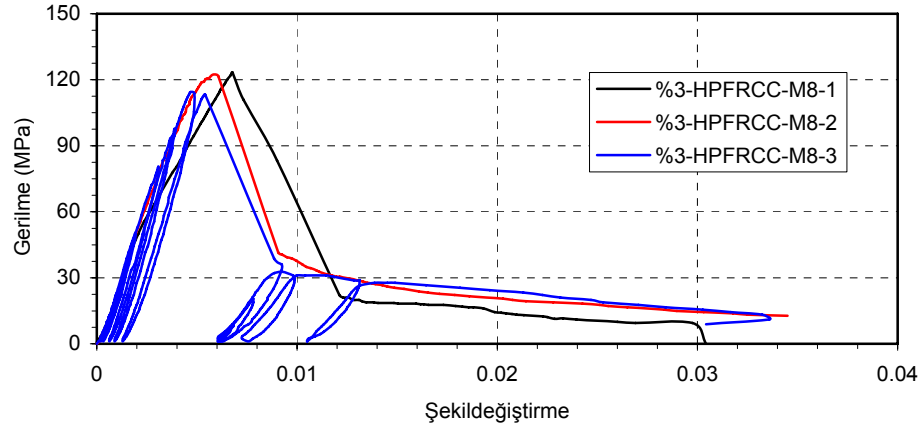
Şekil 2.9: 5. Deneme Karışımı (M5) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



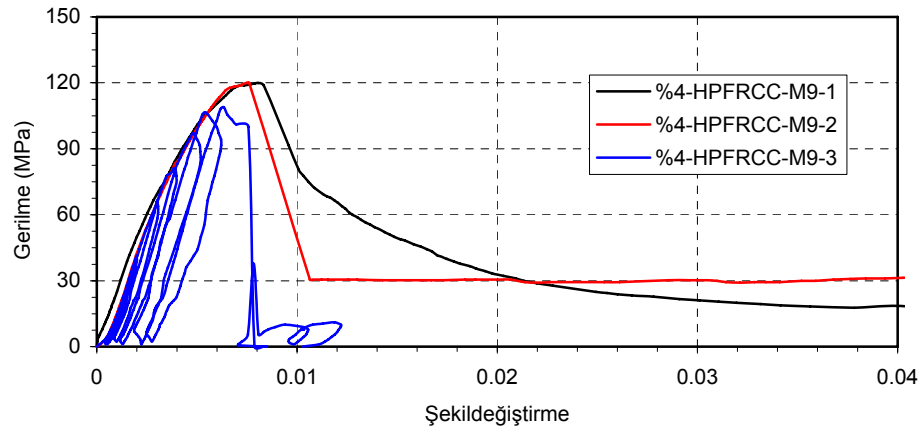
Şekil 2.10: 6. Deneme Karışımı (M6) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



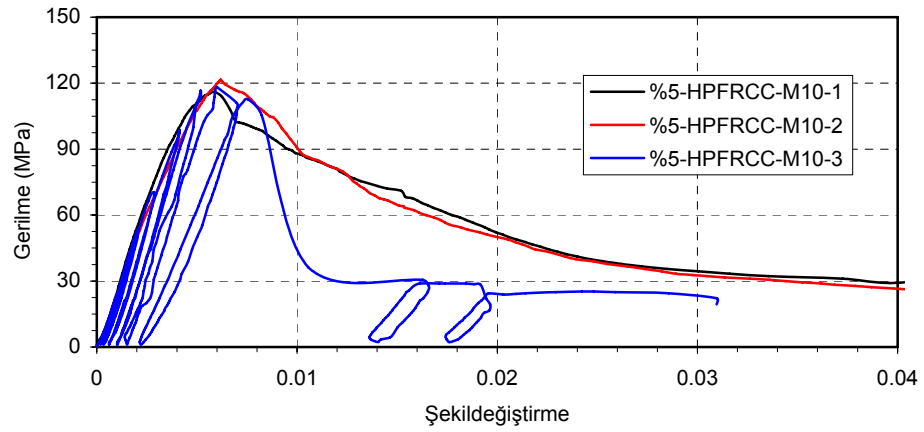
Şekil 2.11: 7. Deneme Karışımı (M7) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



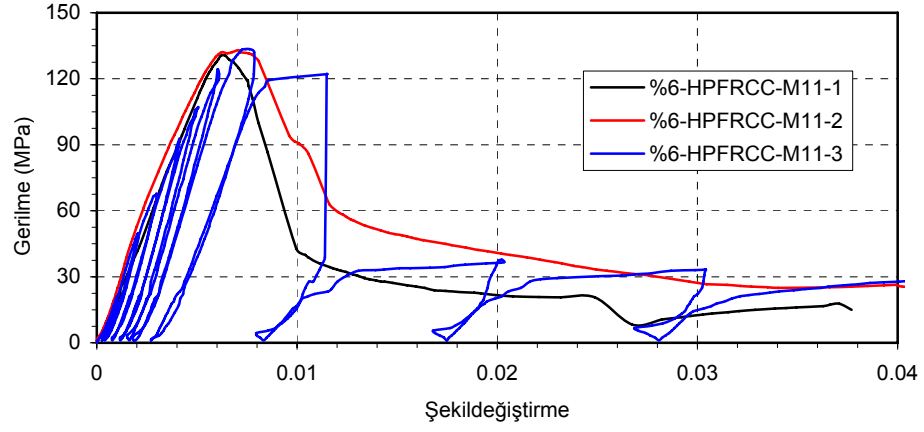
Şekil 2.12: 8. Deneme Karışımı (M8) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



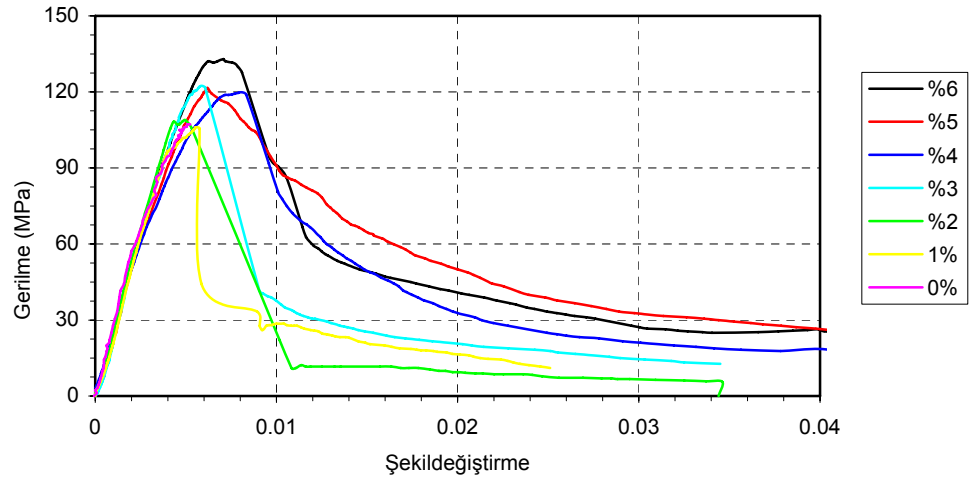
Şekil 2.13: 9. Deneme Karışımı (M9) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.14: 10. Deneme Karışımı (M10) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.15: 11. Deneme Karışımı (M11) İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.16: Değişik Oranlarda Çelik Lif İçeren Karışımları İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkileri

Tablo 2.6: Deneme Karışımlarına Ait Basınç Deneylerinin Sonuçları

Hacimce çelik lif oranı	Standart Silindir	Beton Yaşı (Gün)	Basınç Dayanımı f'_c (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı $f'_{c,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E_c (MPa)	Ort. Elastisite Modülü $E_{c,ort}$ (MPa)
%0	28-1	28	118.2	115.2	40596	40615
	28-2	28	116.3		40702	
	28-3	28	111.0		40547	
%1	28-1	28	106.0	110.8	38554	38375
	28-2	28	109.4		38845	
	28-3	28	116.9		37726	
%2	28-1	28	119.5	118.1	40976	40368
	28-2	28	108.8		39759	
	28-3	28	126.0		*	
%3	28-1	28	123.2	119.4	41392	41162
	28-2	28	120.7		41311	
	28-3	28	114.4		40783	
%4	28-1	28	119.9	116.2	40482	39426
	28-2	28	119.9		39680	
	28-3	28	108.8		38115	
%5	28-1	28	116.0	118.6	38768	39052
	28-2	28	121.6		38959	
	28-3	28	118.2		39428	
%6	28-1	28	130.7	132.4	41737	42273
	28-2	28	132.9		41813	
	28-3	28	133.5		43268	

* Bu veri sağlıklı alınamadı

Tablo 2.7: Deneme Karışımlarına Ait Yarma Çekme Deneylerinin Sonuçları

Hacimce çelik lif oranı	12. gün yarma deneyi sonuçları (MPa)	28. gün yarma deneyi sonuçları (MPa)
%0	6.7	7.2
%1	8.5	8.3
%2	11.1	13.6
%3	14.2	14.1
%4	14.2	13.8
%5	17.2	15.6
%6	18.6	17.7

Değişik lif oranlarına sahip karışımlar için yapılan standart silindir deneylerinden elde edilen şekildeğiştirme değerleri, Tablo 2.8’de sunulmuştur. Bu tabloda; $\epsilon_{c,(f'_{co})}$, ilgili standart silindir numunesinin gerilme-şekildeğiştirme eğrisinde maksimum yük seviyesine karşılık gelen şekildeğiştirme değerini; $\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$, ilgili standart silindir numunesinin gerilme-şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.85’i seviyesine karşılık gelen şekildeğiştirme değerini; μ , sünekliği ($\epsilon_{c,(0.85f'_{co})} / \epsilon_{c,(f'_{co})}$); μ_{ort} , elde edilen süneklik değerlerinin ortalamasını simgelemektedir. Çelik lif içermeyen karışımlara ait standart silindir numuneleri, maksimum yük seviyesine ulaşıldığında ani bir şekilde patladığından $\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$ değerleri tespit edilememiş ve bu numunelere ait süneklik değerleri hesaplanamamıştır.

Tablo 2.8: Değişik Lif Oranlarına Sahip Karışımların Şekildeğiştirme Değerleri

Hacimce çelik lif oranı	Standart Silindir	$\epsilon_{c,(f'_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$	μ	μ_{ort}
%1	28-1	0.0054	0.0058	1.04	1.13
	28-2	0.0049	0.0065	1.34	
	28-3	0.0050	0.0051	1.02	
%2	28-1	0.0052	0.0055	1.05	1.09
	28-2	0.0050	0.0061	1.22	
	28-3	0.0058	0.0058	1.00	
%3	28-1	0.0068	0.0077	1.14	1.14
	28-2	0.0059	0.0067	1.14	
	28-3	0.0054	0.0062	1.14	
%4	28-1	0.0081	0.0091	1.13	1.15
	28-2	0.0075	0.0083	1.12	
	28-3	0.0063	0.0076	1.19	
%5	28-1	0.0058	0.0083	1.43	1.42
	28-2	0.0062	0.0091	1.46	
	28-3	0.0060	0.0082	1.38	
%6	28-1	0.0094	0.0117	1.24	1.34
	28-2	0.0071	0.0087	1.24	
	28-3	0.0074	0.0115	1.54	

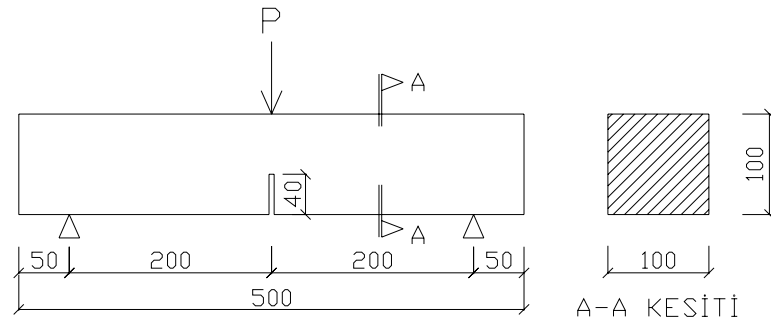
Çelik lifli betonda lif oranının değişiminin betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla yapılan deneylerden bir diğeri de **RILEM Kırılma Enerjisi Deneyleri**'dir. Deneyler için; hacimce %0, %2, %4 ve %6 çelik lif oranlarına sahip, 500x100x100 mm boyutlarında prizma numuneleri hazırlanmıştır. Her çelik lif oranı için hazırlanan üçer numune, İ.T.Ü Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda bulunan yerdeğiştirme kontrollü ve 1000 kN kapasiteli INSTRON 5500R yükleme aygıtı kullanılarak denenmiştir. 3 noktadan yükleme deneyine tabi tutulan numunelerin,

yük-yerdeğiştirme eğrileri elde edilerek, kırılma enerjileri, eğilme dayanımları ve karakteristik boyları ampirik formüller kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2.17: RILEM Kırılma Enerjisi Deney Düzeneginin Genel Görünümü

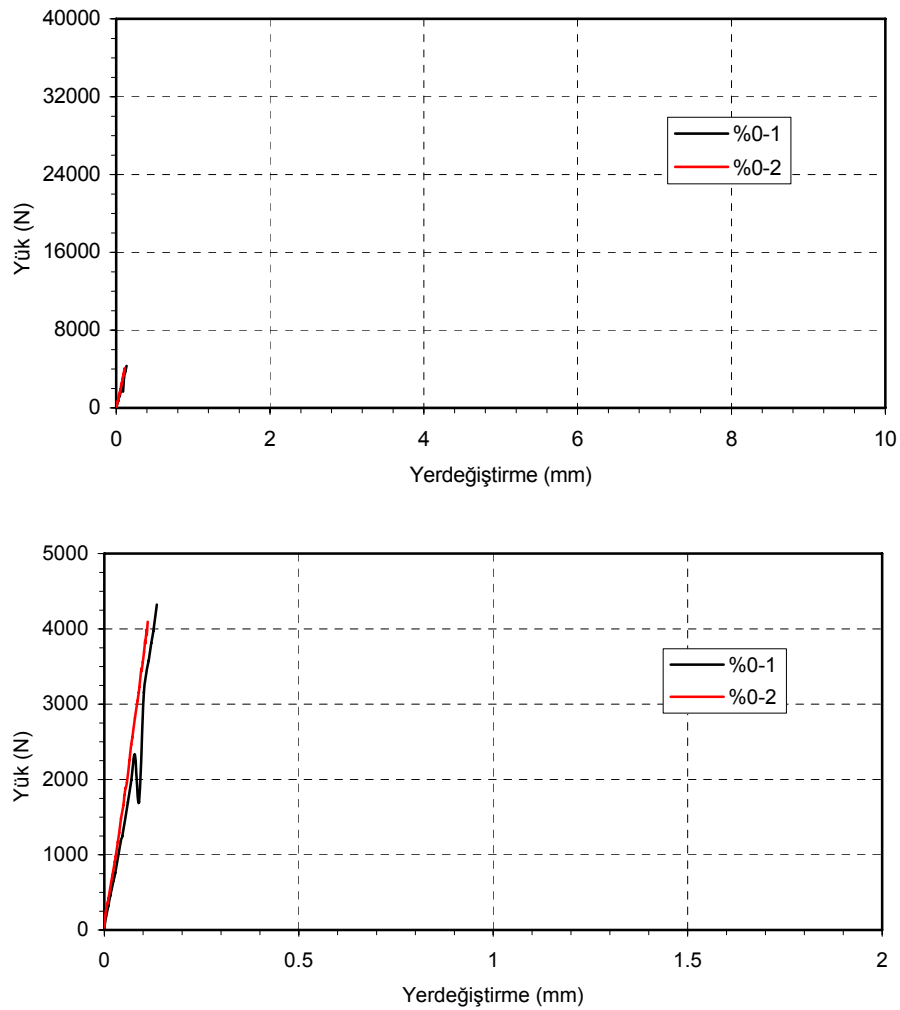
Üretim tarihinden itibaren 50-52 gün sonra deneye tabi tutulan numunelerin etkin kesit alanı 100x60 mm (genişlik, derinlik) olacak ve her numunenin orta bölgesine denk gelecek şekilde, 40 mm derinliğinde ve 5 mm genişliğinde çentik açılmıştır. Çentik açma işlemi sırasında ıslanan numunelerin kuruması için bir gün beklenmiş, sonrasında ağırlıkları ölçülerek gerekli ölçüler (numune boyu, kalınlığı, yüksekliği ve çentik derinliği) alınmıştır.



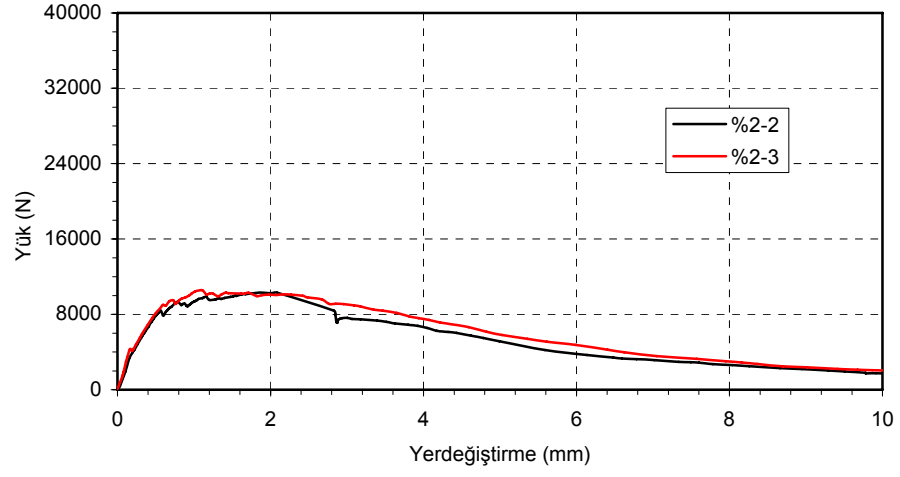
Şekil 2.18: RILEM Kırılma Enerjisi Deneyleri Yükleme Düzeni (boyutlar: mm)

Deneylerde, TML TDS-303 Data Logger ve INSTRON 5500R olmak üzere iki farklı veri toplama sistemi aynı anda kullanılmıştır. Her iki veri toplama sistemine ait yerdeğiştirmeölçerler, numunenin her iki yanına çentik hizasında yerleştirilmiş ve numunenin yaptığı yerdeğiştirmeler bu şekilde belirlenmiştir. Deneylerden alınan veriler bilgisayar ortamında değerlendirildikten sonra, TML TDS-303 Data Logger'dan elde edilen veriler esas alınmış, gerekli hesaplamalar bu verilere göre yapılmıştır.

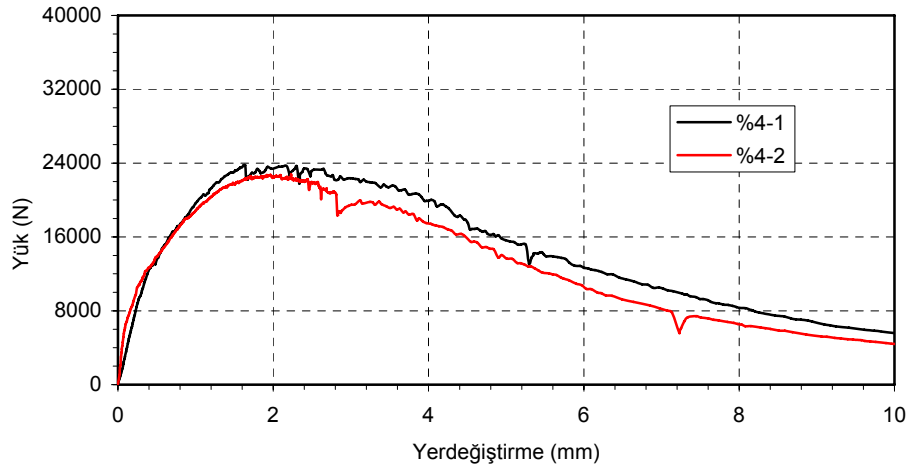
Hacimce %2, %4 ve %6 çelik lif oranına sahip numunelerde yükleme hızı, deneyin ilk aşamalarında, numunelerin orta noktasının dakikada 0.05 mm yerdeğiştirme yapabileceği şekilde ayarlanmış, yük-yerdeğiştirme eğrisi düşüşe geçtikten sonra ise bu değer dakikada 0.1 mm yapılarak deney sonuna kadar bu hızda devam edilmiştir. Numunelerin her birinde, 10 mm yerdeğiştirme değerine kadar gidilmiş ve deneyler bu değerde bitirilmiştir. Çelik lif içermeyen numunelerde ise yükleme hızı deneyin tamamında numunelerin dakikada 0.0175 mm yerdeğiştirme yapabileceği şekilde ayarlanmıştır. Ani olarak kırılarak gevrek bir davranış gösteren bu numunelerde herhangi bir deplasman değeri hedef alınmamış, numuneler kırıldığı anda (ortalama 0.13 mm yerdeğiştirme mertebelerinde) deneylere son verilmiştir. Deneylerden elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri, hacimce %0, %2, %4 ve %6 çelik lif oranına sahip numuneler için sırasıyla; Şekil 2.19, Şekil 2.20, Şekil 2.21 ve Şekil 2.22’de verilmiştir.



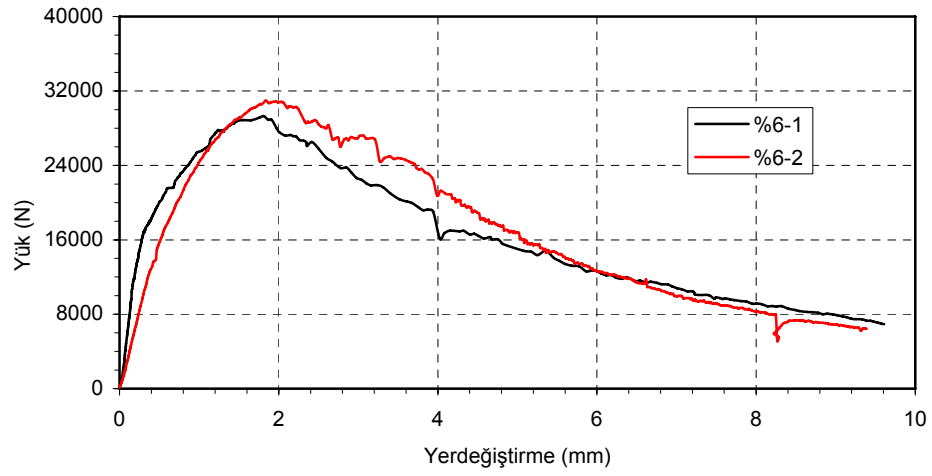
Şekil 2.19: Çelik Lifsiz Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri



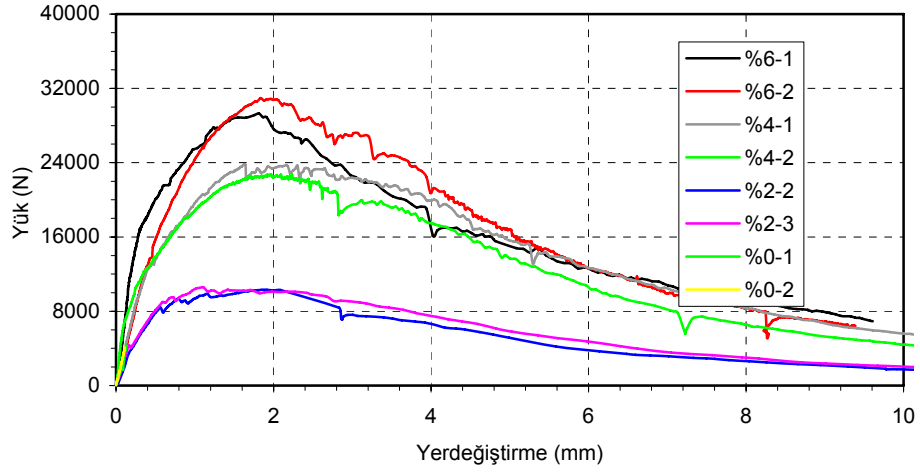
Şekil 2.20: %2 Çelik Lifli Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.21: %4 Çelik Lifli Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.22: %6 Çelik Lifli Karışımı İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri



Şekil 2.23: Değişik Oranlarda Çelik Lif İçeren Karışımları İçin Yük-Yerdeğiştirme İlişkileri

Deneylelerden elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri kullanılarak, her numune için, kırılma enerjisi, net eğilme dayanımı ve karakteristik boy değerleri sırasıyla; denklem (2.1), (2.2) ve (2.3) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$G_f = (W_o + mg\delta_o) / A_{lig} \quad (2.1)$$

$$F_{net} = (PL / 4) / (B (D - a_o)^2 / 6) \quad (2.2)$$

$$l_{hc} = EG_f / f_t^2 \quad (2.3)$$

Bu denklemlerde; W_o yük-yerdeğiştirme eğrisi altında kalan alanı, m numune ağırlığını, g yerçekimi ivmesini, δ_o elemanın çentik hizasında yaptığı maksimum yerdeğiştirmeyi, A_{lig} etkin kesit alanını, P uygulanan maksimum yükü, L mesnetler arası uzaklığı, B numune kesitinin genişliğini, D numune kesitinin yüksekliğini, a_o çentik derinliğini, E 28 günlük elastisite modülünü, f_t ise yarma çekme dayanımını simgelemektedir. Deneylelerden elde edilen sonuçlar Tablo 2.9'da gösterilmiştir.

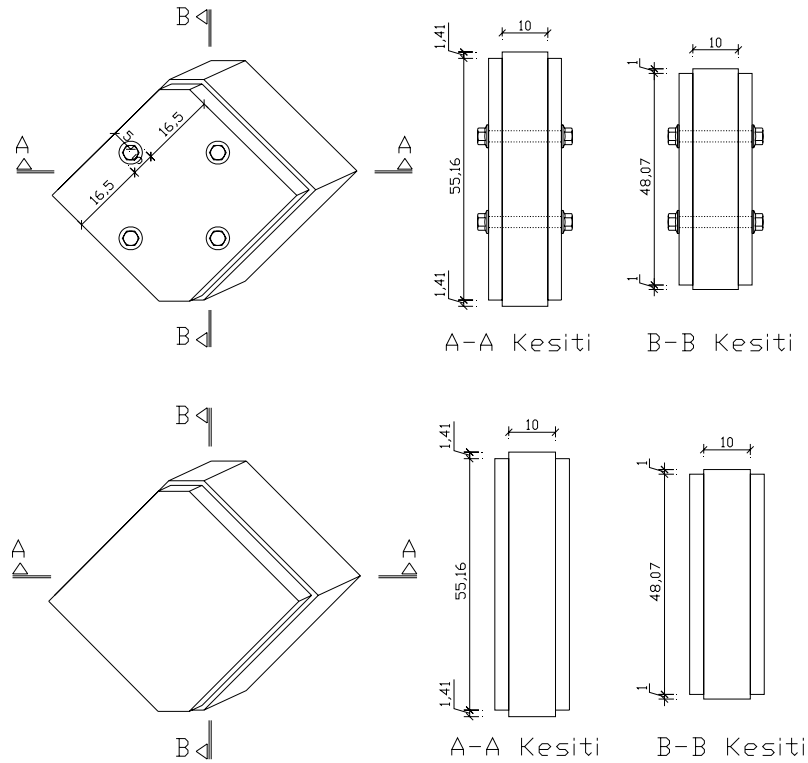
Tablo 2.9: RILEM Kırılma Enerjisi Deneylelerinin Sonuçları

Hacimce Çelik Lif Oranı	%0	%2	%4	%6
Kırılma Enerjisi (N/m)	47 41	9300 10193	24930 22663	26300 26850
Net Eğilme Dayanımı (MPa)	7.2 7.3	17.2 17.6	40.9 40.6	48.8 51.6
Karakteristik Boy	36 32	2002 2194	5146 4678	3569 3643

2.4.2 Güçlendirme Panellerinin Tasarımı

Bu çalışma kapsamında, 10 adet numune, hacimce %4 çelik lif oranına sahip öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilmiştir. Bunun için, 4 farklı kalınlığa sahip (2-3-4 ve 5 cm) öndöküm HPFRCC güçlendirme panelleri üretilmiştir. Panellerin boyutları (380x380 mm), panellerin aksenal yük almaması amacıyla; güçlendirilecek beton elemanların boyutlarından (400x400 mm) daha düşük seçilmiştir. Böylece, öndöküm HPFRCC paneller ile uygulanan güçlendirmede, kesitin çekme dayanımının ve şekildeğiştirme yapabilme yeteneğinin artırılması hedeflenmiştir.

Güçlendirilecek elemanların yarısında ankraj uygulaması bulunmaktadır. Böylece ankrajın, elemanların çekme dayanımına ve şekildeğiştirme yapabilme yeteneğine etkisi incelenmiştir. Ankraj uygulaması bulunan numunelerde dörder adet 16 mm çapında ve panel kalınlığına göre değişen uzunluklarda (19, 21, 23 ve 25 cm) mekanik ankraj kullanılmıştır. Her iki uygulama tipinde de öndöküm HPFRCC panellerin beton elemanların yüzeyine yapıştırılması için epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır. Ankrajlı ve ankrajsız numunelerde panel birleşim detayı Şekil 2.24'te görülmektedir.



Şekil 2.24: Ankrajlı ve Ankrajsız Numunelerde Panel Birleşim Detayları
(boyutlar: cm)

2.4.3 Karışım Sırası

Öndöküm HPFRCC panellerin tamamı, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi laboratuvarındaki 0.5 m³ kapasiteli düşey karıştırıcıda üretilmiştir, Şekil 2.25.



Şekil 2.25: Düşey Karıştırıcı

Öndöküm HPFRCC panellerin ve daha önce yapılan HPFRCC deneme karışımlarının üretilmesinde aynı malzemeler kullanılmış, malzemeler aynı sıraya ve belirlenen sürelerle göre dökülmüştür. Üretimden önce açık ve koyu renkli silis kumları (Silis Kumu I ve II) ile ince kum serilerek kurutulmuştur. Silis kumları 0.5 mm'lik elekten, ince kum ise 1 mm'lik elekten elenerek gerekli miktarlarda tartılmıştır. Çimento, silis dumanı, su, hiperakışkanlaştırıcı ve suda önceden açılarak kurutulmuş çelik lifler de gerekli miktarda tartılarak üretime geçilmiştir. Üretimde aşağıdaki karıştırma sırası izlenmiştir:

1. Silis Kumu I + Silis Kumu II + İnce Kum
2. Silis Dumanı + Çimento
3. Su
4. Hiperakışkanlaştırıcı
5. Çelik Lif

Dökümden önce karıştırıcının teknesi ıslak bir bezle silinmiştir. Açık renk silis kumu (Silis Kumu I), koyu renk silis kumu (Silis Kumu II) ve ince kum karışımı 1 dakika boyunca karıştırıldıktan sonra çimento ve silis dumanı karışımı da eklenerek 1 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra suyun yarısı karıştırıcı dönerken karışıma eklenmiş

ve 3 dakika beklendikten sonra diğ er yarısı aynı Şekilde eklenerek 3 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra hiperakışkanlaştırıcının yarısı eklenmiş 2 dakika karıştırılmış ve 2 dakikanın sonunda diğ er yarısı da eklenmiş, viskozlaşma gözlenene kadar (yaklaşık 1.5–3 dakika) karıştırılmıştır. Viskozlaşma gözlendikten sonra karıştırıcı durdurularak  elik lifin yarısı karışımın her tarafına dağılacak Şekilde serpiştirilmiş ve 1,5 dakika karıştırıldıktan sonra liflerin diğ er yarısı karışıma eklenmiştir. Yaklaşık 3.5–6 dakika sonra karıştırıcı durdurularak karışımın birim hacim ağırlığı hesaplanmış ve yayılma deneyi yapılmıştır. Birim hacim ağırlığını bulmak için darası 5.640 kg ve hacmi 5.65 litre olan bir kap kullanılmıştır. Toplam ağırlık     lmeden önce sarsma tablası kullanılarak betonun kap içerisine iyice yerleşmesi sağlanmıştır. Yayılma deneyi için beton, ters huni Őeklindeki kaba doldurulmuş ve 25 kez şişlendikten sonra kap yavaşça yukarı çekilerek yayılma miktarı     lm  şt  r. Kaplardaki beton tekrar karıştırıcıya dökülerek yaklaşık 0.5 dakika karıştırılmıştır. Karışım sırası Şekil 2.26’da verilmiştir.



Şekil 2.26: Karışım Sırası

2.4.4 Kalıba Alınma ve Kür

Öndöküm HPFRCC panellerin üretiminde kullanılan kalıpları hazırlamak için laboratuardaki malzemelerden yararlanılmıştır. Ahşap (plywood) kalıpların üzerine, gerekli boyda ve derinlikte çıtalar monte edilmiş, farklı dökümler için kalıplar yeniden kullanılmıştır. Ankraj uygulaması olan numunelerde, numunenin üretimden sonra delinmesinin zorlukları düşünülerek, belirlenen detaya göre ankraj yapılacak yerlere 22 mm çapında silindir şeklinde tahta parçaları koyularak ankraj delikleri oluşturulmuştur. Ankraj uygulanmayacak numunelerde de bu delikler oluşturulmuş, daha sonra epoksi ile doldurulmuştur.

Öndöküm HPFRCC panellerin dökülmesi için daha önceden hazırlanmış olan kalıplar, üretimden önce temizlenerek kalıp yağı ile yağlanmıştır. Kalıplara dökülmeye hazır hale gelen HPFRCC karışımı, 2 aşamada dökülmüş ve her iki aşama sonunda sarsma tablası kullanılarak betonun iyice yerleşmesi sağlanmıştır. İkinci aşama sonunda panellerin fazlalıkları alınarak yüzeyi düzeltilmiş ve nemli bir bezle örtülerek kür uygulanmıştır, Şekil 2.27.



Şekil 2.27: HPFRCC Panellerin Kalıba Alınması ve Kür

Paneller, üretildikten bir gün sonra kalıptan alınarak, oda sıcaklığındaki ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) havuzlara konulmuştur. Bu aşamada, plakalar 7 gün boyunca 20°C sıcaklıktaki havuzlarda bekletilmelerinin ardından havuzdan alınmış ve su sıcaklığı $80\text{--}90^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzuna yerleştirilerek 3 gün boyunca bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığındaki ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) havuzlara tekrar konulmuş ve 17 gün daha bekletilmiştir. Toplam kür süresinin 28 güne erişmesiyle birlikte öndöküm HPFRCC paneller havuzdan çıkarılmıştır.

2.4.5 Yüzey Hazırlığı

Öndöküm HPFRCC paneller, güçlendirilecek elemanların yüzeylerine yapıştırılmadan önce, beton yüzeyleri zımpara yardımıyla düzeltilmiş ve bu işlemten sonra, yüzeyler elektrikli süpürge ve kompresör yardımıyla iyice temizlenmiştir. Yapıştırma esnasında her iki yüzeyinde düz olması önemli olduğundan, öndöküm HPFRCC panellerinin yapışacak olan yüzeyinin de düz olmasına dikkat edilmiş, gerektiğinde aynı işlemler paneller için de yapılmıştır, Şekil 2.28.



Şekil 2.28: Yüzey Hazırlığı

2.4.6 Güçlendirme Panellerinin Yapıştırılması

Öndöküm HPFRCC paneller, üretimlerinden yaklaşık 3.5 ay sonra, güçlendirilecek olan elemanların yan yüzeylerine yapıştırılmıştır. Yapıştırma işlemi BASF-YKS Concessive 1406 çift bileşenli epoksi ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan epoksinin 7 günlük basınç dayanımı 75 MPa, eğilme dayanımı ise 25 MPa'dır. Yapıştırma işlemi için 3 mm epoksi kalınlığı düşünülmüş ve her bir yapıştırma işlemi için gerekli olan miktar hesaplanarak epoksi harcı hazırlanmıştır. Hazırlanan epoksi önceden hazırlanan ve temizlenen yüzeye spatula yardımı ile sürülmüş ve yüzeye eşit miktarda dağılmasına dikkat edilmiştir, Şekil 2.29.



Şekil 2.29: Güçlendirilecek Elemanların Yüzeylerine Epoksi Harcı Uygulanması

Epoksi harcının yüzeye sürülmesinden sonra paneller, yatay konumdaki beton elemanların üzerine koyularak işkence yardımıyla sabitlenmiştir. İşkencelerin beton yüzeyine zarar vermemesi için araya tahta elemanlar yerleştirilmiştir. Deney esnasında güçlendirme elemanlarının aksenal yük almaması için, özellikle başlık bölgesinde yeterli miktarda boşluğun oluşmasına dikkat edilmiştir. Yapıştırma esnasında epoksi ile dolan ankraj delikleri, yapıştırma işleminden hemen sonra temizlenmiştir. Yapıştırma işleminden bir gün sonra, beton elemanın diğer yüzeyine aynı işlemler uygulanarak panellerin diğer eşleri yapıştırılmıştır, Şekil 2.30.



Şekil 2.30: Güçlendirme Panellerinin Yapıştırılması

2.4.7 Güçlendirme Panellerinde Ankraj Detayının Uygulanması

Ankraj detayı olan numunelerde, öndöküm HPFRCC panellerin beton elemanlara yapıştırılmasından sonra, matkap yardımıyla 20 mm çapında ankraj delikleri açılmıştır. Ankraj çubukları, 16 mm çapında seçilmiş ve her bir numune için gerekli boylarda kesilerek hazırlanmıştır. Ankraj uygulamasından önce, delikler kompresör yardımıyla iyice temizlenmiş ve ankraj çubuklarının uçları sarılarak epoksi bulaşması engellenmiştir, Şekil 2.31.



Şekil 2.31: Ankraj Deliklerinin Açılması ve Temizlenmesi

Uygulamada ilk önce delikler tamamen epoksi ile doldurulmuş, daha sonra ankraj çubuklarına epoksi sürülmüş ve deliklerden bu şekilde geçirilmiştir. Böylece ankraj bölgesinde boşluk oluşma olasılığı en aza indirilmiştir. Ankraj uygulaması olmayan

numunelere yapıştırılan panellerde bulunan ankraj delikleri, epoksi ile doldurulmuştur, Şekil 2.32.



Şekil 2.32: Ankraj Detaylarının Uygulaması

2.5 LP Kompozitler İle Güçlendirme

2.5.1 Deney Düzeneği İçin Ankraj Uygulaması

Lifli polimer yapıştırılarak güçlendirilecek olan beton numunelerde, deney sırasında meydana gelecek yatay ve düşey yerdeğiştirmeleri ölçmek amacıyla her iki yüzde yatay ve düşey olmak üzere iki adet yerdeğiştirmeölçer takılması düşünülmüştür. Bu amaçla numunelere, matkap yardımıyla her köşesinden 10 mm çapında delikler açılmış ve buralara 6mm çapında ankraj çubukları yerleştirilmiştir, Şekil 2.33. Uygulamada ilk önce delikler tamamen epoksi ile doldurulmuş, daha sonra ankraj çubuklarına epoksi sürülmüş ve deliklerden bu şekilde geçirilmiştir. Ankraj uygulamasından sonra, yamuk olan ankraj çubukları düzeltilmiş, bu şekilde; alınan yerdeğiştirme değerlerinin, numunelerde meydana gelen gerçek yerdeğiştirme değerleriyle olabildiğince aynı olması sağlanmıştır.



Şekil 2.33: Deney Düzeneği İçin Ankraj Uygulaması

2.5.2 Yüzey Hazırlığı

LP kompozitler ile güçlendirilecek beton elemanların yüzeyleri, kompozitlerin düzgün bir şekilde yapışmasını sağlamak için zımpara yardımıyla düzeltilmiştir.

Düzeltilen yüzeylerdeki toz ve benzeri yabancı maddeler, elektrikli süpürge ve kompresör yardımıyla temizlenmiştir.

2.5.3 Güçlendirme Uygulaması

LP uygulamasından önce, kumaş halindeki kompozit malzemeler uygun boylarda kesilerek gerekli sayıda hazırlanmıştır, Şekil 2.34. Bu uygulamada da güçlendirme malzemelerinin boyutları, numune boyutlarından küçük seçilmiştir.



Şekil 2.34: LP Kompozitlerin Hazırlanması

Lifli polimerlerin beton yüzeyine daha iyi yapışması ve aderansın daha iyi olması için, beton yüzeyine çift bileşenli astar karışımı (BASF-YKS Astar) sürülmüştür, Şekil 2.35. Uygulamadan önce yüzeylerin mümkün olduğunca pürüzsüz ve düzgün olması sağlanmış, hasarlı ve gevşek beton parçalar yüzeyden uzaklaştırılmış, elektrikli süpürge ve kompresör yardımıyla yüzeydeki toz ve yabancı maddeler temizlenmiştir.



Şekil 2.35: Numune Yüzeylerine Astar Uygulanması

Astar karışımı sürülen numuneler, lifli polimerin yapıştırılmasından önce en az 24 saat bekletilmiştir.



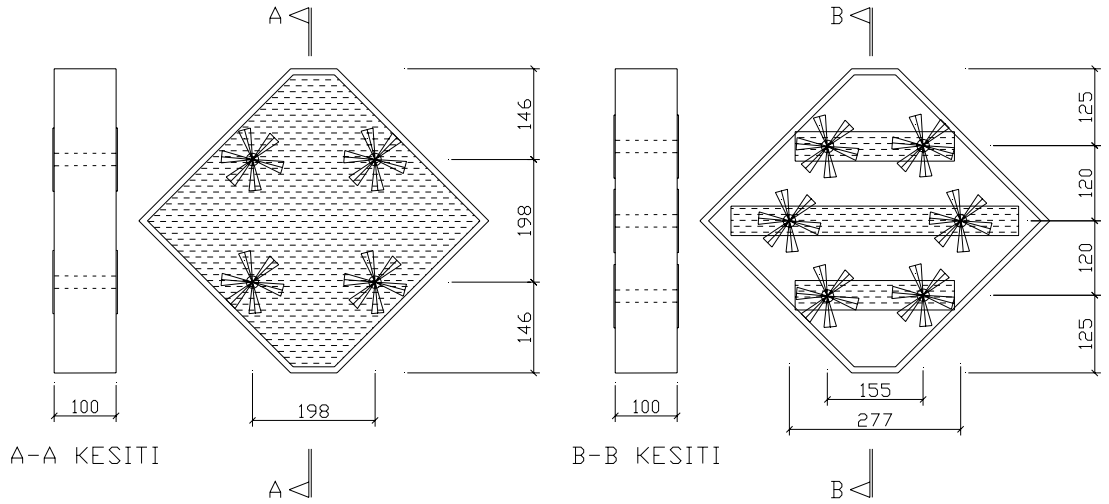
Şekil 2.36: LP Kompozitlerin Yapıştırılması

Lifli polimerlerin numuneye ve birbirlerine yapışması için ise çift bileşenli epoksi yapıştırıcı (BASF-YKS Epoksi Esaslı Yapıştırıcı) kullanılmıştır. İlk lifli polimer yüzeye yapıştırılmadan önce epoksi yapıştırıcı yüzeye sürülmüş ve ardından polimer yüzeye düzgün bir şekilde yapıştırılmıştır. Yapıştırma işleminin başarılı olması için polimerler her aşamada el ile düzeltilmiş ve her aşamada epoksi yapıştırıcının yüzeye eşit şekilde dağılması sağlanmıştır. Her tabaka için aynı işlemler tekrarlanmıştır. LP kompozitlerin tüm yüzeye uygulanmadığı numunelerde, epoksi yapıştırıcı sadece polimerlerin yapıştırılacağı bölgeye sürülmüştür, Şekil 2.36.

Numuneler, güçlendirme uygulaması tamamlandıktan sonra yeterli süre bekletilmiş ve deneyler bu süre sonunda yapılmaya başlanmıştır.

2.5.4 Ankraj Detayının Uygulaması

Ankrajın betonun kesme dayanımına ve sünekliğe katkısını incelemek amacıyla, cam lifli polimer yapıştırılarak güçlendirilen iki adet beton numunede (DS-G-A-2 ve DS-G-M-A-3 numunelerinde) Şekil 2.37’de detayları verilen ankraj uygulaması yapılmıştır.



Şekil 2.37: DS-G-A-2 ve DS-G-M-A-3 Numunelerinde Ankraj Detayları

Bu amaçla; güçlendirme uygulamasından 2 gün sonra, DS-G-A-2 numunesinde 4, DS-G-M-A-3 numunesinde 6 adet 10 mm çapında ankraj delikleri açılmış ve kompresör yardımıyla iyice temizlenmiştir. Uygulamanın kolay yapılabilmesi için, 25 cm uzunluğunda ve 10 cm genişliğinde kesilerek hazırlanan kompozitler, sarı ipe bağlanmıştır. Daha sonra tüm kompozitler epoksi esaslı yapıştırıcı hazırlanan kaba koyulmuş, bu sayede; kompozitlerin yapıştırıcıyı iyice emmesi sağlamıştır. Uygulama yapıldıktan sonra, boşluk kalmaması için ankraj deliklerine şırınga yardımıyla yapıştırıcı enjekte edilmiştir, Şekil 2.38.



Şekil 2.38: DS-G-A-2 ve DS-G-M-A-3 Numunelerinde Ankraj Uygulaması

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYLERİ

3.1 Giriş

Elemanların üretiminde, ülkemizdeki mevcut yapıların önemli bir bölümündeki durum göz önüne alınarak, 28 günlük standart silindir dayanımı yaklaşık 5 MPa (deney günlerinde yaklaşık 10 MPa) olan beton kullanılmıştır. Güçlendirme elemanı olarak kullanılan HPFRCC panellerin tasarımında ise, üretimin öndöküm (prefabrik) olarak yapılabilmesinin sağlayacağı yararlar da gözönüne alınarak, olabildiğince ekonomik, yüksek dayanımlı ve işlenebilir bir karışım elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde, beton elemanların, güçlendirme uygulamasında kullanılan lifli polimer kompozitlerin ve güçlendirme panellerinin üretimlerinde kullanılan malzemelerin genel özellikleri ile malzeme deneylerinden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

3.2 Elemanların Üretiminde Kullanılan Beton

İston Beton tarafından üretilen, 28 günlük standart silindir dayanımı yaklaşık 5 MPa olan hazır beton; tüm elemanlar için aynı şartlarda, 28.02.2006 tarihinde, kalıplara dökülmüştür. Beton karışımı Tablo 3.1’de verilmiştir. Su/çimento oranı 1.17 olan karışımda, PÇ 42.5 portland çimentosu kullanılmıştır. 1 No’lu mıcırın maksimum tane çapı 16 mm’dir. Karışımda ayrıca, maksimum tane çapları 4 mm olan taş tozu ve dağ kumu kullanılmıştır. Katkı maddesi olarak chryso flüid 854 akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Tablo 3.1: Beton Karışımı

Malzemeler	Çimento	Su	Dağ Kumu	Taş Tozu	Kırma Taş I	Katkı (c.f. 854)
Miktar (kg/m ³)	180	210	650	337	880	2.10

Taze betonda kıvamı belirlemek amacı ile 3 ayrı çökme (slump) deneyi yapılmıştır. Çökme konisi 3 aşamada doldurulmuş ve her aşamanın ardından uzun demir bir çubukla betonun 25 defa şişlenmesiyle iyi bir yerleşme sağlanmıştır. Tamamı

doldurulan koninin yavaşça çekilmesiyle oluşan çökme, metre yardımıyla ölçülmüştür. Taze betonda yapılan çökme deneyi sonuçları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Taze Beton Çökme Deneyi Sonuçları

Deneme	1	2	3
Çökme (cm)	26	23	17
Yayıma (cm)	37	34	30

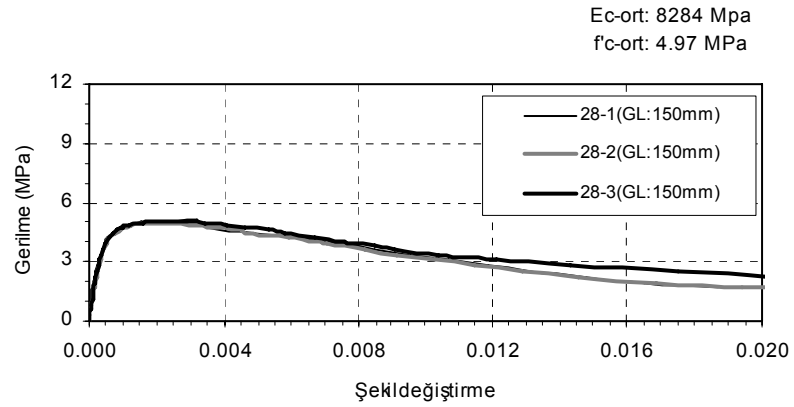
Beton dayanımını belirleyebilmek amacı ile alınan 17 adet standart silindir (150×300 mm) beton örneğine, güçlendirilme çalışması kapsamındaki elemanlarla aynı şartlarda (7 gün, nemli bezle) kür uygulanmıştır. Bu silindirlere, 5000 kN kapasiteli Amsler yükleme aygıtı kullanılarak; 28., 90., 180. ve 360. günlerde, standart silindir basınç deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sırasında gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla TML CM-15 ölçüm çerçevesi (kompresometre) kullanılmıştır. Standart silindirin ölçüm boyundaki (yükseklik boyunca ortadaki 150 mm) yerdeğiştirmeleri ölçmek üzere, ölçüm çerçevesine bağlı konumdaki iki adet yerdeğiştirmeölçer (TML CDP-5), tüm boydaki (300 mm) yerdeğiştirmeleri ölçmek üzere de iki adet yerdeğiştirmeölçer (TML CDP-25) kullanılmıştır. CDP-25 türündeki yerdeğiştirmeölçerler, standart silindire 100 mm mesafede yerleştirilmişlerdir, Şekil 3.1. Elektronik veri toplayıcı yardımıyla (TML TDS-303) kaydedilen veriler, bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir.



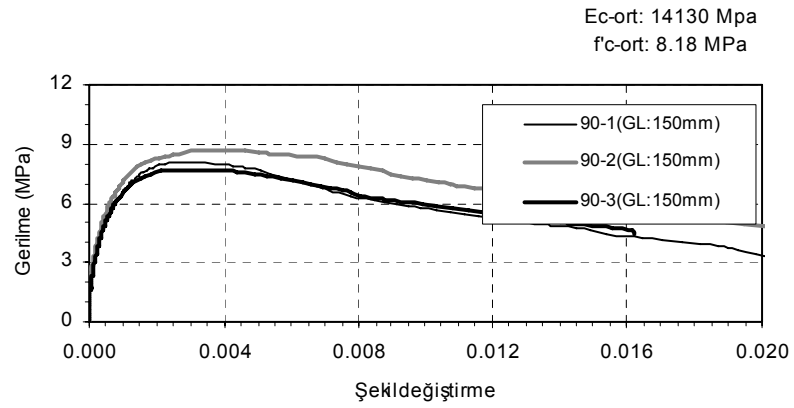
Şekil 3.1: Standart Silindir Basınç Deneyi Düzeneği

28, 90 ve 180 günlük betonun, standart silindir basınç deneylerinden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme grafikleri, sırasıyla; Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’de

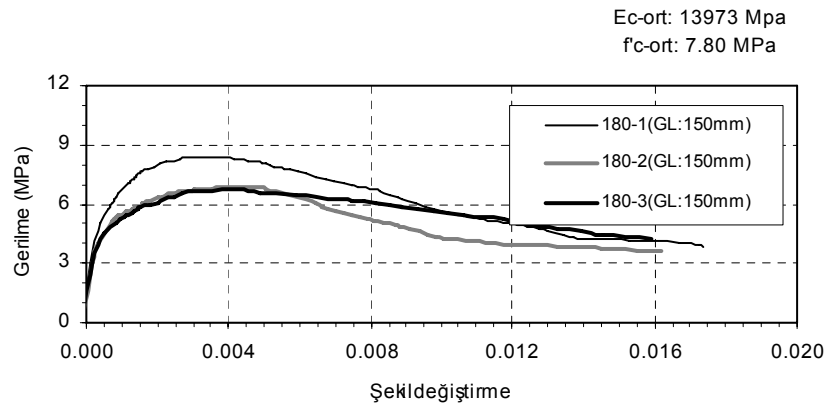
verilmiştir. Grafiklerdeki eksenel şekildeğiştirmelerin hesabı için orta bölgeden (yükseklik boyunca ortadaki 150 mm) alınan yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.2: 28 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları



Şekil 3.3: 90 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları



Şekil 3.4: 180 Günlük Betonun Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

Standart silindirlerin basınç deneylerinden elde edilen beton mekanik özellikleri Tablo 3.3'te özetlenmiştir.

Tablo 3.3: Standart Silindir Basınç Deneylerinin Sonuçları

Standart Silindir	Beton Yaşı (Gün)	Basınç Dayanımı f'_c (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı $f'_{c,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E_c (MPa)	Ort. Elastisite Modülü $E_{c,ort}$ (MPa)
28-1	28	5.0	4.97	8237	8224
28-2	28	4.9		8083	
28-3	28	5.0		8351	
90-1	90	8.1	8.17	13044	14130
90-2	90	8.7		16001	
90-3	90	7.7		13346	
180-1	180	8.6	7.80	16112	13973
180-2	180	7.3		12877	
180-3	180	7.4		12930	

LP kompozitler ile güçlendirilen ve güçlendirme yapılmayan referans elemanların deneyleri, betonun döküldüğü tarihten itibaren 141. ve 148. günler arasında, öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanların deneyleri ise 266. ve 285. günler arasında yapılmıştır.

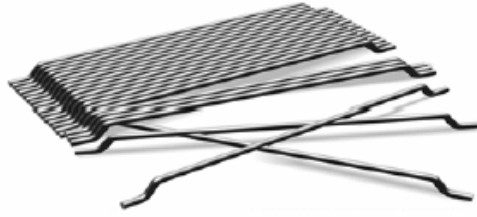
3.3 HPFRCC Panellerin Üretiminde Kullanılan Malzemeler

3.3.1 Çelik Lifler

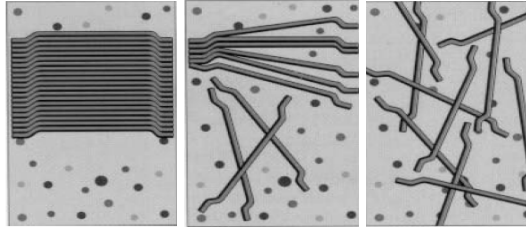
Yüksek dayanımlı betonlar tipik olarak, normal dayanımlı betonlara göre, daha gevrek davranış sergiler. Süneklik ve enerji yutma kapasitesinde artış elde etmek için yüksek dayanımlı betona çelik lif eklenmesi ise giderek daha fazla kabul görmektedir. Bu yöntemle; çelik lifler, taze betonda oluşmaya başlayan mikro çatlaklar arasında köprü teşkil ederek iç gerilmeleri bütün kütle içine yayarlar ve servis yükleri altında çatlakların yayılıp büyümesini önlerler. Deprem gibi ani etkiyen dinamik yüklere karşı

da enerji yutma yetenekleri nedeni ile betonun dağılmasını geciktirirler. Ayrıca; dayanımda ve gerek fiziksel, gerekse kimyasal etkilere karşı dayanıklılıkta artış gibi yararlar da sağlayabilmektedirler.

HPFRCC panellerin üretiminde Dramix ZP30/0.55 tipi çelik lifler kullanılmıştır, Şekil 3.5. İki ucu kancalı olan Dramix ZP30/0.55 tipi çelik lifler, su ile karıştırıldığında çözülen özel bir tür tutkal ile birbirlerine yapıştırılmıştır. Böylece, liflerin beton içerisinde homojen dağılımı sağlanmaktadır, Şekil 3.6. Kullanılan çelik liflerin mekanik özellikleri Tablo 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.5: Dramix ZP30/0.55 Tipi Çelik Lifler



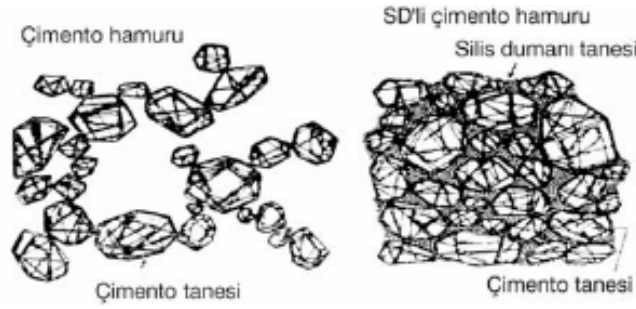
Şekil 3.6: Tutkalla Birleştirilmiş Çelik Lif Demetlerinin Suyu Değerek Dağılması

Tablo 3.4: Dramix ZP30/0.55 Çelik Liflerin Mekanik Özellikleri

Çapı (mm)	0.55
Uzunluğu (mm)	30
Narinlik (L/D)	55
Yoğunluk (kg/dm ³)	7.85
Çekme Dayanım (MPa)	1100
Kaplama	Yok

3.3.2 Silis Dumanı

Silis dumanı yüksek performanslı beton ve harçların önemli bir bileşenidir. Kalsiyum hidroksitle girdiği reaksiyon sonucu, betondaki en zayıf bölge olan çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansı artırır. Ayrıca; betonun dayanımında, işlenebilirliğinde ve dayanıklılığında önemli artış sağlar, Şekil 3.7.



Şekil 3.7: Silis Dumanı İçeren Bir Çimento Hamurunda Sıkı Bir Diziliş Elde Edilmesi

Bu çalışmada; çimento ile yerdeğıştiren bir malzeme olarak, Elkem tarafından üretilmiş 2.25 kg/dm^3 özgül ağırlığa sahip, maksimum tane çapı 500 mikrondan küçük silis dumanı kullanılmıştır.

3.3.3 Hiperakışkanlaştırıcı

Su/çimento oranının yaklaşık 0.20 seviyelerine indirildiği yüksek performanslı betonlarda, işlenebilirlik ve yerleşim gibi sorunların ortaya çıkmaması için, süperakışkanlaştırıcıların kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Süperakışkanlaştırıcı ve silis dumanı gibi ultra incelikteki mineral katkıların birlikte kullanılması, iyi bir dağılım elde edilmesine de yardımcı olur.

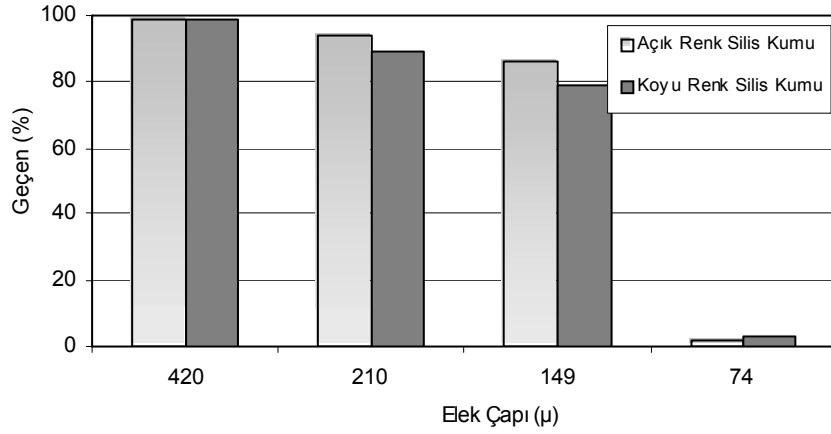
Çalışmada, BASF-YKS Glenium 51 hiperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Üretici firmanın verdiği bilgilere göre Glenium 51; hazır beton ve prekast endüstrisinin, erken yüksek dayanım, düzgün yüzey elde edilmesi ve nihai yüksek performans gibi taleplerine karşılık verebilmek üzere geliştirilmiş, modifiye edilmiş polikarboksilik eter esaslı, klor içermeyen, düşük su/çimento oranında, işlenebilirliği oldukça arttırabilen, yeni nesil bir süperakışkanlaştırıcı katkı maddesidir, Tablo 3.5.

Tablo 3.5: Glenium 51 Hiperakışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri

Yoğunluk(g/cm^3) (20°C)	1.082-1.142
Klor % (EN 480-10)	<0.1
Renk	Amber
Homojenite	Homojen
Kimyasal İçeriği	Polikarboksilik Eter Zincirleri

3.3.4 Kum

Çalışmada Şişecam'dan temin edilen iki farklı silis kumu kullanılmıştır. Kullanılan silis kumlarının biri diğerine göre daha ince olmakla birlikte iki tip silis kumunun da maksimum tane çapı 500 mikrondan küçüktür. Kullanılan silis kumlarından daha ince taneli olan açık renkli, diğeri ise koyu renklidir. Şekil 3.8'de silis kumları elek analizi sonuçları verilmiştir. Özgöl ağırlıkları birbirine eşit ve 2.66 kg/dm^3 'tür.



Şekil 3.8: Elek Analizi

Öndöküm HPFRCC panellerinin üretiminde Yapı Malzemesi Laboratuvarı'ndan temin edilen kum kullanılmıştır. Panellerin üretiminden önce gerekli miktarda tartılan ve kurutulan kum, 1 mm'lik elekten geçirilmiştir.

3.3.5 Çimento

HPFRCC panellerin üretiminde Nuh Çimento tarafından üretilmiş olan PÇ 42.5 normal portland çimentosu kullanılmıştır.

3.4 Panel Üretiminde Kullanılan HPFRCC Karışımının Mekanik Özellikleri

Panel üretiminde kullanılan HPFRCC karışımı Tablo 3.6'da verilmiştir. Tablodaki ağırlıkça karışım oranları, tüm malzemelerin ağırlıklarının çimento ağırlığına oranlanmasıyla elde edilmiştir. Ağırlıkça karışım miktarları ise 1 m^3 HPFRCC üretimi için gereken malzeme miktarlarını göstermektedir.

Tablo 3.6: HPFRCC Karışımı

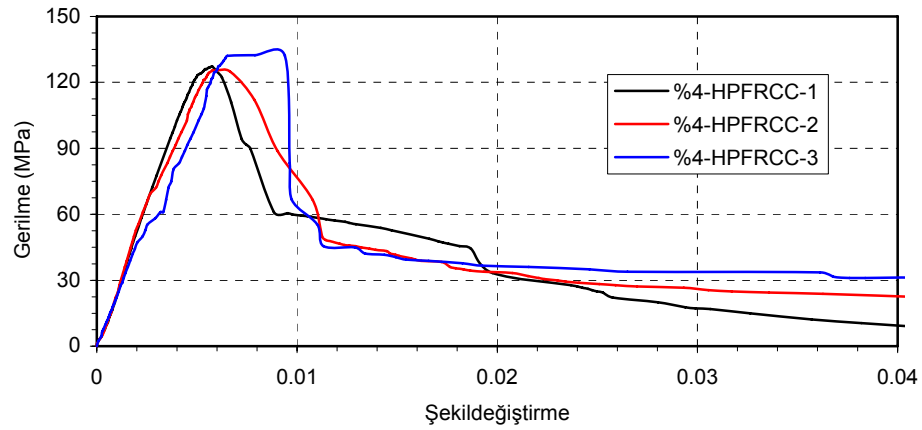
Kullanılan Malzemeler	Hacimce Karışım Oranı	Ağırlıkça Karışım Oranı	1 m ³ İçin Ağırlıkça Karışım Miktarı (kg)
Çimento	0.298	1.000	924.9
Silis kumu (açık renk)	0.105	0.300	278.5
Silis kumu (koyu renk)	0.105	0.300	278.5
Kum	0.105	0.300	278.5
Silis dumanı	0.089	0.200	185.7
Su	0.220	0.220	203.5
Süper akışkanlaştırıcı	0.033	0.036	33.6
Çelik lif	0.040	—	314.2

HPFRCC karışımının, basınç ve çekme dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla, 15 adet standart silindir HPFRCC örneği üretilmiştir. Standart silindirlere, güçlendirme panelleriyle aynı şartlarda (7 gün 20°C sıcaklıktaki havuzda, 3 gün 90°C sıcaklıktaki sıcak kür havuzunda) kür uygulanmıştır. 28., 90. ve 180. günlerde standart silindir basınç ve silindir yarma çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir, Şekil 3.9. Bu deneyler sırasında, beton standart silindir basınç deneylerindeki ölçüm sistemi ve yükleme aygıtı aynen kullanılmıştır. Yalnızca; gerilme-şekildeğiştirme ilişkisinin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan ölçüm çerçevesi (kompresometre), elastisite modülünün hesaplanmasının ardından, daha ileri seviyelerdeki şekildeğiştirmelere karşılık gelen yük kapasitesinin de belirlenebilmesi için çıkartılıp, tüm boydan alınan ölçümlerle deneye devam edilmiştir. Her deneyde 3 adet numune standart silindir basınç deneyi için, iki adet numune ise; 150 mm çapında ve yaklaşık 60 mm yüksekliğe sahip, dörder parçaya bölünerek yarma çekme deneylerinde kullanılmıştır, Şekil 3.9.

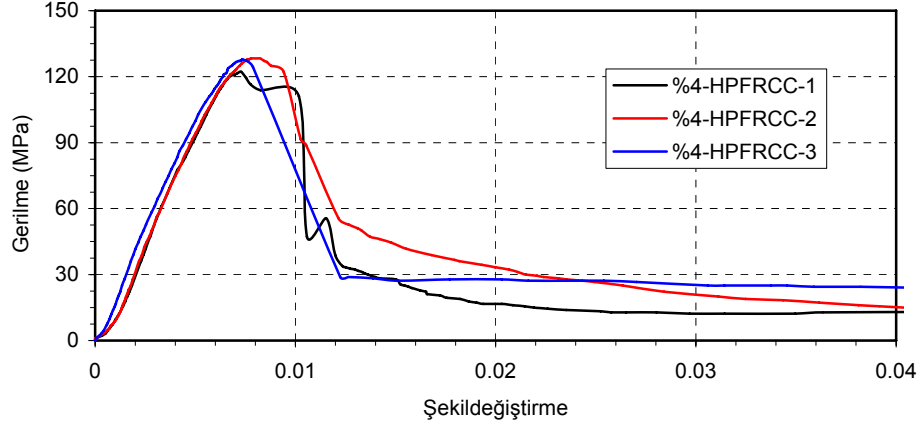


Şekil 3.9: HPFRCC Standart Silindir ve Yarma Çekme Deneyleri

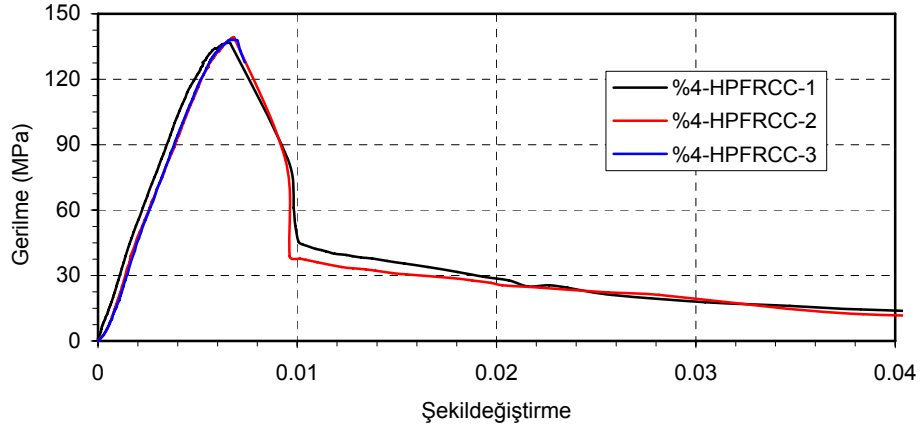
HPFRCC karışımının 28, 90, 180 günlük, standart silindir basınç deneylerinden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme grafikleri, sırasıyla; Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir. Grafiklerde, eksenel şekildeğiştirmelerin hesabı için tüm boydan (300 mm) alınan yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.10: 28 Günlük HPFRCC Karışımı Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları



Şekil 3.11: 90 Günlük HPFRCC Karışımı Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları



Şekil 3.12: 180 Günlük HPFRCC Karışımı Standart Silindir Basınç Deneyi Sonuçları

HPFRCC standart silindirlerin basınç deneylerinden ve standart yarma disklerinin yarma çekme deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar Tablo 3.7’de özetlenmiştir. Elastisite modülü değerlerinin hesabında orta bölgeden (yükseklik boyunca ortadaki 150 mm) alınan yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır. Tabloda, $\epsilon_{c,0}$; gerilme – şekildeğiştirme eğrisinde basınç dayanımına karşılık gelen şekildeğiştirme değerini, $\epsilon_{c,0.85}$; eğrinin düşen kolunda basınç dayanımının 0.85’i seviyesine karşılık gelen şekildeğiştirme değerini simgelemektedir. Şekildeğiştirme değerlerinin hesabında tüm boydan (300 mm) alınan yerdeğiştirme değerleri kullanılmıştır. Yarma çekme deneylerinde ise; HPFRCC karışımının çekme dayanımı, denklem (3.1) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$f_{cts} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (3.1)$$

Bu denlemde; f_{cts} HPFRCC'nin yarma çekme dayanımını, P yarma yükünü, d disk çapını (standart yarma diskleri için 150 mm), l ise disk boyunu (standart yarma diskleri için ~60 mm) simgelemektedir.

Tablo 3.7: HPFRCC Karışımı Deney Sonuçları

Standart Silindir	HPFRCC Yaşı (Gün)	Basınç Dayanımı f'_c (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı $f'_{c,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E_c (MPa)	Ort. Elastisite Modülü $E_{c,ort}$ (MPa)	Şekil-değiştirme $\epsilon_{c,0}$ (mm/mm)	Şekil-değiştirme $\epsilon_{c,0.85}$ (mm/mm)	Ort. Çekme Dayanımı $f_{cts,ort}$ (MPa)
28-1	28	127.1	126.0	42434	42472	0.0058	0.0067	15.8
28-2	28	125.5		42174		0.0058	0.0081	
28-3	28	125.5		42808		0.0065	0.0095	
90-1	90	124.6	128.5	40075	40970	0.0073	0.0106	16.4
90-2	90	130.8		41872		0.0080	0.0096	
90-3	90	130.2		40964		0.0073	0.0092	
180-1	180	139.3	140.6	50338	48960	0.0064	0.0075	17.9
180-2	180	141.8		47943		0.0068	0.0081	
180-3	180	140.7		48600		0.0068	-	

3.5 Lifli Polimer Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Bu tez çalışmasında BASF-YKS'den temin edilen C1-30 türü karbon esaslı (CFRP) ve EG-60AR türü cam esaslı (GFRP), tek yönlü, lifli polimer kompozitler kullanılmıştır, Şekil 3.13.



Şekil 3.13: Tek Yönlü LP Kompozitler

Yüksek dayanımlı karbon veya cam lifli polimerler, betonarme kirişlerin eğilme ve kesmeye karşı güçlendirilmesi, betonarme döşeme ve kolonların eğilmeye karşı güçlendirilmesi, kolonların sarılarak basınç dayanımlarının ve sünekliklerinin artırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik ve geometrik özellikler, her iki malzeme için aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.8: C1-30 ve EG-60AR Türü LP Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Polimer Türü	C1-30	EG-60AR
Elastisite Modülü (MPa)	230000	65000
Maksimum Uzama (%)	1.5	2.8
Karakteristik Kopma Dayanımı (MPa)	3430	1700
20 cm Bindirme İle Eklenme Durumunda Kopma Dayanımı (MPa)	3430	1700

Tablo 3.9: C1-30 ve EG-60 Türü LP Kompozitlerin Geometrik Özellikleri

Polimer Türü	C1-30	EG-60AR
Tabaka Örgü Şekli	Tek yönlü	Tek yönlü
Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	1820	2600
Etkili Tabaka Kalınlığı (mm)	0.165	0.23

3.6 Lifli Polimerlerin ve Öndöküm HPFRCC Panellerin Yapıştırılmasında Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

LP kompozitler ile yapılan güçlendirme aşamasında ilk olarak, lifli polimer yapıştırılacak yüzeylerde aderans artırıcı astar malzemesi olarak kullanılan BASF-YKS Astar kullanılmıştır. BASF-YKS Astar, iki bileşenli, düşük viskoziteli, kolay uygulanabilen ve mekanik dayanımları yüksek bir malzemedir. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik özellikler Tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.10: BASF-YKS Astarın Mekanik Özellikleri

Renk	Şeffaf
Ağırlıkça Karışım Oranları	A:%69 (Epoksi reçine) B:%31 (Epoksi sertleştirici)
Karışım Yoğunluğu (kg/lt)	1.08 ± 0.024
Katkı Madde Oranı (%)	100
Eğilme Dayanımı (7 gün) (MPa)	24
Çekme Elastisite Modülü (7 gün) (MPa)	700
Eğilme Elastisite Modülü (7 gün) (MPa)	580
Maksimum Uzama (%)	3
Uygulama Kalınlığı (mm)	0.1-0.2
Tam Kürlenme Süresi	7 gün

Uygulamada ilk olarak A bileşeni yaklaşık 30 saniye karıştırılmış ve sonra B bileşeni eklenerek homojen bir karışım elde edinceye kadar en az 1-2 dakika daha karıştırılmıştır. Uygulamadan önce yüzeyler kompresör yardımıyla iyice temizlenmiş, yüzeyin kuru, temiz ve tozsuz olmasına dikkat edilmiştir. Uygulama rulo ile yapılmış ve yüzeyin her tarafında ince bir film tabakası oluşturacak şekilde sürülmüştür.

LP kompozitler ile yapılan güçlendirme aşamasında astar uygulamasından sonra, lifli polimer tabakaların betona ve birbirlerine yapışmasını sağlamak için BASF-YKS Epoksi Esaslı Yapıştırıcı kullanılmıştır. BASF-YKS Epoksi Esaslı Yapıştırıcı, iki bileşenli, yüksek dayanımlı bir yapıştırıcıdır. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik özellikler Tablo 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.11: BASF-YKS Epoksi Esaslı Yapıştırıcının Mekanik Özellikleri

Renk	Mavi
Ağırlıkça Karışım Oranları	A:%74.6 (Epoksi reçine) B:%25.4 (Epoksi sertleştirici)
Karışım Yoğunluğu (kg/lt)	1.02 ± 0.024
Viskozite (mPa.s)	1600
Basınç Dayanımı (7 gün) (Mpa)	70
Eğilme Dayanımı (7 gün) (Mpa)	70
Çekme Elastisite Modülü (7 gün) (Mpa)	3000
Eğilme Elastisite Modülü (7 gün) (Mpa)	3500
Maksimum Uzama (%)	2.5
Uygulama Kalınlığı (mm)	0.1-0.2
Tam kürlenme Süresi	7 gün

Astar uygulamasını takip eden 24 saat içerisinde uygulamaya başlanmış, uygulamada ilk olarak A bileşeni yaklaşık 30 saniye karıştırılmış ve sonra B bileşeni eklenerek homojen bir karışım elde edinceye kadar en az 1-2 dakika daha karıştırılmıştır. Uygulama rulo ile yapılmış ve yüzeyin her tarafında 0.8-1 mm kalınlık elde edecek şekilde sürülmüştür. Epoksi esaslı yapıştırıcının sürülmesinin ardından, uygun ölçülerde kesilmiş lifli polimerler, gerilerek yüzeye yapıştırılmıştır. Daha sonra rulo ile polimerin lifleri doğrultusunda bastırarak, yapıştırıcının kompozit içine emdirilmesi ve boşluk kalmaması sağlanmıştır. İkinci ve üçüncü katlar için işlemler sırayla tekrarlanmıştır.

HPFRCC paneller ile yapılan güçlendirme uygulamasında ise, panellerin betona yapıştırılması ve ankraj çubuklarının sabitlenmesi aşamalarında BASF-YKS Concrelive 1406 kullanılmıştır. BASF-YKS Concrelive 1406 iki bileşenli, yüksek dayanımlı, epoksi esaslı tamir, ankraj ve montaj harcıdır. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik özellikler Tablo 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3.12: BASF-YKS Concresive 1406'nın Mekanik Özellikleri

Renk	Gri
Ağırlıkça Karışım Oranları	A:%75 (Epoksi reçine) B:%25 (Epoksi sertleştirici)
Basınç Dayanımı (1 gün) (Mpa) (7 gün) (Mpa)	30 75
Eğilme Dayanımı (1 gün) (Mpa) (7 gün) (Mpa)	17 25
Yapışma Dayanımı (Beton) (7 gün) (Mpa)	3
Yapışma Dayanımı (Çelik) (7 gün) (Mpa)	3.5
Uygulama Kalınlığı (mm)	2-30
Tam Kurlenme Süresi	7 gün

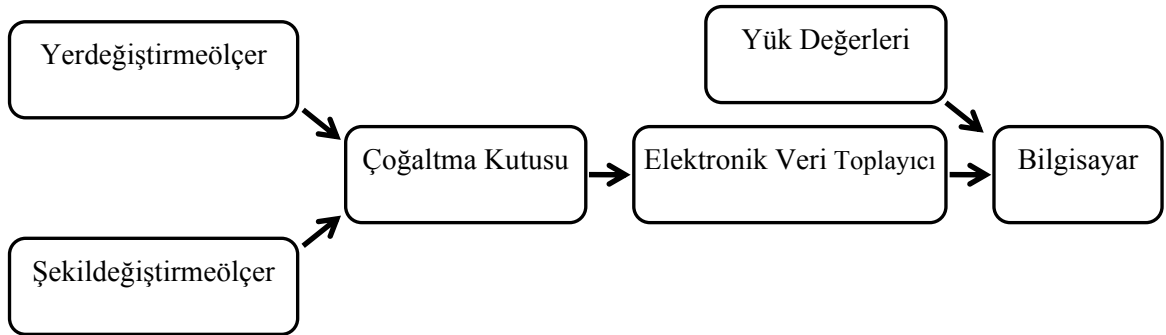
Uygulamada bir HPFRCC panelin yapıştırılması için gerekli olan miktar hesaplanmış, A ve B bileşenleri tartılarak gerekli miktarlarda hazırlanmıştır. İlk olarak A bileşeni yaklaşık 30 saniye karıştırılmış ve sonra B bileşeni eklenerek en az 3 dakika daha karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım, yüzeylerindeki toz ve yabancı maddeler temizlenerek hazırlanmış elemanlara spatula yardımıyla sürülmüştür. Yaklaşık 3 mm kalınlığında sürülen Concresive 1406'nın yüzeye eşit kalınlıkta sürülmesine dikkat edilmiştir.

Ankraj çubuklarının sabitlenmesi işleminde ise ilk önce ankraj delikleri kompresör yardımıyla iyice temizlenmiştir. Daha sonra delikler tamamen epoksi harcı ile doldurulmuş ve ankraj çubukları çevrilerek delikler içerisine yerleştirilmiştir.

4. DENEY DÜZENEGİ

4.1 Giriş

Hazırlanan beton elemanların tümü, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda bulunan 5000 kN kapasiteli Amsler yükleme aygıtı kullanılarak denenmiştir. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi; yerdeğiştirmeölçer, şekildeğiştirmeölçer, çoğaltma kutusu (TML ASW-50C Switch Box) ve veri toplayıcıdan (TML TDS-303 Data Logger) oluşmaktadır, Şekil 4.1. Deney düzeneği içerisinde, elektronik olarak kaydedilemeyen tek ölçüm olan yük değerlerinin hassas bir şekilde belirlenebilmesi için; yükleme aralıklarının, analitik olarak belirlenen eleman dayanımlarına olabildiğince uygun seçilmesine özen gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Veri Toplama Sistemi Akış Grafiği

4.2 Referans Elemanları için Deney Düzeneği

Tüm referans elemanları için yüklemeler; analitik olarak belirlenen eleman dayanımlarına uygun seçilen aralıkta (50 ton), Amsler yükleme aygıtıyla gerçekleştirilmiştir. Aygıtın, düşey yönde hareketli alt tablasının ve deney sırasında küçük yerdeğiştirmelere izin veren mafsallı üst tablasının görelî hareketini izleyebilmek amacıyla, alt ve üst tablaların köşelerine dörder adet yerdeğiştirmeölçer (TML CDP-25 Displacement Transducer) yerleştirilmiştir. Böylece; referans elemanlarının tüm boyundaki yerdeğiştirme, üst tabladaki yerdeğiştirmeölçerlerden

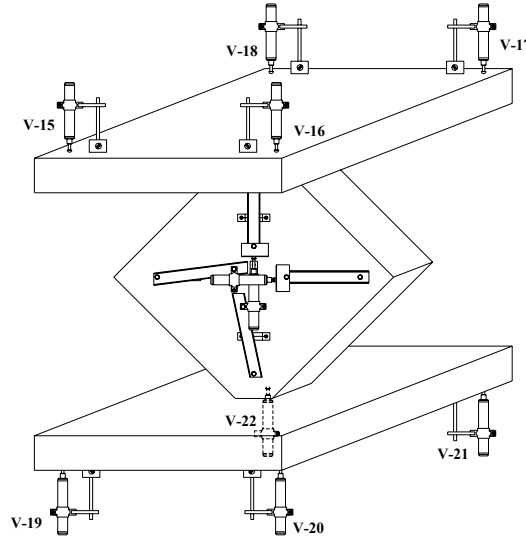
alınan ortalama verinin, alt tabladan alınan ortalama veriden çıkarılması ile hesaplanmıştır, Şekil 4.2. Yükleme aygıtının tablalarının beton elemanlara göre çok yüksek rijitlikte olmasından dolayı, tablalarda oluşan şekildeğiştirmeler ihmal edilmiştir. Referans elemanlarının tüm boyundaki yerdeğiştirmelerle birlikte, orta bölgelerindeki enine ve boyuna (boyuna doğrultuda ortadaki 300 mm, enine doğrultuda ortadaki 300) yerdeğiştirmeler de izlenmiş ve kaydedilmiştir. Bunun için, referans elemanlarına dörder adet 8 mm çaplı bulon ankre edilerek CDP-25 tipi yerdeğiştirmeölçerler bu bulonların aralarına yerleştirilmiştir. Böylece, referans elemanlarının orta bölgelerindeki enine ve boyuna doğrultuda oluşan ortalama eksenel yerdeğiştirmeler belirlenmiştir, Şekil 4.3. Deney sonuçları değerlendirilirken, tüm yerdeğiştirmeölçerlerden alınan veriler, ölçüm boylarına bölünüp (boyutsuz) ortalama şekildeğiştirme değerlerine dönüştürülerek kullanılmıştır.



Şekil 4.2: Deney Düzenəğinin Genel Görünümü



Şekil 4.3: Referans Elemanlar İçin Ölçüm Düzenəğı



Şekil 4.4: Deney Düzenekinin Şematik Görünümü

Deney sırasında, enine doğrultularda oluşan şekildeğişimleri ölçmek için, 60 mm ölçüm boyuna sahip, özel akma-sonrası türündeki şekildeğişimölçerler (PL-60-11-1L) kullanılmıştır, Şekil 4.5. Şekildeğişimölçerler; beton yüzeyler düzleştirilip ve temizlenip uygun hale getirildikten sonra, referans elemanlarının iki yüzüne, tam orta bölgeye gelecek şekilde, yatay doğrultuda çok amaçlı yapıştırıcı (Pattex Epoxy Mix) kullanılarak yapıştırılmıştır. Şekildeğişimölçerlerin özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.5: Referans Elemanlarının Yüzeyindeki Şekildeğişimölçerler

Tablo 4.1: Şekildeğişimölçer Özellikleri

Şekildeğişimölçer	PL-60-11-1L
Ölçüm Boyu (mm)	60
Ölçüm Katsayısı (%)	2.10 ± 1

Deney sırasında, enine ve boyuna doğrultularda oluşan şekildeğişimleri ölçmek için, ± 2 mm düzeyine kadar sağlıklı sonuç verebilen, 50 mm ölçüm boyuna sahip yerdeğişirmeölçerler (TML PI-2-50) kullanılmıştır. Yerdeğişirmeölçerler, numunenin her iki yüzüne altışar adet olmak üzere; çok amaçlı plastik çelik macun (Sunfix) kullanılarak yapıştırılmıştır, Şekil 4.6. Kullanılan yerdeğişirmelerin özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yerdeğişirmeölçerlerin Özellikleri

Yerdeğişirmeölçer	CDP-25	PI-2-50
Ölçüm Boyu (mm)	25	50
Hassasiyet (1/mm)	500×10^{-6}	2000×10^{-6}



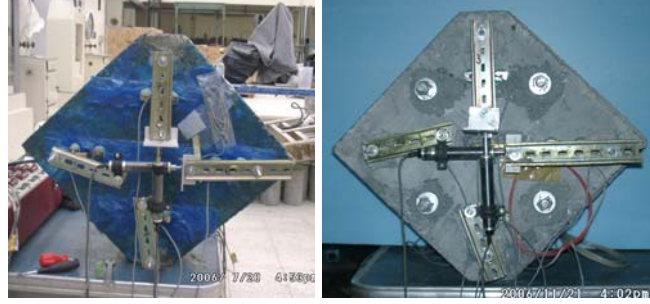
Şekil 4.6: Referans Elemanların Yüzeyindeki Yerdeğişirmeölçerler

Numunenin yükleme aygıtına yerleştirilmesi sırasında, başlık kısımlarında herhangi bir yamukluk olabilme veya buradaki beton yüzeyinin boşluklu olabilme ihtimaline karşı, referans numuneler ile güçlendirilmiş numunelerin alt ve üst başlıkları ile tablalar arasına 3 mm kalınlığında plakalar yerleştirilmiştir. Kurşun plakalar basınç altında kolaylıkla şekil değiştirebildiklerinden, yüklemenin ilk aşamalarında ezilmiştir. Bu sayede; yükün numunenin her bölgesine eşit şekilde dağılması sağlanmıştır.

4.3 Güçlendirilmiş Elemanlar İçin Deney Düzeneği

Tüm güçlendirilmiş elemanlar için yüklemeler; analitik olarak belirlenen eleman dayanımlarına uygun seçilen aralıkta (50 ton), Amsler yükleme aygıtıyla gerçekleştirilmiştir. Tüm referans elemanları için kullanılan ölçüm sistemi, güçlendirilmiş elemanlar için de aynen kullanılmıştır. Güçlendirilmiş elemanlar için

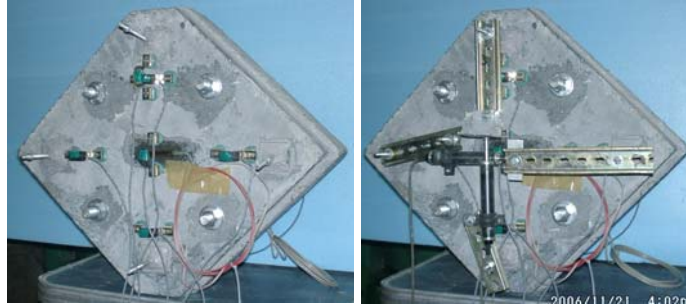
ölçüm düzeneği, güçlendirilmiş elemanlar üzerinde bulunan şekildeğiştirmeölçerler ve yerdeğiştirmeölçerler sırasıyla; Şekil 4.7, 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7: Güçlendirilmiş Elemanlar İçin Ölçüm Düzeneği



Şekil 4.8: Güçlendirilmiş Elemanlarının Yüzeyindeki Şekildeğiştirmeölçerler



Şekil 4.9: Güçlendirilmiş Elemanların Yüzeyindeki Yerdeğiştirmeölçerler

5. DENEY SONUÇLARI

5.1 Giriş

Deneysel çalışma kapsamında; yetersiz dayanıma sahip beton elemanlar, öndöküm HPFRCC paneller veya LP kompozitler yapıştırılarak güçlendirilmiş ve monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir.

Aynı boyutlarda üretilen toplam 27 adet beton numuneden; 10 numune öndöküm HPFRCC paneller, 14 numune LP kompozitler ile güçlendirilmiş, 3 numuneye ise güçlendirme uygulaması yapılmamıştır.

Bu bölümde; toplam 27 adet elemanın diyagonal çekme etkileri altında denenmeleri sonucunda elde edilen bilgiler, referans elemanların deney sonuçları, öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanların deney sonuçları ve deney sonuçlarının karşılaştırılması, LP kompozitler ile güçlendirilen elemanların deney sonuçları ve deney sonuçlarının karşılaştırılması olmak üzere beş başlık altında sunulmuştur.

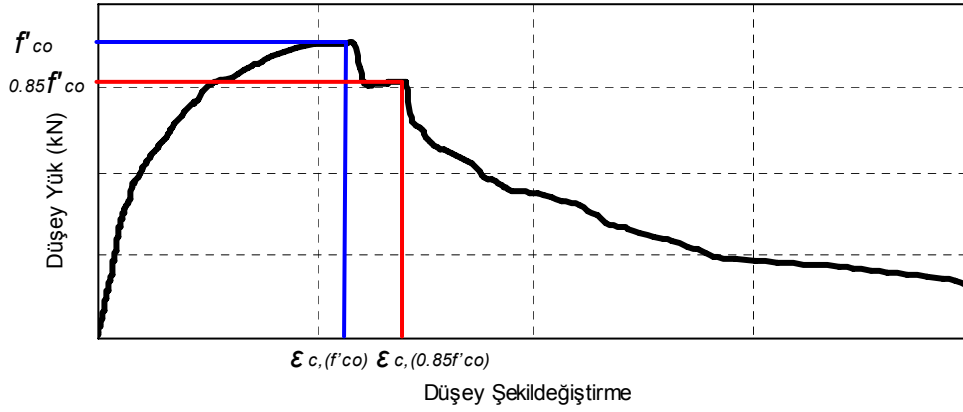
Referans elemanlar için; tüm boydan (490 mm) alınan ortalama yerdeğiştirme değerleri ile elemanların her iki yüzeyinde bulunan şekildeğiştirmeölçerlerden elde edilen ortalama şekildeğiştirme değerleri kullanılarak çizilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri birer grafikte verilmiştir.

Öndöküm HPFRCC panellerle veya LP kompozitlerle güçlendirilmiş elemanların her biri için; tüm boydan (490 mm) alınan ortalama yerdeğiştirme değerleri ile elemanların her iki yüzeyinde bulunan şekildeğiştirmeölçerlerden elde edilen ortalama şekildeğiştirme değerleri kullanılarak çizilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri, güçlendirilmemiş referans elemanlarla karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

Tüm elemanlar için, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlar ile süneklik değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Buradaki süneklik değerleri denklem (5.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{c,(0.85f'_{co})}}{\varepsilon_{c,(f'_{co})}} \quad (5.1)$$

Denklemden; μ , sünekliği; $\varepsilon_{c,(0.85f'_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde basınç dayanımının 0.85'i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; $\varepsilon_{c,(f'_{co})}$ ise elemanın basınç dayanımına karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini simgelemektedir, Şekil 5.1.



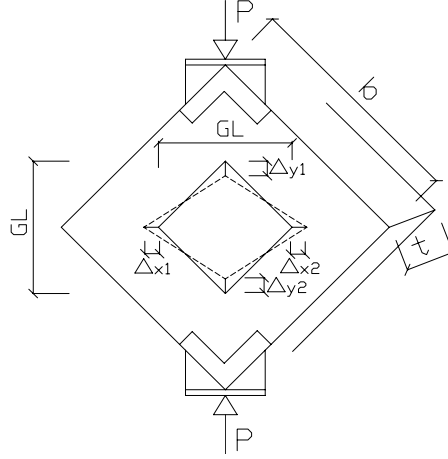
Şekil 5.1: Süneklik Değerlerinin Hesabında Kullanılan Şekildeğiştirmeler

LP kompozitler ile güçlendirilen elemanların düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrilerinin altında kalan alanların hesaplanmasında, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde basınç dayanımının 0.5'i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değeri sınır olarak alınmış ve alanlar bu değere kadar hesaplanmıştır. Bu sınır değeri, öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen numuneler için 0.75 seçilmiştir. Numuneler içerisinde karşılaştırma yapmak için ise, sınır değere gelene kadar çeşitli şekildeğiştirme değerleri de ($\varepsilon_c=0.001$, 0.0025 ve 0.005) alt sınır olarak alınmış ve bu sınırlara kadar alanlar hesaplanmıştır.

Deneyler sonucunda; tüm numunelere ait maksimum yük, kesme dayanımı, süneklik, enerji yutma değerleri hesaplanmış, güçlendirilmiş numunelerden elde edilen değerler, referans numunelerden elde edilen değerler ile karşılaştırılarak tablo halinde verilmiştir. Numunelere ait kesme dayanımları ve kesme şekildeğiştirmeleri; deneylerde elde edilen maksimum yük değerleri ve yerdeğiştirmeler kullanılarak ASTM E519 tarafından verilen denklem (5.2) ve (5.3) yardımıyla bulunmuştur [25]. ASTM E519 standardında önerilen yükleme düzeneği ve kullanılan simgeler Şekil 5.2'de görülmektedir.

$$\sigma_t = 0.707P/(bt) \quad (5.2)$$

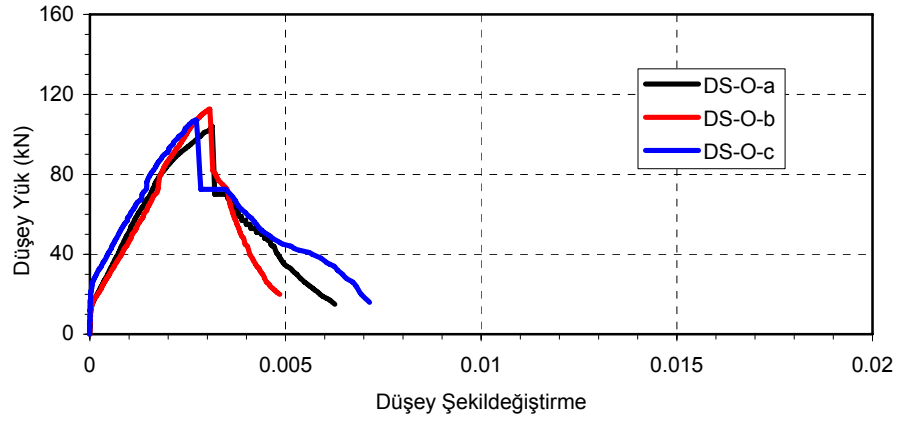
$$\gamma = (\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta x_1 + \Delta x_2)/GL \quad (5.3)$$



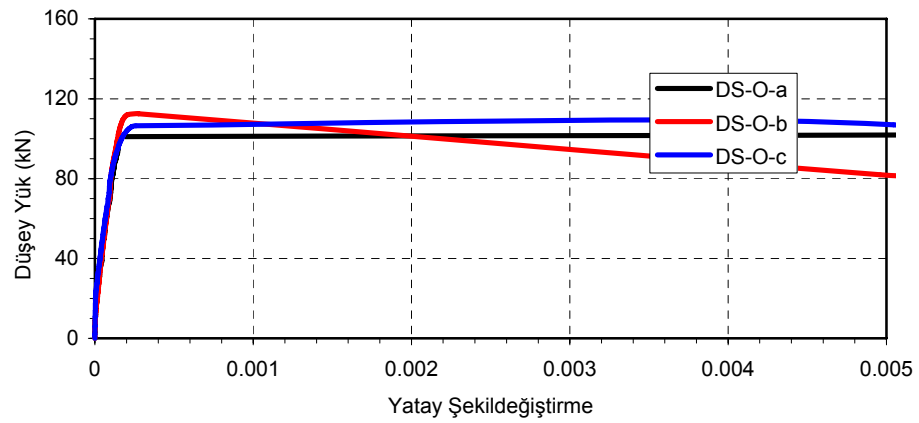
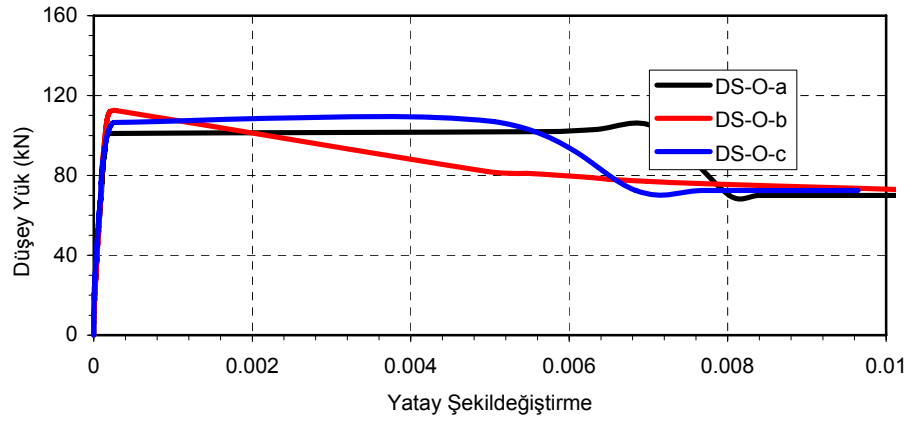
Şekil 5.2: ASTM E519 Standardında Önerilen Yükleme Düzenegi

5.2 Referans Elemanların Deney Sonuçları

28 ve 90 günlük standart silindir basınç dayanımları, sırasıyla; yaklaşık 5 ve 8 MPa olan beton ile üretilmiş, 400×400×100 mm boyutlarındaki elemanlardan üç tanesi (DS-O-a, DS-O-b ve DS-O-c), referans elemanları olarak; güçlendirilmeden, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmiş, düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkileri ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri belirlenmiştir. Referans elemanların tümünde düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri için, güçlendirilmiş elemanların tüm boyundan (490 mm) elde edilen ortalama yerdeğiştirme değerleri, düşey yük-yatay şekildeğiştirme eğrileri için ise güçlendirilmiş elemanların her iki yüzeyinde bulunan şekildeğiştirmeölçerlerden elde edilen ortalama şekildeğiştirme değerleri gözönüne alınmıştır. Referans elemanlarına ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.3 ve 5.4'te, deney sırasındaki görünümleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri, maksimum yatay şekildeğiştirme değerleri sırasıyla 0.01 ve 0.005 olan iki ayrı grafikte verilmiştir.



Şekil 5.3: Referans Elemanlarına Ait Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 5.4: Referans Elemanlarına Ait Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 5.5: Referans Elemanların Deney Sonrasındaki Görünümleri

Referans elemanların deney sonuçları özeti, Tablo 5.1’de sunulmuştur. Bu tabloda; j , deney günündeki beton yaşını; f'_{cj} , deney gününe ait standart silindir beton basınç dayanımını; $f'_{cj(0.85)}$ bu değerin 0.85’ini; P_{max} , deneyde ulaşılan maksimum yükü; τ_{max} , maksimum yüke karşı gelen kesme dayanımını simgelemektedir.

Tablo 5.1: Referans Elemanların Deney Sonuçları Özeti

Eleman İsmi	j (Gün)	f'_{cj} (MPa)	$f'_{cj(0.85)}$ (MPa)	P_{max} (kN)	τ_{max} (MPa)
DS-O-a	140	~8	6.8	104.0	1.73
DS-O-b	141	~8	6.8	112.5	1.86
DS-O-c	149	~8	6.8	107.0	1.83

Rerefans elemanların şekildeğiştirme değerleri, Tablo 5.2’de sunulmuştur. Bu tabloda; $\epsilon_{c,(f'_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinde maksimum yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; $\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.85’i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; μ , sünekliği ($\epsilon_{c,(0.85f'_{co})} / \epsilon_{c,(f'_{co})}$) simgelemektedir.

Tablo 5.2: Referans Elemanların Şekildeğiştirme Değerleri

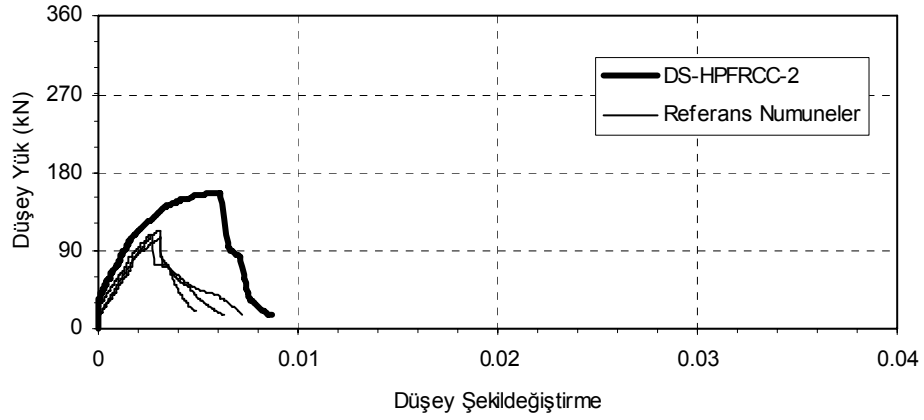
Eleman İsmi	$\epsilon_{c,(f'_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$	μ
DS-O-a	0.0031	0.0032	1.01
DS-O-b	0.0030	0.0031	1.01
DS-O-c	0.0027	0.0028	1.02

5.3 HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları

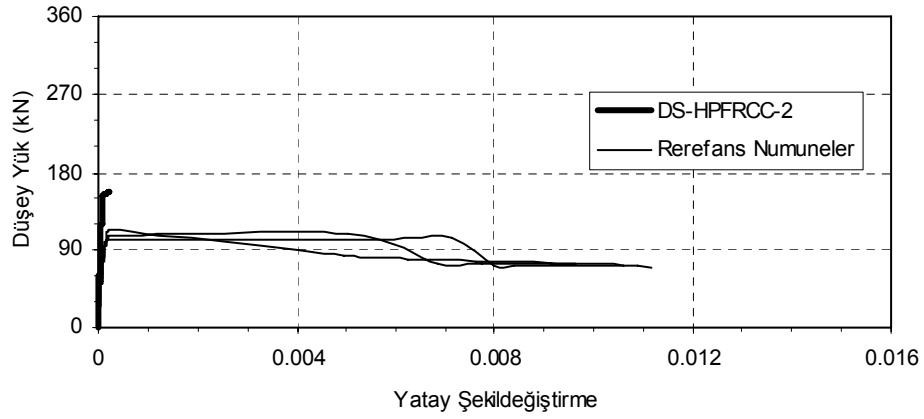
Bu bölümde öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanların, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkileri ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri verilmiştir. Tüm elemanlarda düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri için, güçlendirilmiş elemanların tüm boyundan (490 mm) elde edilen ortalama yerdeğiştirme değerleri, düşey yük-yatay şekildeğiştirme eğrileri için ise güçlendirilmiş elemanların her iki yüzeyinde bulunan şekildeğiştirmeölçerlerden elde edilen ortalama şekildeğiştirme değerleri gözönüne alınmıştır.

5.3.1 DS-HPFRCC-2

2 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 155 kN'dur ve bu değere 0.0058 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0085 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.60 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.6: DS-HPFRCC-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.7: DS-HPFRCC-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

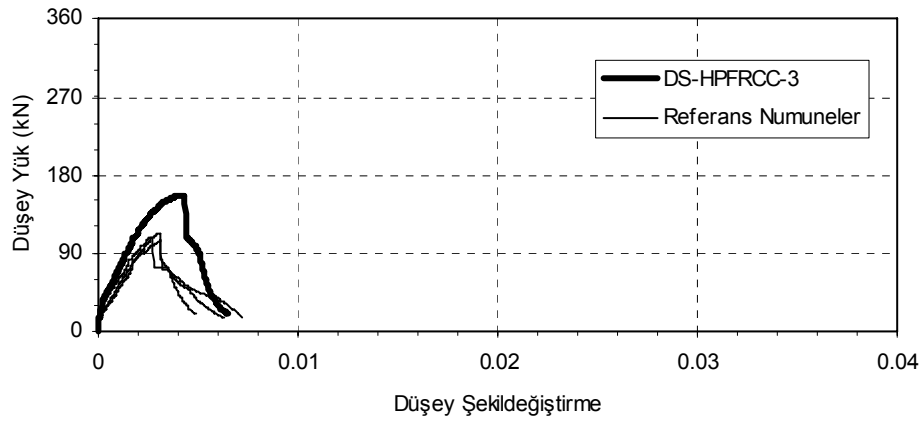
Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panellerinde herhangi bir çatlak veya hasar oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında, numunenin her iki yüzeyindeki panellerin numuneden ayrılmaya başladığı gözlenmiştir, deneyin ilerleyen aşamalarında ise paneller, beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden tamamen ayrılmıştır. Numunenin başlık kısımlarında herhangi bir ezilme oluşmamış, üst ve alt başlık arasında diyagonal çekme çatlağı meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



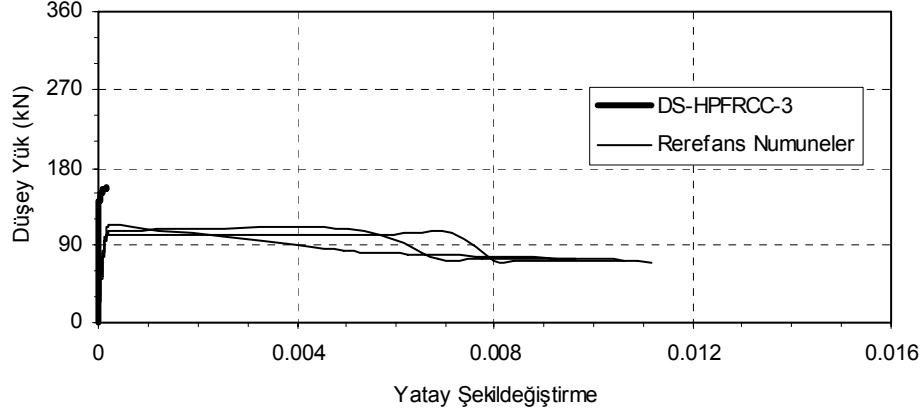
Şekil 5.8: DS-HPFRCC-2'nin Deney Sırasındaki Görünümleri

5.3.2 DS-HPFRCC-3

3 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 155 kN'dur ve bu değere 0.0042 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0064 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.73 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.9: DS-HPFRCC-3 Düşey Yük-Düşey Şekil değiştirme İlişkisi



Şekil 5.10: DS-HPFRCC-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panellerinde herhangi bir çatlak veya hasar oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında numunenin ön yüzündeki panelin numuneden ayrılmaya başladığı gözlenmiştir, deneyin ilerleyen aşamalarında ön yüzdeki panel, beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden tamamen ayrılmıştır. Numunenin başlık kısımlarında herhangi bir ezilme oluşmamış, üst ve alt başlık arasında diyagonal çekme çatlakları meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.11’de verilmiştir.

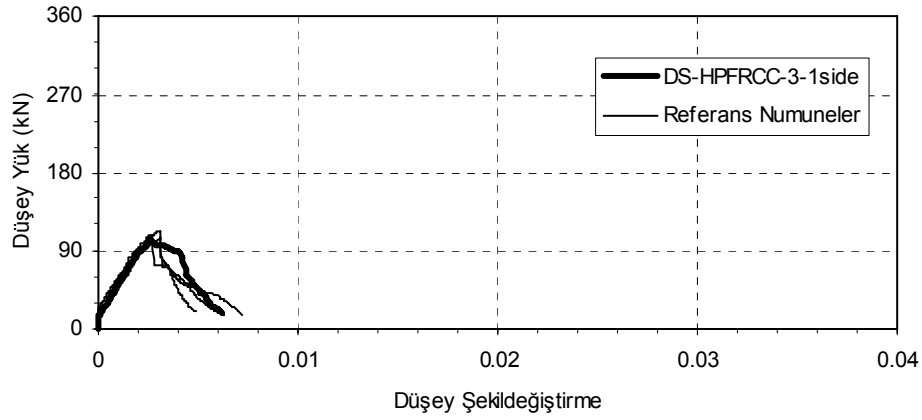


Şekil 5.11: DS-HPFRCC-3’ün Deney Sırasındaki Görünüşleri

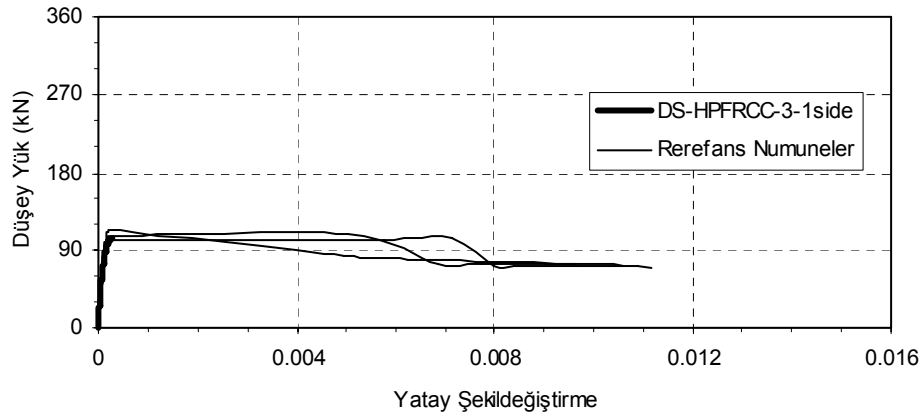
5.3.3 DS-HPFRCC-3-1 side

3 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile tek yüzeyinden güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 103 kN’dur ve bu değere 0.0026 düşey şekildeğiştirme seviyesinde

ulaşmıştır. 0.0062 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 1.80 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.12: DS-HPFRCC-3-1 side Düşey Yük-Düşey Şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 5.13: DS-HPFRCC-3-1 side Düşey Yük-Yatay Şekil değiştirme ilişkisi

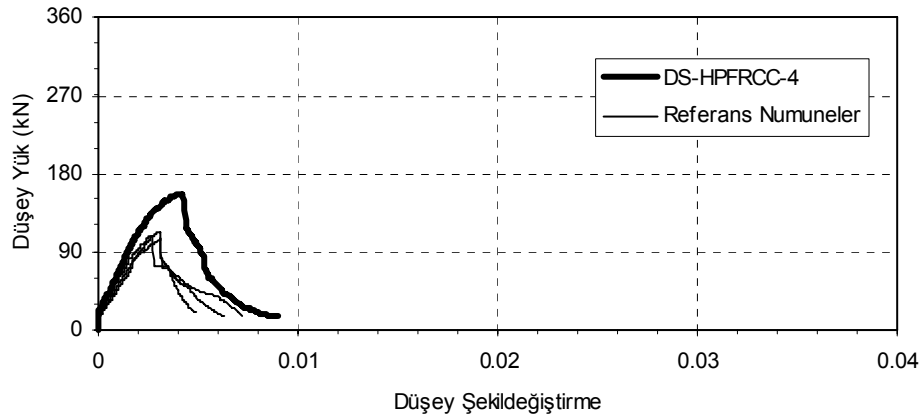
Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panelinde herhangi bir çatlak veya hasar oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 102 kN yük ve 0.0025 düşey şekil değiştirme mertebelerinde numunenin ön yüzeyindeki panelin numuneden ayrılmaya başladığı gözlenmiştir, deneyin ilerleyen aşamalarında ise bu panel, beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden tamamen ayrılmıştır. Numunenin başlık kısımlarında herhangi bir ezilme oluşmamış, üst ve alt başlık arasında diyagonal çatlak meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.14'te verilmiştir.



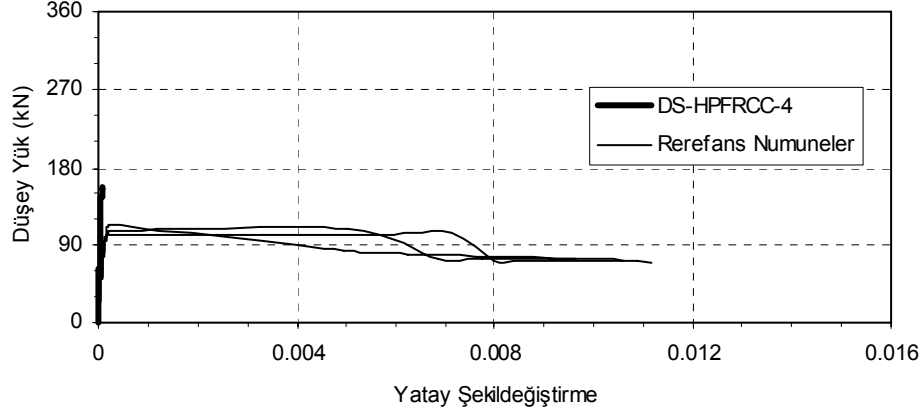
Şekil 5.14: DS-HPFRCC-3-1 side'ın Deney Sırasındaki Görünümleri

5.3.4 DS-HPFRCC-4

4 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş bu elemanın monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 155 kN'dur ve bu değere 0.0042 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0091 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.73 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.15: DS-HPFRCC-4 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 5.16: DS-HPFRCC-4 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panellerinde herhangi bir çatlak veya hasar oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 117 kN ve 0.0045 düşey şekildeğiştirme mertebelerinde numunenin her iki yüzeyindeki panellerin numuneden ayrılmaya başladığı gözlenmiştir, deneyin ilerleyen aşamalarında ise paneller, beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden tamamen ayrılmıştır. Numunenin başlık kısımlarında herhangi bir ezilme oluşmamış, üst ve alt başlık arasında diyagonal çatlak meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.17’de verilmiştir.

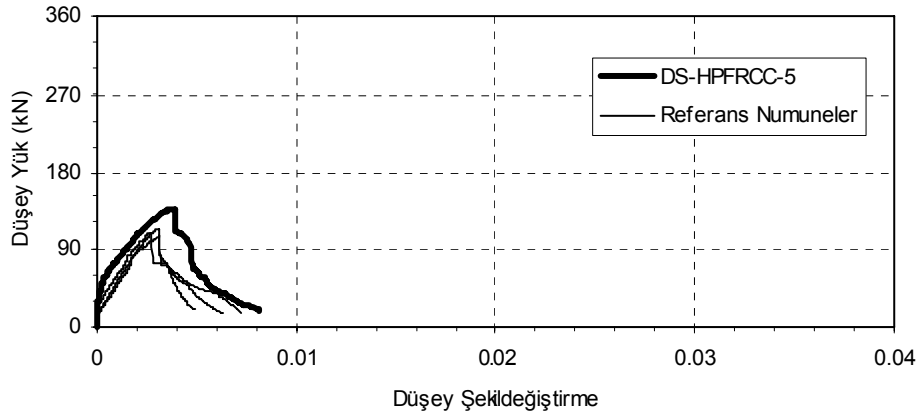


Şekil 5.17: DS-HPFRCC-4’ün Deney Sırasındaki Görünüşleri

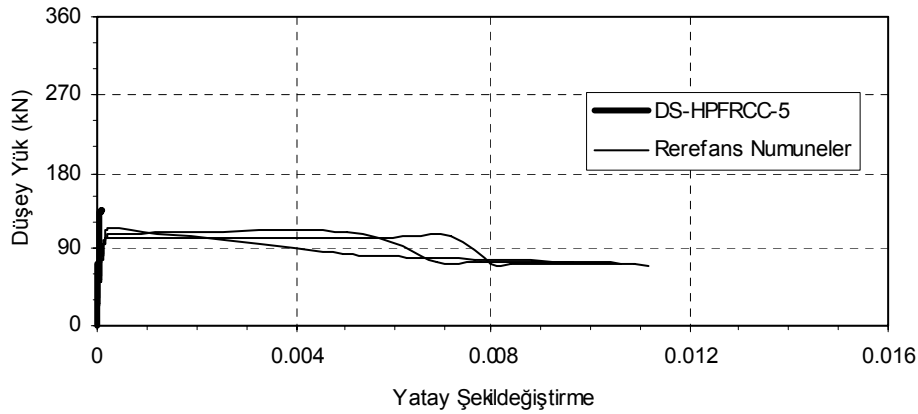
5.3.5 DS-HPFRCC-5

2 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 134 kN’dur ve bu değere 0.0036 düşey şekildeğiştirme seviyesinde

ulaşmıştır. 0.0081 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.32 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.18: DS-HPFRCC-5 Düşey Yük-Düşey Şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 5.19: DS-HPFRCC-5 Düşey Yük-Yatay Şekil değiştirme ilişkisi

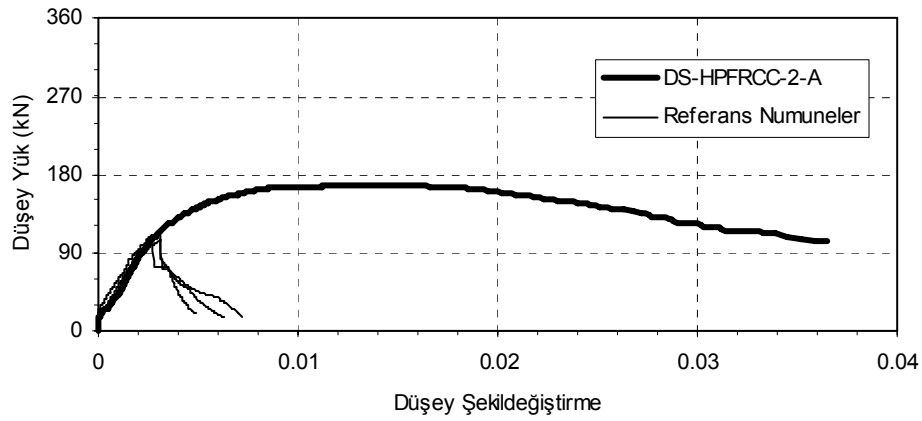
Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panellerinde herhangi bir çatlak veya hasar oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında numunenin ön yüzeyindeki panelin numuneden ayrılmaya başladığı gözlenmiştir, deneyin ilerleyen aşamalarında ön yüzeydeki panel, beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden tamamen ayrılmıştır. Numunenin başlık kısımlarında herhangi bir ezilme oluşmamış, üst ve alt başlık arasında diyagonal çatlak meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.20'de verilmiştir.



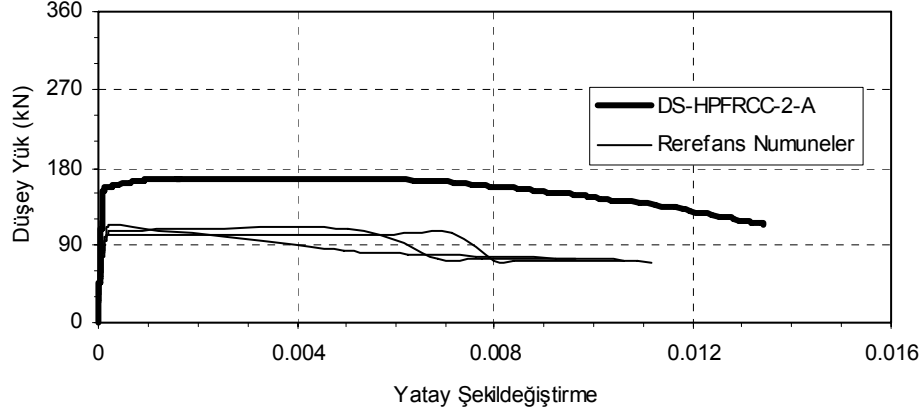
Şekil 5.20: DS-HPFRCC-5'in Deney Sırasındaki Görünümleri

5.3.6 DS-HPFRCC-2-A

2 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş ve ankraj uygulanmış bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildegıştırme ve düşey yük-yatay şekildegıştırme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 166 kN'dur ve bu değere 0.0113 düşey şekildegıştırme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0365 düşey şekildegıştırme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.93 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.21: DS-HPFRCC-2-A Düşey Yük-Düşey Şekildegıştırme İlişkisi



Şekil 5.22: DS-HPFRCC-2-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panelleri ile beton arasında herhangi bir ayrılma oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında, numunenin ön yüzüne yapıştırılan panelde diyagonal çekme çatlağı olduğu, güçlendirme panellerinin üst ve altında yer alan 10 mm'lik beton bölgelerinin ezilmeye başladığı gözlenmiştir. Deneyin ilerleyen aşamalarında başlık kısımlarındaki beton tamamen ezilerek göçme modu bu şekilde gerçekleşmiştir. Güçlendirme panellerinde ise belirgin bir hasar oluşmamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümü Şekil 5.23'de verilmiştir.

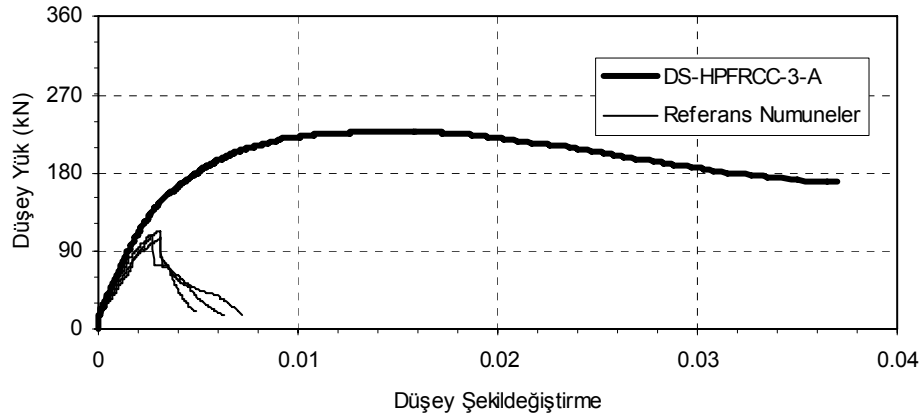


Şekil 5.23: DS-HPFRCC-2-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri

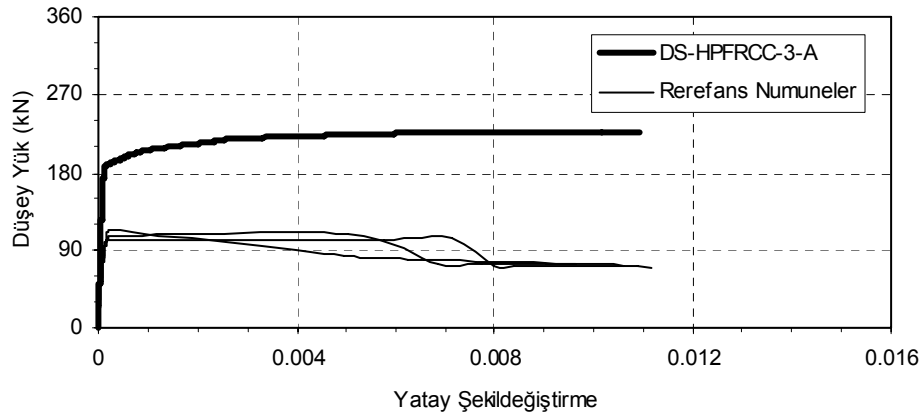
5.3.7 DS-HPFRCC-3-A

3 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş ve ankraj uygulanmış bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 227.5 kN'dur ve bu değere 0.0137 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0391 düşey şekildeğiştirme seviyesine

kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 4.02 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.

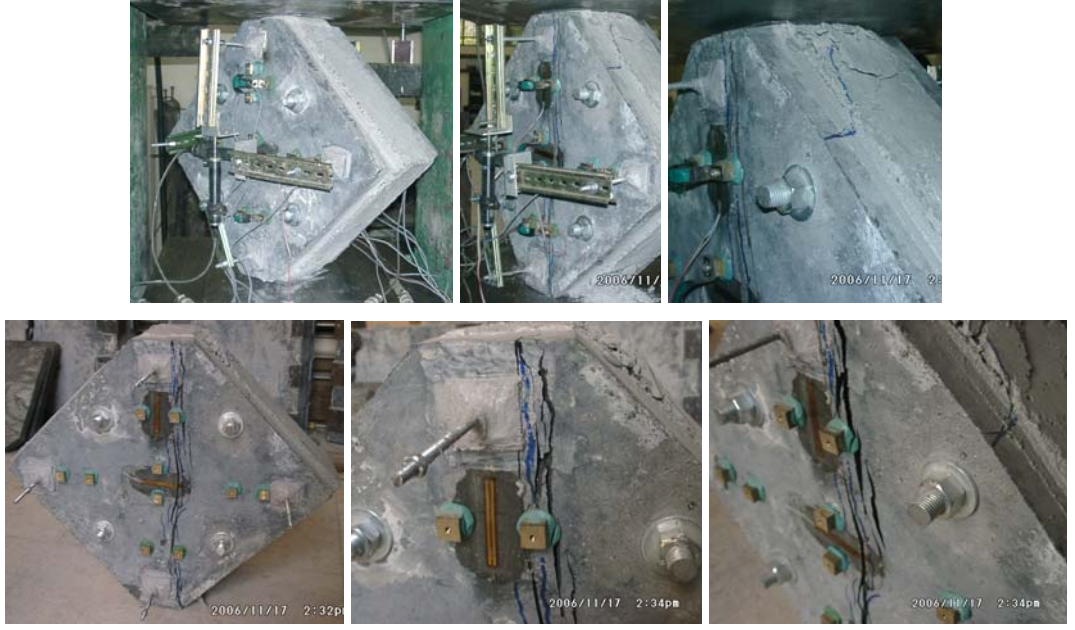


Şekil 5.24: DS-HPFRCC-3-A Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.25: DS-HPFRCC-3-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

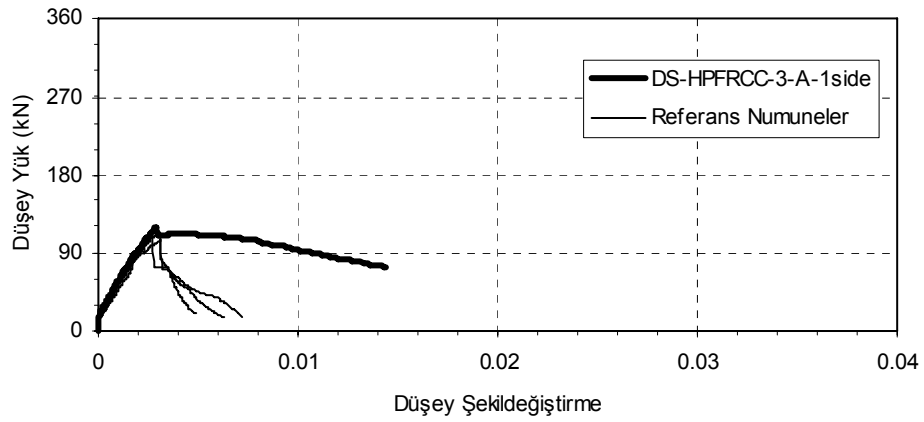
Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panelleri ile beton arasında herhangi bir ayrılma oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında, numunenin arka yüzeyine yapıştırılan panelde diyagonal çekme çatlağı olduğu, güçlendirme panellerinin üst ve altında yer alan 10 mm'lik beton bölgelerinin ezilmeye başladığı gözlenmiştir. Deneyin ilerleyen aşamalarında arka yüzeyde oluşan diyagonal çekme çatlağı adım adım büyüyerek deney sonunda yaklaşık 5 mm mertebesine ulaşmış, başlık kısımlarındaki beton tamamen ezilerek göçme modu bu şekilde gerçekleşmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümü Şekil 5.26'da verilmiştir.



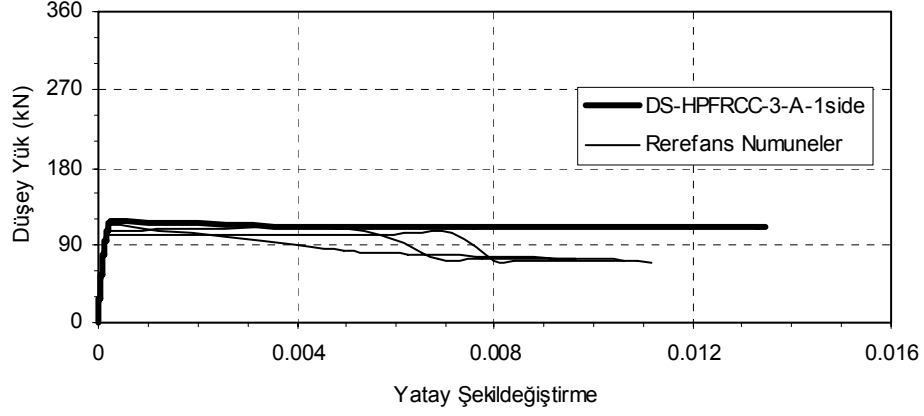
Şekil 5.26: DS-HPFRCC-3-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri

5.3.8 DS-HPFRCC-3-A-1 side

3 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile tek yüzeyinden güçlendirilmiş ve ankraj uygulanmış bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildegıştırme ve düşey yük-yatay şekildegıştırme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 118 kN'dur ve bu değere 0.0029 düşey şekildegıştırme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0143 düşey şekildegıştırme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 1.97 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.27: DS-HPFRCC-3-A-1side Düşey Yük-Düşey Şekildegıştırme İlişkisi



Şekil 5.28: DS-HPFRCC-3-A-1side Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deney sırasında, numunenin ön yüzüne yapıştırılan öndöküm HPFRCC paneli ile beton arasında herhangi bir ayrılma oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında, numunenin panel yapıştırılmayan arka yüzeyinde diyagonal çekme çatlağı olduğu, deneyin ilerleyen aşamalarında hasarın bu çatlakta yoğunlaştığı ve başlık kısımlarındaki betonun bir miktar ezildiği gözlenmiştir. Güçlendirme panelinde herhangi bir hasar oluşmamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümü Şekil 5.29’de verilmiştir.

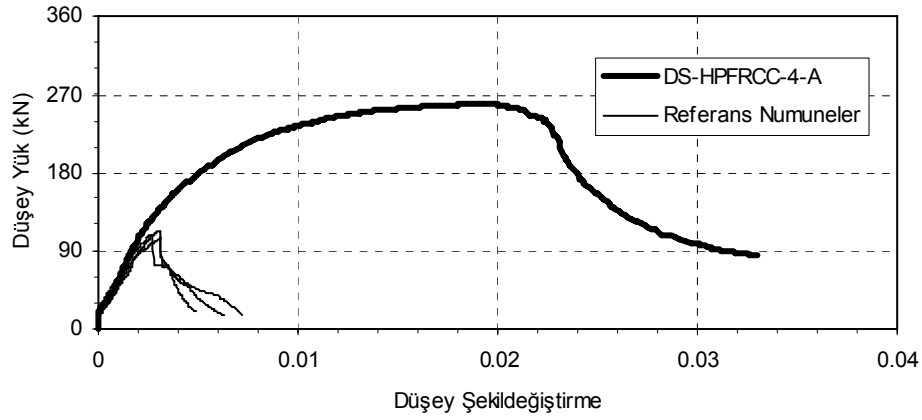


Şekil 5.29: DS-HPFRCC-3-A-1 side’ın Deney Sırasındaki Görünümleri

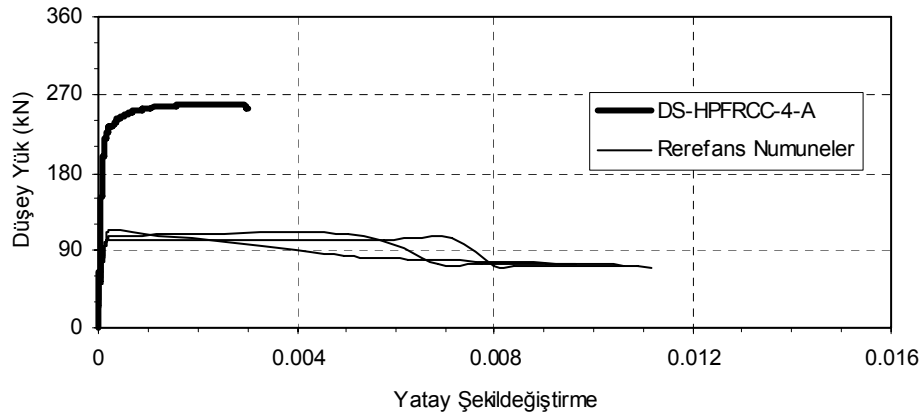
5.3.9 DS-HPFRCC-4-A

4 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş ve ankraj uygulanmış bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 259 kN’dur ve bu değere 0.0181 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0330 düşey şekildeğiştirme seviyesine

kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 4.53 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.30: DS-HPFRCC-4-A Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.31: DS-HPFRCC-4-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

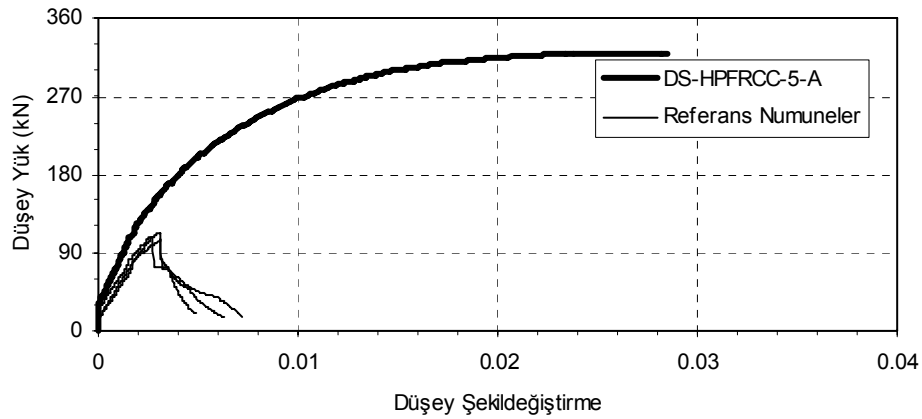
Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panelleri ile beton arasında herhangi bir ayrılma oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 240 kN ve 0.012 düşey şekildeğiştirme mertebelerinde, güçlendirme panellerinin üst ve altında yer alan 10 mm'lik beton bölgelerinin ezilmeye başladığı gözlenmiştir. Deneyin ilerleyen aşamalarında hasar bu bölgelerde yoğunlaşmış ve göçme modu başlık kısımlarındaki betonun tamamen ezilmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Güçlendirme panellerinde herhangi bir hasar oluşmamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümleri Şekil 5.32'de verilmiştir.



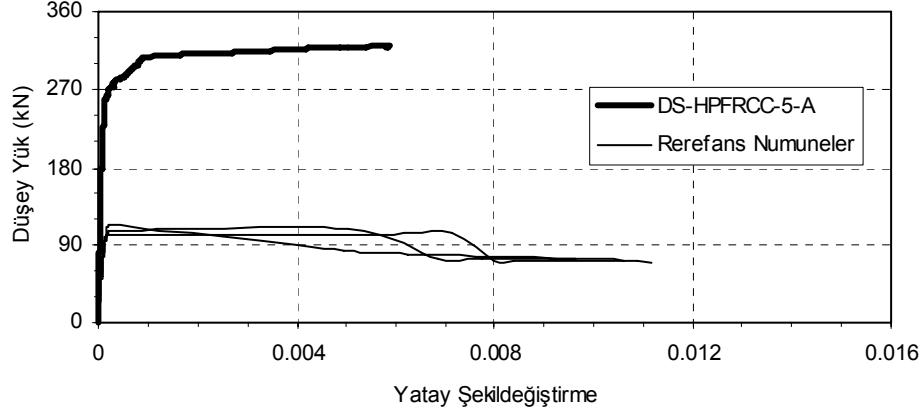
Şekil 5.32: DS-HPFRCC-4-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri

5.3.10 DS-HPFRCC-5-A

5 cm kalınlığında öndöküm HPFRCC paneller ile her iki yüzeyinden güçlendirilmiş ve ankraj uygulanmış bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildegıştırme ve düşey yük-yatay şekildegıştırme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.33 ve Şekil 5.34'te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 320 kN'dur ve bu değere 0.0263 düşey şekildegıştırme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0285 düşey şekildegıştırme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 5.52 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.33: DS-HPFRCC-5-A Düşey Yük-Düşey Şekildegıştırme İlişkisi



Şekil 5.34: DS-HPFRCC-5-A Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deney sırasında, numuneye yapıştırılan öndöküm HPFRCC panelleri ile beton arasında herhangi bir ayrılma oluşmamıştır. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 230 kN yük ve 0.0067 düşey şekildeğiştirme mertebelerinde beton başlıkların ezilmeye başladığı gözlenmiştir. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında, güçlendirme panellerinin üst ve altında yer alan 10 mm'lik beton bölgeleri tamamen ezilmiş, güçlendirme panelleri yükleme aygıtının alt ve üst tablaları arasına oturmuş ve bu seviyede deneye son verilmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümü Şekil 5.35'de verilmiştir.



Şekil 5.35: DS-HPFRCC-5-A'nın Deney Sırasındaki Görünümleri

5.4 HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında denenen elemanlara ait değişkenlerin, deney sonuçlarına olan etkisinin belirlenmesi için bu bölümde karşılaştırma grafikleri sunulmuştur. Güçlendirilen elemanlara ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri, çalışma kapsamında incelenen değişkenlere göre, üst üste çizilerek verilmiştir. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkileri altında kalan alanlar da yine karşılaştırmalı olarak verilmiş, elde edilen alan değerleri en büyük alan değerine bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. Öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanlarda incelenen değişkenler:

- Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlığı [2 / 3 / 4 / 5]
- Uygulama Detayı [Tek Yüzeye / İki Yüzeye]
- Ankraj Uygulanması [Var / Yok]

Öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanların deney sonuçları özeti, Tablo 5.3'te sunulmuştur. Bu tabloda; j , deney günündeki beton yaşı; f'_{cj} , deney gününe ait standart silindir beton basınç dayanımını; $f'_{cj(0.85)}$ bu değerin 0.85'ini; k , öndöküm HPFRCC panelin deney günündeki yaşı; $f_{HPFRCC,k}$, deney gününe ait standart silindir HPFRCC basınç dayanımını; $f_{t,HPFRCC,k}$, deney gününe ait HPFRCC yarma çekme dayanımını; P_{max} , deneyde ulaşılan maksimum yükü; τ_{max} , maksimum yüke karşı gelen kesme dayanımını simgelemektedir.

Tablo 5.3: Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları Özeti

Eleman İsmi	j (Gün)	f'_{cj} (MPa)	$f'_{cj(0.85)}$ (MPa)	k (Gün)	$f_{HPFRCC,k}$ (MPa)	$f_{t,HPFRCC,k}$ (MPa)	P_{max} (kN)	τ_{max} (MPa)	K.D.A. %
DS-O-a	140	~8	6.8	-	-	-	104.0	1.73	-
DS-O-b	141	~8	6.8	-	-	-	112.5	1.86	-
DS-O-c	149	~8	6.8	-	-	-	107.0	1.83	-
DS-HPFRCC-2	285	~8	6.8	158	137.6	17.5	155.0	2.60	44
DS-HPFRCC-3	266	~8	6.8	134	134.4	17.1	155.0	2.73	51
DS-HPFRCC-3-1 side	273	~8	6.8	140	135.2	17.2	103.0	1.80	1
DS-HPFRCC-4	271	~8	6.8	144	135.8	17.3	155.0	2.69	49
DS-HPFRCC-5	280	~8	6.8	143	135.6	17.3	134.0	2.32	28
DS-HPFRCC-2-A	285	~8	6.8	158	137.6	17.5	166.0	2.93	62
DS-HPFRCC-3-A	267	~8	6.8	134	134.4	17.1	227.5	4.02	122
DS-HPFRCC-3-A-1 side	273	~8	6.8	140	135.2	17.2	118.0	1.97	9
DS-HPFRCC-4-A	271	~8	6.8	144	135.8	17.3	259.0	4.53	150
DS-HPFRCC-5-A	280	~8	6.8	143	135.6	17.3	320.0	5.52	205

K.D.A. : Kesme Dayanımı Artışı (%)

Öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanların şekildeğiştirme değerleri, Tablo 5.4'te sunulmuştur. Bu tabloda; $\epsilon_{c,(f'_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinde maksimum yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; $\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.85'i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; $\epsilon_{c,(0.75f'_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.75'i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; μ , sünekliği ($\epsilon_{c,(0.85f'_{co})} / \epsilon_{c,(f'_{co})}$) simgelemektedir.

Tablo 5.4: Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Şekildeğiştirme Değerleri

Eleman İsmi	$\epsilon_{c,(f'_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.75f'_{co})}$	μ	S.A. %
DS-O-a	0.0031	0.0032	0.0033	1.01	-
DS-O-b	0.0030	0.0031	0.0032	1.01	-
DS-O-c	0.0027	0.0028	0.0029	1.02	-
DS-HPFRCC-2	0.0058	0.0062	0.0063	1.07	6
DS-HPFRCC-3	0.0042	0.0043	0.0044	1.01	0
DS-HPFRCC-3-1 side	0.0026	0.0041	0.0042	1.58	56
DS-HPFRCC-4	0.0041	0.0043	0.0044	1.03	2
DS-HPFRCC-5	0.0036	0.0039	0.0045	1.08	7
DS-HPFRCC-2-A	0.0113	0.0254	0.0293	2.25	123
DS-HPFRCC-3-A	0.0137	0.0281	0.0359	2.05	76
DS-HPFRCC-3-A-1 side	0.0029	0.0084	0.0110	2.89	186
DS-HPFRCC-4-A	0.0181	0.0230	0.0235	1.27	14
DS-HPFRCC-5-A*	0.0263	-	-	-	-

S.A. : Süneklik Artışı (%)

* : Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında deneye son verildiğinden $\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$, $\epsilon_{c,(0.75f'_{co})}$, μ ve S.A değerleri hesaplanamamıştır.

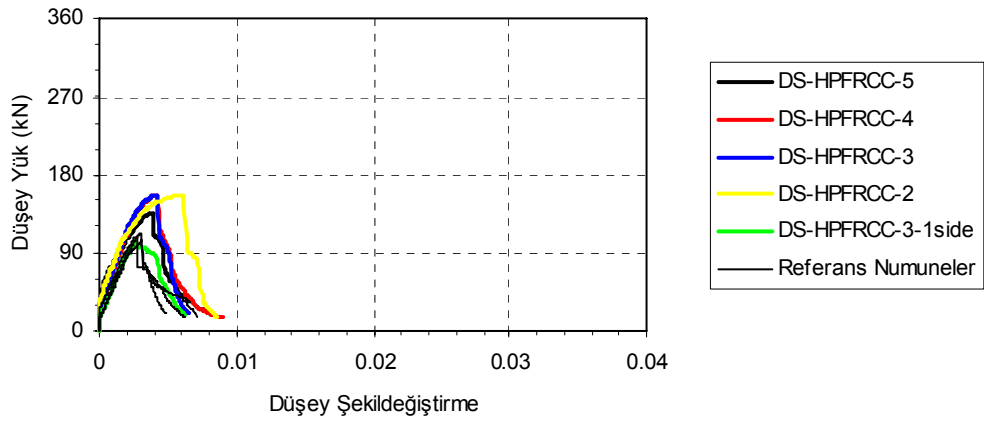
Öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanların düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin altında kalan alanlar, Tablo 5.5'te sunulmuştur. Bu tabloda; $\epsilon_{c,(0.75f'_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.75'i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar hesaplanmış alan değerini simgelemektedir.

Tablo 5.5: Öndöküm HPFRCC Paneller İle Güçlendirilen Elemanların Düşey Yük-
Düşey Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanlar (kN mm/mm)

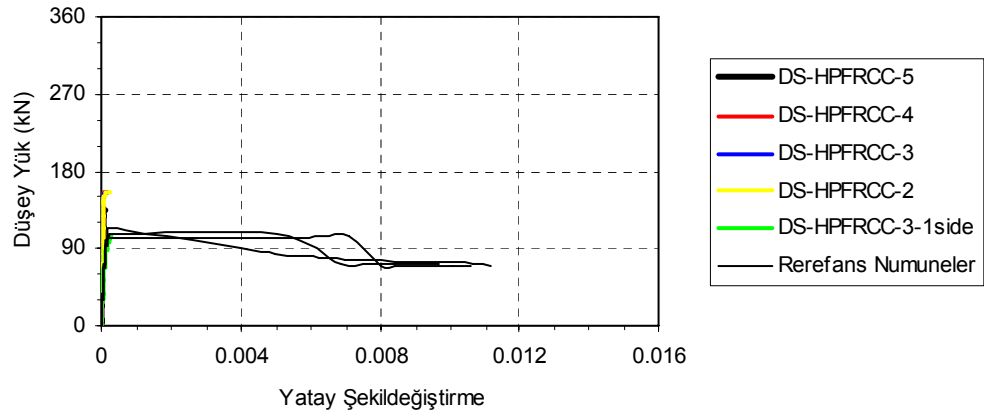
Eleman İsmi	$\epsilon_c=0.001$	$\epsilon_c=0.0025$	$\epsilon_c=0.005$	$\epsilon_c=0.010$	$\epsilon_c=0.020$	$\epsilon_c=0.030$	$\epsilon_{c,(0.75f_{co})}$
DS-O-a	0.03	0.15	0.32	-	-	-	0.21
DS-O-b	0.03	0.15	0.29	-	-	-	0.21
DS-O-c	0.04	0.18	0.34	-	-	-	0.20
DS-HPFRCC-2	0.06	0.23	0.50	-	-	-	0.77
DS-HPFRCC-3	0.05	0.22	0.47	-	-	-	0.47
DS-HPFRCC-3-1 side	0.03	0.16	0.31	-	-	-	0.31
DS-HPFRCC-4	0.04	0.21	0.47	-	-	-	0.47
DS-HPFRCC-5	0.06	0.22	0.44	-	-	-	0.44
DS-HPFRCC-2-A	0.03	0.14	0.47	1.29	2.96	4.20	4.20
DS-HPFRCC-3-A	0.04	0.20	0.61	1.66	3.95	5.96	6.95
DS-HPFRCC-3-A-1 side	0.04	0.18	0.46	1.05	-	-	1.05
DS-HPFRCC-4-A	0.04	0.18	0.58	1.68	4.21	-	4.99
DS-HPFRCC-5-A	0.06	0.23	0.68	1.92	4.88	7.53	*

* : Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi maksimum seviyeye ulaştığında deneye son verildiğinden $\epsilon_{c,(0.75f_{co})}$ değeri hesaplanamamıştır.

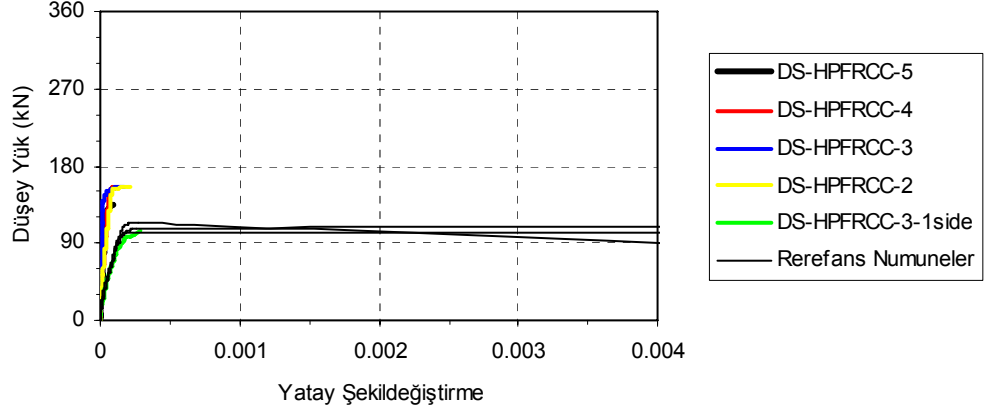
- Her iki yüzeyine öndöküm HPFRCC panel yapıştırılarak güçlendirilen ve ankraj uygulanmayan elemanların, referans elemanlara göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde %28-51, şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinde %2-7 ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlarda %110-266 oranlarında artış sağlanmıştır. Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulamasında ise bu artışlar sırasıyla; %1, %56 ve %48'dir, Şekil 5.36, 5.37, 5.38, 5.39. Şekil 5.37'de yatay şekildeğiştirme %1.6'ya kadar verilirken, Şekil 5.38'de %0.4'e kadar verilmiştir.



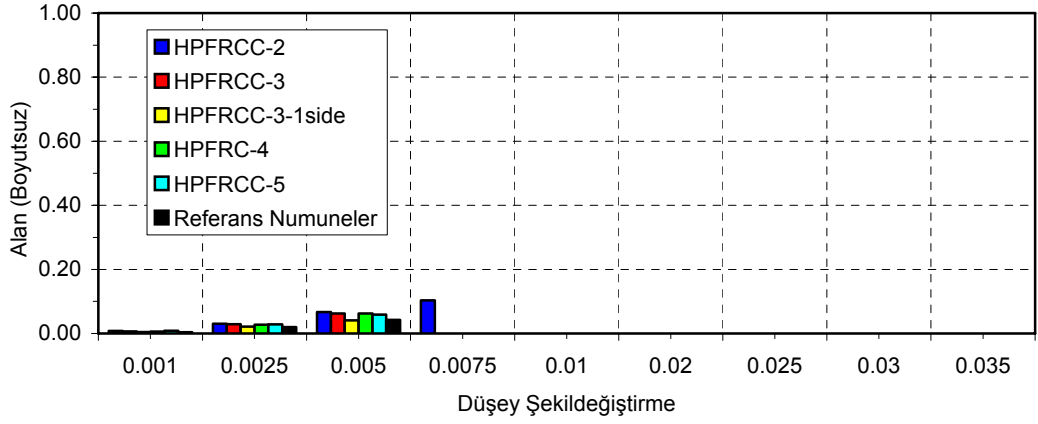
Şekil 5.36: Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi



Şekil 5.37: Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi

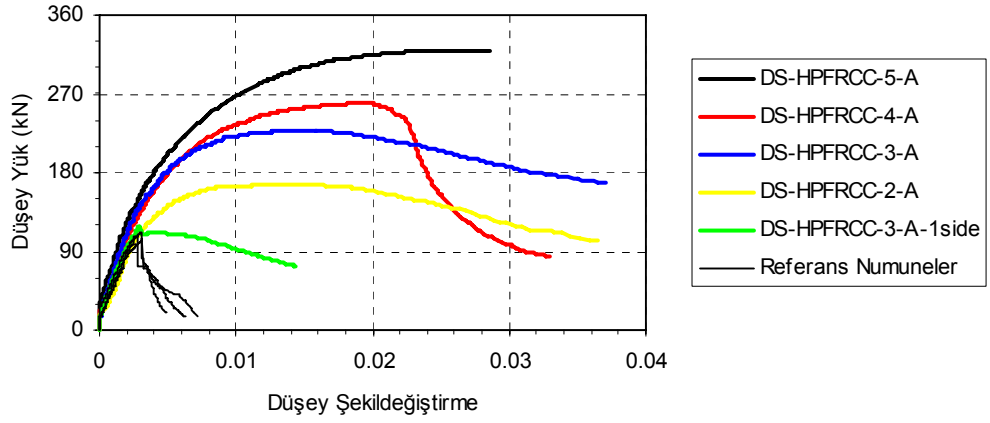


Şekil 5.38: Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi

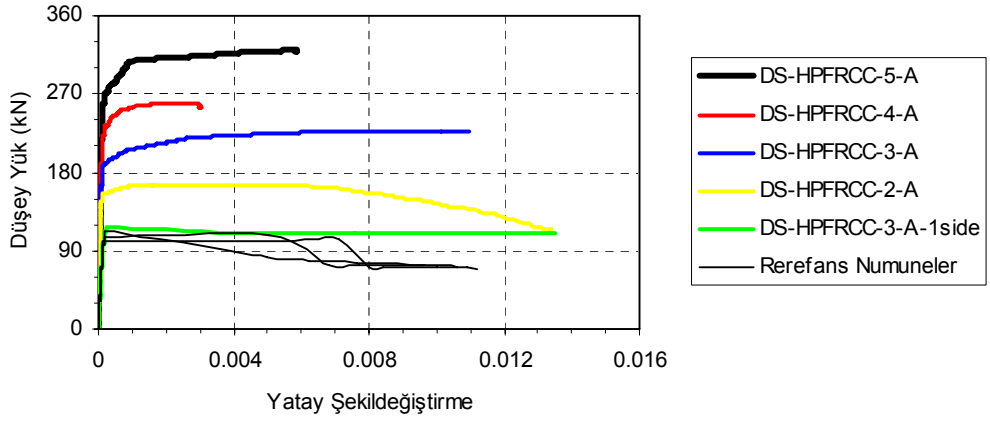


Şekil 5.39: Ankraj Uygulanmayan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

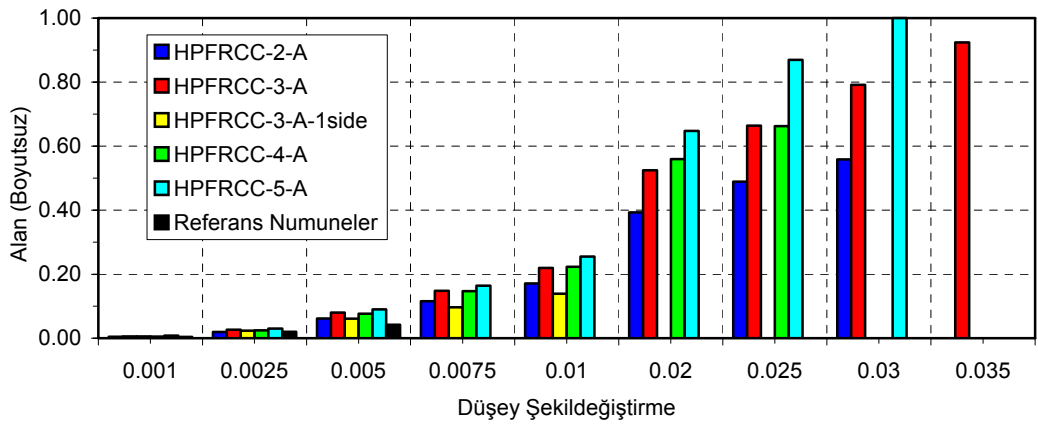
- Her iki yüzeyine öndöküm HPFRCC panel yapıştırılarak güçlendirilen ve ankraj uygulanan elemanların, referans elemanlara göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde %62-205, şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinde %14-123 ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlarda %1900-3200 oranlarında artış sağlanmıştır. Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulamasında ise bu artışlar sırasıyla; %9, %186 ve %400'dür. Güçlendirme panel kalınlıkları arttıkça, maksimum yük taşıma kapasitelerinin ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanların sürekli arttığı görülmüştür, Şekil 5.40, 5.41, 5.42.



Şekil 5.40: Ankraj Uygulanan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi

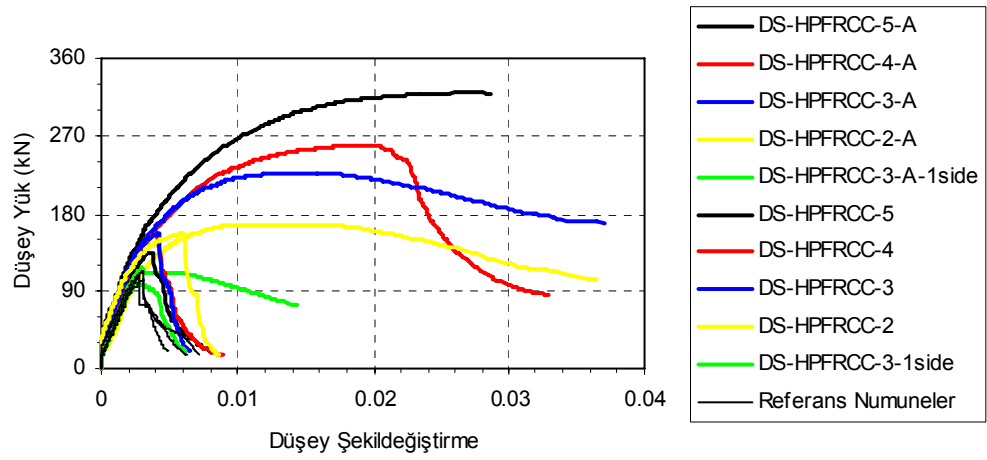


Şekil 5.41: Ankraj Uygulanan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Davranışa Etkisi

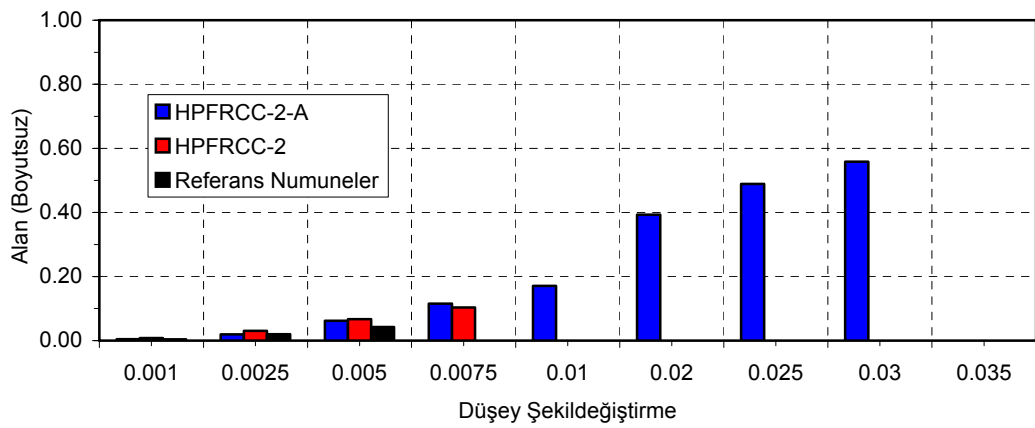


Şekil 5.42: Ankraj Uygulanan Elemanlarda Öndöküm HPFRCC Panel Kalınlıklarının Düsey Yük-Düsey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

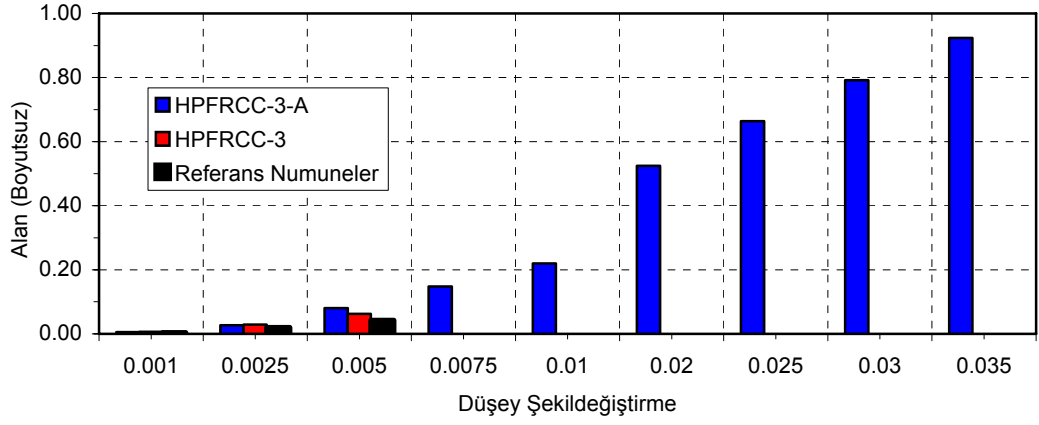
- Öndöküm HPFRCC panellerle güçlendirilen elemanlarda, panellerin mevcut betona ankrajı, davranışı olumlu yönden etkilemiş, ankraj uygulanmayan elemanların tümünde paneller beton tabakasının ince bir bölümünü alarak betondan sıyrılmış, ankraj uygulanan elemanlarda ise paneller ile beton arasında herhangi bir ayrılma olmamıştır. Ankraj uygulaması, elemanların maksimum yük taşıma kapasitelerinde, şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinde ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlarda, ankraj uygulanmayan elemanlara göre çok daha fazla artış sağlanmıştır, Şekil 5.43, 5.44, 5.45, 5.46, 5.47, 5.48.



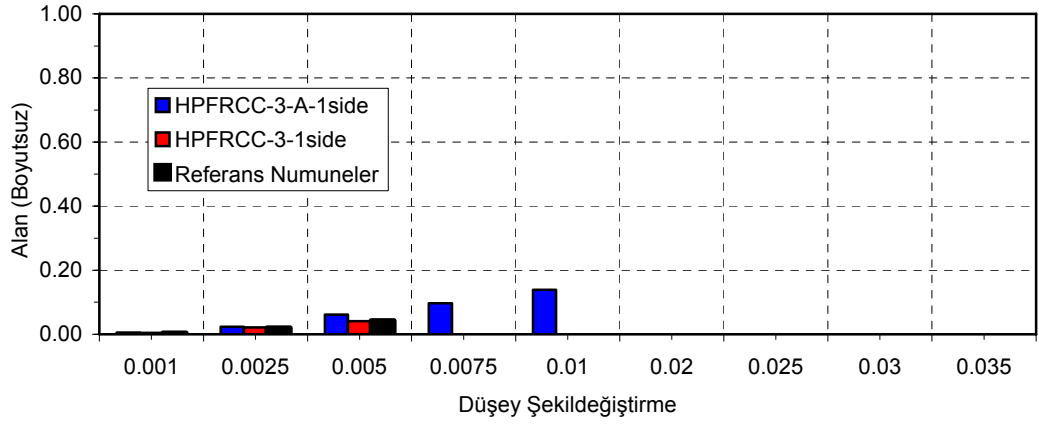
Şekil 5.43: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi



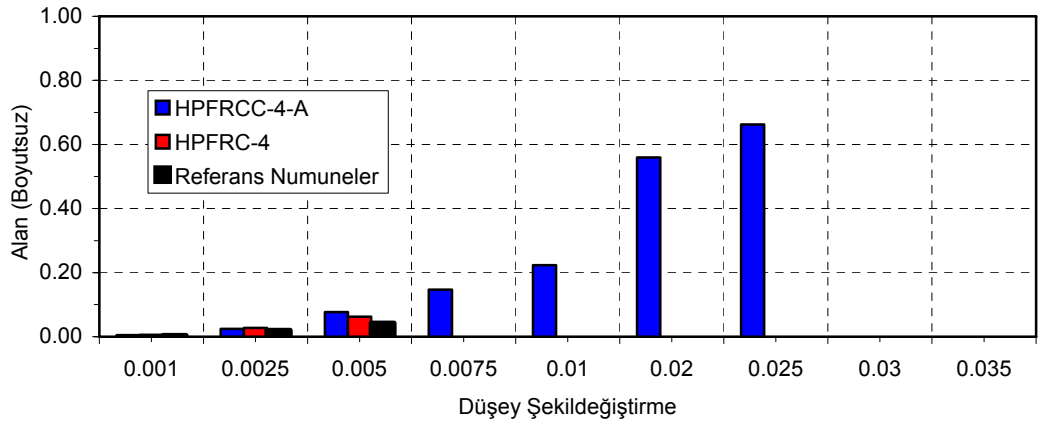
Şekil 5.44: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi



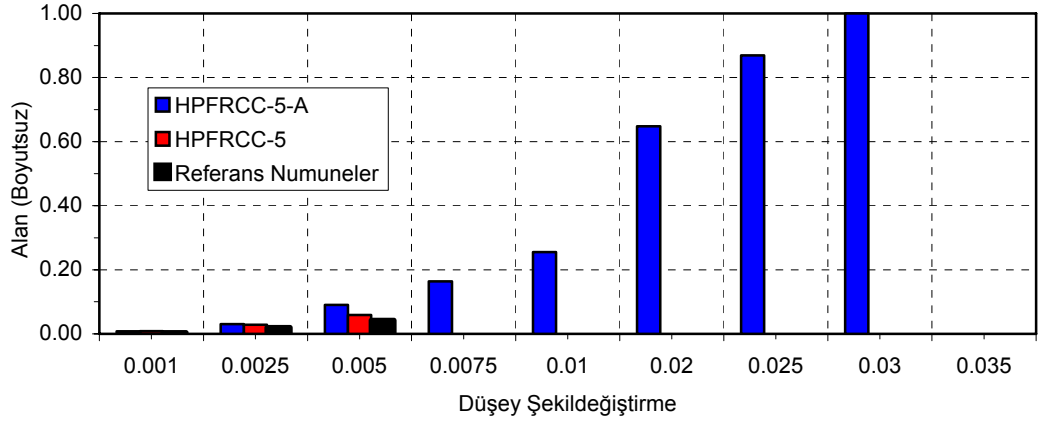
Şekil 5.45: Ankraj Uygulamasının Düsey Yük-Düsey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi



Şekil 5.46: Ankraj Uygulamasının Düsey Yük-Düsey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

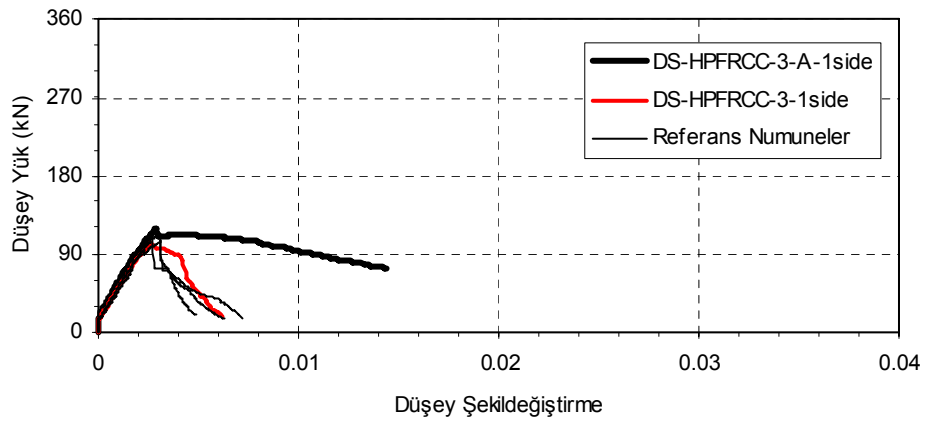


Şekil 5.47: Ankraj Uygulamasının Düsey Yük-Düsey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

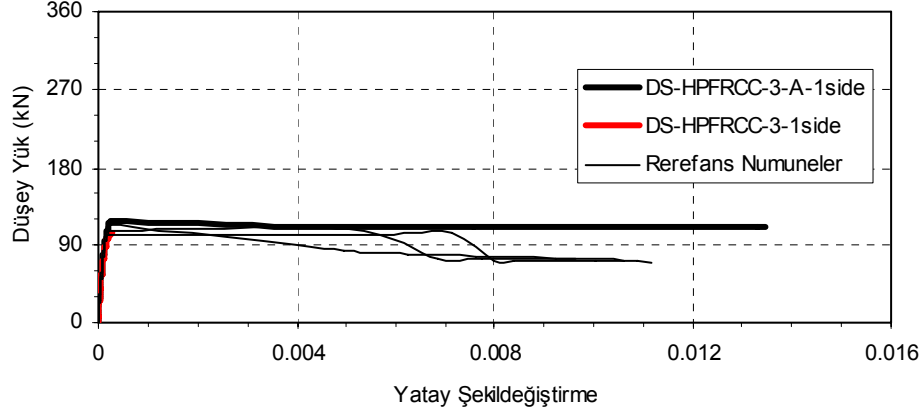


Şekil 5.48: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

- Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulamaları (DS-HPFRCC-3-A-1side ve DS-HPFRCC-3-1side), maksimum yük taşıma kapasitesi, şekildeğiştirme yapabilme yetenekleri ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlar bakımından her iki yüzeye yapılan güçlendirme uygulamaları (DS-HPFRCC-3-A ve DS-HPFRCC-3) kadar etkin olamamıştır, Şekil 5.49, 5.50.



Şekil 5.49: Uygulama Detayının Davranışa Etkisi



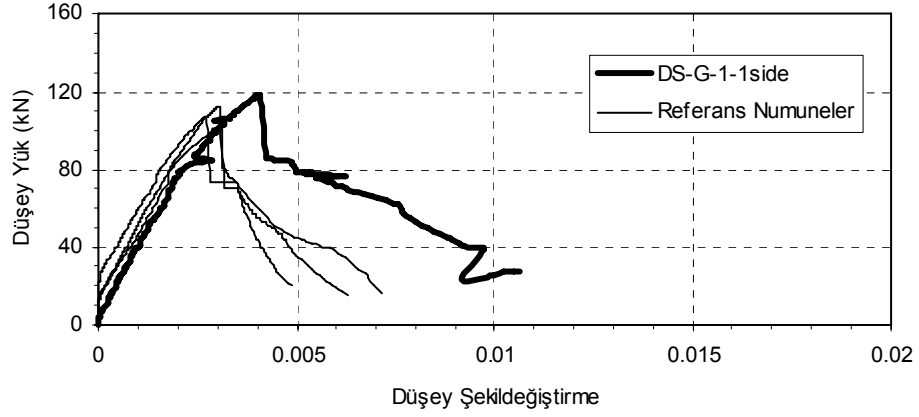
Şekil 5.50: Uygulama Detayının Davranışa Etkisi

5.5 LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları

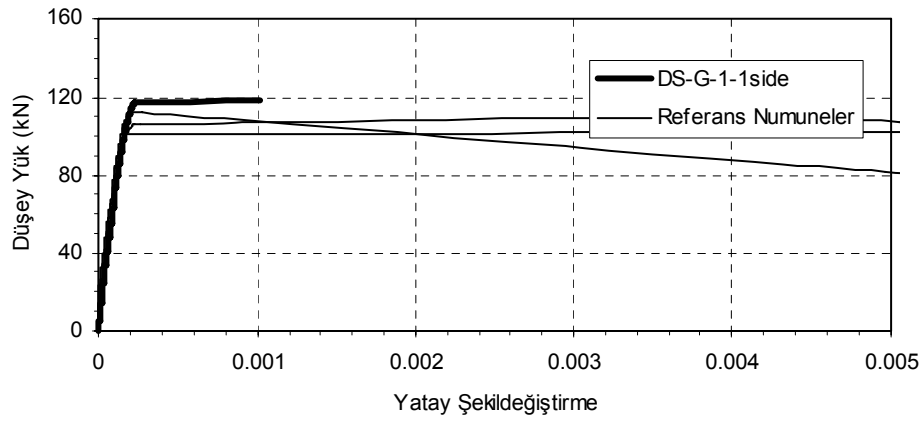
Bu bölümde LP kompozitler ile güçlendirilen elemanların, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkileri ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri verilmiştir. Tüm elemanlarda düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri için, güçlendirilmiş elemanların tüm boyundan (490 mm) elde edilen ortalama yerdeğiştirme değerleri, düşey yük-yatay şekildeğiştirme eğrileri için ise güçlendirilmiş elemanların her iki yüzeyinde bulunan şekildeğiştirmeölçerlerden elde edilen ortalama şekildeğiştirme değerleri gözönüne alınmıştır.

5.5.1 DS-G-1-1 side

Bir kat cam lifli polimerle tek yüzeyi güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.51 ve 5.52’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 118.5 kN’dur ve bu değere 0.0041 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0106 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.04 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.51: DS-G-1-1side Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.52: DS-G-1-1side Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

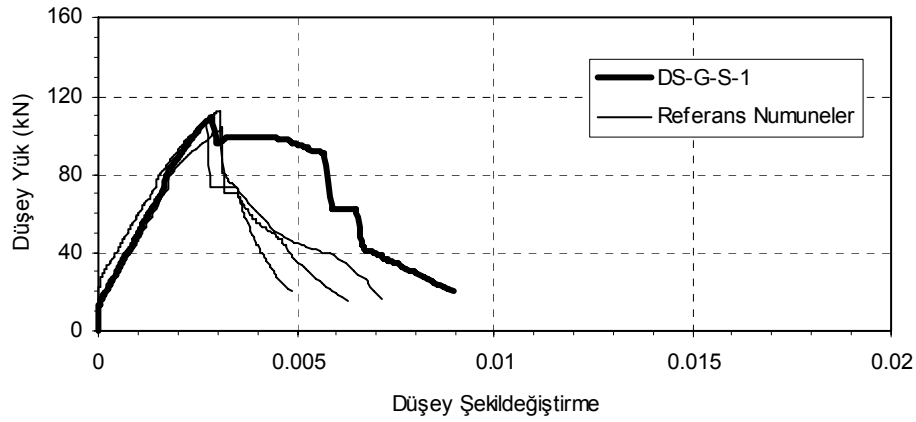
Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 114 kN ve 0.004 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde, LP ile güçlendirilmemiş yüzeyde meydana gelmiştir. Deney sonunda LP ile güçlendirilen yüzeyde LP tabakası ile numune arasında herhangi bir ayrılma olmamış, bu yüzeyde hasar oluşmamıştır. Hasar, güçlendirilmeyen yüzeyde düşey yönde meydana gelen çatlakta yoğunlaşmıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.53'te verilmiştir.



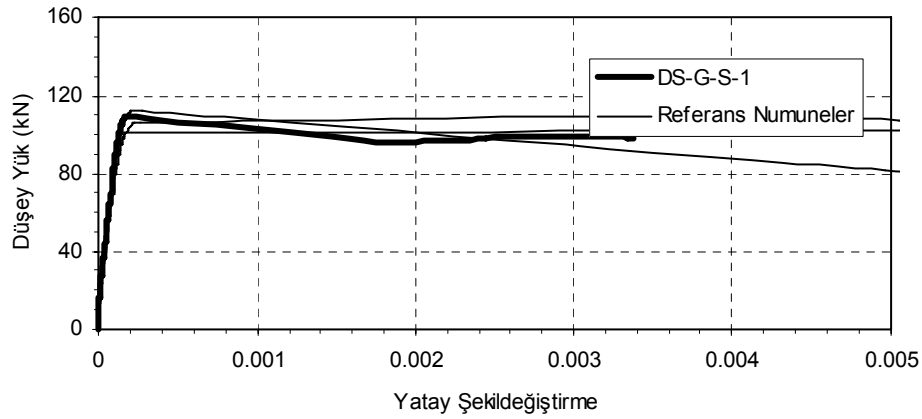
Şekil 5.53: DS-G-1-1side'in Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.5.2 DS-G-S-1

Bir kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanda güçlendirme işlemi 10 cm genişliğinde lifli polimerin numunenin orta bölgesine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.54 ve 5.55'te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 109 kN'dur ve bu değere 0.0028 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0059 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 1.88 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.54: DS-G-S-1 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 5.55: DS-G-S-1 Düşey Yük-Yatay Şekil Değiştirme İlişkisi

Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşmadan, düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 100 kN ve 0.002 düşey şekil değiştirme seviyelerinde, ön yüzeyde, LP ile güçlendirilen orta bölgenin hemen üstünde düşey yönde meydana gelmiştir. Aynı seviyelerde arka yüzeyde de düşey yönde çatlak

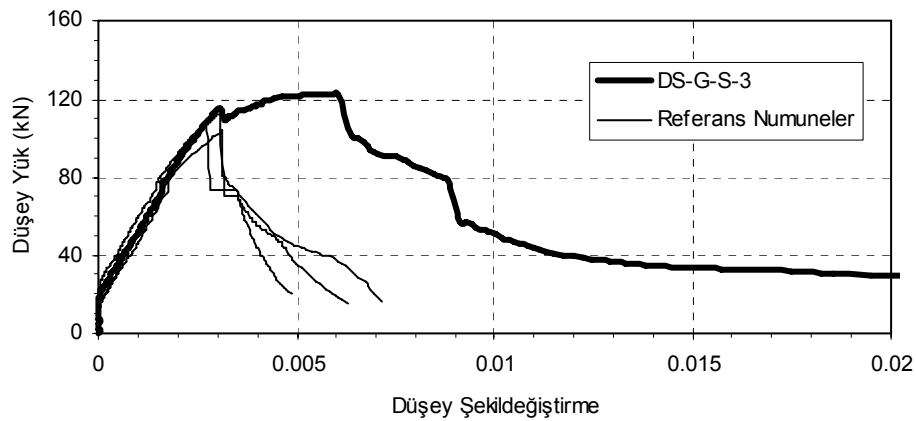
oluşturmuştur. Yükleme düşmeye başladığı seviyelerde çatlaklar LP tabakalarına ulaşmış ve tabakalar her iki yüzeyde de beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.56’da verilmiştir.



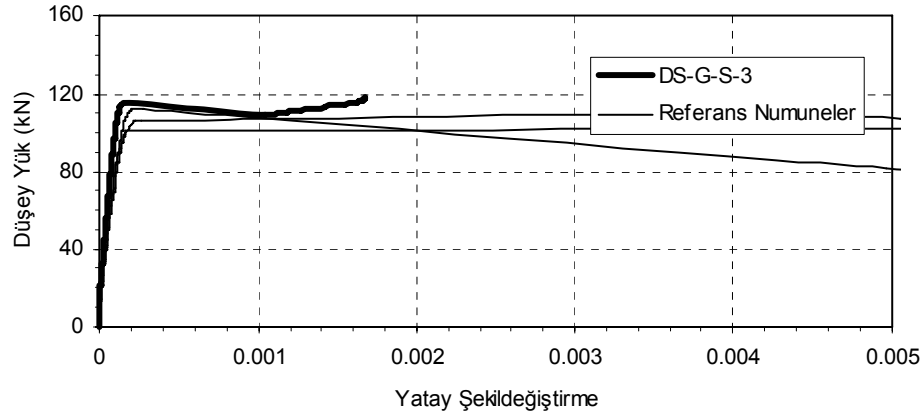
Şekil 5.56: DS-G-S-1’in Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.5.3 DS-G-S-3

Üç kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanda güçlendirme işlemi 10 cm genişliğinde polimerin numunenin orta bölgesine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.57 ve 5.58’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 123 kN’dur ve bu değere 0.0060 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0358 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.12 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.57: DS-G-S-3 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 5.58: DS-G-S-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşılmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 115 kN yük ve 0.005 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde ön yüzeyde meydana gelmiştir. 100 kN yük ve 0.006 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, LP tabakalar her iki yüzeyde de beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.59’da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ayrılma, LP tabakalarının uç bölgelerinde başlamış ve deneyin ilerleyen aşamalarında numunenin orta bölgesine doğru ilerlemiştir.

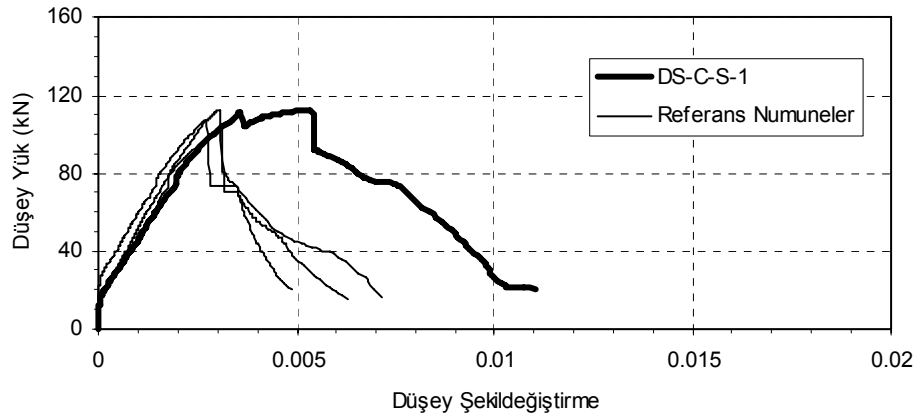


Şekil 5.59: DS-G-S-3’ün Deney Sırasındaki Görünüşleri

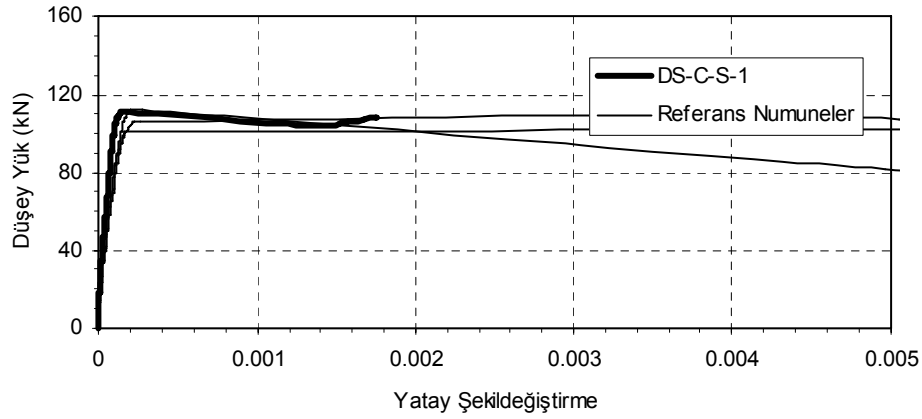
5.5.4 DS-C-S-1

Bir kat karbon lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanda güçlendirme işlemi 10 cm genişliğinde polimerin numunenin orta bölgesine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.60 ve 5.61’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 112 kN’dur ve bu değere 0.0053 düşey şekildeğiştirme

seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0111 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 1.94 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.

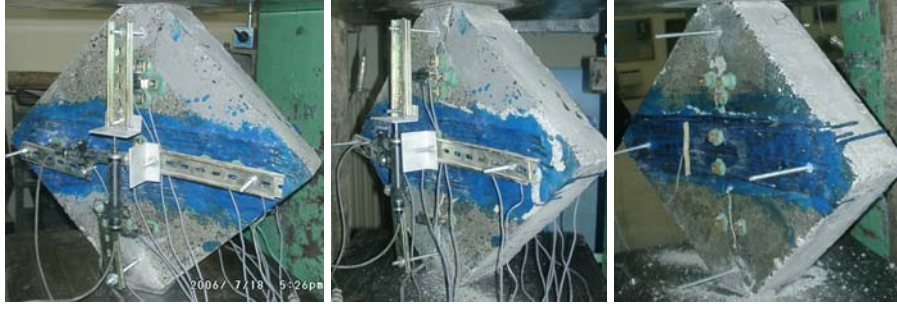


Şekil 5.60: DS-C-S-1 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.61: DS-C-S-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

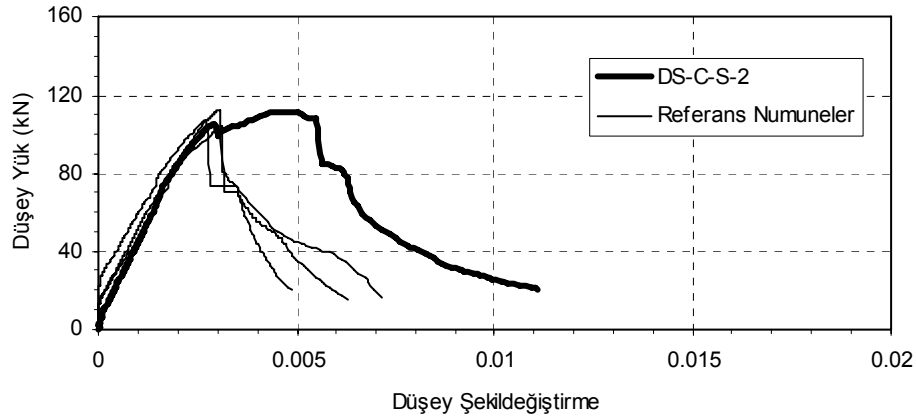
Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşılmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, her iki yüzde birden, 109 kN yük ve 0.002 düşey şekildeğiştirme seviyesinde meydana gelmiştir. Maksimum yük seviyesine ulaşıldığında, LP tabakalar her iki yüzeyde de beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümleri Şekil 5.62'de verilmiştir. Şekil 5.62'den de görüleceği gibi ayrılma, LP tabakalarının uç bölgelerinde başlamış ve deneyin ilerleyen aşamalarında numunenin orta bölgesine doğru ilerlemiştir.



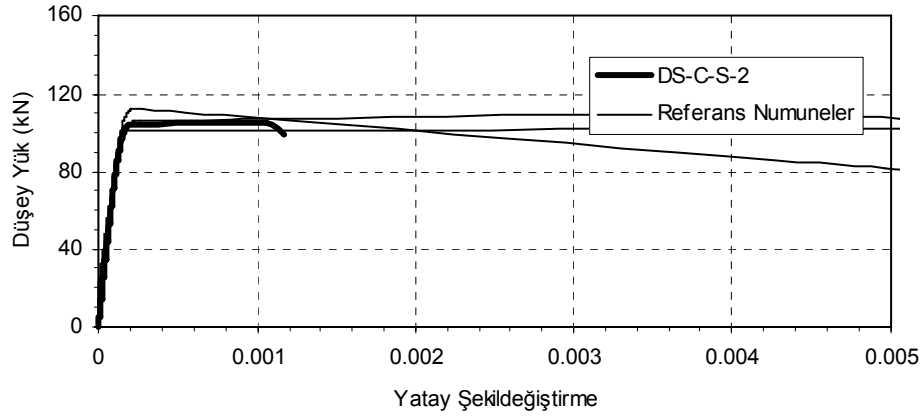
Şekil 5.62: DS-C-S-1'in Deney Sırasındaki Görünümleri

5.5.5 DS-C-S-2

İki kat karbon lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanda güçlendirme işlemi 10 cm genişliğinde polimerin numunenin orta bölgesine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.63 ve 5.64'te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 111 kN'dur ve bu değere 0.0050 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0111 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 1.95 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.63: DS-C-S-2 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 5.64: DS-C-S-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

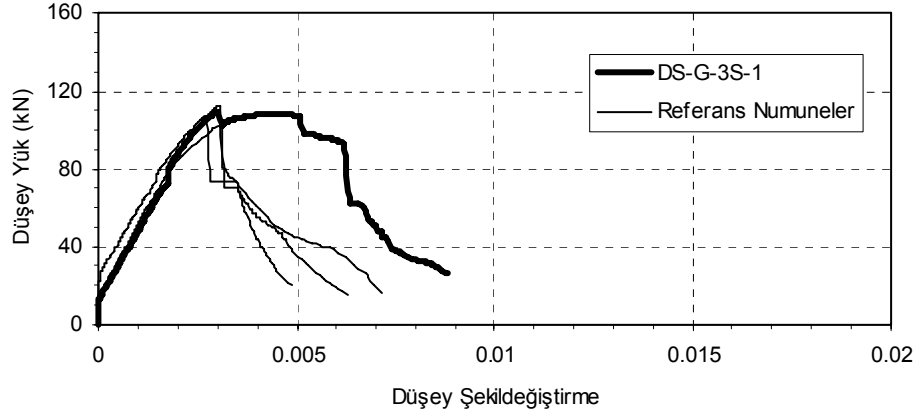
Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 104 kN yük ve 0.003 düşey şekildeğiştirme seviyesinde meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümleri Şekil 5.65’te verilmiştir.



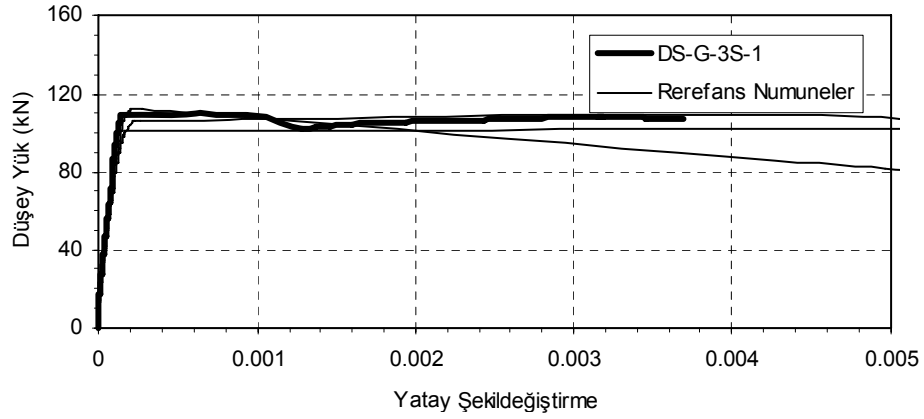
Şekil 5.65: DS-C-S-2’nin Deney Sırasındaki Görünümleri

5.5.6 DS-G-3S-1

Bir kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanda güçlendirme işlemi gerekli uzunluklarda 5 cm genişliğinde polimerin numunenin üst, orta ve alt bölgelerine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.66 ve 5.67’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 109.5 kN’dur ve bu değere 0.0030 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0088 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 1.90 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.66: DS-G-3S-1 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.67: DS-G-3S-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

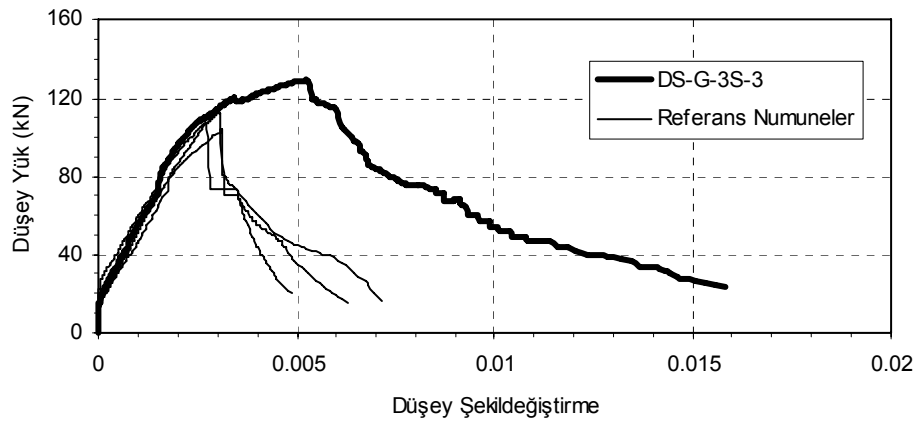
Deney sırasında ilk çatlak, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, her iki yüzde birden, 105 kN yük ve 0.002 düşey şekildeğiştirme seviyesinde meydana gelmiştir. Eğrinin düşen kolunda, 105 kN yük ve 0.0033 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, ön yüzde, üst ve alt şeritlerdeki LP tabakaları beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Numunenin arka yüzeyinde bulunan LP tabakalarında herhangi bir ayrılma olmamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünümü Şekil 5.68’de verilmiştir.



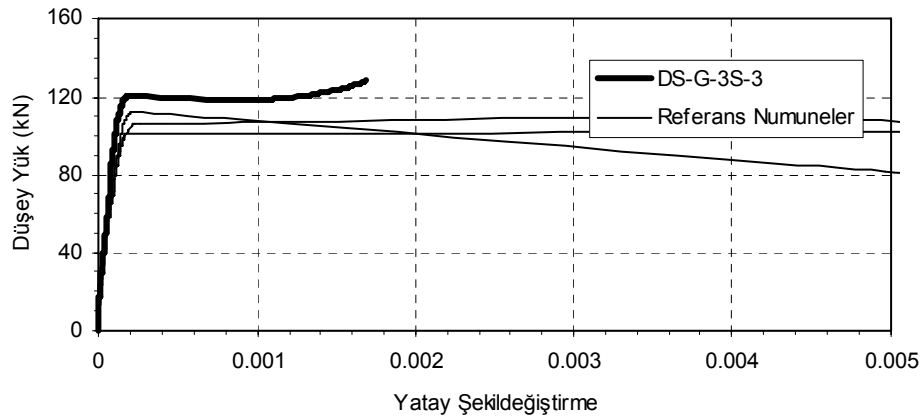
Şekil 5.68: DS-G-3S-1’in Deney Sırasındaki Görünümleri

5.5.7 DS-G-3S-3

Üç kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanda güçlendirme işlemi gerekli uzunluklarda 5 cm genişliğinde polimerlerin numunenin üst, orta ve alt bölgelerine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.69 ve 5.70’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 128.5 kN’dur ve bu değere 0.0053 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0158 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.22 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



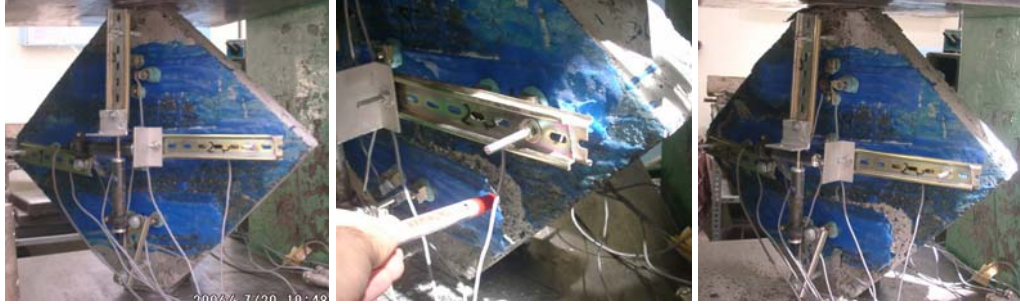
Şekil 5.69: DS-G-3S-3 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 5.70: DS-G-3S-3 Düşey Yük-Yatay Şekil Değiştirme İlişkisi

Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşmadan, düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisinin çıkan kolunda, her iki yüzde birden, 105 kN yük ve 0.0025 düşey şekil değiştirme seviyesinde meydana gelmiştir. Eğrinin düşen kolunda, ön yüzde, üst ve alt şeritlerdeki LP tabakaları beton tabakasının ince bir bölümünü

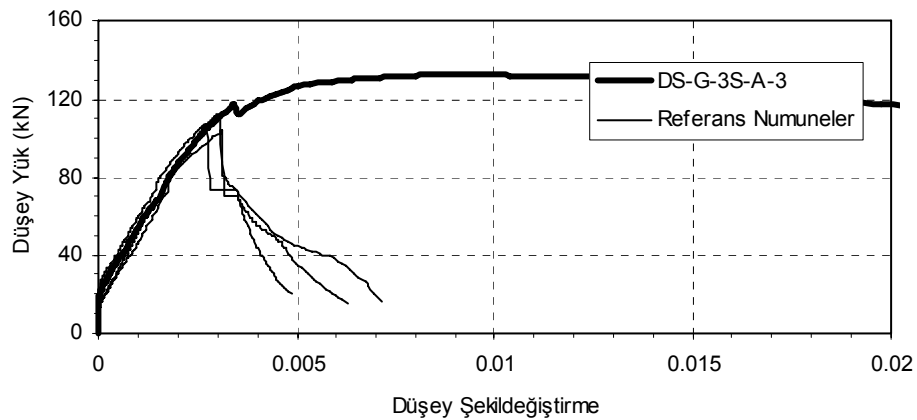
olarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Deneyin ilerleyen aşamalarında hasar bu yüzeyde yoğunlaşmış, numunenin arka kısmında bulunan LP tabakalarında herhangi bir ayrılma olmamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.71’de verilmiştir.



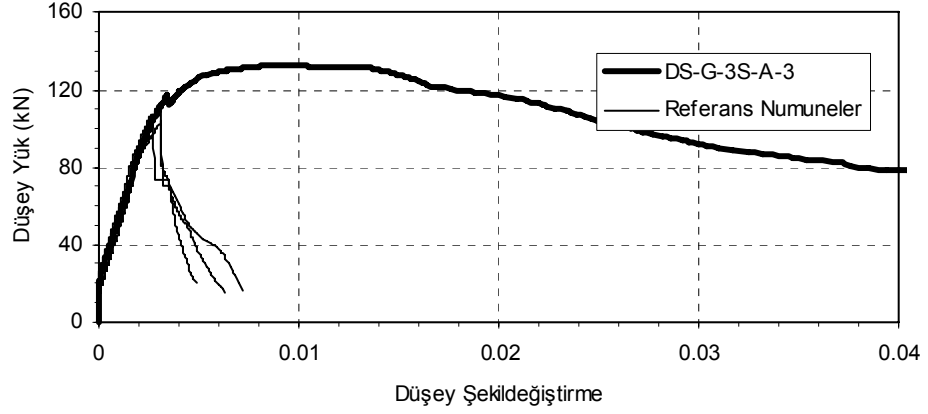
Şekil 5.71: DS-G-3S-3’ün Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.5.8 DS-G-3S-A-3

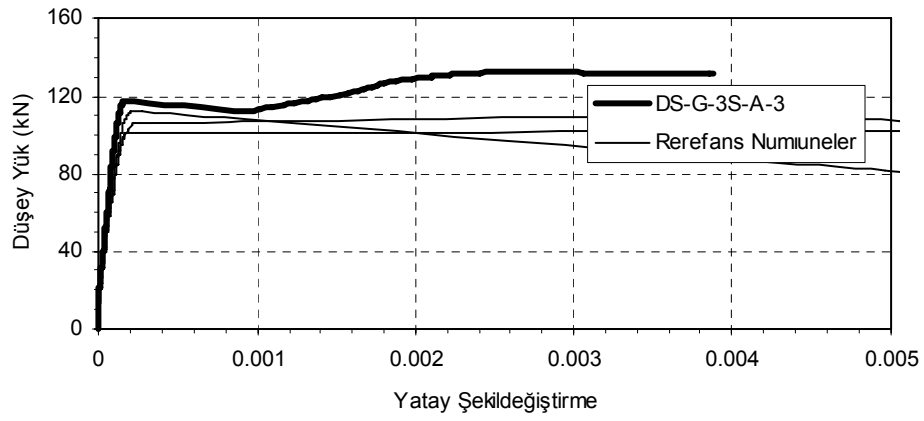
Üç kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanda güçlendirme işlemi gerekli uzunluklarda 5 cm genişliğinde polimerin numunenin üst, orta ve alt bölgelerine yapıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Yapıştırma işleminden 2 gün sonra ankraj uygulaması yapılmıştır. Bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.72, 5.73 ve 5.74’te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 132.5 kN’dur ve bu değere 0.0101 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0422 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.28 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.72: DS-G-3S-A-3 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi

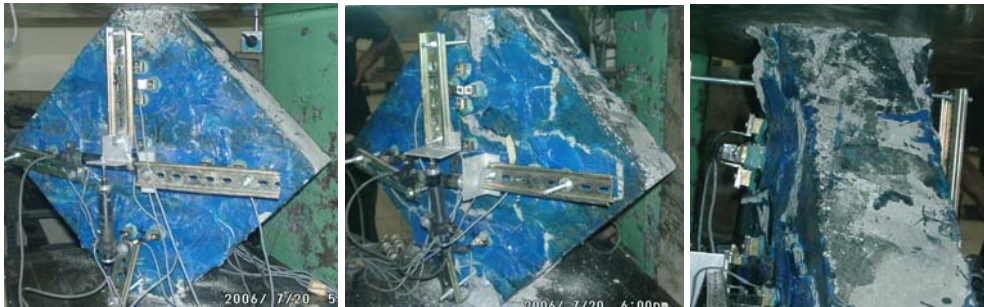


Şekil 5.73: DS-G-3S-A-3 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.74: DS-G-3S-A-3 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

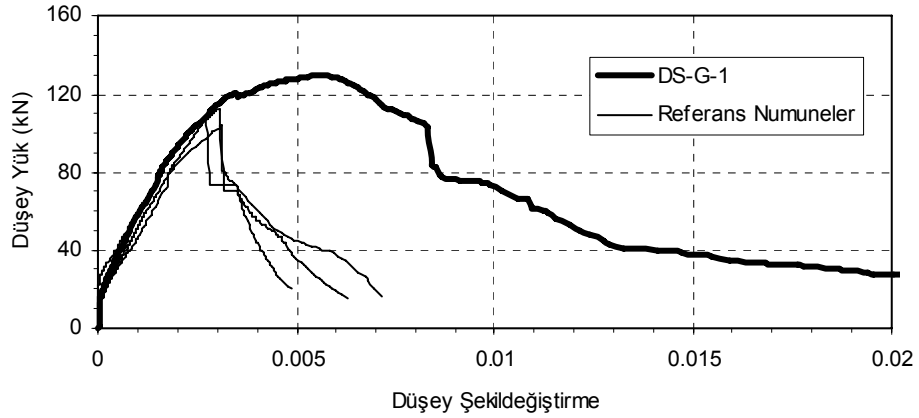
Deney sırasında ilk çatlak, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 117 kN yük ve 0.004 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde meydana gelmiştir. Maksimum yük seviyesine ulaşıldığında LP tabakaları beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Fakat bu ayrılma, ankrajların etkisiyle, diğer numunelere kıyasla çok az miktarda gerçekleşmiştir. Deneyin ilerleyen aşamalarında numunenin başlık kısımlarındaki beton ezilmiş ve göçme modu bu şekilde gerçekleşmiştir. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görüntüleri Şekil 5.75'te verilmiştir.



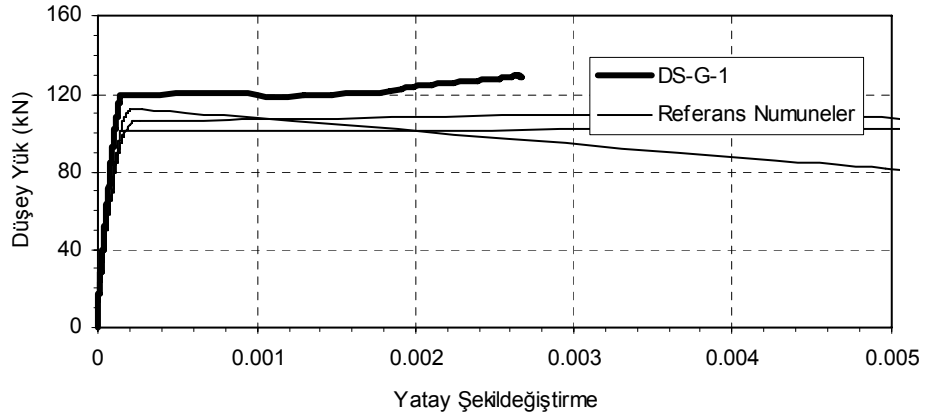
Şekil 5.75: DS-G-3S-A-3'ün Deney Sırasındaki Görünümleri

5.5.9 DS-G-1

Bir kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.76 ve 5.77’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 129.5 kN’dur ve bu değere 0.0057 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0256 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.22 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.76: DS-G-1 Düşey Yük-Düşey Şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 5.77: DS-G-1 Düşey Yük-Yatay Şekil değiştirme ilişkisi

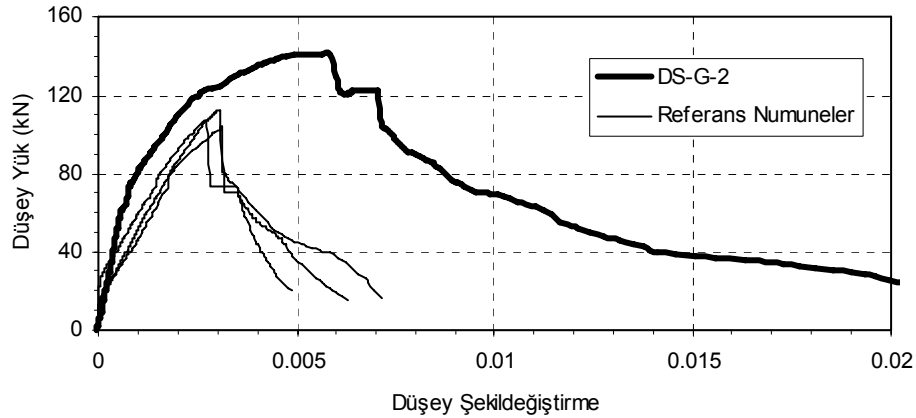
Deney sırasında, düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisinin düşen kolunda, 110 kN ve 0.0075 düşey şekil değiştirme seviyelerinde, LP tabakaları her iki yüzeyde de beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.78’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, deneyin ilerleyen aşamalarında her iki yüzeydeki hasar giderek artmıştır.



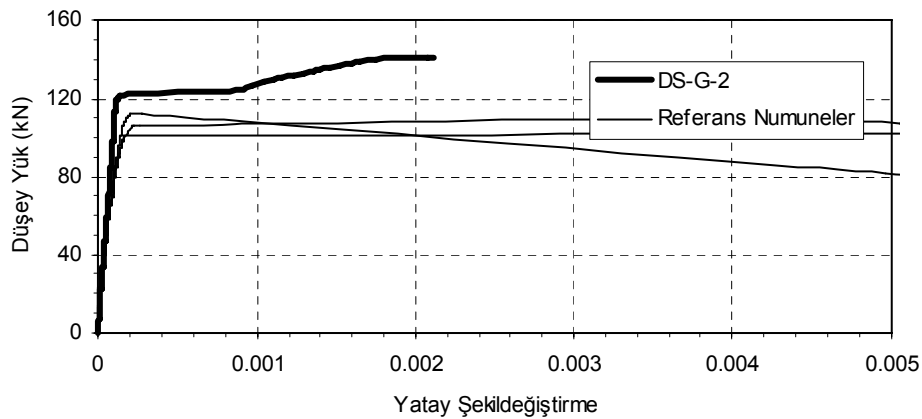
Şekil 5.78: DS-G-1'in Deney Sırasındaki Görünümleri

5.5.10 -DS-G-2

İki kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.79 ve 5.80'de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 141 kN'dur ve bu değere 0.0058 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0246 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.37 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.79: DS-G-2 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 5.80: DS-G-2 Düşey Yük-Yatay Şekil Değiştirme İlişkisi

Deney sırasında, düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisinin düşen kolunda, 121 kN ve 0.007 düşey şekil değiştirme seviyelerinde, LP tabakaları arka yüzeyde beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.81’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, deneyin ilerleyen aşamalarında her iki yüzeydeki hasar giderek artmıştır.



Şekil 5.81: DS-G-2’nin Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.5.11 DS-G-A-2

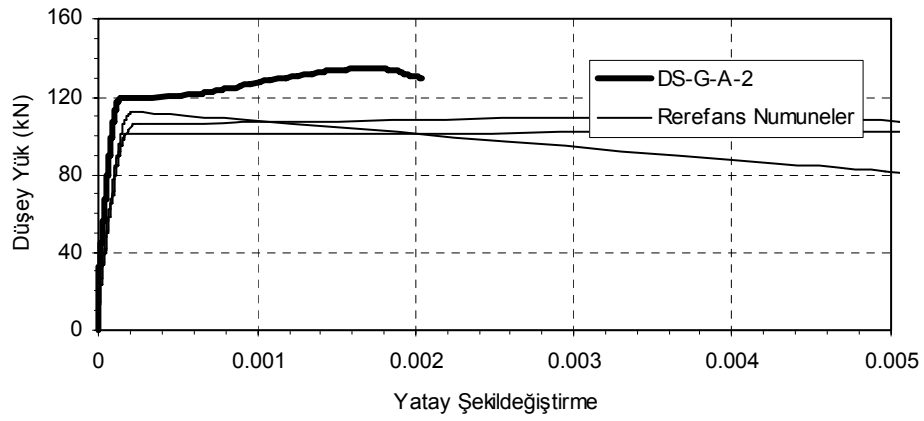
İki kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş ve ankraj uygulanmış bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.82, 5.83 ve 5.84’te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 134.5 kN’dur ve bu değere 0.0062 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0488 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.25 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.82: DS-G-A-2 Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 5.83: DS-G-A-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.84: DS-G-A-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

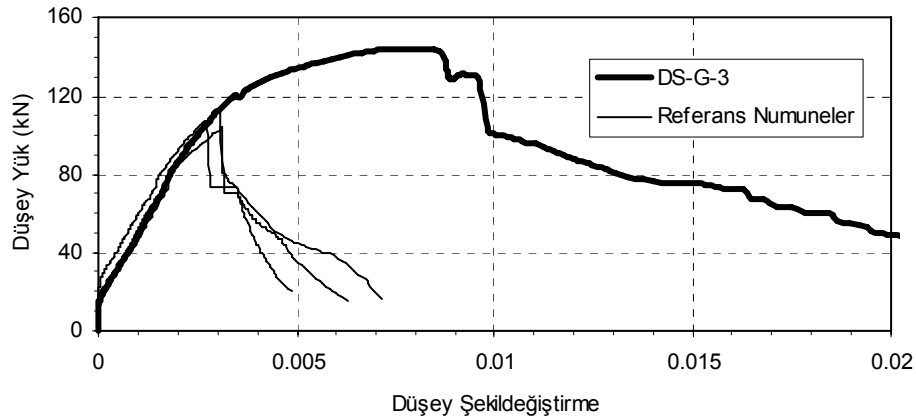
Deney sırasında, maksimum yük seviyesine ulaşıldığı seviyelerde betonun alt ve üst başlıklarında ezilme meydana gelmiştir. Deneyin ilerleyen aşamalarında başlık bölgesindeki betonun iyice ezilmesi sonucu LP tabakası bükülmüş ve beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.85’te verilmiştir.



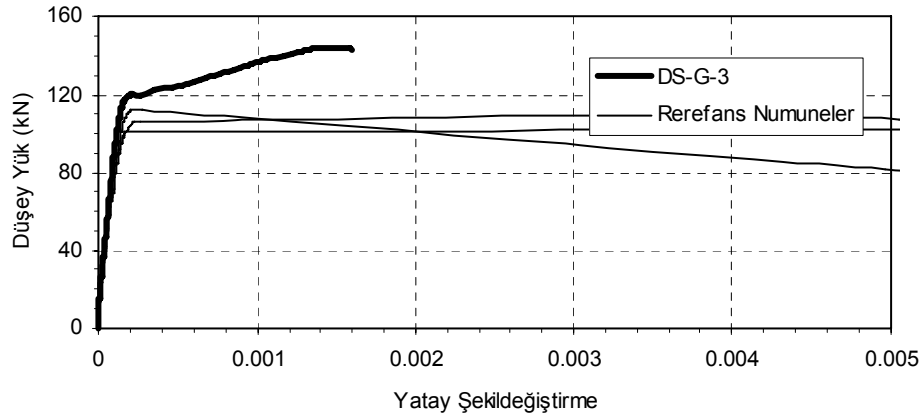
Şekil 5.85: DS-G-A-2’nin Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.5.12 -DS-G-3

Üç kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.86 ve 5.87’de verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 144 kN’dur ve bu değere 0.0084 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0281 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.46 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.86: DS-G-3 Düşey Yük-Düşey Şekil değiştirme ilişkisi



Şekil 5.87: DS-G-3 Düşey Yük-Yatay Şekil değiştirme ilişkisi

Deney sırasında, maksimum yük seviyesine ulaşıldığı seviyelerde betonun alt ve üst başlıklarında ezilme meydana gelmiştir. Her iki başlık bölgesinde, LP tabakalara paralel biçimde çatlaklar oluşmuştur. Düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisinin düşen kolunda, 102 kN ve 0.009 düşey şekil değiştirme seviyelerinde, LP tabakaları her iki yüzeyde de beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya

başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.88’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, deneyin ilerleyen aşamalarında her iki yüzeydeki hasar giderek artmıştır.



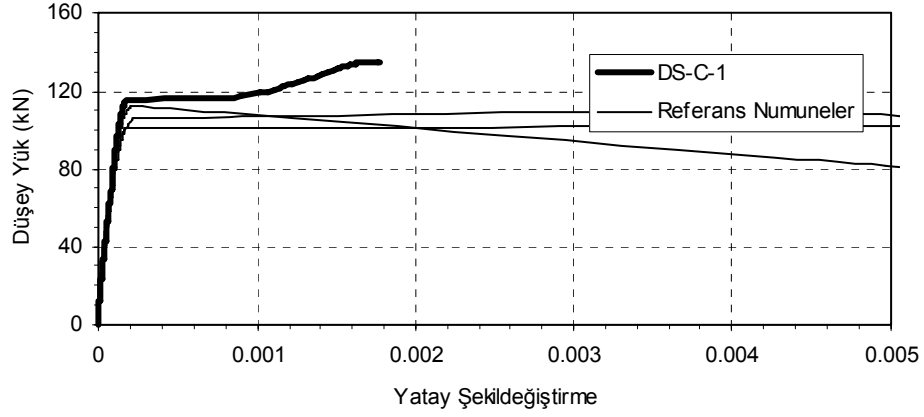
Şekil 5.88: DS-G-3’ün Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.5.13 -DS-C-1

Bir kat karbon lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildegıştırme ve düşey yük-yatay şekildegıştırme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.89 ve 5.90’da verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 135.5 kN’dur ve bu değere 0.0060 düşey şekildegıştırme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0192 düşey şekildegıştırme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.34 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.89: DS-C-1 Düşey Yük-Düşey Şekildegıştırme İlişkisi



Şekil 5.90: DS-C-1 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

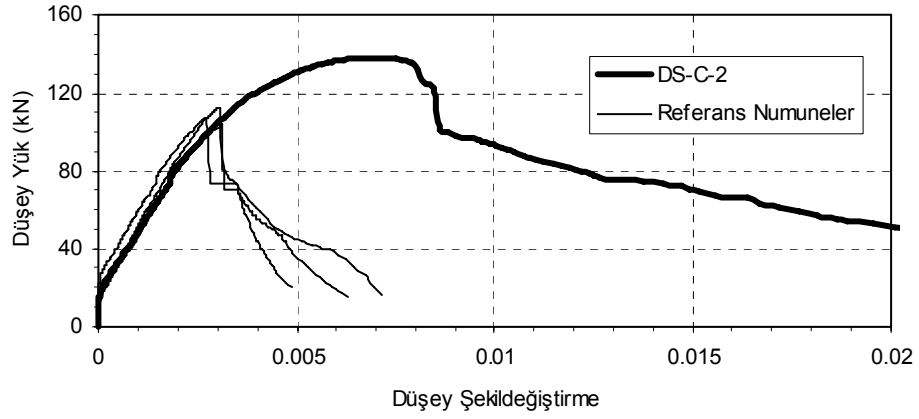
Deney sırasında, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 135 kN ve 0.0060 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde, LP tabakaları her iki yüzeyde de beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.91’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, deneyin ilerleyen aşamalarında her iki yüzeydeki hasar giderek artmıştır.



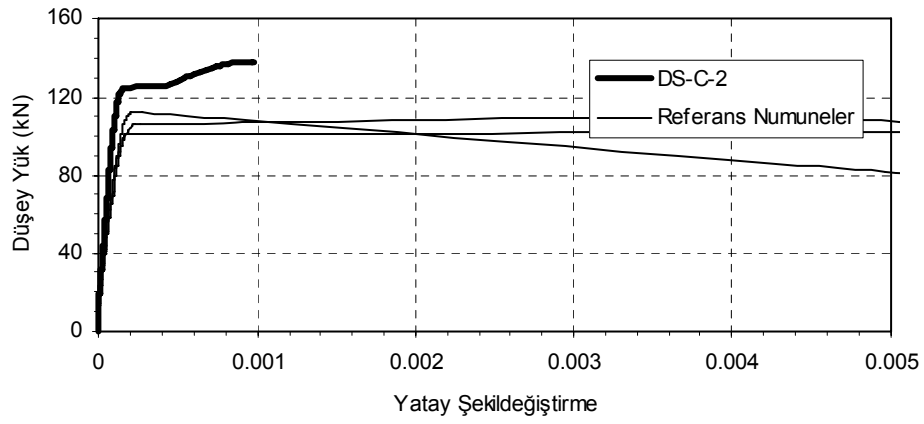
Şekil 5.91: DS-C-1’in Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.5.14 DS-C-2

İki kat karbon lifli polimerle güçlendirilmiş bu elemanın, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 5.92 ve 5.93’te verilmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 138 kN’dur ve bu değere 0.0075 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0421 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 2.35 MPa’lık kesme dayanımına ulaşmıştır.



Şekil 5.92: DS-C-2 Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 5.93: DS-C-2 Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deney sırasında, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin çıkan kolunda, 137 kN ve 0.007 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde, LP tabakaları her iki yüzeyde de beton tabakasının ince bir bölümünü alarak numuneden ayrılmaya başlamıştır. Güçlendirilmiş elemanın deney sırasındaki görünüşleri Şekil 5.94'te verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, deneyin ilerleyen aşamalarında her iki yüzeydeki hasar giderek artmıştır.



Şekil 5.94: DS-C-2'nin Deney Sırasındaki Görünüşleri

5.6 LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Çalışma kapsamında denenen elemanlara ait değişkenlerin, deney sonuçlarına olan etkisinin belirlenmesi için bu bölümde karşılaştırma grafikleri sunulmuştur. Güçlendirilen elemanlara ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme grafikleri, çalışma kapsamında incelenen değişkenlere göre, üst üste çizilerek verilmiştir. Düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkileri altında kalan alanlar da yine karşılaştırmalı olarak verilmiş, elde edilen alan değerleri en büyük alan değerine bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır. LP kompozitler ile güçlendirilen elemanlarda incelenen değişkenler:

- LP Kompozit Türü [Karbon / Cam]
- LP Kompozit Kat Sayısı [1 / 2 / 3]
- Uygulama Detayı [Tek Yüzeye / İki Yüzeye]
- Uygulama Şekli [Tüm Yüzeye / Şerit / 3 Şerit]
- Ankraj Uygulanması [Var / Yok]

LP kompozitler ile güçlendirilen elemanların deney sonuçları özeti, Tablo 5.6'da sunulmuştur. Bu tabloda; j , deney günündeki beton yaşı; f'_{cj} , deney gününe ait standart silindirik beton basınç dayanımını; $f'_{cj(0.85)}$ bu değer 0.85'ini; P_{max} , deneyde ulaşılan maksimum yükü; τ_{max} , maksimum yüke karşı gelen kesme dayanımını simgelemektedir.

Tablo 5.6: LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Deney Sonuçları Özeti

Eleman İsmi	j (Gün)	f'_{cj} (MPa)	$f'_{cj(0.85)}$ (MPa)	P_{max} (kN)	τ_{max} (MPa)	K.D.A. %
DS-O-a	140	~8	6.8	104.0	1.73	-
DS-O-b	141	~8	6.8	112.5	1.86	-
DS-O-c	149	~8	6.8	107.0	1.83	-
DS-G-1	142	~8	6.8	129.5	2.20	23
DS-G-2	147	~8	6.8	141.0	2.37	31
DS-G-3	143	~8	6.8	144.0	2.46	36
DS-C-1	146	~8	6.8	135.5	2.34	29
DS-C-2	146	~8	6.8	138.0	2.35	30
DS-G-A-2	143	~8	6.8	134.5	2.25	24
DS-G-1-1 side	148	~8	6.8	118.5	2.04	13
DS-G-S-1	141	~8	6.8	109.0	1.88	4
DS-G-S-3	147	~8	6.8	123.0	2.12	17
DS-C-S-1	140	~8	6.8	112.0	1.94	7
DS-C-S-2	142	~8	6.8	111.0	1.95	8
DS-G-3S-1	141	~8	6.8	109.5	1.90	5
DS-G-3S-3	142	~8	6.8	128.5	2.22	23
DS-G-3S-A-3	142	~8	6.8	132.5	2.28	26

K.D.A. : Kesme Dayanımı Artışı (%)

LP kompozitler ile güçlendirilen elemanların şekildeğiştirme değerleri, Tablo 5.7’de sunulmuştur. Bu tabloda; $\epsilon_{c,(f_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinde maksimum yük seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; $\epsilon_{c,(0.85f_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol

üzerinde maksimum yükün 0.85'i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini; μ , sünekliği ($\epsilon_{c,(0.85f_{co})} / \epsilon_{c,(f_{co})}$) simgelemektedir.

Tablo 5.7: LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Şekildeğiştirme Değerleri

Eleman İsmi	$\epsilon_{c,(f_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.85f_{co})}$	μ	S.A. %
DS-O-a	0.0031	0.0032	1.01	-
DS-O-b	0.0030	0.0031	1.01	-
DS-O-c	0.0027	0.0028	1.02	-
DS-G-1	0.0057	0.0076	1.33	32
DS-G-2	0.0058	0.0071	1.21	20
DS-G-3	0.0084	0.0096	1.14	13
DS-C-1	0.0061	0.0073	1.44	43
DS-C-2	0.0075	0.0085	1.13	12
DS-G-A-2	0.0062	0.0095	1.53	51
DS-G-1-1 side	0.0041	0.0043	1.05	4
DS-G-S-1	0.0029	0.0056	1.94	92
DS-G-S-3	0.0060	0.0064	1.05	4
DS-C-S-1	0.0053	0.0054	1.03	2
DS-C-S-2	0.0050	0.0055	1.10	9
DS-G-3S-1	0.0030	0.0062	2.05	103
DS-G-3S-3	0.0053	0.0060	1.14	13
DS-G-3S-A-3	0.0101	0.0222	2.20	118

S.A. : Süneklik Artışı (%)

LP kompozitler ile güçlendirilen elemanların düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin altında kalan alanlar, Tablo 5.8’de sunulmuştur. Bu tabloda; $\epsilon_{c,(0.5f_{co})}$, ilgili elemanın düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.5’i seviyesine karşılık gelen düşey şekildeğiştirme değerini simgelemektedir.

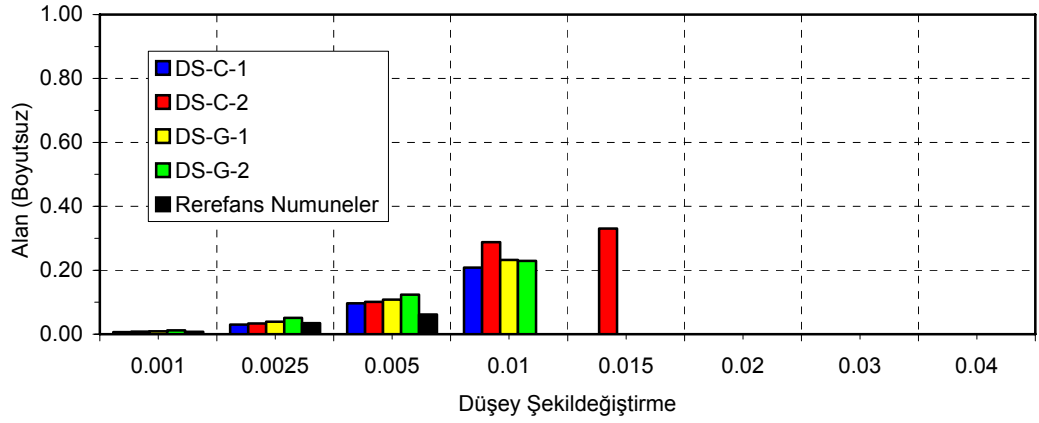
Tablo 5.8: LP Kompozitler İle Güçlendirilen Elemanların Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanlar (kN mm/mm)

Eleman İsmi	$\epsilon_c=0.001$	$\epsilon_c=0.0025$	$\epsilon_c=0.005$	$\epsilon_c=0.010$	$\epsilon_{c,(0.5f_{co})}$
DS-O-a	0.03	0.15	0.32	-	0.27
DS-O-b	0.03	0.15	0.29	-	0.25
DS-O-c	0.04	0.18	0.34	-	0.30
DS-G-1	0.04	0.017	0.48	1.03	1.03
DS-G-2	0.05	0.022	0.57	1.06	1.01
DS-G-3	0.03	0.015	0.49	1.15	1.58
DS-C-1	0.03	0.13	0.43	0.98	0.92
DS-C-2	0.03	0.15	0.45	1.07	1.46
DS-G-A-2	0.06	0.23	0.58	1.20	1.78
DS-G-1-1 side	0.02	0.12	0.38	0.66	0.54
DS-G-S-1	0.03	0.15	0.40	0.59	0.51
DS-G-S-3	0.04	0.15	0.47	0.90	0.84
DS-C-S-1	0.03	0.14	0.41	0.75	0.68
DS-C-S-2	0.03	0.14	0.41	0.68	0.56
DS-G-3S-1	0.03	0.15	0.42	0.64	0.56
DS-G-3S-3	0.04	0.17	0.49	0.89	0.84
DS-G-3S-A-3	0.04	0.16	0.49	1.16	4.42

- Kullanılan kompozit türünün, elemanların davranışına etkisini incelemek amacıyla, farklı numunelere aynı güçlendirme detayları uygulanmıştır. Cam veya karbon lifli kompozitler ile güçlendirilen elemanlardan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, maksimum yük taşıma kapasitelerinin birbirine yakın olduğu ve karbon lifli kompozitlerle güçlendirilen elemanların şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinin cam lifli kompozitlerle güçlendirilen elemanlara göre daha iyi olduğu görülmüştür, Şekil 5.95, 5.96, 5.97.

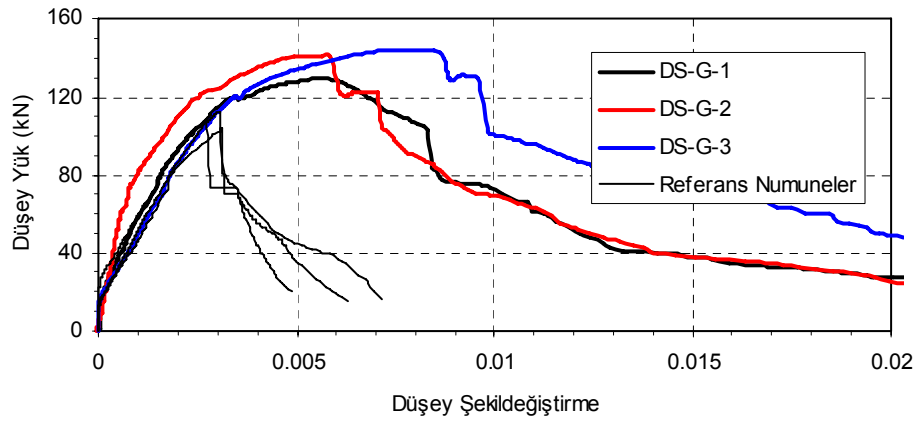
Şekil 5.95: Kullanılan Kompozit Türünün Davranışa Etkisi

Şekil 5.96: Kullanılan Kompozit Türünün Davranışa Etkisi

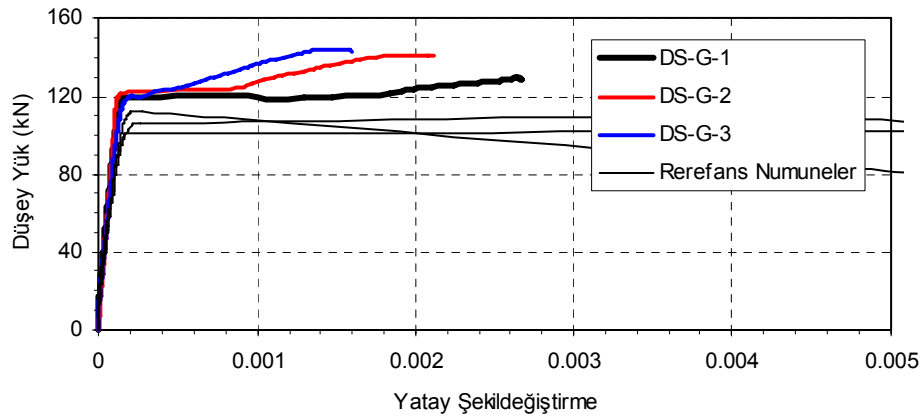


Şekil 5.97: LP Kompozit Türünün Düsey Yük-Düsey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

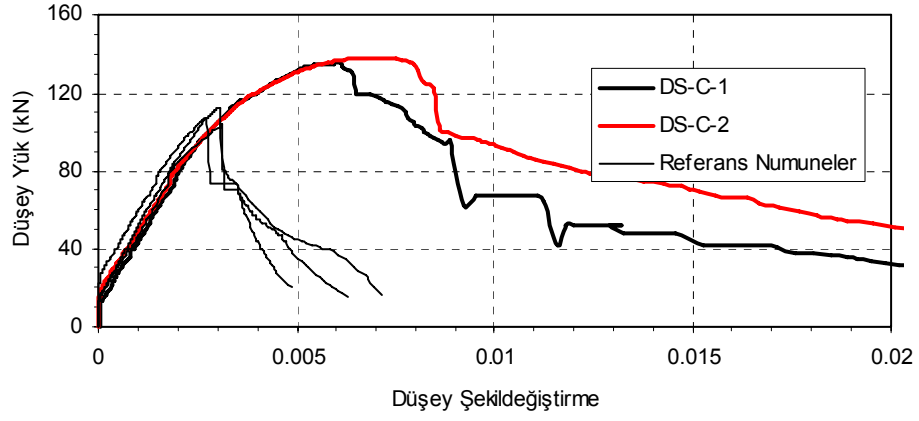
- Her iki yüzeye ve numunenin tüm yüzeyine yapılan güçlendirme uygulamalarında, kompozit türünden bağımsız olarak beton elemanların kesme dayanımında ve şekildeğiştirme yapabilme yeteneğinde etkin bir artış sağlanmıştır. Kompozitin bir kat yerine iki kat veya üç kat uygulanması, kesme dayanımında etkin bir değişime sebep olmamıştır, Şekil 5.98, 5.99, 5.100, 5.101, 5.102, 5.103.



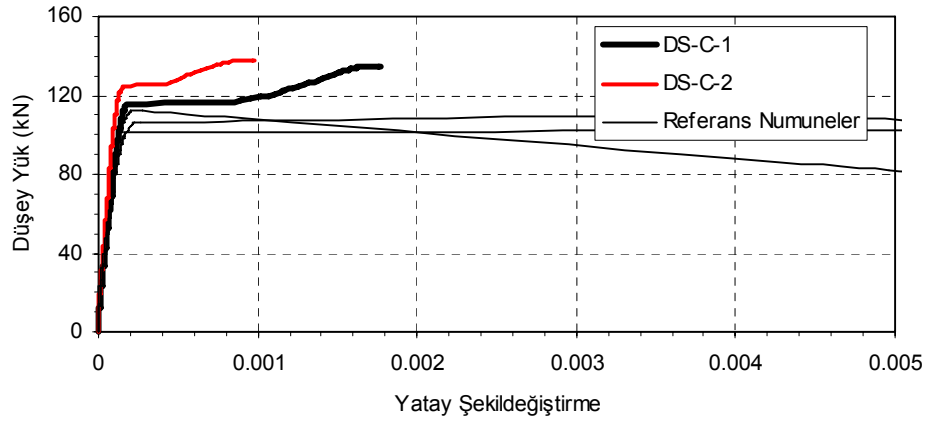
Şekil 5.98: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi



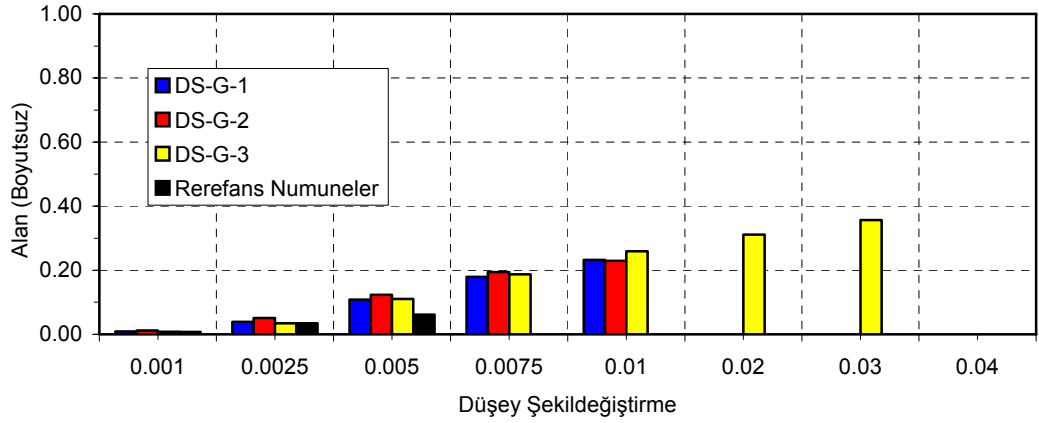
Şekil 5.99: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi



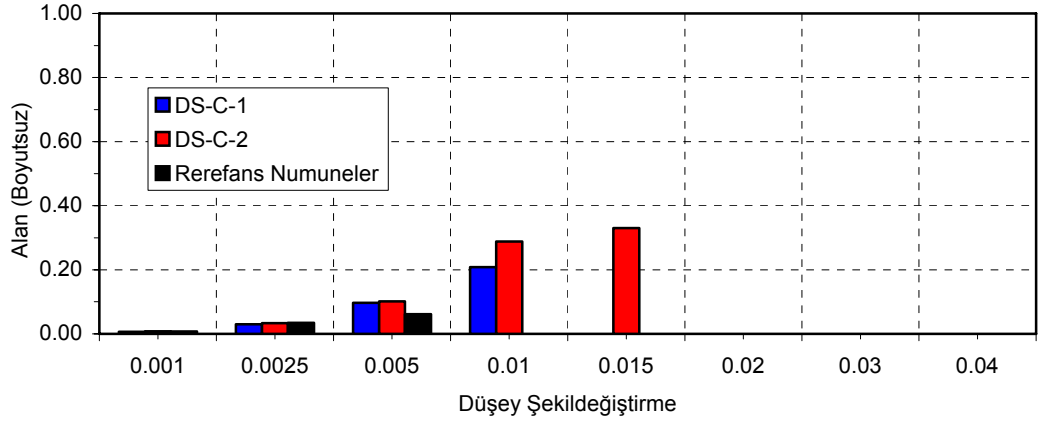
Şekil 5.100: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi



Şekil 5.101: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi

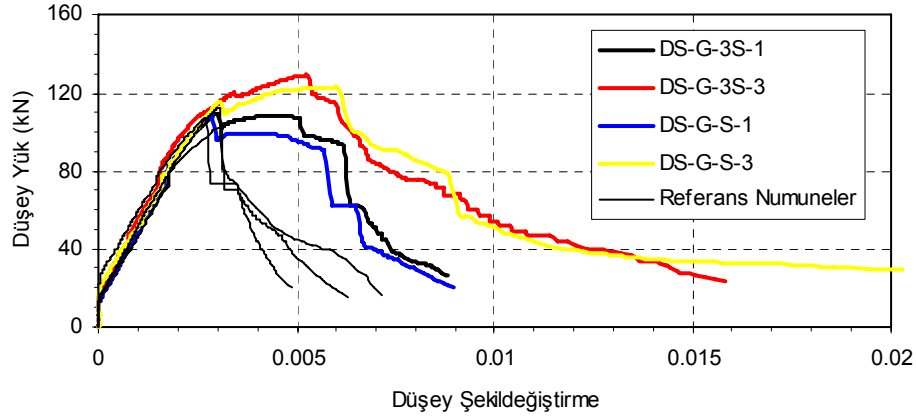


Şekil 5.102: LP Kompozit Kat Sayısının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi
Altında Kalan Alana Etkisi

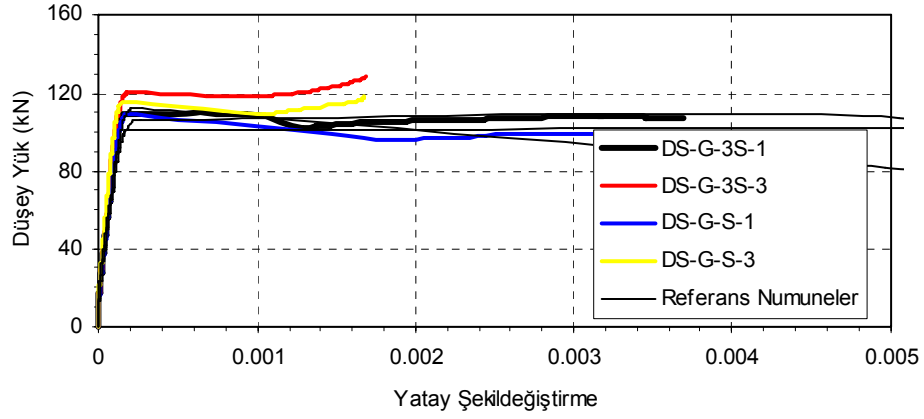


Şekil 5.103: LP Kompozit Kat Sayısının Düsey Yük-Düsey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

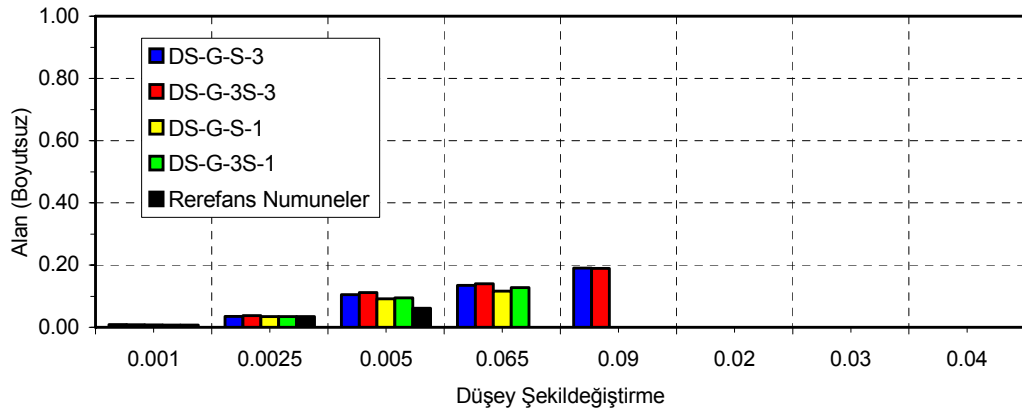
- Aynı miktarda kompozit malzeme, şerit veya 3 şerit halinde elemanlara uygulanarak, uygulama şeklinin elemanların davranışına etkisi incelenmiştir. Bunun sonucunda, aynı miktarda kompozit malzemenin farklı biçimlerde uygulanmasıyla elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Her iki uygulamada da kompozitlerin birer kat yerine üçer kat uygulanması, elemanların kesme dayanımı ve şekildeğiştirme yapabilme yeteneğini daha da iyileştirilmiştir, Şekil 5.104, 5.105, 5.106.



Şekil 5.104: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi

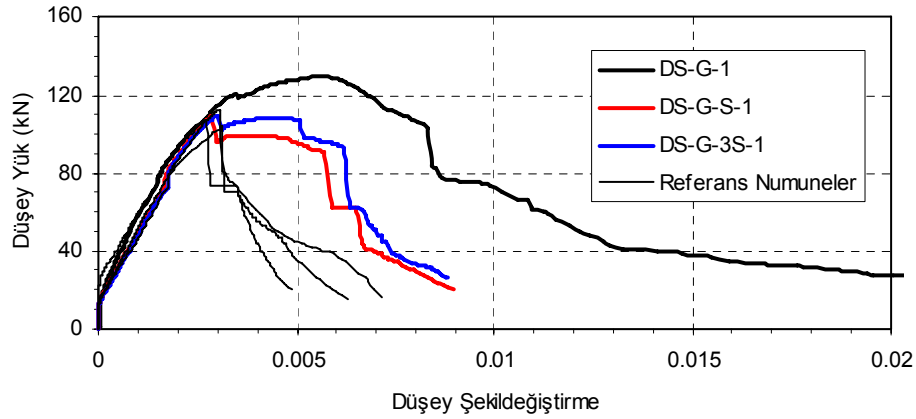


Şekil 5.105: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi

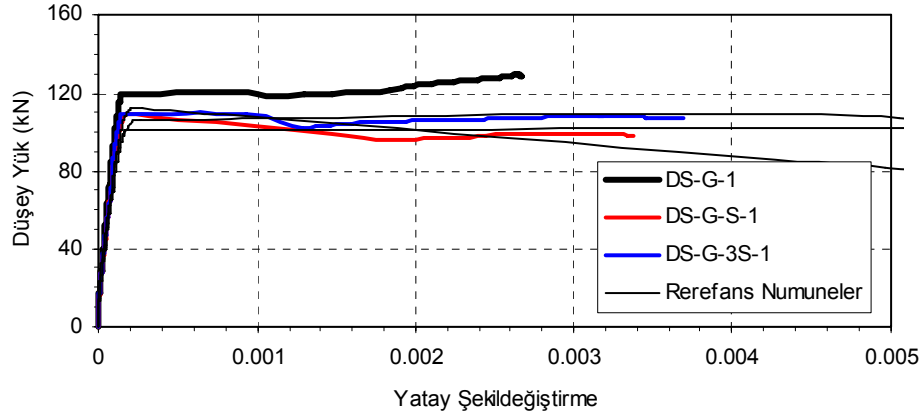


Şekil 5.106: Uygulama Şeklinin Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

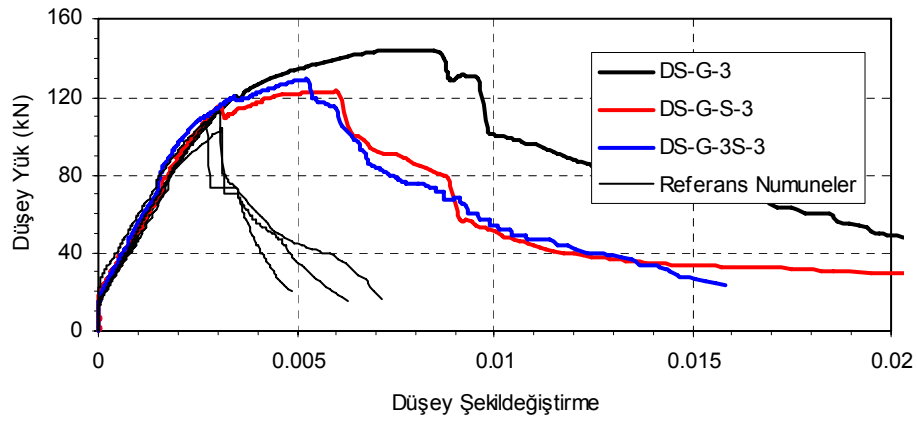
- Şerit veya 3 şerit şeklinde yapılan güçlendirme uygulamaları, maksimum yük taşıma kapasitesi ve şekildeğiştirme yapabilme yeteneği bakımından tüm yüzeye yapılan güçlendirme uygulaması kadar etkin olamamıştır, Şekil 5.107, 5.108, 5.109, 5.110.



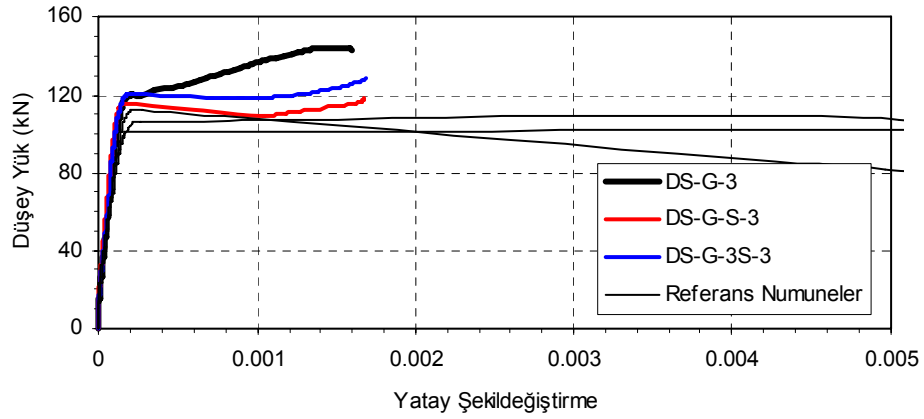
Şekil 5.107: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi



Şekil 5.108: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi

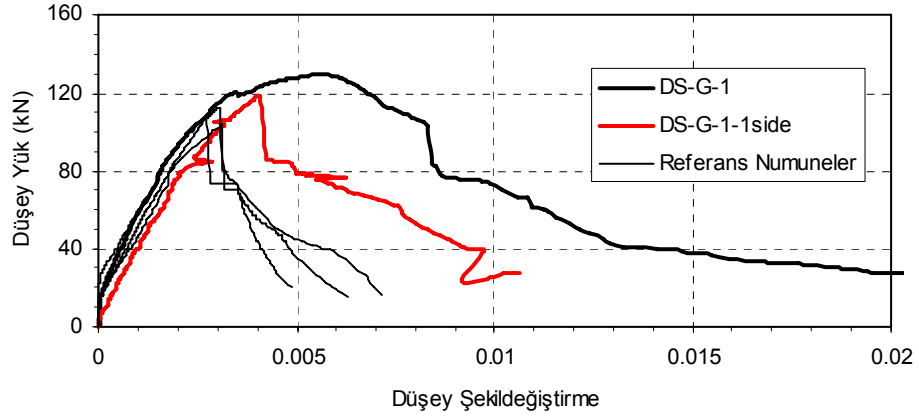


Şekil 5.109: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi

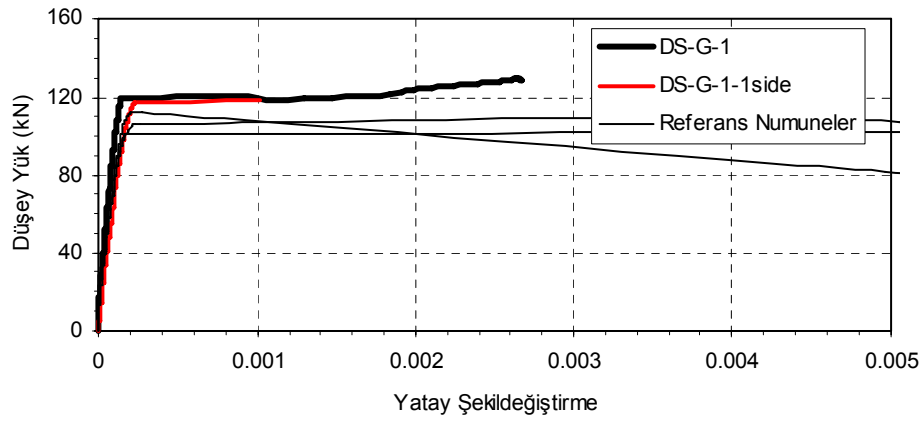


Şekil 5.110: Uygulama Şeklinin Davranışa Etkisi

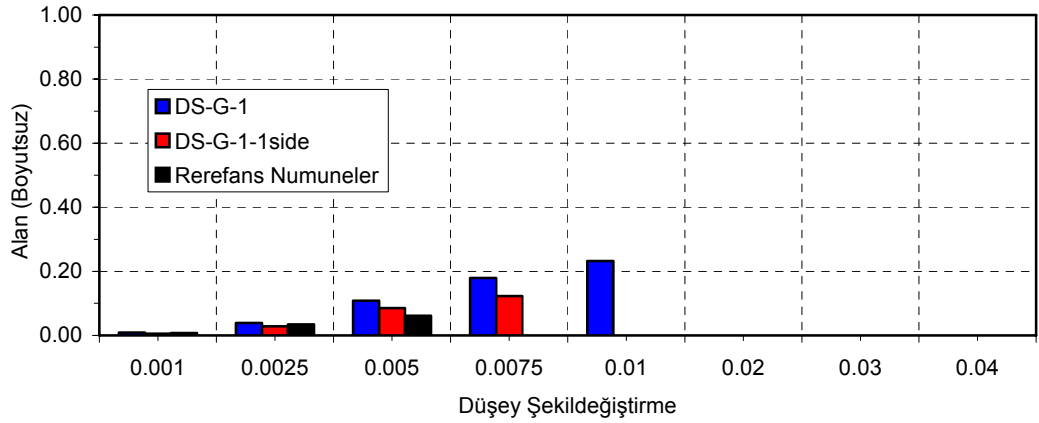
- Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulaması, her iki yüzeye yapılan güçlendirme uygulaması kadar etkin olamamıştır. Bu uygulama sonucunda kesme dayanımında önemli bir artış sağlanamamış, fakat şekildeğiştirme yapabilme yeteneğinde iyileşme sağlanmıştır, Şekil 5.111, 5.112, 5.113.



Şekil 5.111: Uygulama Detayının Davranış Etkisi



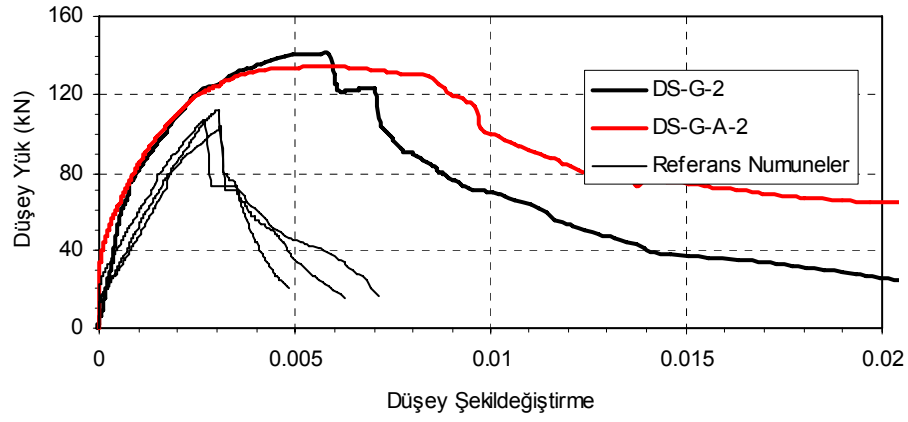
Şekil 5.112: Uygulama Detayının Davranış Etkisi



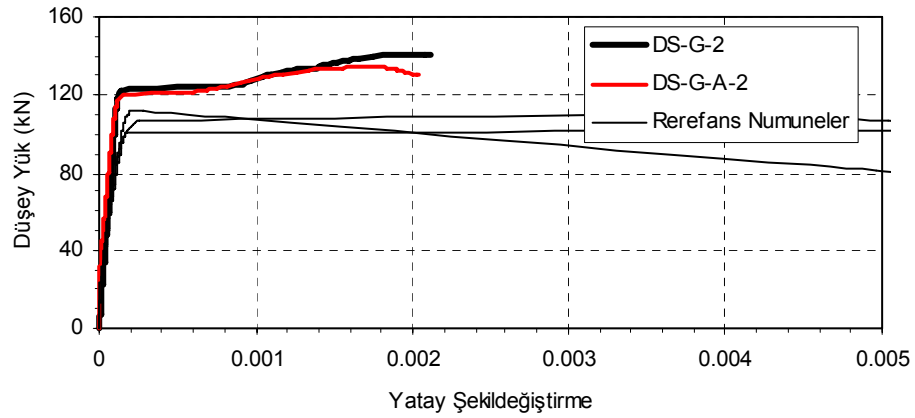
Şekil 5.113: Uygulama Detayının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

- DS-G-A-2 ve DS-G-3S-A-3 numunelerinde kullanılan ankrajlar, elemanların davranışını olumlu yönde etkilemiştir. Bu elemanlar, özellikle şekildeğiştirme yapabilme yeteneği açısından ankraj uygulanmayan elemanlara göre daha iyi

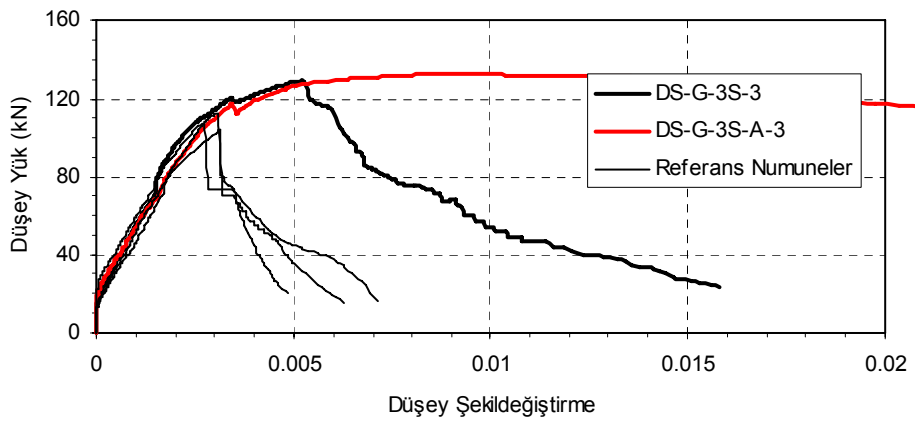
davranmıştır. Kullanılan ankrajlar, LP kompozitlerin numune yüzeyinden kolayca sıyrılmasını engellemiş, her iki numune de göçme modu betonun ezilmesi şeklinde gerçekleşmiştir, Şekil 5.114, 5.115, 5.116, 5.117, 5.118, 5.119.



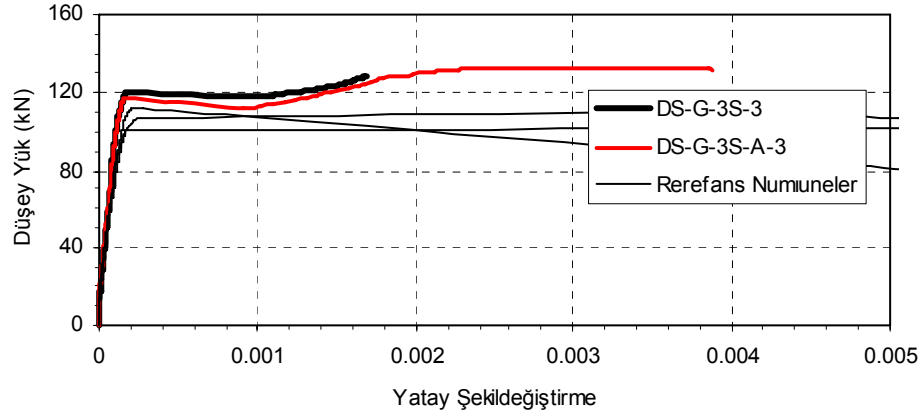
Şekil 5.114: Ankraj Uygulamasının Davranış Etkisi



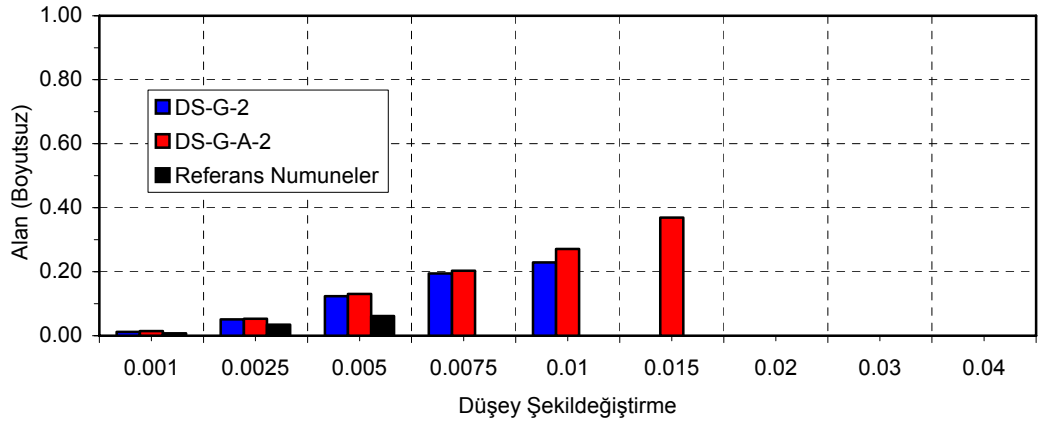
Şekil 5.115: Ankraj Uygulamasının Davranış Etkisi



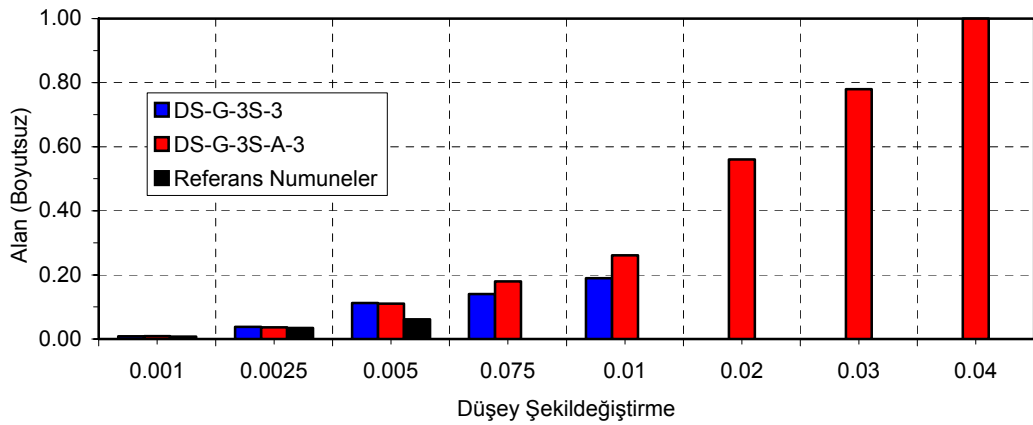
Şekil 5.116: Ankraj Uygulamasının Davranış Etkisi



Şekil 5.117: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi



Şekil 5.118: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi



Şekil 5.119: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

6. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada; yetersiz beton basınç dayanıma sahip 400x400x100 mm boyutlarına sahip 27 beton eleman; iki farklı güçlendirme tekniği uygulanarak güçlendirilmiş ve monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir. Güçlendirme yöntemlerinin ilkinde, hacimce %4 çelik lif oranına sahip öndöküm HPFRCC paneller üretilmiş ve numunelere yapıştırılmıştır. HPFRCC paneller ile güçlendirilen numunelerde, HPFRCC panel kalınlığı ve güçlendirme panellerinin mevcut betona ankrajı çalışmada incelenen başlıca değişkenlerdir. Güçlendirme yöntemlerinin ikincisinde, karbon veya cam LP kompozitler, belirlenen detaylara göre numunelere yapıştırılmıştır. LP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde ise, kullanılan kompozit türü, kat sayısı, uygulama detayları (kompozitin tek veya her iki yüzeye uygulanması) ve şekilleri (kompozitin tüm yüzeye veya yüzeyin bir bölümüne uygulanması) ile kompozitlerin mevcut betona ankrajı çalışmada incelenen başlıca değişkenlerdir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen önemli sonuçlar şöyledir:

- Referans elemanlardan elde edilen sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Bu durum, kullanılan deney ve yükleme düzenekleri ile sağlıklı veri toplandığını ve elemanların üretiminde gerekli özenin gösterildiğini işaret etmektedir.
- Uygulanan güçlendirme yöntemleri, beton elemanların davranışını önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu iyileşmenin; kesme dayanımında, şekildeğiştirme yapabilme yeteneğinde, göçme biçiminde ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi altında kalan alanda gerçekleştiği gözlenmiştir.

Öndöküm HPFRCC paneller ile güçlendirilen elemanlara ait sonuçlar şöyledir:

- Her iki yüzeyine öndöküm HPFRCC panel yapıştırılarak güçlendirilen ve ankraj uygulanmayan elemanların, referans elemanlara göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde %28-51, şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinde %2-7 ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlarda

%110-266 oranlarında artış sağlanmıştır. Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulamasında ise bu artışlar sırasıyla; %1, %56 ve %48'dir.

- Her iki yüzeyine öndöküm HPFRCC panel yapıştırılarak güçlendirilen ve ankraj uygulanan elemanların, referans elemanlara göre maksimum yük taşıma kapasitelerinde %62-205, şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinde %14-123 ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlarda %1900-3200 oranlarında artış sağlanmıştır. Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulamasında ise bu artışlar sırasıyla; %9, %186 ve %400'dür. Güçlendirme panel kalınlıkları arttıkça, maksimum yük taşıma kapasitelerinin ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanların sürekli arttığı görülmüştür.
- Öndöküm HPFRCC panellerle güçlendirilen elemanlarda, panellerin mevcut betona ankraji, davranışı olumlu yönden etkilemiş, ankraj uygulanmayan elemanların tümünde paneller beton tabakasının ince bir bölümünü alarak betondan sıyrılmış, ankraj uygulanan elemanlarda ise paneller ile beton arasında herhangi bir ayrılma olmamıştır. Ankraj uygulaması, elemanların maksimum yük taşıma kapasitelerinde, şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinde ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlarda, ankraj uygulanmayan elemanlara göre çok daha fazla artış sağlanmıştır.
- Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulamaları (DS-HPFRCC-3-A-1side ve DS-HPFRCC-3-1side), maksimum yük taşıma kapasitesi, şekildeğiştirme yapabilme yetenekleri ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanlar bakımından her iki yüzeye yapılan güçlendirme uygulamaları (DS-HPFRCC-3-A ve DS-HPFRCC-3) kadar etkin olamamıştır.
- Öndöküm HPFRCC panellerin kolay uygulanabilir olması, meydana gelebilecek hata olasılığını çok düşük tutmaktadır. Bu yöntemle kolon veya kolon-kiriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi kolaylıkla yapılabilir.

LP kompozitler ile güçlendirilen elemanlara ait sonuçlar şöyledir:

- LP kompozitler ile güçlendirilen elemanlarda, maksimum yük taşıma kapasitesinde %1 ile %34 arasında artış elde edilmiştir.

- Beton kalitesinin düşük olması nedeniyle; göçme modu, elemanların çoğunda LP kompozitin beton tabakasının ince bir bölümünü alarak elemandan ayrılması şeklinde gerçekleşmiştir.
- Her iki yüzeye ve numunenin tüm yüzeyine yapılan güçlendirme uygulamalarında, kompozit türünden bağımsız olarak kesme dayanımında ve şekildeğiştirme yapabilme yeteneğinde etkin bir artış sağlanmıştır. Kompozitin bir kat yerine iki kat veya üç kat uygulanması, maksimum yük taşıma kapasitelerinde etkin bir değişime sebep olmamıştır. Bunun en önemli sebebi beton dayanımını düşük olması ve göçme modunun LP tabakalarının betonun ince bir bölümünü alarak yüzeyden sıyrılmasıdır.
- Aynı miktarda kompozit malzeme, şerit veya 3 şerit halinde elemanlara uygulanarak, uygulama şeklinin elemanların davranışına etkisi incelenmiştir. Bunun sonucunda, aynı miktarda kompozit malzemenin farklı biçimlerde uygulanmasıyla elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bu durumda seçimin uygulama kolaylığı dikkate alınarak yapılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.
- Şerit veya 3 şerit uygulamalarında, kompozitlerin birer kat yerine üçer kat uygulanması, elemanların kesme dayanımı ve şekildeğiştirme yapabilme yeteneğini daha da iyileştirilmiştir.
- Tek yüzeye yapılan güçlendirme uygulaması, her iki yüzeye yapılan güçlendirme uygulaması kadar etkin olamamıştır. Bu uygulama sonucunda kesme dayanımında önemli bir artış sağlanamamış, fakat şekildeğiştirme yapabilme yeteneğinde iyileşme sağlanmıştır. Bu tür güçlendirme uygulamalarında, davranışın daha da iyileştirilmesi için LP kompozitlerin mevcut betona ankrajı yapılabilir.
- DS-G-A-2 ve DS-G-M-A-3 numunelerinde kullanılan ankrajlar, elemanların davranışını olumlu yönde etkilemiştir. Bu elemanlar, özellikle süneklik ve enerji yutma özellikleri açısından ankraj uygulanmayan elemanlara göre daha iyi davranmıştır. Kullanılan ankrajlar nedeniyle LP kompozitler numune yüzeyinden kolayca sıyrılamamış, her iki numunede de göçme modu düşey basınç gerilmeleri altında betonun ezilmesi şeklinde gerçekleşmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [2] **Camlibel, N.**, 2002. Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [3] **Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, N.A., Yerlikaya, M.**, 2004. Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, *Beton 2004 Kongresi*, İstanbul, 10-12 Haziran.
- [4] **Swamy, R.N.**, 1974. The Technology of Steel Fiber Reinforced Concrete for Practical Applications, *Proceedings Institution of Civil Engineers*, pp. 143-159.
- [5] **İlki, A., Akgün, D., Göray, O., Demir, C. and Kumbasar, N.**, 2006. Retrofit of Concrete Members with Externally Bonded Prefabricated SFRCC Jackets, *16th European Conference of Fracture Failure Analysis of Nano and Engineering Materials and Structures, MMCP S.P. Shah – Sessions*, Alexandroupolis, Greece, July 3-7.
- [6] **Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R. and Jin, L.**, 1997. Repair of Earthquake-Damaged RC Columns With FRP Wraps, *ACI Structural Journal*. **91(2)**, 206-215.
- [7] **Seible, F., Priesley, J.N., Hegemier, G.A., and Innamorato, D.**, 1997. Seismic Retrofit of RC Columns With Continuous Carbon Fiber Jackets. *Journal of Composites for Construction*, **1(2)**, 52-62.
- [8] **JCI-DFRCC Committee**, 2003. DFRCC Terminology and Application Concepts, *Journal of Advanced Concrete Technology*, **Vol. 1, No.3**, pp. 335-340.

- [9] **Collins, M.P., Vecchio, F.J. ve Mehlhorn, G.** (1985). An International Competition to Predict the Response of Reinforced Concrete Panels. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 12, pp.624-644.
- [10] **T. Kanakubo, M. Shindo F.** (1997). Shear Behavior of Fiber-Mesh Reinforced Plates, Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures, *Proceedings of the Third International Symposium*, Vol. 2, pp. 317-324.
- [11] **Maruyama, K., Nakai, H., Katsuki, F., and Shimomura, T.**, “Improvement of Shear and Ductility of Reinforced Concrete Columns by Wrapping of Continuous Fiber-Reinforced Polymer Sheet”. *Advanced Composite Materials*, 10, 2-3, 2001, pp 119-126.
- [12] **Harmon, T.G., Gould, N.C., Ramakrishnan, S., and Wang, E.H.**, “Confined Concrete Columns Subjected to Axial Load, Cyclic Shear, and Cyclic Flexure-Part I: Analytical Models”. *ACI Structural Journal*, 99, 1, 2002, pp 32-41.
- [13] **Furuta, T., Kanakubo, T., and Fukuyama, H.**, “Evaluation of Shear Capacity of RC Columns Strengthened by Continuous Fiber”, *Proceedings of Sixth International Symposium on FRP Reinforcement for Concrete Structures*, National University of Singapore, Singapore, 2003, pp 507-516.
- [14] **Ilki, A., Bedirhanoglu, I., Basegmez I.H., Demir, C. and Kumbasar, N.**, “Shear Retrofit of Low Strength Reinforced Concrete Short Columns with GFRP Composites” *Third International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE 2006)*, 2006, Miami, Florida, USA.
- [15] **Gergely, J., Pantalides, C.P. and Reaveley, L.D.**, Shear strengthening of RC T-joints using CFRP composites. *ASCE, Journal of Composites for Construction*, 4, 2, 2000, pp 56-64.
- [16] **Ghobarah, A. and Said, A.**, Seismic rehabilitation of beam-column joints using FRP laminates. *Journal of Earthquake Engineering*, 5, 1, 2001, pp 113-129.

- [17] **Amoury, T. and Ghobarah, A.**, Seismic rehabilitation of beam column joints using GFRP sheets. *Engineering Structures*, 24, 2002, pp 1397-1407.
- [18] **Prota, A., Nanni, A., Manfredi, G., and Cosenza, E.**, Capacity assessment of RC subassemblages upgraded with CFRP. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22, 14, 2003, pp 1287-1304.
- [19] **Akgün, D.**, 2005. Yüksek Performanslı Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozit Panellerle Güçlendirmiş Düşük Dayanımlı Beton Elemanlar, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] **Göray, O.**, 2005. Yüksek Performanslı Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozit Panellerle Güçlendirilmiş Beton Elemanların Eksenel Yükler Altındaki Davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Yılmaz, E.**, 2004. Çelik Lif Takviyeli Öndöküm Beton Paneller ile Kolon Güçlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Peker, Ö.**, 2005. Düşük Dayanımlı Betonarme Elemanların CFRP ile Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] **İlki, A., Kumbasar, N.**, 2002. Karbon Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzeme İle Hasarlı Betonarme Elemanların Onarım ve Güçlendirilmesi, *İMO Teknik Dergi*, 2597-2616.
- [24] **İlki, A., Tezcan, A., Koç, V. and Kumbasar, N.**, 2004. Seismic Retrofit of Non-Ductile Rectangular Reinforced Concrete Columns by CFRP Jacketing. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6.
- [25] **ASTM E 519 – 02. (2002).**, Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. An American National Standard.

EKA. DENEY SONUNA AİT FOTOĞRAFLAR

1. REFERANS NUMUNELER



2. DS-HPFRCC-2



3. DS-HPFRCC-3



4. DS-HPFRCC-3-1side



5. DS-HPFRCC-4



6. DS-HPFRCC-5



7. DS-HPFRCC-2-A



8. DS-HPFRCC-3-A



9. DS-HPFRCC-3-A-1side



10. DS-HPFRCC-4-A



11. DS-HPFRCC-5-A



12. DS-G-1-1 side



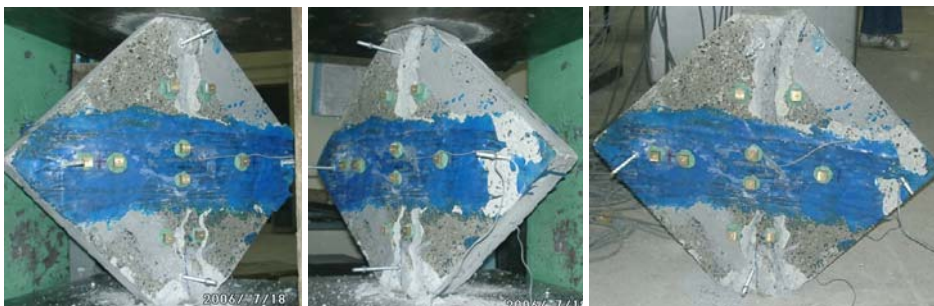
13. DS-G-S-1



14. DS-G-S-3



15. DS-C-S-1



16. DS-C-S-2



17. DS-G-3S-1



18. DS-G-3S-3



19. DS-G-3S-A-3



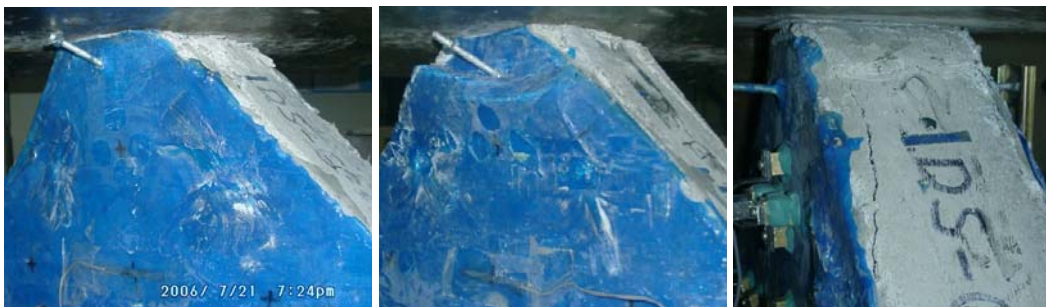
20. DS-G-1



21. DS-G-2



22. DS-G-A-2



23. DS-G-3



24. DS-C-1



25. DS-C-2



ÖZGEÇMİŞ

Yasin CANDAN 1982 yılında Ankara'da dünyaya geldi. İlk, orta ve lise eğitimini aynı şehirde tamamladıktan sonra, 2000 yılında Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. 2004 yılında bu bölümden mezun olmasının ardından, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı.