

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ TUĞLALAR İLE ÖRÜLEN DUVARLARIN
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Emriye Fundagül AŞ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DEPREM MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2007

**TARİHİ TUĞLALAR İLE ÖRÜLEN DUVARLARIN
GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Emriye Fundagül AŞ
501041205**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Temmuz 2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Alper İLKİ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri: Yrd.Doç.Dr. Ercan YÜKSEL (İTÜ)
Yrd.Doç.Dr. Şevket ÖZDEN (KOÜ)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu deneysel çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile bana destek olan danışman hocam Doç.Dr.Alper İlki'ye gösterdiği ilgi için en derin teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın tüm aşamalarında bana yardımcı olan Cem Demir'e ve Medine İspir'e teşekkür ederim.

Değerli katkıları için Prof.Dr.Nahit Kumbasar'a, İdris Bedirhanoglu'na, Bahadır Demirtaş'a, Orkun İncecik'e, Doğan Akgün'e, Kıvanç Taşkın'a, Salih Usta'ya, Yapı ve Deprem Laboratuvarı personeline ve Yapı Malzemesi Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Çalışmayı destekleyen ART-YOL Müh. Mim. Ltd. Şti.'ne, Sinan Türkkan'a ve Degussa-YKS'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana verdikleri destek için Ali Gün ve Nurcan Sezgin'e teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca bana güç veren ve beni her zaman destekleyen sevgili babam Mehmet Aş'a, annem Emel Aş'a, abim Ergüder Aş'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Mayıs,2007

E.Fundagül AŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	2
3. AKARETLER SIRA EV GRUBU	7
3.1. Tarihçesi.....	7
3.2. Yapısal Özellikleri.....	8
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	9
4.1. Giriş	9
4.2. Malzeme Özellikleri ve Deneyleri.....	13
4.2.1. Giriş.....	13
4.2.2. Akaretler Sıra ev Grubu Taşıyıcı Duvarları Mekanik Özellikleri.....	13
4.2.3. Tuğla.....	18
4.2.4. Harç.....	22
4.2.5. Harç Deneme Karışımları.....	25
4.2.6. Sıva.....	29
4.2.7. Lifli Polimer Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	31
4.2.8. Lifli Kumaşların Yapıştırılmasında Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri.....	33

4.3. Numune Tasarımı ve İmalatı	35
4.3.1. Giriş.....	35
4.3.2. Numune Tasarımı.....	36
4.4.3. Numune İmalatı.....	37
4.4. Numunelerin Güçlendirilmesi	39
4.4.1. Yüzey Hazırlığı.....	39
4.4.2. Güçlendirme Uygulaması.....	42
4.4.3. Ankraj Detayının Uygulanması.....	44
4.5. Deney Düzeneği ve Ölçüm Sistemi.....	50
4.5.1. Giriş.....	50
4.5.2. Referans Numuneleri İçin Deney Düzeneği.....	51
4.5.3. Güçlendirilmiş Numuneler İçin Deney Düzeneği.....	52
4.6. Deney Sonuçları ve Gözlemler	55
4.6.1. Giriş.....	55
4.6.2. Numunelerin Göçme Biçimleri.....	56
4.6.2.1. DS-O1-M.....	57
4.6.2.2. DS-O2-M.....	58
4.6.2.3. DS-P1-M.....	58
4.6.2.4. DS-P2-M.....	59
4.6.2.5. DS-P-G-1-M.....	60
4.6.2.6. DS-P-G-2-M.....	61
4.6.2.7. DS-P-G-3-M.....	62
4.6.2.8. DS-P-G-2-A1-M.....	63
4.6.2.9. DS-P-G-2-A1-C.....	64
4.6.2.10. DS-P-G-3-A2-M.....	65
4.6.2.11. DS-P-G-1-A3-M.....	67
4.6.2.12. DS-P-G-2-A3-M.....	68
4.6.3. Deney Sonuçları.....	72
4.6.3.1. Referans Numunelerinin Deney Sonuçları.....	72
4.6.3.2. Tamir Harcı İle Güçlendirilmiş Numunelerin Deney Sonuçları.....	73
4.6.3.2.1. DS-P1-M.....	74
4.6.3.2.2. DS-P2-M.....	75

4.6.3.3. LP Kompozitler İle Güçlendirilmiş Numunelerin Deney	
Sonuçları.....	76
4.6.3.3.1. DS-P-G-1-M.....	77
4.6.3.3.2. DS-P-G-2-M.....	78
4.6.3.3.3. DS-P-G-3-M.....	80
4.6.3.3.4. DS-P-G-2-A1-M.....	81
4.6.3.3.5. DS-P-G-2-A1-C.....	82
4.6.3.3.6. DS-P-G-3-A2-M.....	85
4.6.3.3.7. DS-P-G-1-A3-M.....	86
4.6.3.3.8. DS-P-G-2-A3-M.....	87
5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	90
5.1. Giriş	90
5.2. Yük Kapasitesi.....	90
5.3. Kesme Dayanımı	93
5.4. Rijitlik.....	95
5.5. Deformasyon Yeteneği	97
5.6. Tüketilen Enerji	99
5.7. LP Kompozitler İle Güçlendirilen Numunelerin Deney Sonuçlarının	
Değerlendirilmesi	100
6. ANALİTİK ÇALIŞMA.....	109
6.1. Giriş	109
6.2. Malzeme Numuneleri Deneysel ve Analitik Sonuçları	109
6.3. Duvar Numuneleri Deneysel ve Analitik Sonuçları	114
7. SONUÇLAR.....	118
KAYNAKLAR.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	124

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 4.1 : Numunelerin İsimlendirilmesinde Kullanılan İfadeler	11
Tablo 4.2 : Duvar Numunelerinin Genel Özellikleri	12
Tablo 4.3 : Karot Numuneleri Kayma Deneyi Sonuçları	16
Tablo 4.4 : Karot Numuneleri Basınç Deneyi Sonuçları	17
Tablo 4.5 : Tekli Tuğla Basınç Deneyi Sonuçları	20
Tablo 4.6 : Üçlü Tuğla Basınç Deneyi Sonuçları	22
Tablo 4.7 : Orijinal Harç Eğilme Deneyi Sonuçları	24
Tablo 4.8 : Orijinal Harç Basınç Deneyi Sonuçları	25
Tablo 4.9 :Deneme Karışımlarında Kullanılan Malzemelerin Ağırlıkça Oranları	26
Tablo 4.10 : Deneme Karışımları Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları	28
Tablo 4.11 : Derz Harcı Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları	29
Tablo 4.12 : Emaco S88 C Tamir Harcı Malzemesinin Teknik Özellikleri	30
Tablo 4.13 : Tamir Harcı Numunelerinin Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları	31
Tablo 4.14 : EG-60AR Türü LP Kompozitin Mekanik Özellikleri	32
Tablo 4.15 : EG-60 Türü LP Kompozitin Geometrik Özellikleri	32
Tablo 4.16 : BASF-YKS Concrecive 1406'nın Mekanik Özellikleri	33
Tablo 4.17 : BASF-YKS Astarın Mekanik Özellikleri	34
Tablo 4.18 : BASF-YKS Epoksi Esaslı Yapıştırıcının Mekanik Özellikleri	35
Tablo 4.19 : Ankraj Uygulaması İçin Hazırlanan Lifli Kumaşların Ölçüleri	49
Tablo 4.20 : Şekildeğiştirmeölçer Özellikleri	54
Tablo 4.21 : Duvar Numunelerinin Göçme Biçimleri	70
Tablo 5.1 : Numunelerin Maksimum Yük Kapasitesi Değerleri	91
Tablo 5.2 : Numunelerin Kesme Dayanımı	94
Tablo 5.3 : Numunelerin Başlangıç Rijitlik Değerleri	96
Tablo 5.4 : Numunelerin Deformasyon Yapabilme Yetenekleri	98
Tablo 5.5 :Numunelerin Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanlar	99
Tablo 6.1 : Eurocode-6 ve DBYBHY Minimum Sınır Değerleri	110
Tablo 6.2 : Eurocode-6 ve DBYBHY Tasarım Değerleri	110
Tablo 6.3 :Malzeme Numuneleri Deneysel Sonuçları ve Analitik Minimum Sınır Değerleri	113
Tablo 6.4 :Malzeme Numuneleri Deneysel Sonuçları ve Analitik Tasarım Değerleri	114
Tablo 6.5 :Duvar Numuneleri Deneysel Sonuçları ve Analitik Tasarım Değerleri	116

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1	: Akaretler Sıraev Grubu Genel Görünümü	7
Şekil 3.2	: Duvar Örgü Şekli	8
Şekil 3.3	: Volta Döşeme ve Balkon Görünümü	8
Şekil 4.1	: Duvar Numuneleri	9
Şekil 4.2	: Tamir Harçlı Numune	10
Şekil 4.3	: Lifli Polimer Kompozitler İle Güçlendirme Uygulaması	10
Şekil 4.4	: Karot Numune Alınması	13
Şekil 4.5	: Karot Numunesi Genel Görünümü	14
Şekil 4.6	: Karot Eksenel Basınç Deneyi	14
Şekil 4.7	: Karot Kayma Deneyi	15
Şekil 4.8	: Akaretler Sıraev Grubundan Toplanan Tuğlalar	18
Şekil 4.9	: Tekli Tuğla Yükleme Biçimi	19
Şekil 4.10	: Tekli Tuğla Numunelerde Basınç Deneyi	19
Şekil 4.11	: Tekli Tuğla Numuneleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi	19
Şekil 4.12	: Üçlü Tuğla Yükleme Biçimi	20
Şekil 4.13	: Üçlü Tuğla Numunelerde Basınç Deneyi	21
Şekil 4.14	: Üçlü Tuğla Numuneleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi	21
Şekil 4.15	: Orijinal Harç Numunesi Yükleme Biçimi	23
Şekil 4.16	: Orijinal Harç Numunesi Deneyleri	23
Şekil 4.17	: Orijinal Harç Numuneleri İçin Eğilmede Çekme Dayanımı-Sehim İlişkisi	24
Şekil 4.18	: Orijinal Harç Numuneleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi	24
Şekil 4.19	: Deneme Karışımı Dökümü	26
Şekil 4.20	: Orijinal Harç ve Deneme Karışımları Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları	27
Şekil 4.21	: Derz Harcı Basınç Dayanımının Zamana Göre Değişimi	27
Şekil 4.22	: Tamir Harcı Numuneleri Deneyleri	31
Şekil 4.23	: Tek Yönlü Cam Lifli Kumaş	31
Şekil 4.24	: Duvar Numunesi Şematik Görünümü (boyutlar: mm)	36
Şekil 4.25	: Duvar Numunelerinin İmalatı	38
Şekil 4.26	: Duvar Numune Detayı	39
Şekil 4.27	: Numune Yüzeylerine Tamir Harcı Uygulanması	40
Şekil 4.28	: Yükleme Başlığı Yapımı	40
Şekil 4.29	: Numunelerin Yüzeylerine Epoksi Harcı Uygulanması	41
Şekil 4.30	: Numunelerin Köşelerinin Yuvarlatılması ve Yüzey Temizliği	42
Şekil 4.31	: Cam Lifli Kumaşların Hazırlanması	42

Şekil 4.32 : Numune Yüzeylerine Epoksi Astar Uygulanması	43
Şekil 4.33 : Cam Lifli Kumaşların Yapıştırılması	44
Şekil 4.34 : Süreksiz Ankraj Hazırlıkları	45
Şekil 4.35 :Süreksiz Ankraj Uygulaması için Cam Lifli Kumaşların Hazırlanması	46
Şekil 4.36 : Süreksiz Ankraj Uygulaması	46
Şekil 4.37 : Süreksiz Ankraj Detayı (boyutlar: mm)	47
Şekil 4.38 :Sürekli Ankraj Uygulaması için Cam Lifli Kumaşların Hazırlanması	48
Şekil 4.39 : Sürekli Ankraj Detayı (boyutlar: mm)	48
Şekil 4.40 : Katlamalı Ankraj Uygulaması	49
Şekil 4.41 : Ölçüm Sistemi İçin Ankraj Uygulaması	51
Şekil 4.42 : Referans Numuneler İçin Deney Düzeneği	52
Şekil 4.43 : Referans Numuneler İçin Ölçüm Düzeneği	52
Şekil 4.44 : Güçlendirilmiş Numuneler İçin Deney Düzeneği	53
Şekil 4.45 : Güçlendirilmiş Numuneler İçin Ölçüm Düzeneği	53
Şekil 4.46 :DS-P-G-1-A3-M Numunesi Yükleme Sistemi ve Ölçüm Düzeneğinin Üç Boyutlu Gösterimi	54
Şekil 4.47 :DS-O1-M Referans Numunesinde Ölçüm Boyunun Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisine Etkisi	56
Şekil 4.48 : DS-O1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	57
Şekil 4.49 : DS-O2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	58
Şekil 4.50 : DS-P1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	59
Şekil 4.51 : DS-P2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	60
Şekil 4.52 : DS-P-G-1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	61
Şekil 4.53 : DS-P-G-2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	62
Şekil 4.54 : DS-P-G-3-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	63
Şekil 4.55 : DS-P-G-2-A1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	64
Şekil 4.56 : DS-P-G-2-A1-C'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	65
Şekil 4.57 : DS-P-G-3-A2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	67
Şekil 4.58 : DS-P-G-1-A3-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	68
Şekil 4.59 : DS-P-G-2-A3-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri	69
Şekil 4.60 :Referans Numunelerine Ait Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkileri	73
Şekil 4.61 :Referans Numunelerine Ait Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkileri	73
Şekil 4.62 : DS-P1-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	74
Şekil 4.63 : DS-P1-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	74
Şekil 4.64 : DS-P2-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	75
Şekil 4.65 : DS-P2-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	75
Şekil 4.66 : DS-P-G-1-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	77
Şekil 4.67 : DS-P-G-1-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	77
Şekil 4.68 : DS-P-G-2-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	78
Şekil 4.69 : DS-P-G-2-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	79
Şekil 4.70 : DS-P-G-3-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	80
Şekil 4.71 : DS-P-G-3-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	80
Şekil 4.72 : DS-P-G-2-A1-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	82
Şekil 4.73 : DS-P-G-2-A1-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	82
Şekil 4.74 : DS-P-G-2-A1-C Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	83
Şekil 4.75 : DS-P-G-2-A1-C Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	84

Şekil 4.76	: DS-P-G-3-A2-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	85
Şekil 4.77	: DS-P-G-3-A2-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	85
Şekil 4.78	: DS-P-G-1-A3-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	86
Şekil 4.79	: DS-P-G-1-A3-M Düşey Yük- Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	87
Şekil 4.80	: DS-P-G-2-A3-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi	88
Şekil 4.81	: DS-P-G-2-A3-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi	88
Şekil 5.1	: Numunelerin Ortalama Yük Kapasitesi Artış Oranı	92
Şekil 5.2	:LP Kompozitler ile Güçlendirilmiş Numunelerin Ortalama Yük Kapasitesi Artış Oranı	92
Şekil 5.3	:Numunelerin Ortalama Kesme Dayanımı Artış Oranı	95
Şekil 5.4	:Deformasyon Yeteneğinin Hesabında Kullanılan Şekildeğiştirmeler	97
Şekil 5.5	:Numunelerin Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanların Artış Oranı	100
Şekil 5.6	: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi	101
Şekil 5.7	: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi	102
Şekil 5.8	:LP Kompozit Kat Sayısının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	102
Şekil 5.9	: LP Kompozit Kat Sayısının Kesme Dayanımına Etkisi	102
Şekil 5.10	: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	103
Şekil 5.11	: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	103
Şekil 5.12	: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	103
Şekil 5.13	: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi	104
Şekil 5.14	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	104
Şekil 5.15	:Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	104
Şekil 5.16	: Ankraj Uygulamasının Kesme Dayanımına Etkisi	105
Şekil 5.17	: Ankraj Detayının Davranışa Etkisi	105
Şekil 5.18	: Ankraj Detayının Davranışa Etkisi	106
Şekil 5.19	:Ankraj Detayının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	106
Şekil 5.20	: Ankraj Detayının Kesme Dayanımına Etkisi	106
Şekil 5.21	: Yükleme Biçiminin Davranışa Etkisi	107
Şekil 5.22	: Yükleme Biçiminin Davranışa Etkisi	107
Şekil 5.23	:Yükleme Biçiminin Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi	108
Şekil 5.24	: Yükleme Biçiminin Kesme Dayanımına Etkisi	108
Şekil 6.1	:Duvar Kayma Dayanımı Deneysel ve Analitik Sonuçların Karşılaştırılması	113
Şekil 6.2	:LP Kompozit ile Güçlendirilmiş Duvar Numunesi	115
Şekil 6.3	:LP Güçlendirilmiş Numunelerin Kesme Dayanımı Deneysel ve Analitik Sonuçların Karşılaştırılması	117

SEMBOL LİSTESİ

b	: numune genişliği
ϵ_c	: aksenal şekildeğiştirme
d	: karot numune çapı
E'_b	: tekli tuğla ve üçlü tuğla elastisite modülü
$E'_{b,ort}$	: tekli tuğla ve üçlü tuğla ortalama elastisite modülü
E'_{cc}	: karot basınç numuneleri elastisite modülü
$E'_{cc,ort}$	: karot basınç numuneleri ortalama elastisite modülü
E_{mj}	: deney gününe ait harç elastisite modülü
$E_{mj,ort}$	: deney gününe ait harç ortalama elastisite modülü
f'_b	: tekli tuğla ve üçlü tuğla basınç dayanımı
$f'_{b,ort}$	: tekli tuğla ve üçlü tuğla ortalama basınç dayanımı
f'_{cc}	: karot numunesi basınç dayanımı
$f'_{cc,ort}$	: karot numunesi ortalama basınç dayanımı
f'_{fj}	: deney gününe ait harç veya sıva eğilme dayanımı
$f'_{fj,ort}$	: deney gününe ait harç veya sıva ortalama eğilme dayanımı
f'_{mj}	: deney gününe ait harç veya sıva basınç dayanımı
$f'_{mj,ort}$	: deney gününe ait harç veya sıva ortalama basınç dayanımı
g	: yerçekimi ivmesi
GL	: ölçüm boyu
h	: numune yüksekliği
j	: numune yaşı
l	: numune derinliği
t	: numune kalınlığı
μ	: deformasyon yeteneği
τ	: kesme dayanımı

TARİHİ TUĞLALAR İLE ÖRÜLEN DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada Osmanlı Mimarisinde sıraev konut tipinin ilk örneği olan Akaretler Sıraev Grubu taşıyıcı duvarlarından alınan tuğlalar ile örülen duvar numunelerinin güçlendirme öncesi ve sonrasında diyagonal çekme etkisi altında davranışı incelenmiştir. Bu amaçla Akaretler Sıraev Grubunun taşıyıcı duvarlarının mekanik özelliklerini olabildiğince yansıtan 12 adet duvar numunesi üretilmiştir. Yaklaşık boyutları $400 \times 400 \times 260 \text{ mm}^3$ olarak üretilen numunelerin; 2 adedi herhangi bir güçlendirme işlemine tabi tutulmadan referans davranışı belirlemek üzere, 2 adedi tamir harcı ile 8 adedi de cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilerek monoton artan veya tekrarlı yükler altında diyagonal çekme deneyi ile denenmiştir. LP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde, kompozit kalınlığı, kompozitlerin duvar numunesine ankrajı ve tekrarlı yüklemenin davranışa etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda; LP kompozitler güçlendirme uygulaması ile numunelerin dayanımlarında belirgin bir artış gözlenmiş, ankraj uygulamasında numunelerin göçme biçimindeki iyileşme ile dayanım ve şekildeğiştirme yeteneklerinde ki artışta önemli rol oynadığı görülmüştür. Tekrarlı yükler altında denenilen numunelerin davranışı ile monotonik yükler altında denenilen numunelerin davranışı arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

RETROFITTING OF MASONRY WALLS BUILT USING HISTORICAL BRICKS

SUMMARY

In this study, the behaviour of the retrofitted walls, which were constructed using historical bricks of the Akaretler Row Houses, the first example of row houses in the Ottoman period, is investigated. For this purpose, 12 masonry wall specimens, with similar mechanical characteristics of the masonry walls of Akaretler Row Houses, were constructed and then retrofitted. The dimensions of wall specimens were approximately 400x400x260 mm³. Two of the specimens were retrofitted with a plaster made of repair mortar, eight of the specimens were retrofitted with glass fiber polymers over the plaster of repair mortar and two specimens were tested as reference without any retrofit. Masonry wall specimens were tested under monotonic increasing or cyclic loading in diagonal tension test. The effects of existence of plaster, thickness of FRP sheets, types of anchorages of FRP sheets to the masonry walls were investigated. In addition to these; the effects of cycling loading on the behavior were examined by testing a single specimen with the similar characteristics to another specimen tested under monotonic loading. At the end of the tests, it was concluded that the strength of the historical masonry walls can be increased significantly using FRP sheets over a high quality plaster, provided that adequate anchorage of FRP sheets to the masonry walls are maintained. Being relatively less pronounced even the plaster itself contributed to the strength of the wall specimens.

By the retrofitting of the historical walls, the deformability of the walls were also enhanced, particularly for the appropriately anchored FRP sheets. The cyclic loading was not found to be significantly effective on the behavior of FRP retrofitted historical brick walls.

1. GİRİŞ

Yığma yapılar süneklikleri az gevrek malzeme ile inşa edilen ve yapımlarında işçiliğin önemli rol oynadığı, yangın dayanımı yüksek, yatay deprem yüklerine dayanımı; duvar geometrisine ve kullanılan malzeme dayanımına bağlı olan yapılardır, [1].

Bu çalışma kapsamında Akaretler Sıraev Grubunun taşıyıcı duvarlarını temsil eden taşıyıcı duvar numunelerinin davranışı diyagonal çekme deneyi ile incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma ile düşük dayanımlı ve gevrek malzeme ile oluşturulan yığma duvarların davranışını iyileştirmek için uygun güçlendirme detaylarının belirlenmesine çalışılmıştır.

Duvar numunelerinin güçlendirme uygulamasında cam lifli polimer kompozit kullanılmıştır. 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, [2-5].

Güçlendirme uygulaması sonrasında yığma duvar elemanlarının diyagonal çekme altındaki davranışının incelenmesini amaçlayan bu çalışma sırasıyla; giriş (1.Bölüm), daha önce yapılan çalışmalar (2.Bölüm), Akaretler Sıraev Grubunun tarihi ve yapısal özellikleri (3.Bölüm), duvar numunelerinin malzeme özellikleri ve deneyleri, numunelerin tasarımı, imalatı, güçlendirilmesi ile deney düzeneği ve deney sonuçları (4.Bölüm), deneysel sonuçların değerlendirilmesi (5.Bölüm), analitik çalışma (6.Bölüm) ve sonuçlar (7.Bölüm) olmak üzere yedi bölümden oluşmaktadır

2. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ OLAN ÇALIŞMALAR

Prota ve diğ. [10], sünger taşı ile örülmüş 1030x1030x250 mm³ boyutlarında, 4 adedi güçlendirilmemiş, 8 adedi güçlendirilmiş olmak üzere toplam 12 adet dolgu duvar numunesini diyagonal çekme etkileri altında denemişlerdir. Duvar numunelerinin imalatında kullanılan sünger taşının ortalama basınç dayanımı 2.00 MPa ve elastisite modülü ise 1.80-2.00 MPa'dır. Derz harcının ise 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı sırasıyla; 1.57 MPa ve 5.00 MPa'dır. Güçlendirme cam lifli polimerin, çimento esaslı ve cam lifli harç kullanılarak numune yüzeyine ağ şeklinde uygulanmasıyla yapılmıştır. Uygulama numunelerde tek veya çift taraflı ve bir ya da iki kat şeklinde yapılmıştır. Numuneler karşılıklı köşelerine yerleştirilen iki çelik yükleme başlığından diyagonal doğrultuda yüklenerек denenmişlerdir. Meydana gelen yerdeğiştirme değєrleride numunelerin iki yüzeyine yükleme doğrultusunda ve yükleme doğrultusuna dik olarak yerleştirilen yerdeğiştirmeölçerler ile kaydedilmiştir. Oluşabilecek düzlem dışı hareketleride numune yüzeyine dik yerleştirilen yerdeğiştirmeölçer ile kaydetmişlerdir. Deneysel çalışma sonucunda; orijinal numunelerin yükleme doğrultusunda tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrıldıkları, tek taraflı güçlendirilmiş numunelerin düzlem dışı davranış gösterdikleri, güçlendirilmemiş yüzeyde kayma çatlaklarının oluştuğu, güçlendirilmiş yüzeyde ise geniş düşey çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir. Çift taraflı güçlendirilmiş numunelerde ise çatlakların her iki yüzeye de üniform dağıldığı, deney boyunca numunelerin bütünlüğünü kaybetmediğı ve bu numunelerin bölgesel ezilmeler oluşmadığı sürece daha fazla yük taşımaya devam edebilecekleri gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar özetle;

1. Güçlendirilmiş numuneler, orijinal numunelere göre daha sünek bir davranış göstermişlerdir.

2. Çimento esaslı cam lifli harç kullanılarak numune yüzeyine cam lifli polimerin ağ şeklinde uygulanmasıyla yapılan güçlendirmenin numunelerin kesme dayanımını arttırdığı görülmüştür.
3. Numunelerin kesme dayanımı ve göçme biçimleri karşılaştırıldığında çift taraflı güçlendirme uygulamasının tek taraflı güçlendirme uygulamasından daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.
4. Çift taraflı ve iki kat güçlendirme uygulaması daha etkili olmuştur. Bu uygulama biçimi ile numunelerin süneklik ve şekildeğiştirme kapasiteleri artmıştır.

Gabor ve diğ. [11], boşluklu tuğla ile örülmüş dolgu duvarların diyagonal çekme etkileri altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca deneysel çalışmadan elde edilen sonuçları sonlu elemanlar metodu ile yaptıkları analitik çalışma ile de karşılaştırmışlardır. Numuneleri hidrolik kriko ile diyagonal doğrultuda yükleyerek denemişlerdir. Denenen numuneler, $870 \times 840 \times 100 \text{ mm}^3$ boyutlarında olup 2 adedi güçlendirilmemiş, 3 adedi farklı detaylarda LP kompozitler ile güçlendirilmiştir. Güçlendirme, 2 numunede yükleme doğrultusuna dik $400 \times 150 \text{ mm}^2$ boyutlarında cam veya karbon lifli polimer şeritlerin enine doğrultuda uygulanmasıyla, diğer numunede ise cam lifli polimerler kumaşların tüm yüzeye enine ve boyuna doğrultuda uygulanmasıyla yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda olduğu, orijinal ve yükleme doğrultusuna dik cam lifli polimer şeritler ile güçlendirilmiş numunelerde göçme biçiminin aynı olduğu, göçmenin yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlaklar sonucunda, diğer iki güçlendirilmiş numunede ise yükleme başlıklarının ezilmesi sonucunda gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar özetle;

1. Orijinal numunelerde güç tükenmesinin çok ani gerçekleştiği, güçlendirilmiş numunelerin ise daha sünek bir davranış gösterdikleri gözlemlenmiştir.
2. Güçlendirilmiş numuneler, orijinal numunelerin 3 katı daha fazla yük kapasitesine ulaşmışlardır.

3. Tüm yüzeye güçlendirme uygulaması yapılan numunelerin, şekildeğiştirme kapasitelerinin diğer güçlendirilmiş numunelere oranla daha yüksek olduğu görülmüştür.
4. Analitik ve deneysel sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu ve analitik çalışmaların dolgu duvar davranışını gerçekçi bir şekilde temsil ettiği sonucuna varılmıştır.

Valluzi ve diğ. [12], LP kompozit şeritler ile kesmeye karşı güçlendirilmiş tuğla dolgu duvar davranışını dayanım ve göçme biçimi bakımından deneysel olarak incelemiştir. Bu amaçla 515x510x120 mm³ boyutlarında 9 adet güçlendirilmemiş, 24 adet farklı LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunede diyagonal çekme deneyi yapmışlardır. Duvar numunelerinin imalatında kullanılan tuğlaların ortalama basınç dayanımı 8.83 MPa ve çekme dayanımı ise 0.76 MPa iken derz harcının 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı sırasıyla; 1.48 MPa ve 6.03 MPa'dır. Diyagonal doğrultuda yüklenerek denenen numunelerde meydana gelen yatay ve düşey deformasyonlar yerdeğiştirmeölçerler ile kaydedilmiştir. Güçlendirme, numunelerin tek veya iki yüzeyine LP kompozitlerin yükleme doğrultusuna dik şeritler halinde ya da tüm yüzeye ağ şeklinde uygulanmasıyla yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda orjinal ve tek yüzeyine güçlendirme uygulaması yapılan numunelerde göçme biçiminin aynı olduğu, göçmenin yükleme doğrultusunda oluşan düşey çatlaklar sonucunda gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca tek yüzeylerine güçlendirme uygulaması yapılan numunelerde hasarın bu yüzeyde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Her iki yüzeyine güçlendirme uygulaması yapılan numunelerin göçme biçimi ise LP şeritlerin yüzeyden kalkması ile gerçekleşmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar özetle;

1. Numunelerin kesme dayanımı ve göçme biçimleri karşılaştırıldığında çift taraflı güçlendirme uygulamasının, tek taraflı güçlendirme uygulamasından daha etkili olduğu görülmüştür.
2. LP kompozitlerin farklı uygulama biçimleri karşılaştırıldığında, yükleme doğrultusuna dik şeritler halinde uygulamanın gerilme dağılımında daha etkili olduğu, oluşan çatlakların numune yüzeyine üniform dağıldığı ve böylece

gevrek göçme davranışının azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yüzeye ağ şeklinde uygulamaya göre kesme dayanımında daha iyi sonuç vermiştir.

3. Rijitliği daha düşük olan LP malzemeleri numunelerin davranışında daha etkili olmuştur.

Carradi ve diğ. [13], İtalya’da yüksek deprem riski taşıyan bölgelerden seçilen toplam 7 adet yığma yapıyı incelemişlerdir. Yığma yapıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın ilk bölümünde, yapılarda belirlenen dolgu duvarlarda çeşitli deneyler yapmışlardır. Yerinde yapılan bu deneyler; 900x1800 mm² boyutlarında hazırlanan duvarlarda gerçekleştirilen basınç ve kesme-basınç deneyleri ile 1200x1200 mm² boyutlarında hazırlanan duvarlarda gerçekleştirilen diyagonal çekme deneyleridir. Çalışmanın ikinci bölümünde, denenen dolgu duvarlardan alınan karot numuneleri laboratuvarında monoton artan basınç yükleri altında denenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda yerinde ve laboratuvarında yapılan deney sonuçları ortak değerlendirilerek bu yapıların kesme dayanımı, şekildeğiştirme kapasiteleri, kayma ve elastisite modülleri belirlenmiştir.

Carradi ve diğ. [14], güçlendirilmemiş yığma yapılarda gerçekleştirilen önceki çalışmalarının devamı olan bu çalışmada alternatif güçlendirme yöntemleri uygulanmış dolgu duvar davranışını incelemişlerdir. Yerinde yapılan deneyler sonucunda hasar almış duvarlar ile aynı yapılardaki farklı hasarsız duvarları, güçlendirme işlemi uygulandıktan sonra basınç, kesme-basınç ve diyagonal çekme deneyleri ile denemişlerdir. Güçlendirme veya onarım, karbon veya cam lifli polimer kompozit şeritler ile ya da hidrolik harç enjeksiyonuyla yapılmıştır. Deneyler sonucunda, elemanların güçlendirme öncesi ve sonrası performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar özetle;

1. LP kompozitler ile güçlendirme uygulaması sonucunda numunelerin dayanımında önemli bir artış olmuştur.
2. LP şeritler ile güçlendirilmiş numunelerde göçme biçiminin, şeritlerin zayıf olan harç ara yüzeyinden kalkmasıyla gerçekleşmiştir. Bu yüzden kompozitler için daha iyi bir yapışma yüzeyi oluşturulması gerektiği görülmüştür.

3. Hasarlı duvarlarda bulunan çatlaklara yapılan hidrolik harç enjeksiyonu sonucunda dolgu duvarların dayanım ve rijitliklerinde artış sağlanırken, hasarsız duvarlarda ise yüzeye yapılan harç enjeksiyonu ile numunelerin dayanımında önemli bir artış olmamıştır. Bunun sonucunda hidrolik harç enjeksiyonu yönteminin onarım amaçlı uygulandığında daha etkili olduğu görülmüştür.

Kanakubo ve diğ. [15], 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.

Collins ve diğ. [16], 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.

3. AKARETLER SİRAEV GRUBU

3.1. Tarihçesi

Beşiktaş ile Maçka arasında bulunan ve bulunduğu semte adını veren Akaretler Sıraev Grubu, Spor Caddesi ve Şair Nedim Caddesinin üçgen biçiminde birleştikleri yerde, iki yönde yayılmış, dört koldan oluşmaktadır, Şekil 3.1, [6].



Şekil 3.1: Akaretler Sıraev Grubu Genel Görünümü

Kaynaklarda, İstanbul'daki sıraev konut tipinin ilk örneği olan Akaretler Sıraev Grubu'nun; 1875 yılında Sultan Abdülaziz tarafından yaptırılması amaçlanan Maçka Aziziye Camisine gelir getirmesi amacıyla inşa edildiği belirtilmektedir, [7]. Bazı kaynaklarda da Osmanlı Mimarlığı 19 yy ikinci yarısı ürünlerinden olan Akaretler Sıraev Grubunun 1853 yılında Dolmabahçe Sarayı mensupları için inşa edildiği de yer almaktadır, [8].

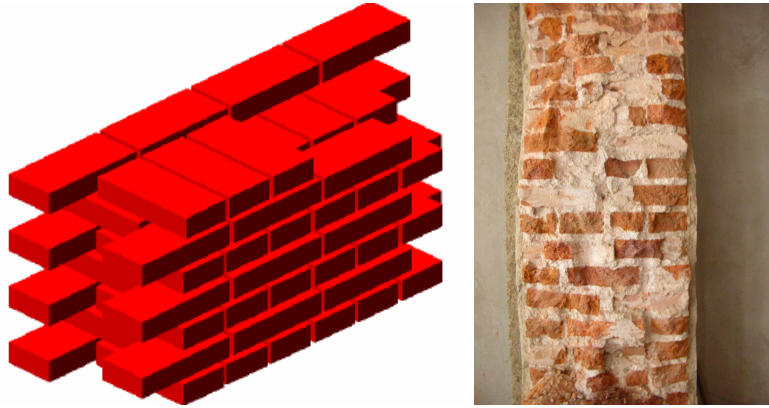
Akaretler Sıraev Grubunun tasarım mimarı, 19 yy Osmanlı Mimarlığının önemli adları olarak tanınan Balyan ailesinden Sarkis Balyan'dır.

Akaretler Sıraev Grubu saraya yakın bir konumda bulunması, maddi desteğini yine saraydan alması, geniş bir alana inşa edilmesi, neo-klasik cephe özellikleri ile İstanbul'daki diğer sıraevlerden farklılık göstermektedir.

3.2. Yapısal Özellikleri

Kagir yapım sistemi ile inşa edilen Akaretler Sıraev Grubu A, B, C, D, E ve F olmak üzere yapısal özellikleri benzer 6 bloktan ve bu bloklardaki toplam 133 konuttan oluşmaktadır.

Blok örgü (İngiliz Örgü) ile örülen taşıyıcı duvarlardaki harç kalınlıkları yatayda yaklaşık 20 mm, düşeyde ise 10 mm civarındadır, Şekil 3.2, [9].



Şekil 3.2: Duvar Örgü Şekli

Döşemeleri volta döşeme olan yapıda balkon korkulukları ve giriş kapıları dökme demir, merdivenler ise kagir veya ahşap yapılmıştır, Şekil 3.3.

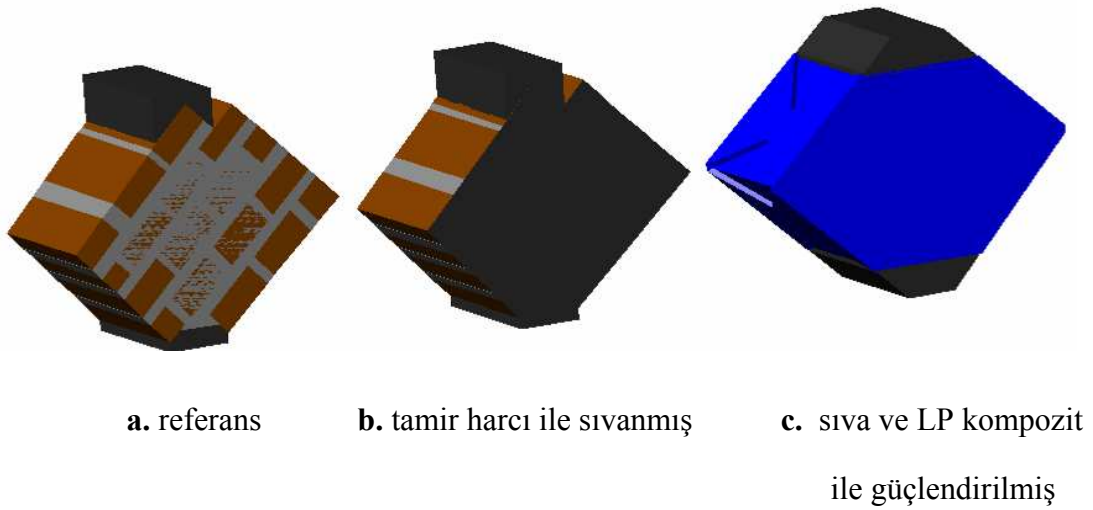


Şekil 3.3: Volta Döşeme ve Balkon Görünümü

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Giriş

Bu çalışmada; Osmanlı Mimarisinde sıraev konut tipinin ilk örneği olan Akaretler Sıraev Grubunda kullanılan duvar tuğlaları kullanılarak, yeniden üretilen duvar numuneleri güçlendirme öncesi ve sonrasında deneye tabi tutulmuştur. Deneysel çalışma kapsamında denenen duvar numuneleri Akaretler Sıraev Grubu taşıyıcı duvarlarını temsil edecek şekilde imal edilmiştir. Bu amaçla duvar numunelerinin imalatı için kullanılan tuğlalar sıraev grubunun restorasyon çalışmaları kapsamında yıkılan taşıyıcı duvarlarından toplanırken, kullanılan harç ise sıraev grubunun duvar imalatında kullanılan harcın mekanik özelliklerine olabildiğince yakın özelliklerde bir harç karışımıdır. Çalışma kapsamında yaklaşık boyutları 400x400x260 mm³ olarak 12 adet duvar numunesi üretilmiştir. Bu numunelerden, 2 adedi herhangi bir güçlendirme işlemine tabi tutulmadan; 2 adedi tamir harcı ile, 8 adedi de cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilerek monoton artan veya tekrarlı yükler altında diyagonal çekme deneyi ile denemiştir, Şekil 4.1.



Şekil 4.1: Duvar Numuneleri

Duvar numunelerine sıva olarak tamir harcı uygulaması, pratikte LP güçlendirme uygulamasında mevcut sıvanın kaldırılıp yerine yüksek dayanımlı sıva uygulanması işlemine karşılık gelmektedir. Bu amaçla güçlendirme uygulaması yapılacak tüm numune yüzeylerine tamir harcı uygulanmıştır. Tamir harcı ile yapılan güçlendirmenin etkisini belirleyebilmek ve LP ile yapılan güçlendirmede tamir harcının katkısını tespit edebilmek için de 2 numune ön ve arka yüzeylerine yaklaşık 20 mm kalınlığında tamir harcı uygulanarak denenmişlerdir, Şekil 4.2.



Şekil 4.2: Tamir Harçlı Numune

Cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirme uygulaması da, farklı kalınlıklarda LP kompozitlerin belirlenen detaylara göre numune yüzeyine yapıştırılmasıyla yapılmıştır, Şekil 4.3. LP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde incelenen başlıca değişkenler; kompozit kalınlığı, kompozitlerin duvara ankraj detayı ve numunelerin yükleme biçimidir (monotonik, tekrarlı).



Şekil 4.3: Lifli Polimer Kompozitler İle Güçlendirme Uygulaması

Yapılan güçlendirme uygulamaları ile; tarihi tuğlalarla örülen duvar elemanların, kesme dayanımı ve şekildeğiştirme yeteneklerinin artırılması hedeflenmiştir.

Bu bölüm; malzeme özellikleri ve deneyleri, numune tasarımı ve imalatı, numunelerin güçlendirilmesi, deney düzeneği ve ölçüm sistemi ile deney sonuçları ve gözlemler olmak üzere beş konu başlığından oluşmaktadır.

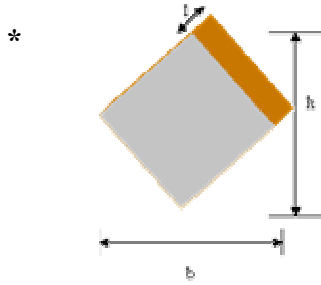
Duvar numunelerinin isimlendirilmesinde, her bir numunenin sahip olduğu özelliklerin yansıtılmasına özen gösterilmiştir. Bu amaçla; uygulanan güçlendirme yöntemi, cam lifli kumaş kat sayısı, ankraj detayı ve yükleme biçimi numunelerin isimlerinde kullanılmıştır. Tablo 4.1’de numunelerin isimlendirilmesinde kullanılan sembollerin detayları verilmiştir. Örneğin; DS-P-G-2-A1-C elemanında; **DS**, diyagonal çekme (Diagonal Shear); **P**, yüzeyde kullanılacak sıva (Plaster), **G**, güçlendirmede cam lifli polimer kompozit kullanıldığını (Glass); **2**, uygulamanın 2 kat cam lif ile yapıldığını; **A1**, mevcut duvar elemana süreksiz ankraj yapıldığını; **C**, deneyin tekrarlı yükler altında gerçekleştirildiğini (Cyclic) göstermektedir. Duvar elemanların genel eleman özellikleri, Tablo 4.2’de sunulmuştur. Bu tabloda; f'_t , f'_{mj} , b , h , l sırasıyla; tekli tuğla (T.T) ve üçlü tuğla (Ü.T) basınç dayanımını, deney gününe ait harç basınç dayanımını, numune genişliğini, numune yüksekliğini, numune derinliğini göstermektedir.

Tablo 4.1 Numunelerin İsimlendirilmesinde Kullanılan İfadeler

DS :	Diagonal Çekme (Diagonal Shear)
O :	Orijinal
P :	Sıva (Plaster)
G :	Kompozit türü (GFRP)
A1 :	Süreksiz Ankraj
A2 :	Sürekli Ankraj
A3 :	Katlamalı Ankraj
M	Monolitik Yükleme
C	Tekrarlı Yükleme (Cyclic)

Tablo 4.2 Duvar Numunelerinin Genel Özellikleri

Numune İsmi	f'_b (T.T) (Ü.T) (MPa)	f'_{mj} (MPa)	Kesit Boyutları ($b \times h \times l$)* (mm)	Sıva Kalınlığı** (Ö.Y) (A.Y) (mm)	LP Kat Sayısı	Ankraj Uygulaması	Ankraj Detayı***	Yükleme Biçimi
DS-O1-M	5.00 2.10	3.43	616x508x255	-	-	Yok	-	Monoton
DS-O2-M	5.00 2.10	3.54	549x500x258	-	-	Yok	-	Monoton
DS-P1-M	5.00 2.10	3.43	548x503x262	20 20	-	Yok	-	Monoton
DS-P2-M	5.00 2.10	3.57	541x500x258	20 20	-	Yok	-	Monoton
DS-P-G-1-M	5.00 2.10	3.58	551x505x255	20 25	1	Yok	-	Monoton
DS-P-G-2-M	5.00 2.10	3.66	596x495x263	20 20	2	Yok	-	Monoton
DS-P-G-3-M	5.00 2.10	3.58	590x498x255	15 20	3	Yok	-	Monoton
DS-P-G-2-A1-M	5.00 2.10	3.59	628x508x265	25 17	2	Var	Süreksiz	Monoton
DS-P-G-2-A1-C	5.00 2.10	3.66	600x506x260	20 20	2	Var	Süreksiz	Tekrarlı
DS-P-G-3-A2-M	5.00 2.10	4.11	600x510x255	15 20	3	Var	Sürekli	Monoton
DS-P-G-1-A3-M	5.00 2.10	3.47	516x502x266	20 30	1	Var	Katlamalı	Monoton
DS-P-G-2-A3-M	5.00 2.10	3.57	620x503x263	20 20	2	Var	Katlamalı	Monoton



** Ö.Y : Elemanın ön yüzü
A.Y : Elemanın arka yüzü

*** Bölüm 4.4.3’de bu ankrajlar açıklanmıştır

4.2. Malzeme Özellikleri ve Deneyleri

4.2.1. Giriş

Tuğla dolgu duvarların yapısal davranışlarının en iyi şekilde değerlendirilebilmesi için malzeme özellikleri bilinmelidir. Dolayısıyla bu bölümde duvar numunelerinin imalatında kullanılan malzemeler, harç ve tuğla, ile güçlendirme uygulamasında sıva olarak kullanılan tamir harcında gerçekleştirilen malzeme deneyleri, deneylerden elde edilen sonuçlar ve lifli polimer malzemeler ile lifli kumaşların yapıştırılmasında kullanılan malzemelerin genel özellikleri sunulmuştur. Ayrıca bu bölümde Akaretler Sıraev Grubu taşıyıcı duvarlarının mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için duvarlardan alınan karot numunelerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalara da yer verilmiştir.

4.2.2. Akaretler Sıraev Grubu Taşıyıcı Duvarları Mekanik Özellikleri

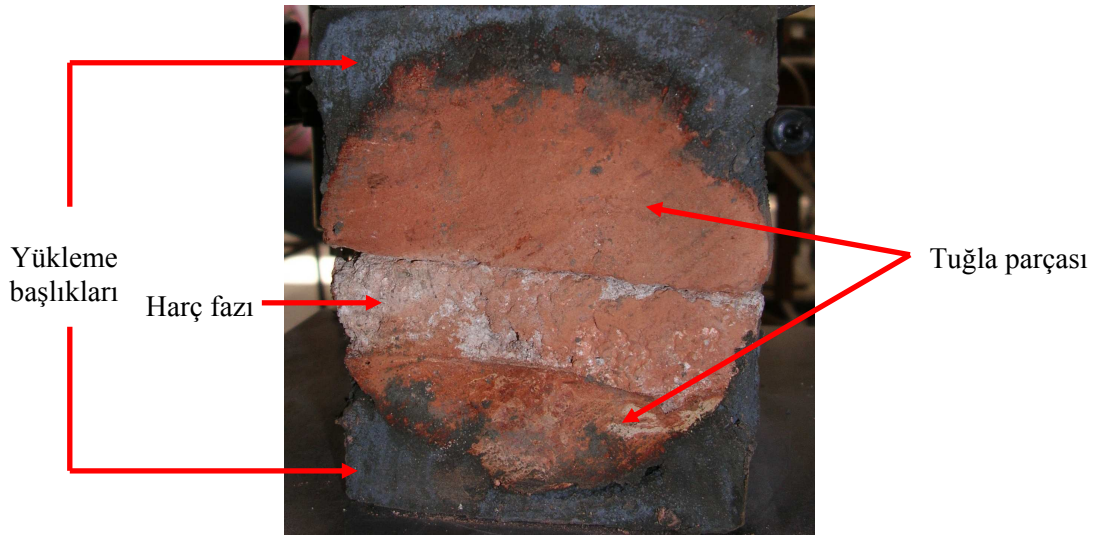
Akaretler Sıraev Grubunun restorasyon projesi kapsamında yeni mimari gereği bazı mevcut duvarlarının bir bölümünün kaldırılacak olması, duvarların bu bölümlerinde karot numunesi alınmasına olanak tanımıştır, Şekil 4.4.



Şekil 4.4: Karot Numune Alınması

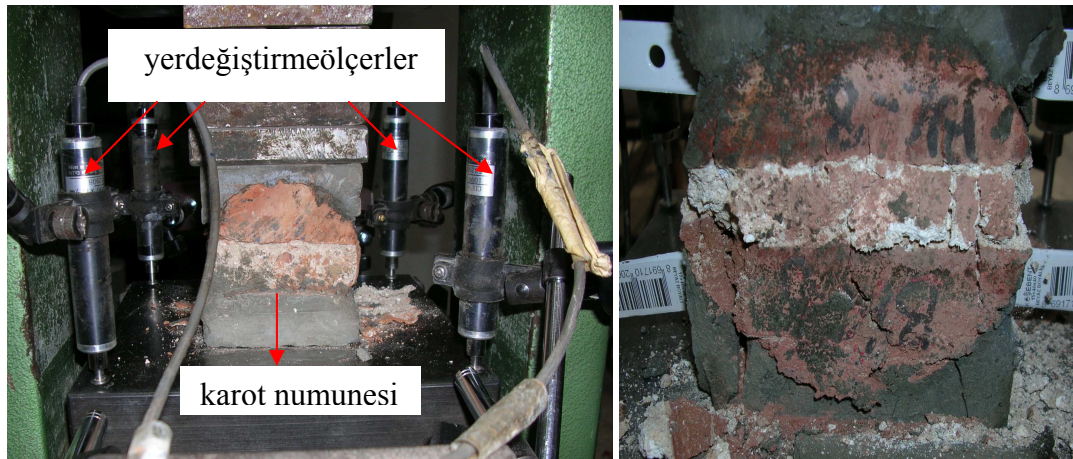
Taşıyıcı duvarların mekanik özelliklerini belirlemek için duvarlardan alınan karot numuneleri İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda kesilip, boyutları deneye uygun hale getirilmiş, daha sonra yükleme ve ölçüm sistemine uygun başlıklar yapılarak eksenel basınç ya da kayma deneyine tabi tutulmuştur.

Deneylerde kullanılan silindirik karot numuneleri yaklaşık 95 mm çapında, 100 mm uzunluğunda olup iki tuğla parçası ve aralarında ki harç fazından oluşmaktadır, Şekil 4.5.



Şekil 4.5: Karot Numunesi Genel Görünümü

Eksenel basınç ve kayma deneyine ait görüntüler sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.6: Karot Eksenel Basınç Deneyi



Şekil 4.7 Karot Kayma Deneyi

Karot numunelerine ait kayma deneyi sonuçları eksenel gerilme düzeylerine göre Tablo 4.3’de, basınç deneyi sonuçları ise Tablo 4.4’de verilmiştir.

Akaretler Sıraev Grubunun farklı bloklarından alınan karot numunelerinin toplam 45 adedinde basınç deneyi yapılmıştır. Numuneler Amsler yükleme aygıtı ile yüklenmiş ve etki ettirilen yükte yükölçer ile kaydedilmiştir. Meydana gelen yerdeğiştirme değerleri yükleme aygıtının alt başlığının dört köşesine yerleştirilen yerdeğiştirmeölçerlerin kaydettiği değerlerin ortalaması olarak alınmıştır. Basınç deneyi sonunda karot numunelerinin ortalama basınç dayanımı 3.30 MPa ve ortalama elastisite modülleri ise 255 MPa bulunmuştur.

Karot numunelerinin 27 adedinde ise farklı düşey gerilme seviyelerinde kayma deneyi yapılmıştır. Numunelere yatay yük Enerpac hidrolik krika ile etkittirilmiş ve bu yük değeri yükölçer ile kaydedilmiştir. Meydana gelen yatay yerdeğiştirme değeri numunelerin karşılıklı yüzlerine yerleştirilen toplam 4 yerdeğiştirmeölçer ile kaydedilmiştir.

Tablo 4.3 Karot Numuneleri Kayma Deneyi Sonuçları

Düşey Gerilme σ (MPa)	Numune İsmi	D (mm)	H (mm)	Kayma Dayanımı (MPa)	Ort. Kayma Dayanımı (MPa)
$\sigma = 0$	BK-6	90.8	91.0	0.39	0.34
	BK-16-1	89.8	90.0	0.4	
	CK-21	90.5	88.0	0.4	
	CK-24	91.0	79.5	0.22	
	EK-16	87.8	87.0	0.29	
	FK-15	88.0	88.5	0.35	
Standart Sapma :				0.07	
$\sigma = 0.1$	CK-7	89.0	85.5	0.28	0.38
	EK-12	89.0	86.5	0.42	
	EK-15-1	88.3	87.3	0.35	
	FK-8	88.5	84.5	0.47	
Standart Sapma :				0.08	
$\sigma = 0.15$	BK-4	88.5	90.5	0.16	0.40
	BK-10	89.5	90.3	0.3	
	BK-13	88.0	90.0	0.39	
	CK-13	90.5	82.5	0.6	
	CK-15	91.0	90.0	0.35	
	EK-7	86.3	87.5	0.19	
	EK-14	90.3	87.0	0.67	
	FK-5	88.5	90.0	0.56	
Standart Sapma :				0.19	
$\sigma = 0.30$	BK-18	90.3	88.5	0.36	0.41
	BK-19-1	82.5	89.0	0.46	
	CK-1	91.0	91.8	0.41	
	CK-3	91.0	79.0	0.31	
	CK-19	91.0	90.5	0.47	
	EK-2-1	87.5	82.5	0.33	
	FK-4	88.3	88.0	0.31	
	FK-9	87.5	87.8	0.51	
	FK-17	88.0	86.5	0.52	
Standart Sapma :				0.08	

Tablo 4.4 Karot Numuneleri Basınç Deneyi Sonuçları

Numune İsmi	D (mm)	H (mm)	L (mm)	Basınç Dayanımı f'_{cc} (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı $f'_{cc,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E'_{cc} (MPa)	Ortalama Elastisite Modülü $E'_{cc,ort}$ (MPa)
BK-1	89	88.5	100.6	4.3	3.3	298	255
BK-5-5	90.7	88.5	99.5	2.3		177	
BK-7	91.8	90.3	95.8	2		91	
BK-9	92	87	97.4	6.1		559	
BK-16	89	86.5	103.3	2.4		129	
BK-17	90.3	88.5	105.1	3.1		200	
BK-19	90.5	91.5	103.3	3.6		249	
CK-1-1	88	87.8	102.3	3		185	
CK-2	89.3	79.8	104.4	2.8		179	
CK-2-1	90.3	89.3	104.3	2.7		308	
CK-3-1	91.3	88	106.4	3		191	
CK-5	90.5	92	102	2.9		192	
CK-6	90.5	86	109	2.4		155	
CK-7-1	90.5	88.5	102.3	3.5		283	
CK-10	91.5	91.3	102	3.9		263	
CK-12	91.3	96.8	107.1	3.9		346	
CK-21-1	86	88.2	104	3.6		391	
CK-22	88.2	86.7	103.5	3.6		281	
CK-23-1	90	80.2	108.2	3.2		237	
DK-2	89.5	92	108	2.8		145	
DK-3	89	80	104	2.3		224	
DK-6	89	90.5	109.3	2.2		176	
DK-8	90.3	90.8	105.3	3		144	
DK-9	90.5	90.3	110.1	4.6		552	
DK13-1	88.8	89.8	103.6	4.3		314	
DK-14-1	90.3	90	111	2.8		337	
DK-16	88.5	87	104.9	4.3		208	
DK-17	90.5	89	106	4		416	
DK-19	92	90	106	5.8		332	
DK-22	92.3	84.5	102	3.9		362	
EK-1	87.8	87	102.5	2.2		140	
EK-2	88	74.5	101.5	4.7		--	
EK-2-2	84	85.5	96	2.6		157	
EK-4	86.5	88	102.5	2.1		181	
EK-5	83	87.5	103.5	3		213	
EK-6	88	87	97.5	2.3		117	
EK-8	85.8	87	104	1.9		117	
EK-9-1	89.5	86.3	101	4.7		572	
FK-1	88.5	87.5	102.5	2.6		240	
FK-2	83.8	88.5	103	1.7		109	
FK-3	89.5	88.5	106	4.2		381	
FK-6	87	87.5	99	4.2		416	
FK-7	87.5	86.5	102.5	2.4		162	
FK-7-1	88.5	86	99	3.7		228	
FK-11	88.3	85.8	104.9	4.1		264	
Standart Sapma :				1.01		120	

4.2.3. Tuğla

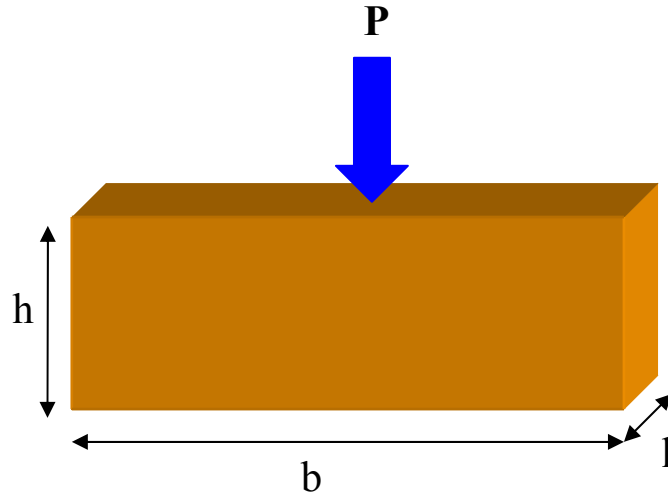
Çalışma kapsamında üretilen duvar numunelerinin Akaretler Sıraev Grubunun taşıyıcı duvarlarını temsil etmesi tasarlanmıştır. Bu amaçla numunelerin imalatında sıraev grubunun restorasyon çalışma kapsamında yıkılan taşıyıcı duvarlarından toplanan hasarsız tuğlalar kullanılmıştır, Şekil 4.8.



Şekil 4.8: Akaretler Sıraev Grubundan Toplanan Tuğlalar

Toplanan tuğlaların mekanik özelliklerini belirleyebilmek için 11 adet tekli tuğlada ve 13 adet de üçlü tuğla üzerinde basınç deneyi yapılmıştır, Şekil 4.9, 4.10, 4.12, 4.13. Tekli tuğla ve üçlü tuğla numunelerinin, basınç deneylerinden elde edilen gerilme-şekildeğiştirme grafikleri, Şekil 4.11 ve 4.14’de verilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlar ise Tablo 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.

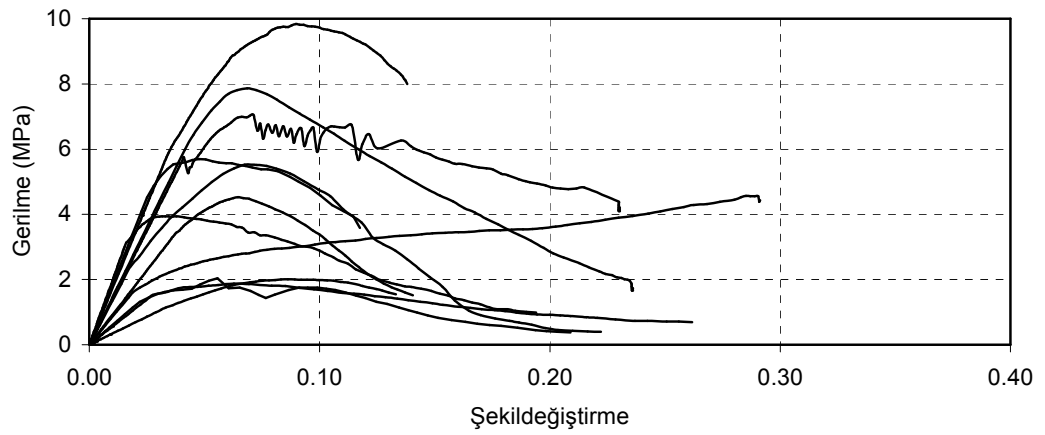
Tekli tuğla deneylerinden elde edilen ortalama tuğla basınç dayanımı öngörülenden daha yüksek bir değere ulaşmıştır. Elde edilen bu değer gerçekte tuğla basınç dayanımını yansıtmadığı düşünülerek üçlü tuğla numunelerinde, duvar imalatında kullanılan tuğlaların ortalama dayanımını belirlemek için, basınç deneyi yapılmıştır. Üçlü tuğla numuneleri, aynı boyutta üç adet yarım tuğlanın üst üste konulmasıyla oluşturulmuştur ve numunelerin derzlerinde sadece düşeyliği sağlayabilmek için minimum kalınlıkta tamir harcı kullanılmıştır.



Şekil 4.9: Tekli Tuğla Yükleme Biçimi



Şekil 4.10: Tekli Tuğla Numunelerde Basınç Deneyi

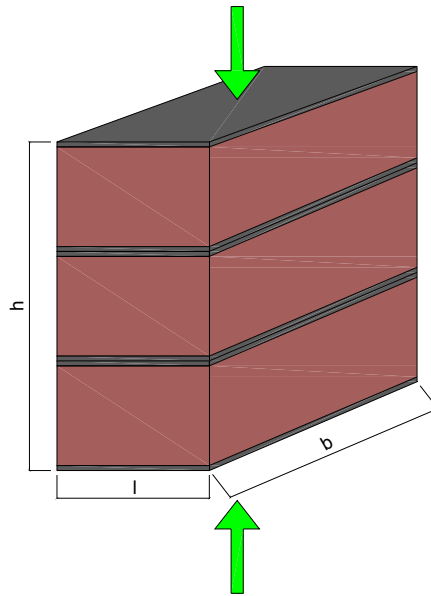


Şekil 4.11: Tekli Tuğla Numuneleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Tablo 4.5 Tekli Tuğla Basınç Deneyi Sonuçları

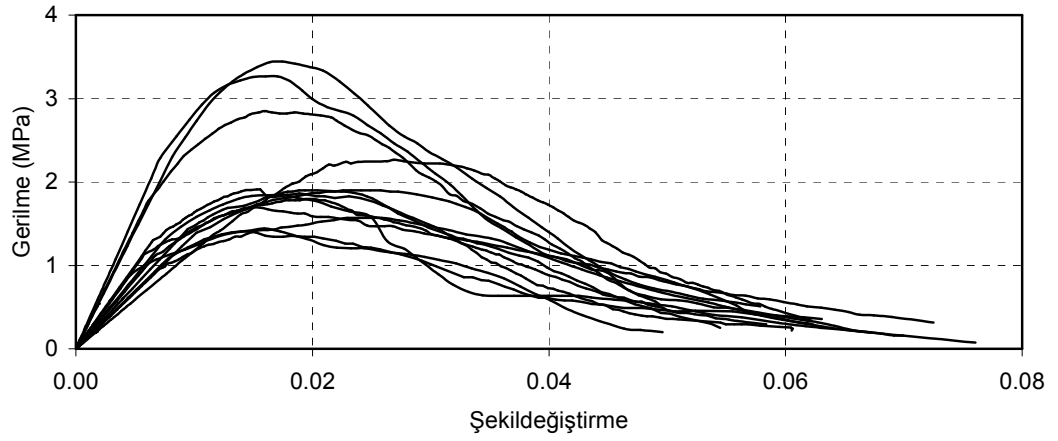
Eleman İsmi	Kesit Boyutları $h \times b \times l$ (mm)	Basınç Dayanımı f'_b (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı $f'_{b,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E'_b (MPa)	Ortalama Elastisite Modülü $E'_{b,ort}$ (MPa)
T1	50x100x160	9.84	5.00	172	118
T2	55x81x106	5.70		181	
T3	45x105x125	7.86		144	
T4	50x105x135	5.52		135	
T5	55x107x135	2.04		60	
T6	50x104x180	2.01		34	
T7	52x120x99	4.53		91	
T8	47x103x188	4.57		85	
T9	49x85x199	7.05		140	
T10	48x76x145	1.88		56	
T11	60x135x107	3.94		196	
Standart Sapma :		2.56		55.0	

Tekli tuğla basınç deneyi sonuçları değerlendirildiğinde; elde edilen ortalama tuğla basınç dayanımı değerinin gerçek tuğla basınç dayanımını yansıtmadığına karar verilmiştir. Bu değer, deney sırasında tuğla başlıkları ile yükleme cihazının piston başlıkları arasında oluşan sürtünme etkisi sonucunda tuğla başlıklarının sargılama etkisi yapması ile yüksek çıktığı düşünülmektedir.

**Şekil 4.12:** Üçlü Tuğla Yükleme Biçimi



Şekil 4.13: Üçlü Tuğla Numunelerde Basınç Deneyi



Şekil 4.14: Üçlü Tuğla Numuneleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Tablo 4.6 Üçlü Tuğla Basınç Deneyi Sonuçları

Eleman İsmi	Kesit Boyutları h x b x l (mm)	Basınç Dayanımı f'_b (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı $f'_{b,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E'_b (MPa)	Ortalama Elastisite Modülü $E'_{b,ort}$ (MPa)
TP1	174x110x108	1.84	2.10	173	192
TP2	174x117x110	1.44		191	
TP3	165x107x99	3.27		321	
TP4	160x118x113	2.85		290	
TP5	165x109x112	3.44		283	
TP6	146x151x105	1.57		136	
TP7	156x107x92	1.41		139	
TP8	155x120x98	1.70		166	
TP9	154x114x101	2.30		118	
TP10	142x128x97	1.91		200	
TP11	153x148x97	1.79		196	
TP12	157x144x109	1.90		137	
TP13	160x129x103	1.90		152	
Standart Sapma :		0.67		65.6	

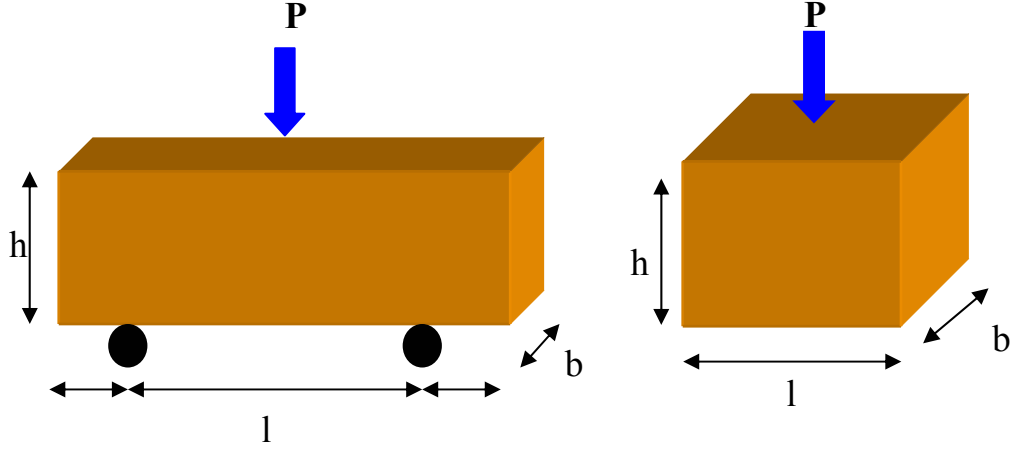
Duvar imalatında kullanılan tuğlaların dayanımı üçlü tuğla basınç deneylerinden elde edilen ortalama değer olarak alınmıştır. Üçlü tuğla deneyinin amacı tuğla başlıkları arasındaki mesafeyi arttırarak, deney sırasında meydana gelen sürtünmenin dayanıma olan etkisinin azaltılmasıdır. Bu deneylerden elde edilen dayanım değeri numunelerin ortasındaki tuğlaya ait dayanım değeridir.

4.2.4. Harç

Akaretler Sıraev Grubu taşıyıcı duvarlarında kullanılan harcın mekanik özelliklerini belirlemek için toplanan orijinal harç numunelerinde eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır, Şekil 4.15, 4.16. Eğilme ve basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de verilmiştir. Orijinal harç numunelerinin, eğilme ve basınç deneylerinden elde edilen eğilmede çekme dayanımı-sehim ve gerilme-şekildeğiştirme grafikleri sırasıyla Şekil 4.17 ve 4.18’de verilmiştir Harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımı değeri denklem (4.1)’den yararlanarak

hesaplanmıştır Orijinal harç numunelerinin elastisite modülü değeri basınç dayanımlarının %30'u ile %60'ı arasındaki eğim olarak hesaplanmıştır.

$$f_f = 1.5 \frac{P.l}{b.h^2} \quad (4.1)$$



a. Eğilme Deneyi

b. Basınç Deneyi

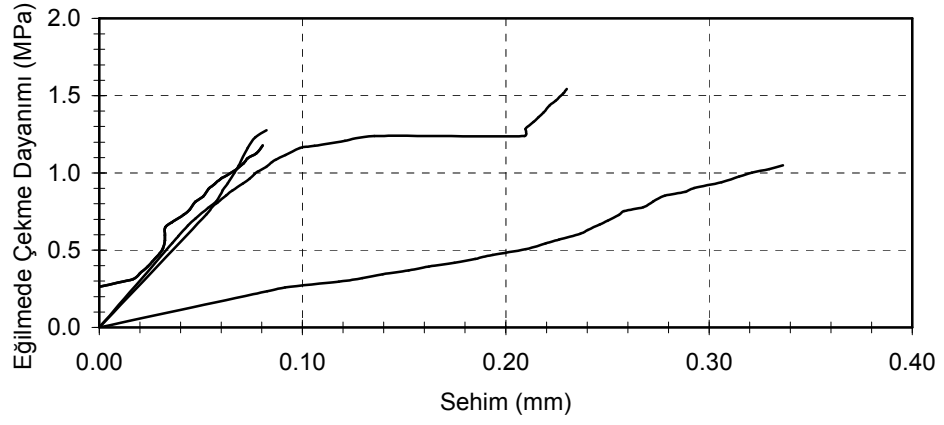
Şekil 4.15: Orijinal Harç Numunesi Yükleme Biçimi



a. Eğilme Deneyi

b. Basınç Deneyi

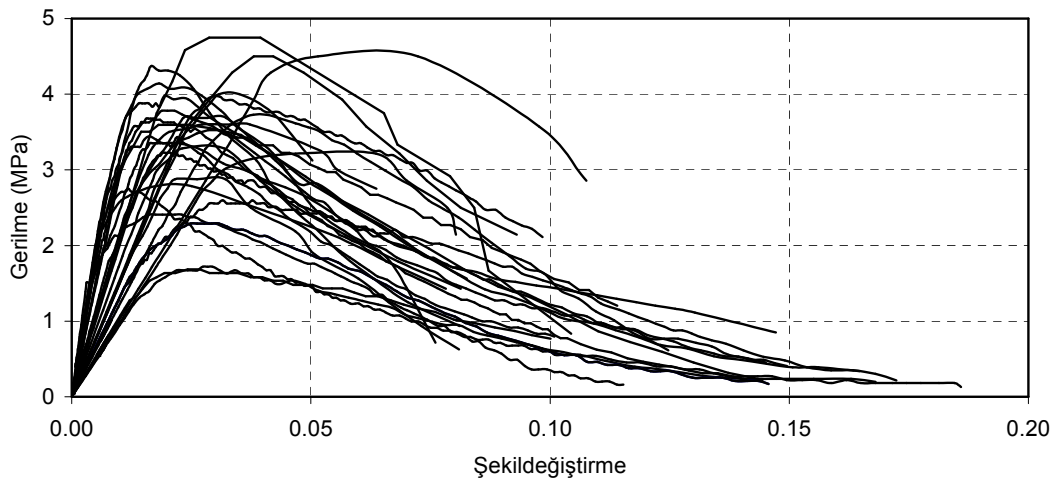
Şekil 4.16: Orijinal Harç Numunesi Deneyleri



Şekil 4.17: Orijinal Harç Numuneleri İçin Eğilmede Çekme Dayanımı-Sehim İlişkisi

Tablo 4.7 Orijinal Harç Eğilme Deneyi Sonuçları

Orijinal Harç Eğilme Numunesi	Kesit Boyutları $h \times l \times b$ (mm)	Eğilmede Çekme Dayanımı f'_{fj} (MPa)	Ort. Eğilmede Çekme Dayanımı $f'_{fj,ort}$ (MPa)
OM-1	34x100 x27	1.28	1.28
OM-2	35x100 x47	1.05	
OM-3	35 x100 x35	1.18	
OM-4	29 x100 x29	1.34	
OM-5	35 x100 x38	1.54	
Standart Sapma :		0.18	



Şekil 4.18: Orijinal Harç Numuneleri İçin Gerilme-Şekildeğiştirme İlişkisi

Tablo 4.8 Orijinal Harç Basınç Deneyi Sonuçları

Eleman İsmi	Kesit Boyutları h x l x b (mm)	Basınç Dayanımı f'_{mj} (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı $f'_{mj,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E'_{mj} (MPa)	Ortalama Elastisite Modülü $f'_{mj,ort}$ (MPa)
OM-6	40x40x40	3.69	3.41	208	237
OM-7	35x40x35	4.5		102	
OM-8	47x40x35	2.79		361	
OM-9	40x30x40	4.75		211	
OM-10	36x35x40	4.5		150	
OM-11	40x35x40	4.14		391	
OM-12	46x35x40	3.29		175	
OM-13	39x35x40	3.21		97	
OM-14	46x40x40	4.38		353	
OM-15	41x40x40	4		155	
OM-16	49x40x50	3.6		216	
OM-17	48x40x40	2.88		149	
OM-18	46x41x40	2.75		482	
OM-19	39x38x39	2.6		131	
OM-20	41x39x41	2.41		350	
OM-21	40x39x37	2.29		131	
OM-22	36x43x39	1.72		94	
OM-23	40x40x40	3.66		304	
OM-24	42x37x35	3.23		232	
OM-25	39x39x40	3.78		399	
OM-26	35x37x35	3.44		297	
OM-27	34x43x34	1.68		106	
OM-28	36x41x35	3.44		291	
OM-29	35x35x38	3.6		407	
OM-30	33x36x36	3.98		369	
OM-31	33x33x36	3.53		200	
OM-32	33x39x33	3.97		151	
OM-33	29x34x34	3.73		122	
Standart Sapma :		0.79		115	

4.2.5. Harç Deneme Karışımları

Mekanik özellikleri belirlenen orijinal harcı duvar numunelerinde temsil edecek uygun harç karışımını elde edebilmek için 6 farklı deneme karışımı oluşturulmuştur. Deneme karışımları oluşturulurken kullanılan malzemeler, aynı kalmak kaydıyla,

oranları değiştirilerek uygun karışım elde edilmeye çalışılmıştır. Tablo 4.9’da deneme karışımlarında kullanılan malzemelerin ağırlıkça karışım oranları verilmiştir.

Karışımlarda kullanılan malzemeler; BASF-YKS’den temin edilen granüllü kum, Nuh Çimento tarafından üretilen PÇ 42.5 çimento ve söndürülmüş toz kireçtir (S-KK-80-T).

Deneme karışımları İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi laboratuvarında 2 dm³ kapasiteli düşey karıştırıcıda yapılmış ve her bir karışımdan 100x40x40 mm³ boyutlarındaki kalıplarla üçer adet numune alınmıştır, Şekil 4.19.

Tablo 4.9 Deneme Karışımlarında Kullanılan Malzemelerin Ağırlıkça Oranları

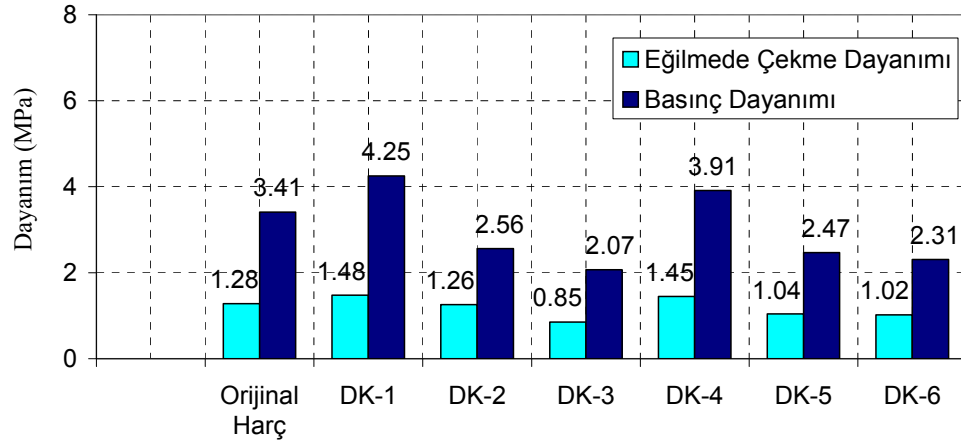
Malzeme	Deneme Karışımı-1	Deneme Karışımı-2	Deneme Karışımı-3	Deneme Karışımı-4	Deneme Karışımı-5	Deneme Karışımı-6
Çimento:Kireç:Kum	01:02:09	01:02:12	01:02:15	01:01:11	01:01:14	01:01:17
Çimento	2.0	1.7	1.5	2.1	1.8	1.5
Hidrolik Kireç	4.1	3.4	2.9	2.1	1.8	1.5
Kum (iri taneli)	18.4	20.4	21.9	23.5	24.7	25.6
Su	4.3	4.3	3.9	3.8	3.9	3.3



Şekil 4.19: Deneme Karışımı Dökümü

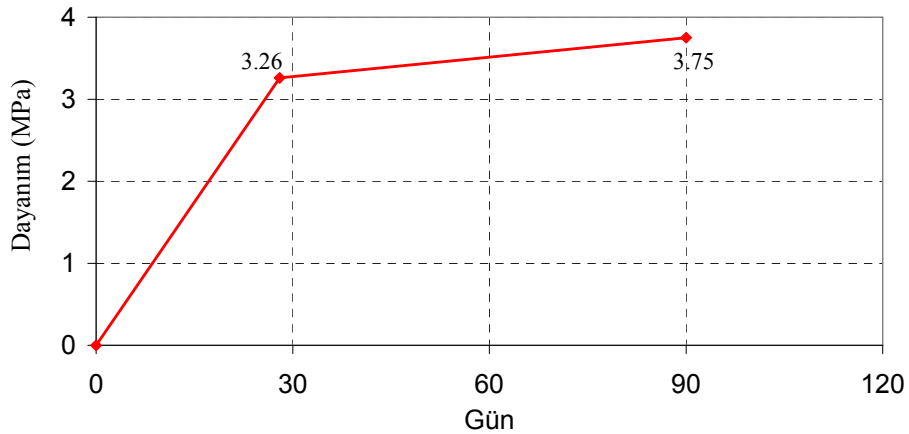
Deneme karışımlarından alınan numuneler 7 gün sonra eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuçlar orijinal harç numunesi deneylerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında duvar numunelerinin imalatında 3 nolu deneme karışımının kullanılmasına karar verilmiştir, Şekil 4.20. Değerlendirme yapılırken elde edilen

dayanım değerlerinin orijinal harç numuneleri için yaklaşık 125 yıllık olduğu, deneme karışımları için ise 7 günlük değerler olduğu göz önüne alınmış ve güvenli tarafta kalınması tercih edilmiştir. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.20: Orijinal Harç ve Deneme Karışımları Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları

Duvar numunelerinin imalatında kullanılan üç nolu harç karışımından alınan numunelerin mekanik özellikleri farklı harç yaşlarında deneysel olarak belirlenmiştir. Derz harcının basınç dayanımının zamana göre değişimi de Şekil 4.21'de verilmiştir. Harç numunelerinde yapılan 28 ve 90 günlük eğilme ve basınç deneyi sonuçları Tablo 4.11'de verilmiştir. Duvar numunelerinin deneyleri, derz harcının 49-135 gününde (deney yaşı) iken yapılmıştır.



Şekil 4.21: Derz Harcı Basınç Dayanımının Zamana Göre Değişimi

Tablo 4.10 Deneme Karışımları Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları

Deneme Karışımı	Yaşı (Gün)	Eğilmede Çekme Dayanımı f_{fj} (MPa)	Ort. Eğilmede Çekme Dayanımı $f_{fj,ort}$ (MPa)	Deneme Karışımı Basınç Numunesi	Basınç Dayanımı f'_{mj} (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı $f'_{mj,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E'_{mj} (MPa)	Ort. Elastisite Modülü $E'_{mj,ort}$ (MPa)
DK-1-1	7	1.57	1.48	DK-1-1-1	4.38	4.25	752	672
				DK-1-1-2	4.19		960	
DK-1-2	7	1.44		DK-1-2-1	4.31		447	
				DK-1-2-2	4.19		746	
DK-1-3	7	1.42		DK-1-3-1	4.25		582	
				DK-1-3-2	4.19		542	
DK-2-1	7	0.91	1.26	DK-2-1-1	2.56	2.56	506	500
				DK-2-1-2	2.50		601	
DK-2-2	7	1.44		DK-2-2-1	2.56		486	
				DK-2-2-2	2.50		459	
DK-2-3	7	1.42		DK-2-3-1	2.56		468	
				DK-2-3-2	-		482	
DK-3-1	7	0.57	0.85	DK-3-1-1	1.88	2.07	317	393
				DK-3-1-2	2.50		457	
DK-3-2	7	0.94		DK-3-2-1	2.06		432	
				DK-3-2-2	2.00		556	
DK-3-3	7	1.05		DK-3-3-1	2.25		333	
				DK-3-3-2	2.25		264	
DK-4-1	7	1.41	1.45	DK-4-1-1	3.81	3.91	781	521
				DK-4-1-2	4.00		755	
DK-4-2	7	1.28		DK-4-2-1	3.75		742	
				DK-4-2-2	3.62		296	
DK-4-3	7	1.67		DK-4-3-1	3.62		231	
				DK-4-3-2	4.00		318	
DK-5-1	7	1.00	1.04	DK-5-1-1	2.18	2.47	416	419
				DK-5-1-2	2.00		302	
DK-5-2	7	1.06		DK-5-2-1	2.50		440	
				DK-5-2-2	2.19		301	
DK-5-3	7	1.05		DK-5-3-1	1.94		466	
				DK-5-3-2	2.75		590	
DK-6-1	7	0.99	1.02	DK-6-1-1	2.31	2.31	700	529
				DK-6-1-2	2.31		551	
DK-6-2	7	1.03		DK-6-2-1	2.38		562	
				DK-6-2-2	2.25		559	
DK-6-3	7	1.05		DK-6-3-1	2.19		366	
				DK-6-3-2	2.31		438	

Tablo 4.11 Derz Harcı Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları

Harç Numunesi	Yası (Gün)	Eğilmede Çekme Dayanımı f_t (MPa)	Ort. Eğilmede Çekme Dayanımı $f_{t,ort}$ (MPa)	Harç Basınç Numunesi	Basınç Dayanımı f'_{mj} (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı $f'_{mj,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E'_{mj} (MPa)	Ort. Elastisite Modülü $E'_{mj,ort}$ (MPa)
28_1	28	1.10	1.23	28_1_1	2.88	3.28	267	327
				28_1_2	3.11		285	
28_2	28	1.26		28_2_1	3.27		347	
				28_2_2	3.19		337	
28_3	28	1.23		28_3_1	3.39		442	
				28_3_2	3.38		302	
28_4	28	1.49		28_4_1	3.23		290	
				28_4_2	3.07		267	
28_5	28	1.05		28_5_1	3.64		355	
				28_5_2	3.68		382	
Standart Sapma:		0.17			0.25		56	
90_1	90	1.49	1.58	90_1_1	3.76	3.75	426	420
				90_1_2	4.19		526	
90_2	90	1.42		90_2_1	3.63		321	
				90_2_2	3.35		253	
90_3	90	1.80		90_3_1	2.82		431	
				90_3_2	3.37		358	
90_4	90	1.40		90_4_1	3.31		338	
				90_4_2	3.19		377	
90_5	90	1.28		90_5_1	4.58		438	
				90_5_2	4.25		376	
90_6	90	2.07		90_6_1	4.58		568	
				90_6_2	3.94		633	
Standart Sapma:		0.30			0.57		109	

Deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde; 7 günlük mekanik özellikleri dikkate alınarak seçilen harç karışımının, deney günlerinde orijinal harç özelliklerine yakın mekanik özellikler gösterdiği görülmüştür.

4.2.6. Sıva

Güçlendirme uygulaması yapılacak duvar elemanlarında, yüzey hazırlıkları ve yükleme başlığı yapımı aşamalarında YKS tarafından üretilen çimento esaslı, tek bileşenli, polimer ve lif katkılı, yüksek dayanımlı, klor ve sülfata dayanıklı rötresiz

tamir harcı (Emaco S88 C) kullanılmıştır. Bu malzemenin uygulaması oldukça kolay olup, sadece su ile karıştırılarak kullanılmaktadır.

Üreticiden alınan bilgilere göre malzeme astarsız kullanılır, çelik ve betona iyi aderans sağlar. Ayrıca akışkan kıvamlı, kolay işlenebilir, ayrışma yapmayan, geçirimsiz bir özelliğe sahiptir. Ürünün firma tarafından verilen özellikleri Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12 Emaco S88 C Tamir Harcı Malzemesinin Teknik Özellikleri

Renk	Gri
Karışımın yoğunluğu (kg/lt)	2.23
Eğilme Dayanımı (MPa)	8
Basınç Dayanımı (MPa)	70
Çekme Dayanımı (MPa)	2
Elastisite Modülü (MPa)	28000

Kullanılan tamir harcının mekanik özelliklerini belirleyebilmek için hazırlanan harçtan (genişlikxyükseklikxkalınlık) 100x40x40 mm³ boyutlarında kalıplarla 3 adet numune alınmıştır. Alınan numunelerde 90 gün sonra eğilme deneyi yapılarak eğilmede ortalama çekme dayanımları hesaplanmıştır, Şekil 4.22(a). Harç numunelerinin ortalama basınç dayanımları ve elastisite modüllerini belirleyebilmek için de eğilme deneyi sonunda elde edilen parçalarda basınç deneyi yapılmıştır, Şekil 4.22(b). Eğilme ve basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.13’de verilmiştir.



a. Eğilme Deneyi

b. Basınç Deneyi

Şekil 4.22: Tamir Harcı Numuneleri Deneyleri

Tablo 4.13 Tamir Harcı Numunelerinin Eğilme ve Basınç Deneyi Sonuçları

Harç Eğilme Numunesi	Harç Yaşı (Gün)	Eğilmede Çekme Dayanımı f_t (MPa)	Ort. Eğilmede Çekme Dayanımı $f_{t,ort}$ (MPa)	Harç Basınç Numunesi	Basınç Dayanımı f_c (MPa)	Ort. Basınç Dayanımı $f_{c,ort}$ (MPa)	Elastisite Modülü E_c (MPa)	Ort. Elastisite Modülü $E_{c,ort}$ (MPa)
S-90-1	90	6.47	7.01	S-90-1-1	45.0	44.0	3414	3085
				S-90-1-2	43.8		2596	
S-90-2	90	6.86		S-90-2-1	44.7		2851	
				S-90-2-2	39.3		3407	
S-90-3	90	7.71		S-90-3-1	43.6		3011	
				S-90-3-2	46.9		3231	
Standart Sapma:		0.63			2.53		326	

4.2.7. Lifli Polimer Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Bu tez çalışmasında duvar elemanlarının güçlendirilmesinde BASF-YKS'den temin edilen EG-60AR türü cam esaslı (GFRP), tek yönlü, lifli kumaşlar kullanılmıştır, Şekil 4.23.



Şekil 4.23: Tek Yönlü Cam Lifli Kumaş

Yüksek dayanımlı cam lifli polimer kompozitler, betonarme kirişlerin eğilme ve kesmeye karşı güçlendirilmesi, betonarme döşemelerin eğilmeye karşı güçlendirilmesi, kolonların sarılarak basınç ve kesme dayanımlarının ve sünekliklerinin artırılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu malzeme için üretici firma tarafından verilen bazı mekanik ve geometrik özellikleri Tablo 4.14 ve 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.14 EG-60AR Türü LP Kompozitin Mekanik Özellikleri

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

Tablo 4.15 EG-60 Türü LP Kompozitin Geometrik Özellikleri

Polimer Türü	EG-60AR
Tabaka Örgü Şekli	Tek yönlü
Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	2600
Etkili Tabaka Kalınlığı (mm)	0.23

4.2.8. Lifli Kumaşların Yapıştırılmasında Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri

LP ile güçlendirilecek elemanların çimento esaslı tamir harcı uygulanmış yüzeylerinde yaklaşık 1 mm kalınlığında, yüzeydeki boşlukların doldurulması ve LP tabakaları için daha iyi bir yapışma yüzeyi oluşturmak amacıyla BASF-YKS Concresive 1406 kullanılmıştır. BASF-YKS Concresive 1406 iki bileşenli, yüksek dayanımlı, epoksi esaslı tamir, ankraj ve montaj harcıdır. Üretici firma tarafından verilen bazı mekanik özellikler Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16 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)	30
(7 gün) (MPa)	75
Eğilme Dayanımı	
(1 gün) (MPa)	17
(7 gün) (MPa)	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

Daha sonra 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 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17 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

LP kompozitler ile yapılan güçlendirme aşamasında astar uygulamasından sonra, lifli polimer tabakaların eleman yüzeyine 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 4.18’de verilmiştir.

Tablo 4.18 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

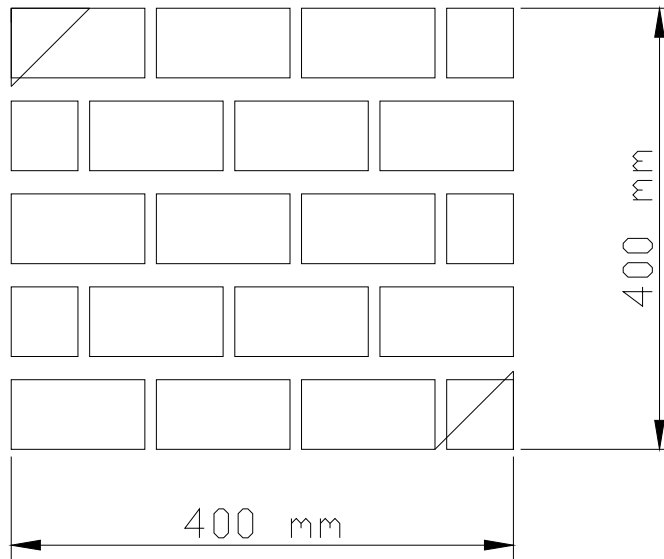
4.3. Numune Tasarımı ve İmalatı

4.3.1. Giriş

Bu çalışma kapsamında; duvar numuneleri İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Laboratuvarında üretilip, güçlendirilmiş ve denenmişlerdir. 2 adet numune güçlendirilmeden, 2 adet numune tamir harcı ile sıvandıktan sonra ve 8 adet numune LP kompozit yapıştırılarak güçlendirilerek monoton ya da tekrarlı artan diyagonal çekme etkileri altındaki davranışları incelenmiştir.

4.3.2. Numune Tasarımı

İmal edilecek duvar numunelerinin 19. yy. sonralarına doğru inşa edilen Akaretler Sıraev Grubu taşıyıcı duvarlarının mekanik özelliklerini temsil etmesi amaçlanmıştır. Bunun için sıraevlerin restorasyon çalışmaları kapsamında yıkılan taşıyıcı tuğla duvarlarından toplanan tekli ve üçlü tuğla ortalama basınç dayanımları sırasıyla 5.00 MPa ve 2.10 MPa olan hasarsız tuğlalar ile sıraevlerin duvar imalatında kullanılan harcın mekanik özelliklerini yansıtan, 28 günlük ortalama basınç dayanımı 3.26 MPa olan harç kullanılarak, 12 adet duvar elemanı üretilmiştir. Boyutların belirlenmesi sırasında İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda bulunan yükleme aygıtlarının yük kapasiteleri ve geometrik kısıtları dikkate alınmıştır. Elemanların boyutları yaklaşık (genişlik×yükseklik×kalınlık); 400×400×260 mm³ olarak tasarlanmıştır, Şekil 4.24. Ayrıca duvar elemanlar örülürken tuğlaların uzun boyutunun duvar derinliği boyunca kullanılması tasarlanmıştır. Böylece narinlik etkisi azaltılıp düzlem dışı deformasyonların önlenmesi amaçlanmıştır.



Şekil 4.24: Duvar Numunesi Şematik Görünümü (boyutlar: mm)

4.3.3. Numune İmalatı

Akaretler Sıraevlerinden toplanan tuğlaların her biri, duvar elemanlarının imalatında kullanılmadan önce tel fırça, spatula ve keski ile temizlenmiş, daha sonra da su ile yıkanmıştır.

Yüzeyleri temizlenen tuğlalar ile örülen her bir duvar numunesi 5 sıra yatay tuğladan oluşmaktadır. Düz ve temiz zemin üzerine ilk yatay sıra için 3 adet tuğla, genişlikleri 10 mm olan ahşap çıtarlar kullanılarak dizilmiş ve araları mala yardımıyla derz harcı ile doldurulmuştur, Şekil 4.25(a), (b). Daha sonra 1. yatay sıradaki tuğlaların yüzeyine yükseklikleri 20 mm olan ahşap çıtarlar kullanılarak yatay derz harcı uygulanmış ve harcın yüzeyi mala ile düzeltilmiştir, Şekil 4.25(c). Aynı işlemler tekrarlanarak 2., 3. ve 4. yatay sıra dörder adet tuğla, 5. yatay sıra ise üç adet tuğla kullanılarak oluşturulmuştur, Şekil 4.25(d), (e). Duvar elemanlarının yükleme başlıklarının, elemanların yüzey hazırlıkları aşamasında oluşturulacak olmasından dolayı 1. ve 5. yatay sıralarda yaklaşık bir tuğlalık boşluklar bırakılmıştır, Şekil 4.25(f).



(a)



(b)



(c)



(d)



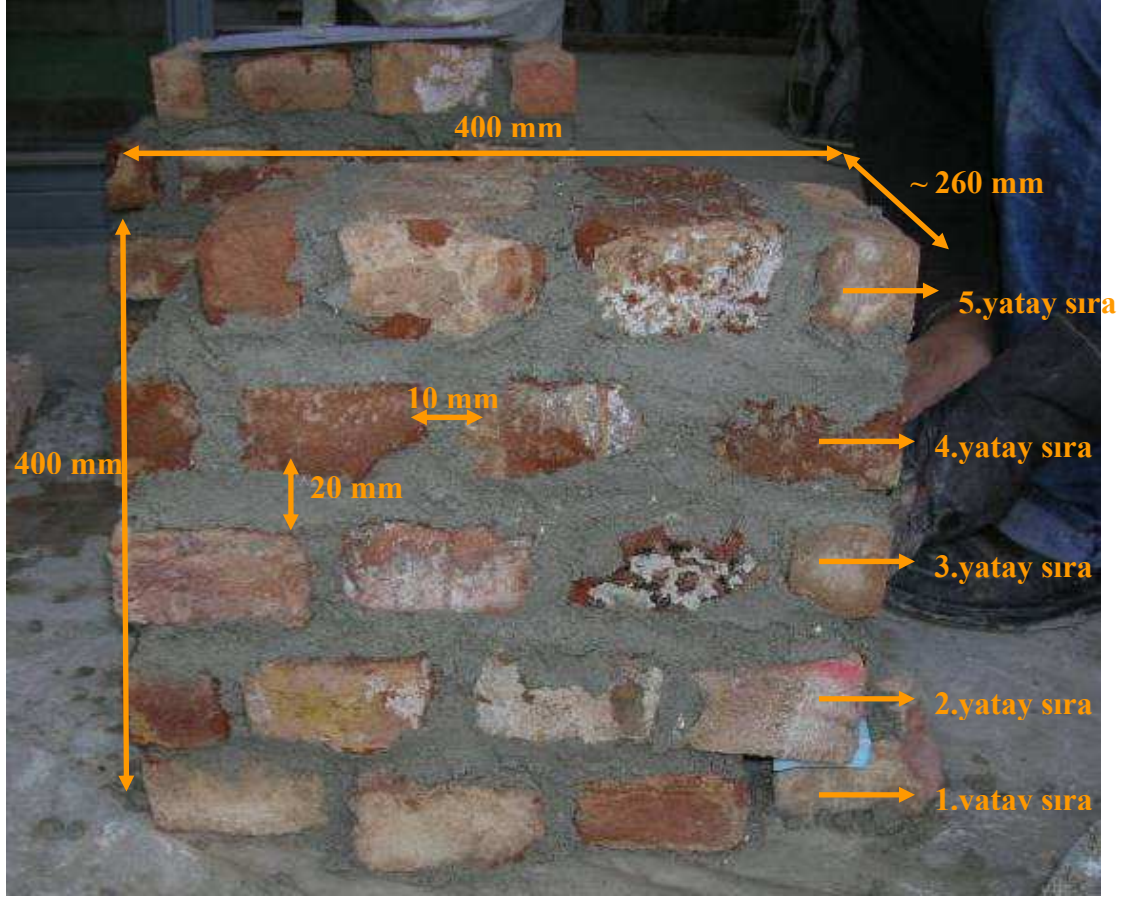
(e)



(f)

Şekil 4.25: Duvar Numunelerinin İmalatı

Böylece; düşey derz kalınlığı 10 mm, yatay derz kalınlığı 20 mm olan, her birinde 14 adet tam tuğla ve 5 yarım tuğla kullanılarak yaklaşık $400 \times 400 \times 260 \text{ mm}^3$ boyutlarında 12 adet duvar numunesi aynı gün içerisinde, 21.10.2006 tarihinde, imal edilmiştir, Şekil 4.26.



Şekil 4.26: Duvar Numune Detayı

4.4. Numunelerin Güçlendirilmesi

4.4.1. Yüzey Hazırlığı

LP kompozitler ile güçlendirilecek olan 8 ve yüzeyleri tamir harcı ile sıvanacak 2 numunede imalatlarından 36 gün sonra yüzey hazırlıklarına başlanmıştır. Elemanların tüm yüzeylerine (ön ve arka yüzeylere ortalama 20 mm, yan yüzeylere ortalama 7 mm kalınlığında), polimerlerin yapışabileceği düz bir yüzey elde edebilmek için, tamir harcı (Emaco S88C) uygulanmıştır. Tamir harcı uygulamasından önce yüzeyler tel fırça ve süpürge ile temizlenmiş ve daha iyi bir yapışma yüzeyi oluşturmak için ıslatılmıştır, Şekil 4.27.



Şekil 4.27: Numune Yüzeylerine Tamir Harcı Uygulanması

Tamir harcı ile yapılan sıvanın güçlendirme etkisini belirleyebilmek ve LP ile yapılan güçlendirmede tamir harcının katkısını tespit edebilmek için 2 numune sadece ön ve arka yüzeylere yaklaşık 20 mm kalınlığında uygulanan tamir harcı ile güçlendirilmiştir.

Yüzeylere tamir harcı uygulamasıyla eş zamanlı olarak aynı malzeme ile (Emaco S88C) tüm elemanların yükleme başlıkları da oluşturulmuştur. Yükleme başlığı yapımında elemanların alt ve üst başlıklarının aynı doğrultuda ve 45° eğimli olmasına özen gösterilmiştir. İmalatları sırasında elemanların yükleme başlığı yapımı için boş bırakılan köşeleri, öncelikle tel fırça ve süpürge ile temizlenip, ıslatılmıştır. Daha sonra kenarları 45° eğimli olacak şekilde hazırlanan şablon elemana yerleştirilmiş ve köşeler şablonun kenarlarına paralel olarak tamir harcı ile doldurulmuştur, Şekil 4.28.



Şekil 4.28: Yükleme Başlığı Yapımı

LP ile güçlendirilecek elemanların tamir harcı uygulanmış yüzeylerine 7 günlük basınç dayanımı 75 MPa, eğilme dayanımı ise 25 MPa olan çift bileşenli BASF-YKS Concrelive 1406 epoksi harcı sürülmüştür. Epoksi harcı ile yüzeydeki boşluklar doldurulmuş ve LP tabakaları için daha iyi bir yapışma yüzeyi oluşturulmuştur. Uygulamada 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 1 mm kalınlığında sürülen Concrelive 1406'nın yüzeye eşit kalınlıkta sürülmesine dikkat edilmiştir, Şekil 4.29.



Şekil 4.29: Numunelerin Yüzeylerine Epoksi Harcı Uygulanması

Yüzeyleri LP ile güçlendirme uygulaması için hazırlanmış olan numunelerden katlamalı ankraj uygulaması yapılacak olanların köşeleri, bu bölgelerde oluşabilecek gerilme yığılmalarının azaltılması amacıyla, yuvarlatılmıştır. Bu işlemin ardından, numunelerin yüzeyleri toz, kir, yağ ve benzeri maddelerden arındırılmıştır, Şekil 4.30.



Şekil 4.30: Numunelerin Köşelerinin Yuvarlatılması ve Yüzey Temizliği

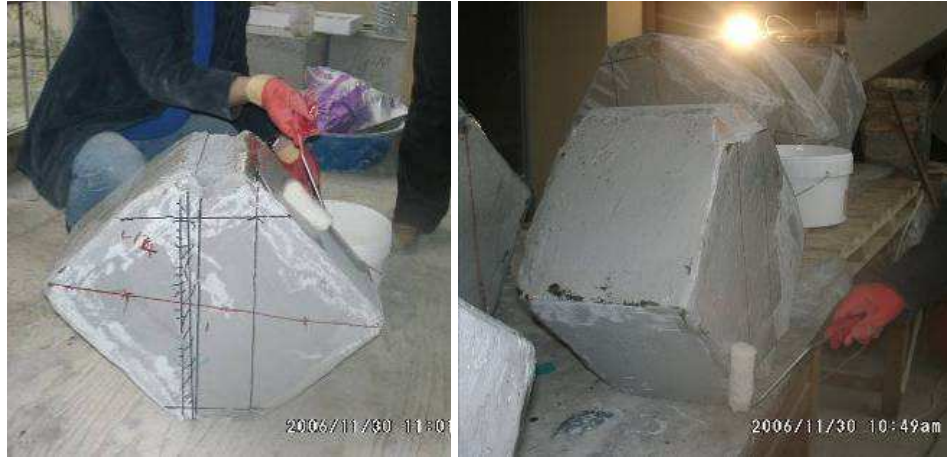
4.4.2. Güçlendirme Uygulaması

LP uygulamasından önce, cam lifli kumaşlar 600 mm uzunluğunda ve 500 mm genişliğinde kesilerek gerekli sayıda hazırlanmıştır, Şekil 4.31.



Şekil 4.31: Cam Lifli Kumaşların Hazırlanması

Güçlendirme işleminden önce, lifli polimerlerin eleman yüzeyine daha iyi yapışması ve aderansın daha iyi olması için, elemanın tüm yüzeylerine çift bileşenli epoksi astar karışımı (BASF-YKS Astar) sürülmüştür, Şekil 4.32. Epoksi astar uygulamasında 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.

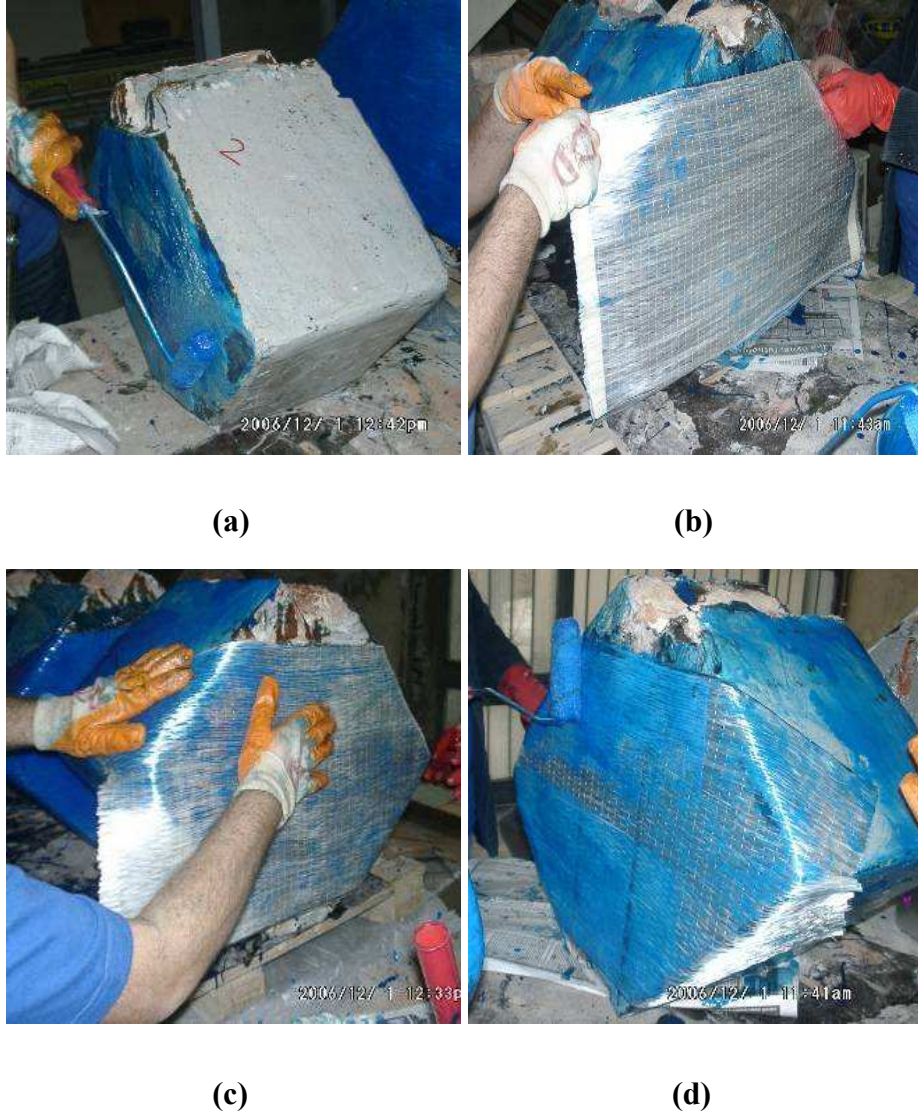


Şekil 4.32: Numune Yüzeylerine Epoksi Astar Uygulanması

Astar karışımı sürülen elemanlar, lifli polimerin yapıştırılmasından önce yaklaşık 24 saat bekletilmiştir.

LP uygulamasında, lifli polimerlerin numuneye ve birbirlerine yapışması için çift bileşenli epoksi yapıştırıcı (BASF-YKS Epoksi Esaslı Yapıştırıcı) kullanılmıştır. Epoksi yapıştırıcının 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, Şekil 4.33(a). Ardından polimer tek doğrultuda, çekme gerilmesini karşılayacak yönde, eleman yüzeyine yapıştırılmıştır, Şekil 4.33(b). LP tabakasının liflerinin tümüyle, yapıştırıcıyla temas etmesine, ayrıca tabakalar arasında hava kalmamasına özen gösterilmiş, bunun için polimerler her aşamada el ile düzeltilmiş ve her aşamada yapıştırıcının yüzeye eşit şekilde dağılması

sağlanmıştır, Şekil 4.33(c). Son olarak en üst tabaka üzerine de yapıştırıcı sürülmüştür, Şekil 4.33(d). Her tabaka için aynı işlemler tekrarlanmıştır.



Şekil 4.33: Cam Lifli Kumaşların Yapıştırılması

Numuneler, güçlendirme uygulaması tamamlandıktan sonra yeterli süre bekletilmiş, (en az 10 gün), ve deneyler bu süre sonunda yapılmaya başlanmıştır.

4.4.3. Ankraj Detayının Uygulanması

LP kompozitlerin duvar elemana daha iyi bağlanması için kullanılan ankrajların, numunelerin diyagonal çekme dayanımına ve sünekliğe katkısını incelemek amacıyla, LP kompozit ile güçlendirilen iki numunede (DS-P-G-2-A1-M ve DS-P-G-2-A1-C numunelerinde) süreksiz ve iki numunede (DS-P-G-1-A3-M ve

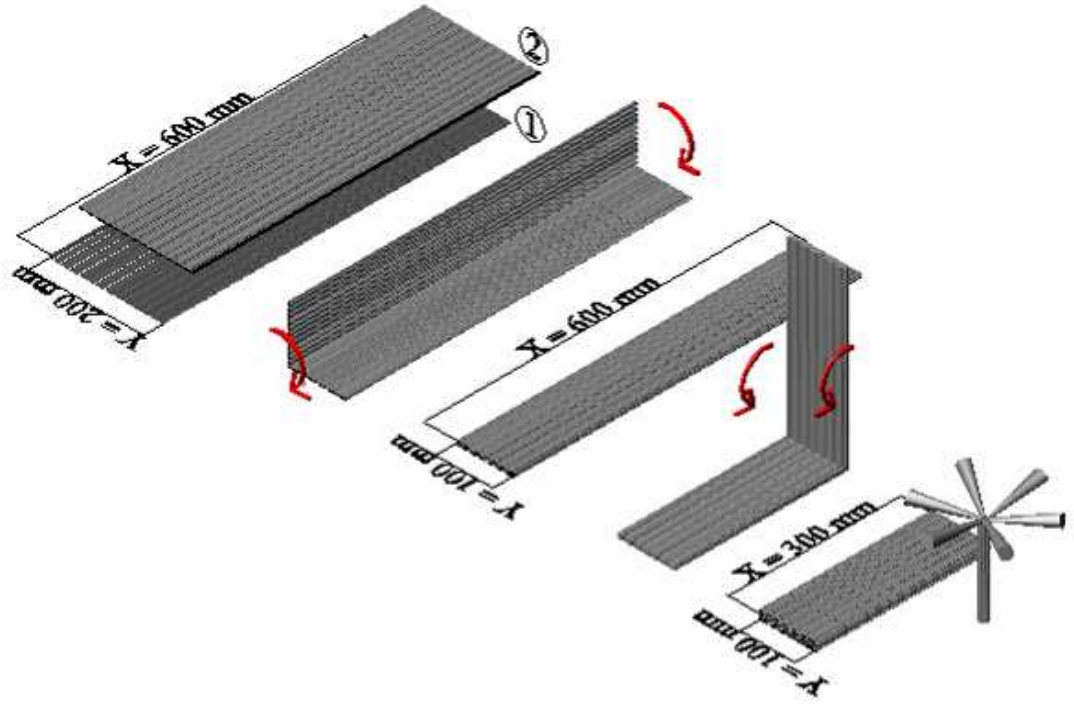
DS-P-G-2-A3-M numunelerinde) katlamalı ankraj ve bir numunede de (DS-P-G-3-A2-M numunesinde) sürekli ankraj uygulamaları yapılmıştır.

Sürekli ankraj uygulaması yapılacak numunelerde; güçlendirme işleminden önce, ön ve arka yüzde, her iki yüzeye ikişer adet olmak üzere, toplam 4 adet, 20 mm çapında ve 150 mm derinliğinde ankraj delikleri açılmış ve bu delikler kompresör yardımıyla iyice temizlenmiştir, Şekil 4.34.



Şekil 4.34: Sürekli Ankraj Hazırlıkları

Bu numunelerde cam lifli kumaşların yapıştırılması ile güçlendirme uygulamasının yapıldığı aynı gün içerisinde ankraj uygulaması da yapılmıştır. 600 mm uzunluğunda ve 200 mm genişliğinde kesilerek hazırlanan 2 kat cam lifli kumaş üst üste konularak, boyutları (b x h) 300x100 mm² olacak şekilde katlanmış ve ankraj uygulaması için hazırlanmıştır, Şekil 4.35. Hazırlanan kumaşlar epoksi esaslı yapıştırıcıyı iyice emmeleri sağlandıktan sonra tel yardımıyla ankraj deliklerine yerleştirilmiş ve uygulama yapıldıktan sonra, boşluk kalmaması için ankraj deliklerine şırınga yardımıyla yapıştırıcı enjekte edilmiştir, Şekil 4.36.

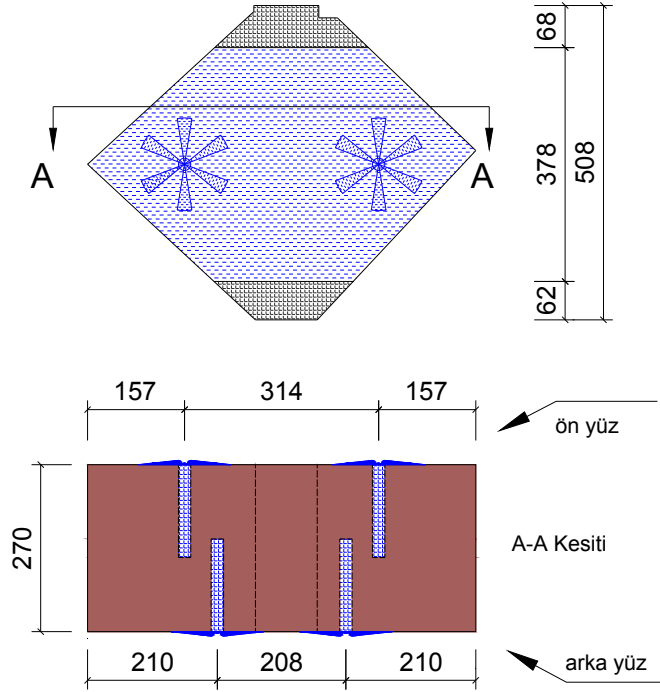


Şekil 4.35: Süreksiz Ankraj Uygulaması için Cam Lifli Kumaşların Hazırlanması



Şekil 4.36: Süreksiz Ankraj Uygulaması

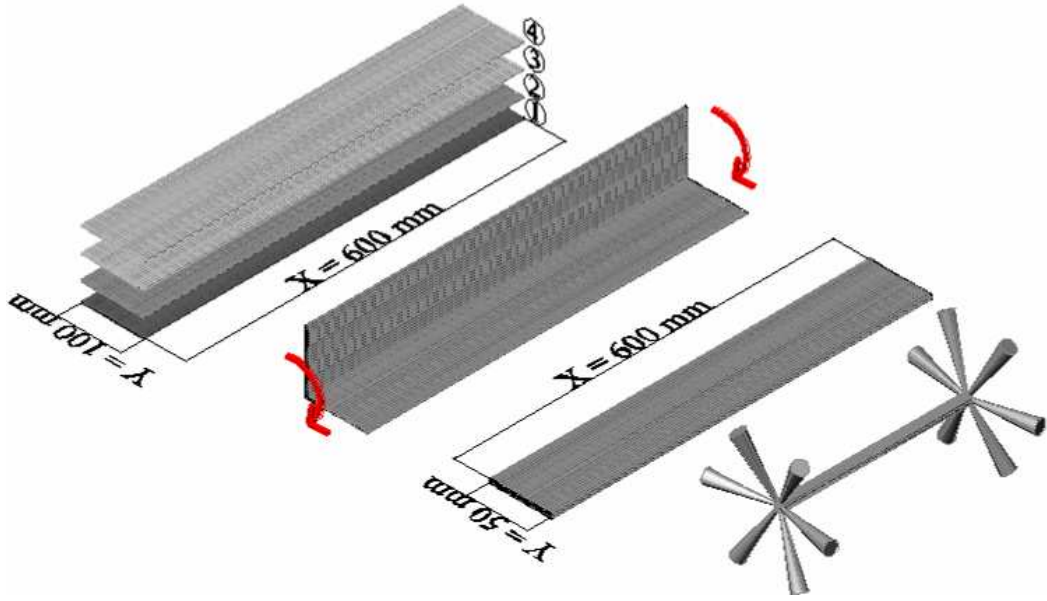
DS-P-G-2-A1-M ve DS-P-G-2-A1-C güçlendirilmiş elemanlarında uygulanan süreksiz ankraj detayı Şekil 4.37’de verilmiştir.



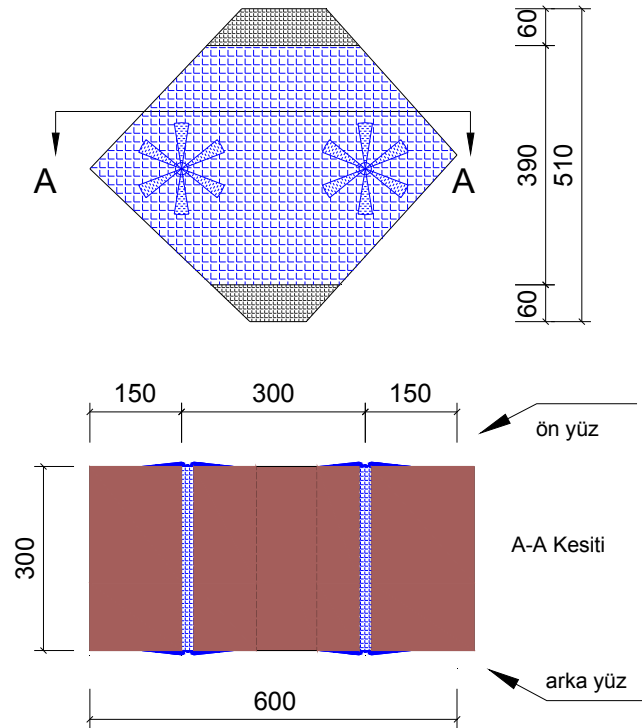
Şekil 4.37: Süreksiz Ankraj Detayı (boyutlar: mm)

Sürekli ankraj uygulaması yapılacak numunede; güçlendirme işleminden sonra, ön yüzden arka yüze sürekli devam eden, 20 mm çapında ankraj delikleri açılmış, bu delikler kompresör yardımıyla temizlenmiştir. 600 mm uzunluğunda ve 100 mm genişliğinde kesilerek hazırlanan 4 kat cam lifli kumaş üst üste konularak, süreksiz ankraj uygulamasıyla aynı kesit alanında LP kullanılması için, boyutları (b x h) $600 \times 50 \text{ mm}^2$ olarak katlanmış ve ankraj uygulaması için hazırlanmıştır, Şekil 4.38. Hazırlanan cam lifli kumaşlar epoksi esaslı yapıştırıcıya bulanıp, yapıştırıcıyı iyice emmeleri sağlandıktan sonra numune derinliği boyunca devam eden ankraj deliklerine bir tel yardımıyla yerleştirilmişlerdir. Uygulama yapıldıktan sonra, boşluk kalmaması için ankraj deliklerine şırınga yardımıyla yapıştırıcı enjekte edilmiştir.

DS-P-G-3-A2-M güçlendirilmiş elemanlarında uygulanan sürekli ankraj detayı Şekil 4.39’da verilmiştir.



Şekil 4.38: Sürekli Ankraj Uygulaması için Cam Lifli Kumaşların Hazırlanması



Şekil 4.39: Sürekli Ankraj Detayı (boyutlar: mm)

Katlamalı ankraj ise; güçlendirme uygulaması yapılırken cam lifli kumaşların katlanarak yan yüzeylere yapıştırılmasıyla uygulanmıştır, Şekil 4.40. Bu katlama ile

yapıştırma, pratikte ankraj sorununun yaşanmadığı güçlendirme uygulamaları temsil edilmeye çalışılmış, göçmenin cam lifli kumaşların yüzeyden sıyrılması ya da tuğla ve sıvayı alarak yüzeyden ayrılması ile değil, LP kompozitin kopması ile ortaya çıkması öngörülmüştür.



Şekil 4.40: Katlamalı Ankraj Uygulaması

Sürekli ve süreksiz ankraj uygulamaları için kesilerek hazırlanan cam lifli polimer kompozitlere ait ölçüler ve kompozitlerin eleman içinde uygulama derinlik değerleri Tablo 4.19’ da verilmiştir.

Tablo 4.19 Ankraj Uygulaması İçin Hazırlanan Lifli Kumaşların Ölçüleri

Ankraj Detayı	LP Kat Sayısı	Uzunluk (b) (mm)	Genişlik (h) (mm)	Uygulama Derinliği (mm)
Süreksiz Ankraj	2	600	200	150
Sürekli Ankraj	4	600	100	300

4.5. Deney Düzeneği ve Ölçüm Sistemi

4.5.1. Giriş

Deneysel çalışma kapsamında DS-P1-M ve DS-P-G-1-A3-M güçlendirilmiş numunelerinin dışında tüm numuneler, İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda bulunan 5000 kN kapasiteli Amsler yükleme aygıtı kullanılarak denenmiştir. DS-P1-M ve DS-P-G-1-A3-M güçlendirilmiş numunelerinin deneyleri için ise aynı laboratuvarda mevcut olan kapalı ve rijit bir yükleme çerçevesi kullanılmıştır.

Amsler yükleme aygıtı kullanılarak yapılan çalışmanın deney düzeneği içerisinde, elektronik olarak kaydedilemeyen tek ölçüm yük değerleridir. Deneysel çalışma kapsamında da yük değerlerinin hassas bir şekilde belirlenebilmesi önem taşımaktadır. Yük değerlerinin hassas bir şekilde belirlenebilmesi için yükleme aralıklarının, analitik olarak belirlenen eleman dayanımlarına olabildiğince uygun seçilmesine özen gösterilmiştir.

Deney sırasında numunelerde meydana gelecek yatay ve düşey yerdeğıştirmeleri ölçmek amacıyla oluşturulacak ölçüm sistemi için tüm numunelere her iki yüzde matkap yardımıyla 10 mm çapında delikler açılmış ve buralara 8 mm çapında ankraj çubukları yerleştirilmiştir, Şekil 4.41. Uygulamada ilk önce delikler kompresör yardımıyla temizlenmiş, daha sonra ankraj çubuklarına epoksi sürülmüş ve deliklerden geçirilmiştir.



Şekil 4.41: Ölçüm Sistemi İçin Ankraj Uygulaması

4.5.2. Referans Numuneleri İçin Deney Düzenegi

Referans numunelerinin tümü, 5000 kN kapasiteli Amsler yükleme aygıtı kullanılarak denenmiştir. 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, Şekil 4.42. Böylece; referans numunelerinin tüm boyundaki (500 mm) yerdeğiştirme, üst tabladaki yerdeğiştirmeölçerlerden alınan ortalama verinin, alt tabladan alınan ortalama veriden çıkarılması ile hesaplanmıştır. Yükleme aygıtının tablalarının elemanlara göre çok yüksek rijitlikte olmasından dolayı, tablalarda oluşan şekildeğiştirmeler ihmal edilmiştir. Referans numunelerin tüm boyundaki (500 mm) yerdeğiştirmelerle birlikte, orta bölgelerindeki enine ve boyuna (boyuna doğrultuda ortadaki 250 mm, enine doğrultuda ortadaki 250) yerdeğiştirmeler de izlenmiş ve kaydedilmiştir. Bunun için, referans numunelerin dört adet 8 mm çaplı bulon ankre edilerek CDP-25 tipi yerdeğiştirmeölçerler bu bulonların aralarına yerleştirilmiştir, Şekil 4.43. Böylece, referans numunelerin orta bölgelerindeki enine ve boyuna doğrultuda oluşan ortalama yerdeğiştirmeler belirlenmiştir. Yerdeğiştirmeölçerlerden gelen veriler TDS 303 veri toplayıcısına gönderilmiş ve kaydedilmiş, ardından da verilerin işlendiği bilgisayara aktarılmıştır. Deney sonuçları değerlendirilirken, tüm yerdeğiştirmeölçerlerden alınan veriler, ölçüm boylarına bölünüp (boyutsuz) ortalama şekildeğiştirme değerlerine dönüştürülerek kullanılmıştır.



Şekil 4.42: Referans Numuneler İçin Deney Düzeneği



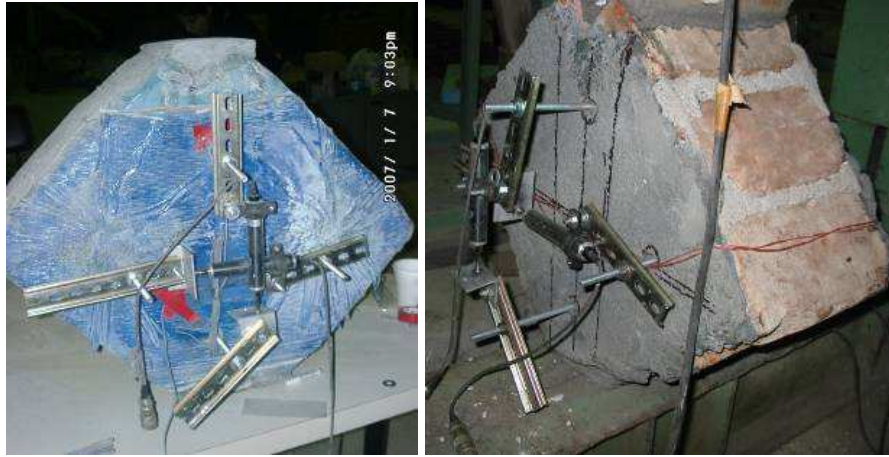
Şekil 4.43: Referans Numuneler İçin Ölçüm Düzeneği

4.5.3. Güçlendirilmiş Numuneler İçin Deney Düzeneği

DS-P1-M ve DS-P-G-1-A3-M numuneleri dışında tüm güçlendirilmiş numuneler için yüklemeler; analitik olarak belirlenen numune dayanımlarına uygun seçilen aralıkta (500 kN), Amsler yükleme aygıtıyla gerçekleştirilmiştir. Referans numuneler için kullanılan deney düzeneği ve ölçüm sistemi, güçlendirilmiş numuneler için de aynen kullanılmıştır, Şekil 4.44 ve 4.45.



Şekil 4.44: Güçlendirilmiş Numuneler İçin Deney Düzeneği



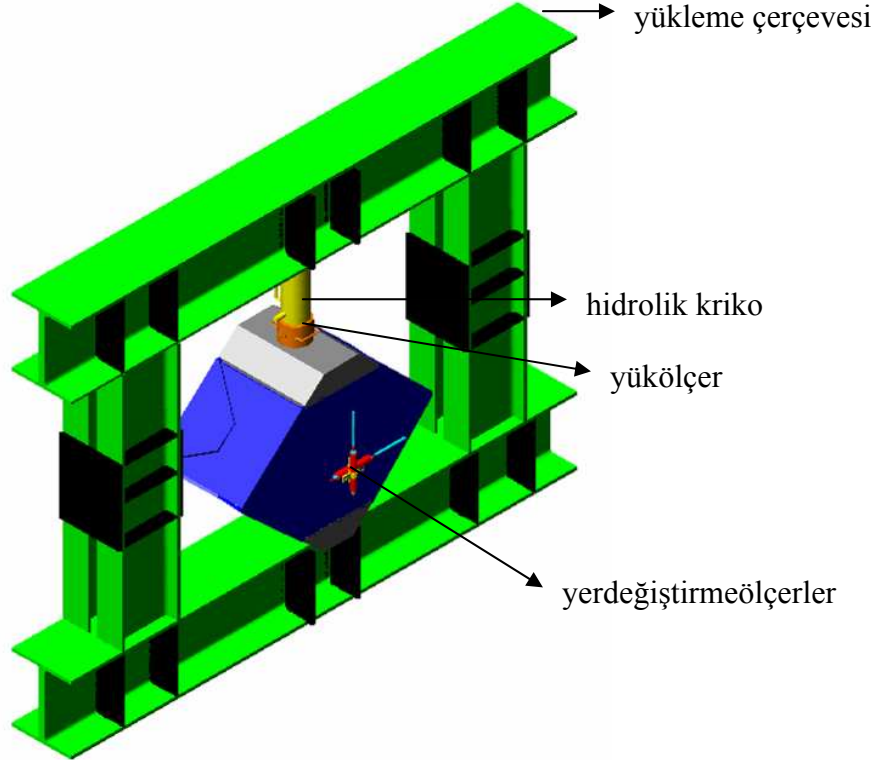
Şekil 4.45: Güçlendirilmiş Numuneler İçin Ölçüm Düzeneği

Deneyler sırasında (DS-P1-M numunesi dışında tüm güçlendirilmiş numunelerde), enine ve boyuna doğrultularda oluşan şekildeğişimleri ölçmek için, 60 mm ölçüm boyuna sahip, özel akma-sonrası türündeki şekildeğişimölçerler kullanılmıştır. Şekildeğişimölçerler; numunelerin yüzeyleri düzleştirilip ve temizlenip uygun hale getirildikten sonra, her iki yüzüne, tam orta bölgeye gelecek şekilde, yatay ve düşey doğrultuda çok amaçlı yapıştırıcı (Pattex Epoxy Mix) kullanılarak yapıştırılmıştır. Şekildeğişimölçerlerin özellikleri Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20 Şekildeğiştirmeölçer Özellikleri

Şekildeğiştirmeölçer	PL-60-11-3L	KC-60-120-A1-11L1M2R	HBM-60-120LY41-3-3M
Ölçüm Boyu (mm)	60	60	60
Ölçüm Katsayısı	2.09 ± 0.01	2.08 ± 0.01	2.06 ± 0.01

DS-P1-M ve DS-P-G-1-A3-M güçlendirilmiş numunelerinin deneyleri ise laboratuvarında mevcut olan kapalı bir çelik yükleme çerçevesinde yapılmıştır. Deney boyunca elemanlara 200 kN kapasiteli Enerpac hidrolik krik o ile yük uygulanmıştır. Numunelerin ölçüm sistemi; hidrolik krikonun uyguladığı yükün değ erinin tespiti için kullanılan 200 kN kapasiteli TML (CLP-20B) yükölç erden, numunelerin orta bölgelerinde enine ve boyuna doğrultuda oluşan şekildeğiştirmeleri ve yerdeğiştirmeleri ölçmek için kullanılan şekildeğiştirmeölç er ile yerdeğiştirmeölç erlerden oluşmaktadır. Şekil 4.46’da DS-P-G-1-A3-M numunesi, yükleme sistemi ve ölçüm düzeneğ inin üç boyutlu görünümü verilmiştir.



Şekil 4.46: DS-P-G-1-A3-M Numunesi Yükleme Sistemi ve Ölçüm Düzeneğ inin Üç Boyutlu Gösterimi

4.6. Deney Sonuçları ve Gözlemler

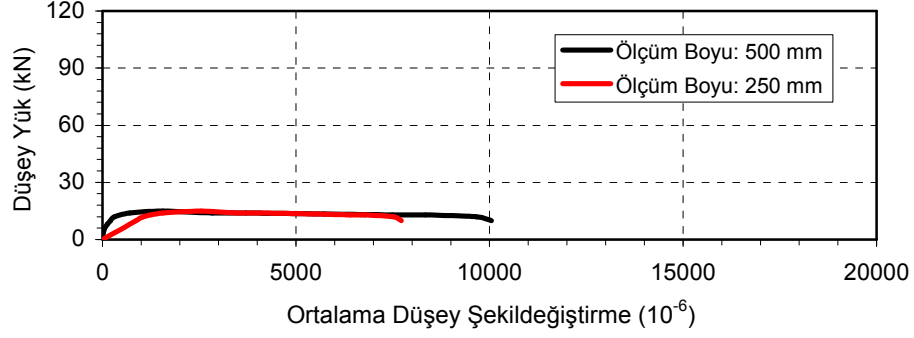
4.6.1. Giriş

Deneysel çalışma kapsamında; Akaretler Sıraevlerindeki taşıyıcı duvarların mekanik özelliklerini yansıtmayı düşünülerek tasarlanan ve imal edilen duvar numuneleri, tamir harcı ve LP kompozit ile güçlendirilerek monoton ya da tekrarlı artan diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir.

Örülen 12 adet duvar numunesinden; 2 numune tamir harcı, 8 numune ise farklı kalınlık ve detaylar kullanılarak LP kompozitle ile güçlendirilmiş, 2 numunede herhangi bir güçlendirme uygulaması yapılmadan referans numune olarak deney programına alınmıştır.

Bu bölümde; toplam 12 adet duvar numunesinin diyagonal çekme etkileri altında denenmeleri sonucunda elde edilen bilgiler, numunelerin göçme biçimleri, referans numunelerinin deney sonuçları, tamir harcı ile güçlendirilen numunelerin deney sonuçları, LP kompozit ile güçlendirilen numunelerin deney sonuçları olmak üzere dört başlık altında sunulmuştur.

Referans numuneleri için; ölçüm boyu 500 mm'den alınan ortalama yerdeğiştirme değerleri ile çizilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkisi ile orta bölgelerinde 250 mm ölçüm boyunda yatayda elde edilen ortalama yerdeğiştirme değerleri kullanılarak çizilen düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri birer grafikte verilmiştir. Referans numunelerinin orta bölgesinden (yükseklik boyunca ortadaki 250 mm) elde edilen ortalama düşey yerdeğiştirme değerleri ile tüm boydan (500 mm) alınan ortalama düşey yerdeğiştirme değerleri ile çizdirilen grafikler Şekil 4.47'de görüldüğü gibi birbiri ile uyumludur.



Şekil 4.47: DS-O1-M Referans Numunesinde Ölçüm Boyunun Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisine Etkisi

DS-P1-M ve DS-P-G-1-A3-M güçlendirilmiş numuneleri için; numunelerin her iki yüzeyinde bulunan ve ölçüm boyu 250 mm olan düşey ve yatay yerdeğiştirmeölçerlerden alınan ortalama yerdeğiştirme değerleri kullanılarak çizilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri güçlendirilmemiş referans numuneleri ile karşılaştırılarak birer grafikte verilmiştir. Bu numunelerde, kapalı rijit çerçeveden oluşan deney düzeneğinde test edildikleri için, 500 mm ölçüm boyunda düşey yerdeğiştirme değerleri ölçülememiştir.

DS-P1-M ve DS-P-G-1-A3-M numuneleri dışında güçlendirilmiş her bir numune için; 500 mm ölçüm boyundan alınan ortalama düşey yerdeğiştirme değerleri ile çizilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkisi ve orta bölgelerinde 60 mm ölçüm boyundan elde edilen ortalama şekildeğiştirme değerleri kullanılarak çizilen düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri, güçlendirilmemiş referans numuneler ile karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

4.6.2. Numunelerin Göçme Biçimleri

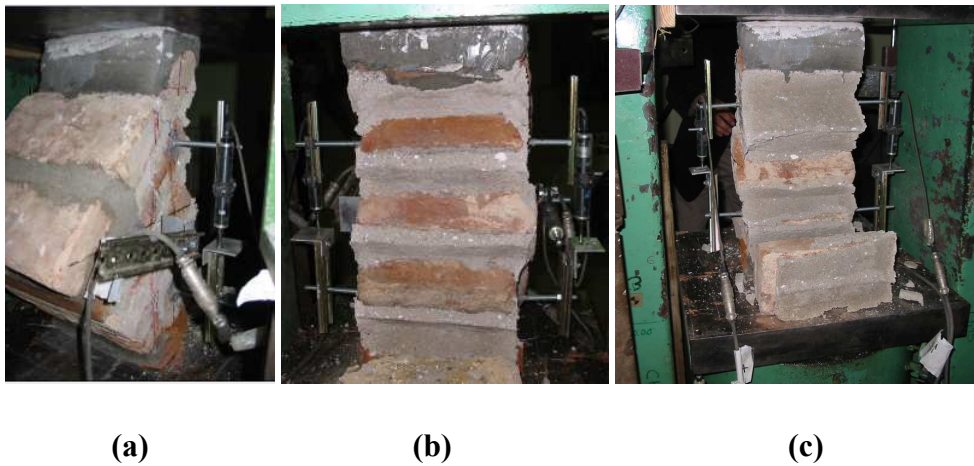
Bu bölümde monoton artan ya da tekrarlı diyagonal çekme etkileri altında denenen duvar numunelerinin göçme biçimleri ele alınmıştır. Deneylerde yapılan gözlemler sonucunda referans numunelerinde ve tamir harcı ile güçlendirilmiş numunelerde göçme yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlaklar sonucunda, zayıf oldukları tuğla ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmaları sonucunda gerçekleşmiştir. LP ile güçlendirilmiş numunelerde göçme; katlamalı ankraj uygulaması yapılan numuneler dışında kalanlarda LP'in sıvanın tamamını ve tuğlanın da ince bir

bölümünü alarak yüzeyden ayrılması ile gerçekleşirken katlamalı ankraj uygulaması yapılan numunelerde ise LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyden tuğla duvarın yarılması ile gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

4.6.2.1. DS-01-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-O1-M referans duvar numunesinde göçme yükleme doğrultusunda harç fazı boyunca oluşan diyagonal çatlak sonucunda numunenin tuğla ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmasıyla gerçekleşmiştir.

Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşılmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin yükselen kolunda, 14 kN ve 0.0016 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde, her iki yüzeyde birden, düşey yönde meydana gelmiştir. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 15 kN'dur ve bu değere 0.0026 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. Deney, numunenin düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 13 kN ve 0.0068 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, yükleme doğrultusunda, düşey yönde ve harç fazı boyunca ilerleyen çatlak sonucunda tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrılmasıyla sona ermiştir, Şekil 4.48(a), (b), (c). Deney boyunca tuğlalarda herhangi ezilme ve çatlak oluşmamıştır.



Şekil 4.48: DS-O1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

4.6.2.2. DS-02-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-O2-M referans duvar numunesinde göçme yüklemeye doğrultusunda harç fazı boyunca oluşan diyagonal çatlak sonucunda numunenin tuğla ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmasıyla gerçekleşmiştir.

Deney sırasında ilk çatlak maksimum yük seviyesine ulaşılmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin yükselen kolunda, 23 kN ve 0.00023 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde, arka yüzeyde, düşey yönde meydana gelmiştir, Şekil 4.43(a). Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 24.5 kN'dur ve bu değere 0.00079 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. Deney, numunenin düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 13 kN ve 0.0014 düşey şekildeğiştirme seviyesinde yüklemeye doğrultusunda, düşey yönde ve harç fazı boyunca ilerleyen çatlak sonucunda tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrılmasıyla sona ermiştir, Şekil 4.49(b). Deney boyunca tuğlalarda herhangi ezilme ve çatlak oluşmamıştır.



(a)

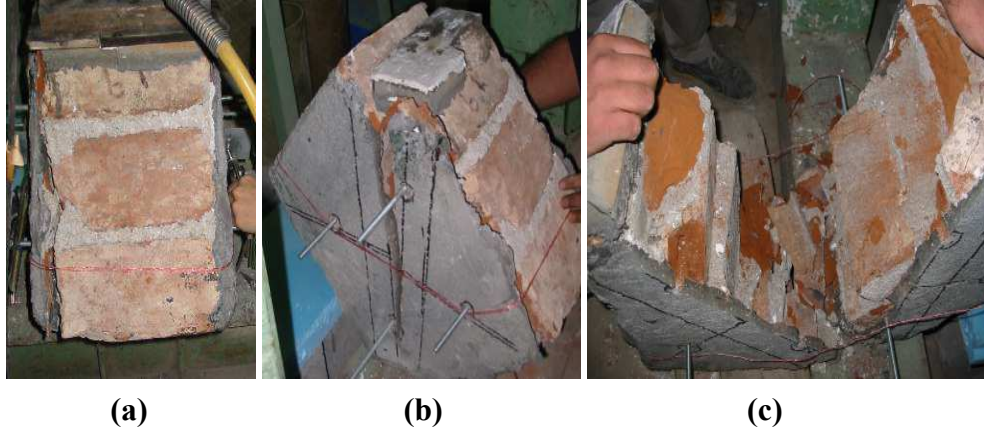
(b)

Şekil 4.49: DS-O2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

4.6.2.3. DS-P1-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P1-M sıvalı duvar numunesinde göçme, yüklemeye doğrultusunda sıvada ve duvarda harç fazı boyunca oluşan diyagonal çatlak sonucunda numunenin tuğla ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmasıyla gerçekleşmiştir.

Deney sırasında, maksimum yük seviyesine ulaşılmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin yükselen kolunda, 34 kN ve 0.00056 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde, arka yüzeydeki sıva, harç ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak yüzeyden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 4.50(a). Sıvanın yüzeyden kalkmasıyla önce düşmeye başlayan yük sonra tekrar düşey şekildeğiştirmenin 0.0034 olduğu 35 kN seviyesine çıkmıştır. Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 36 kN'dur ve bu değere 0.0011 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. Deney, numunenin düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 32 kN ve 0.0049 düşey şekildeğiştirme seviyesinde yükleme doğrultusunda, düşey yönde ve harç fazı boyunca ilerleyen çatlak sonucunda iç bölgede tuğla ile harç ara yüzeyinden dışta ise sıvanın tam ortasından ikiye ayrılmasıyla sona ermiştir, Şekil 4.50(b), (c). Deney boyunca tuğlalarda herhangi ezilme ve çatlak oluşmamıştır.



Şekil 4.50: DS-P1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

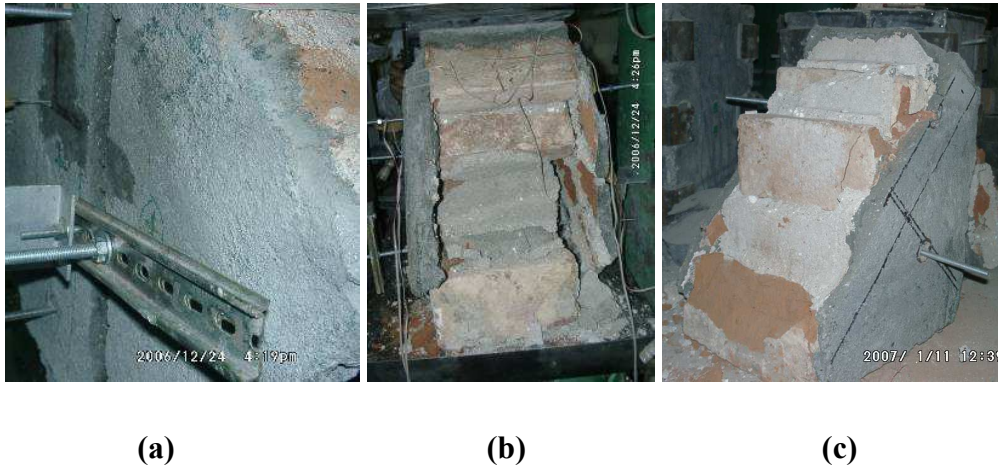
4.6.2.4. DS-P2-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P2-M sıvalı duvar numunesinde göçme, yükleme doğrultusunda sıvada ve duvarda harç fazı boyunca oluşan diyagonal çatlak sonucunda numunenin tuğla ile harç ara yüzeyinden düşeyde ikiye ayrılmasıyla gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük seviyesinde, 32 kN ve 0.0011 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde, ön yüzeydeki sıva, harç ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak yüzeyden ayrılmaya başlamıştır. Deney, numunenin düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 6 kN ve 0.021 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, yükleme doğrultusunda, düşey yönde ve harç fazı boyunca ilerleyen çatlak sonucunda iç

bölgede tuğla ile harç ara yüzeyinden dışta ise sıvanın tam ortasından ikiye ayrılmasıyla sona ermiştir, Şekil 4.51(a), (b), (c). Deney boyunca tuğlalarda herhangi ezilme ve çatlak oluşmamıştır

DS-P1-M ve DS-P2-M numunelerinde göçme benzer şekilde yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlak sonucunda düşeyde ikiye ayrılmaları ile gerçekleşmiştir. Tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilen bu numunelerde deney sırasında meydana gelen sıva ile duvar yüzeyi arasındaki ayrılmanın, sıva olarak kullanılan tamir harcı ve tuğla duvarın elastisite modüllerindeki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.



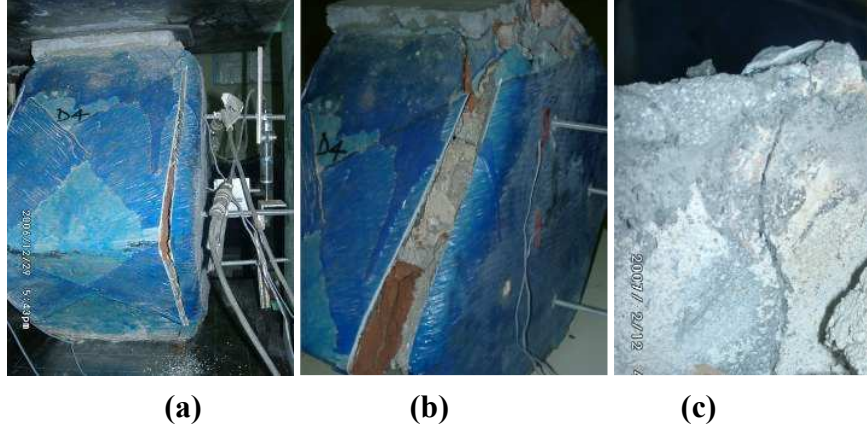
Şekil 4.51: DS-P2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

4.6.2.5. DS-P-G-1 -M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-1-M güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması sonucunda gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük değerinde, 82 kN ve 0.0029 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, ön yüzeyde, LP tabakası sıvanın tamamını, tuğlanın da ince bir bölümünü alarak duvar yüzeyinden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 4.52(a). LP tabakasının yüzeyden ayrılmasıyla yük aniden düşmeye başlamış ve deney düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 20 kN ve 0.020 düşey şekildeğiştirme seviyesinde LP'in yüzeyden iyice ayrılmasıyla sona ermiştir. Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme

doğrultusunda ikiye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca LP takasının duvardan birlikte ayrıldığı sıva yüzeyinde yükleme doğrultusunda 2 mm kalınlığında düşey bir çatlak oluşmuştur, Şekil 4.52(b), (c). Deneyin son aşamalarına doğru numunenin alt ve üst yükleme başlığına yakın bölgelerindeki tuğlalar ezilerek parçalanırken, orta bölgedeki, tuğlalarda ise herhangi bir ezilme olmamıştır.

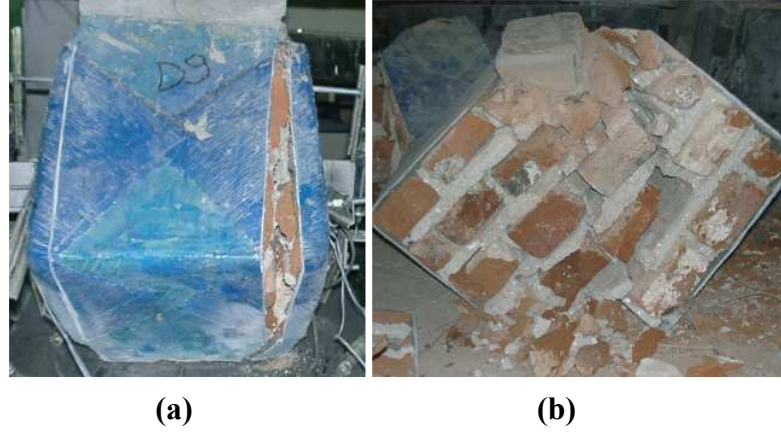


Şekil 4.52: DS-P-G-1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

4.6.2.6. DS-P-G-2-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-2-M güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması sonucunda gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük değerinde, 67 kN ve 0.0039 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, ön yüzeyde, LP tabakası sıvanın tamamını, tuğlanın da ince bir bölümünü alarak duvar yüzeyinden ayrılmaya başlamıştır. LP tabakasının yüzeyden ayrılmasıyla yük aniden düşmeye başlamış ve deney düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 23 kN ve 0.013 düşey şekildeğiştirme seviyesinde LP'in yüzeyden iyice ayrılmasıyla sona ermiştir, Şekil 4.53(a). Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme doğrultusunda ikiye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca LP takasının duvardan birlikte ayrıldığı sıva yüzeyinde yükleme doğrultusunda 1.5 mm kalınlığında düşey bir çatlak oluşmuştur. Deneyin son aşamalarına doğru numunenin alt ve üst yükleme başlığına yakın bölgelerindeki tuğlalar ezilerek parçalanırken, orta bölgedeki, tuğlalarda ise herhangi bir ezilme olmamıştır, Şekil 4.53(b).



Şekil 4.53: DS-P-G-2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

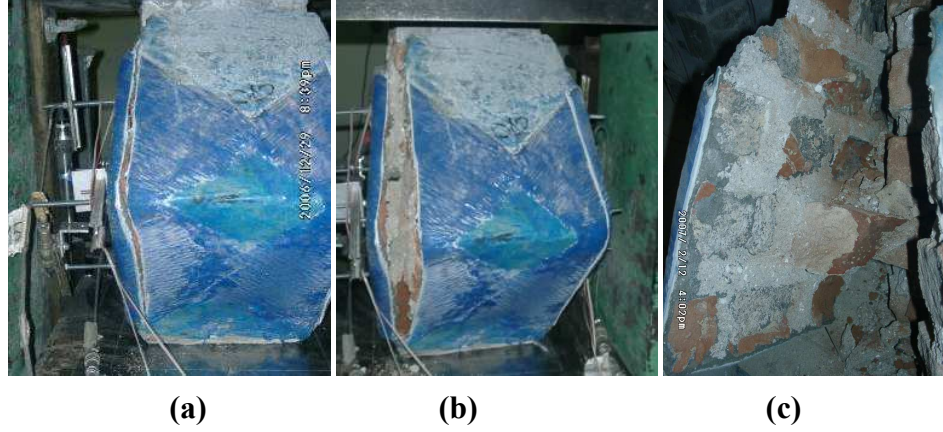
4.6.2.7. DS-P-G-3-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-3-M güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması sonucunda gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük değerinde, 64 kN yük ve 0.0041 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, arka yüzeyde, LP tabakası sıva ve tuğla yüzeyinden ince bir tabakayı alarak duvar yüzeyinden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 4.54(a). LP tabakasının yüzeyden ayrılmasıyla yük aniden düşmeye başlamış ve deney düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 16 kN ve 0.016 düşey şekildeğiştirme seviyesinde LP'in yüzeyden iyice ayrılmasıyla sona ermiştir, Şekil 4.54(b), (c). Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme doğrultusunda ikiye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca LP takasının duvardan birlikte ayrıldığı sıva yüzeyinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Deneyin son aşamalarına doğru numunenin alt ve üst yükleme başlığına yakın bölgelerindeki tuğlalar ezilerek parçalanırken, orta bölgedeki, tuğlalarda ise herhangi bir ezilme olmamıştır.

DS-P-G-1-M, DS-P-G-2-M ve DS-P-G-3-M cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilmiş numuneler birbirine yakın davranış göstermişlerdir. Deney sonuçları değerlendirildiğinde; uygulanan güçlendirme yönteminin duvar numunelerinin davranışında oldukça etili olduğu ancak numunelerin davranışındaki bu iyileşmenin LP katsayısına bağlı olmadığı görülmüştür. Bir kat LP kompozit ile güçlendirilen numunenin daha yüksek yük kapasitesine ulaşmasının, yüzeyine uygulanan tamir

harcının daha kalın olmasından ve duvar imaltında tek tip tuğla kullanılamaması sonucunda bu numunedeki tuğla dayanımlarının daha farklı olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.54: DS-P-G-3-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

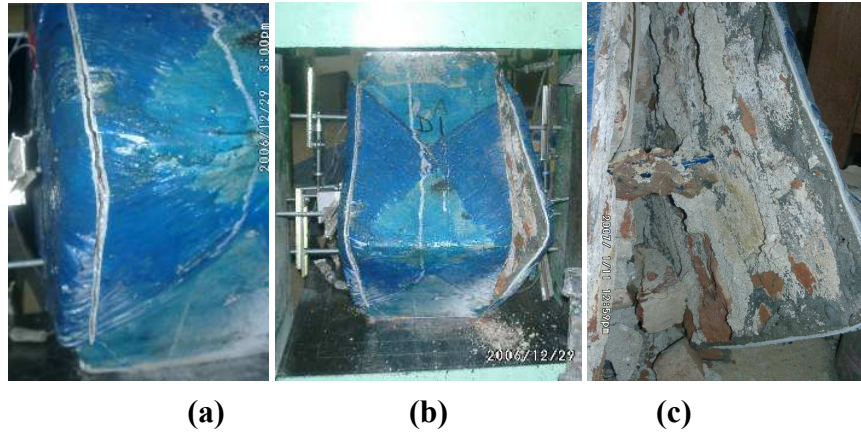
4.6.2.8. DS-P-G-2-A1-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-2-A1-M güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması sonucunda gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük seviyesine ulaşılmadan, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin yükselen kolunda, 58 kN ve 0.0018 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, ön yüzeyde, LP tabakası sıva ve tuğla yüzeyinden ince bir tabakayı alarak duvar yüzeyinden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 4.55(a). LP takasının yüzeyden kalkmasıyla düşmeye başlayan yük, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda 56 kN seviyelerinde, tekrar artmaya başlamış ve düşey şekildeğiştirmenin 0.0033 olduğu maksimum yük değeri 63 kN'a kadar çıkmıştır. Yükteki bu ikinci artışın uygulanan ankrajların etkili olmasıyla gerçekleştiği düşünülmektedir. Maksimum değere ulaşan yük arka yüzeydeki LP tabakasının sıvanın tamamını, tuğlanın da ince bir bölümünü alarak duvar yüzeyinden kalkmaya başlamasıyla düşmeye başlamış ve deney düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 20 kN ve 0.019 düşey şekildeğiştirme seviyesinde sona ermiştir, Şekil 4.55(b). Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme doğrultusunda ikiye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca LP

takasının duvardan birlikte ayrıldığı sıva yüzeyinde yükleme doğrultusunda 1~1.5mm kalınlığında düşey bir çatlak oluşmuştur. Uygulanan ankrajların ise tuğlanın ince bir bölümüne yapışarak diğer tuğlalardan ayrıldığı ve sıyrılmadıkları görülmüştür, Şekil 4.55(c). Deneyin son aşamalarına doğru numunenin alt ve üst yükleme başlığına yakın bölgelerindeki tuğlalar ezilerek parçalanırken, orta bölgedeki, tuğlalarda ise herhangi bir ezilme olmamıştır.

DS-P-G-2-M ve DS-P-G-2-A1-M cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerinin göçme biçimi benzer şekilde LP'in duvar yüzeyinden kalkmasıyla gerçekleşmiştir. Uygulanan süreksiz ankraj detayı ile DS-P-G-2-A1-M numunesi DS-P-G-2-M numunesine göre daha büyük şekildeğiştirme değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 4.55: DS-P-G-2-A1-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

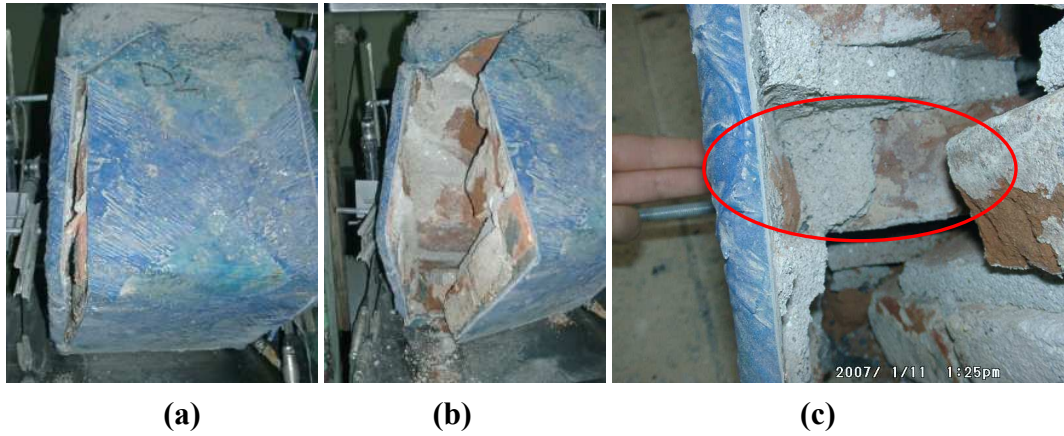
4.6.2.9. DS-P-G-2-A1-C

Tekrarlı diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-2-A1-C güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması sonucunda gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük değerinde, 57 kN ve 0.0033 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, arka yüzeyde, LP tabakası sıva ve tuğla yüzeyinden ince bir tabakayı alarak duvar yüzeyinden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 4.56(a). LP tabakasının takasının yüzeyden kalkmasıyla yük düşmeye başlamış ve deney düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 22 kN ve 0.032 düşey şekildeğiştirme seviyesinde sona ermiştir, Şekil 4.56(b). Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme doğrultusunda ikiye ayrıldığı

görülmüştür. Ayrıca LP takasının duvardan birlikte ayrıldığı sıva yüzeyinde yükleme doğrultusunda 2~3mm kalınlığında düşey bir çatlak oluşmuştur. Uygulanan ankrajların ise saplandıkları tuğlayı yapışarak diğer tuğlalardan ayırdığı ve sıyrılmadıkları görülmüştür, Şekil 4.56(c). Deneyin son aşamalarına doğru numunenin alt ve üst yükleme başlığına yakın bölgelerindeki tuğlalar ezilerek parçalanırken, orta bölgedeki, tuğlalarda ise herhangi bir ezilme olmamıştır.

DS-P-G-2-M, DS-P-G-2-A1-M ve DS-P-G-2-A1-C cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerinin göçme biçimi benzer şekilde LP'in duvar yüzeyinden kalkmasıyla gerçekleşmiştir. Süreksiz ankraj uygulamasının numunelerin yük kapasitesinden ziyade deformasyon yapabilme yeteneklerinde etkili olduğu görülmüştür. Nitekim DS-P-G-2-A1-M ve DS-P-G-2-A1-C numuneleri, DS-P-G-2-M numunesine göre daha büyük şekildeğiştirme değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca tekrarlı artan yükler altında denenen DS-P-G-2-A1-C güçlendirilmiş numunesi; tüm diğer özellikleri aynı olan, ancak monoton artan yükler altında denenen DS-P-G-2-M güçlendirilmiş numunesi ile yakın davranış göstermiştir. Dolayısıyla yükleme biçiminin numunelerin davranışında etkili olmadığı görülmüştür.



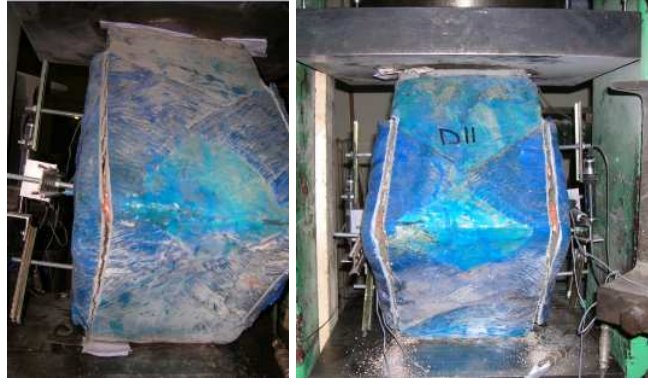
Şekil 4.56: DS-P-G-2-A1-C'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

4.6.2.10. DS-P-G-3-A2-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-3-A2-M güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması sonucunda gerçekleşmiştir.

Deney sırasında düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin yükselen kolunda, 60 kN yük ve 0.0029 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, ön yüzeyde, LP tabakası sıva ve tuğla yüzeyinden ince bir tabakayı alarak yüzeyden ayrılmaya başlamıştır, Şekil 4.57(a). Yük arttıkça numuneden sesler gelmeye başlamış ve seslerin arttığı 61 kN yük ve 0.0033 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde arka yüzeyde de bir ayrılma başlamıştır. Oluşan bu ayrılmalar ile maksimum yük düşey şekildeğiştirmenin 0.012 olduğu 64 kN seviyesine çıkabilmiştir. Uygulanan sürekli ankrajın davranışta etkili olmasıyla DS-P-G-3-A2-M güçlendirilmiş numunesinde diğer tüm numunelerden farklı olarak LP tabakası numunenin dört kenarında da yüzeyden ayrılmış ve daha büyük bir deformasyon sonrasında dayanımını kaybetmiştir. Bu ayrılmalar ön ve arka yüzeyin diğer kenarlarında sırasıyla; 63 kN yük ve 0.014 düşey şekildeğiştirme ve 61 kN yük ve 0.017 düşey şekildeğiştirme seviyelerinde oluşmaya başlamıştır, Şekil 4.57(b). Deney, LP tabakalarının sıvanın tamamını ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak yüzeyden ayrılması sonucunda düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 41 kN ve 0.027 düşey şekildeğiştirme seviyesinde sona ermiştir, Şekil 4.57(c). Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme doğrultusunda ikiye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca LP takasının duvardan birlikte ayrıldığı sıva yüzeyinde kılcal çatlaklar oluşmuştur. Uygulanan ankrajların ise saplandıkları tuğlaların ince bir bölümüne yapıştıkları ve sıyrılmadıkları görülmüştür, Şekil 4.57(d). Deneyin son aşamalarına doğru numunenin alt ve üst yükleme başlığına yakın bölgelerindeki tuğlalar ezilerek parçalanırken, orta bölgedeki, tuğlalarda ise herhangi bir ezilme olmamıştır.

DS-P-G-3-M ve DS-P-G-3-A2-M cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerinin göçme biçimi benzer şekilde LP'in duvar yüzeyinden kalkmasıyla gerçekleşmiştir. Ancak sürekli ankraj uygulaması ile DS-P-G-3-A2-M numunesi DS-P-G-3-M numunesinden farklı olarak daha büyük şekildeğiştirme değerlerine ulaşmıştır. Süreksiz ve sürekli ankraj detaylarının numunelerin davranışındaki katkıları incelendiğinde; sürekli ankraj detayının numunelerin deformasyon yapabilme yeteneklerinde daha etkili olduğu görülmüştür.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 4.57: DS-P-G-3-A2-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

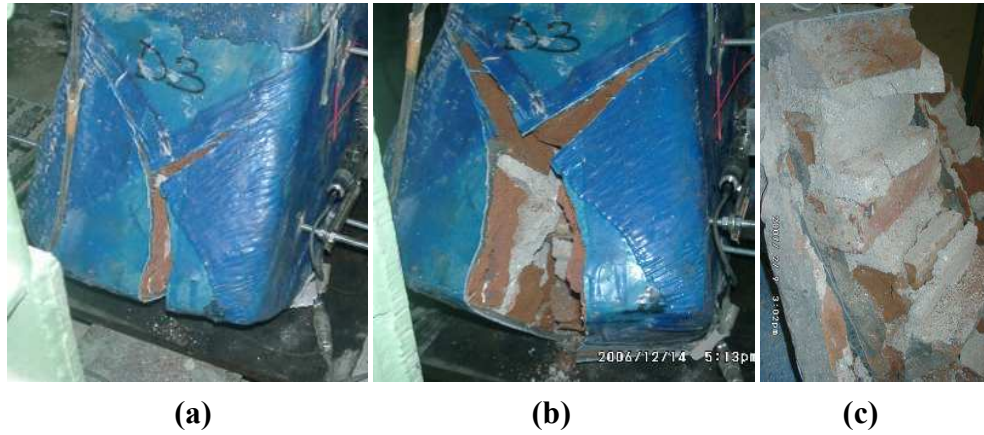
4.6.2.11. DS-P-G-1-A3-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-1-A3-M güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyde numunenin yarılmasıyla gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük değerinde, 104.4 kN ve 0.0117 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, LP tabakasının sıva ve tuğlayı alması ile LP katlanıp yapıştırıldığı yan yüzeyi, yarmaya başlamıştır, Şekil 4.58(a). Bu ana kadar numunede herhangi bir hasar gözlenmezken, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin yükselen kolunda maksimum yük seviyesine yaklaşıldıkça numuneden sesler gelmeye başlamış, seslerin iyice arttığı maksimum yük seviyesinde de LP kompozitin katlanıp yapıştırıldığı yan yüz ikiye yarılmıştır. Aniden düşen yüklerle, yan yüzdeki yarık alt ve üst yükleme başlığına doğru genişleyerek ilerlemiştir,

Şekil 4.58(b). Yarılmanın ilk başladığı yan yüzün iyice zayıflaması sonucunda, diğer yan yüzde ise herhangi bir hasar oluşmamıştır. Deney LP kompozitin katlanıp yapıştırıldığı yan yüzün ikiye yarılmaması sonucunda düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolunda, 65.8 kN ve 0.0124 düşey şekildeğiştirme seviyesinde sona ermiştir. Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme doğrultusunda ikiye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca, hasar oluşan yan yüzdeki tuğlaların parçalanarak ve/veya ezilerek dağılmış, hasar oluşmamış yan yüzdeki tuğlalarda herhangi bir ezilme olmamıştır, Şekil 4.58(c).

Pratikte ankraj sorununun yaşanmadığı güçlendirme uygulamalarının temsil edilmeye çalışıldığı DS-P-G-1-A3-M numunesi 104.4 kN yük kapasitesi ile 12 adet duvar numunesi içerisinde en yüksek dayanıma ulaşmıştır. LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerden elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde katlamalı ankraj uygulamasının numunelerin davranışında daha etkili olduğu görülmüştür



Şekil 4.58: DS-P-G-1-A3-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

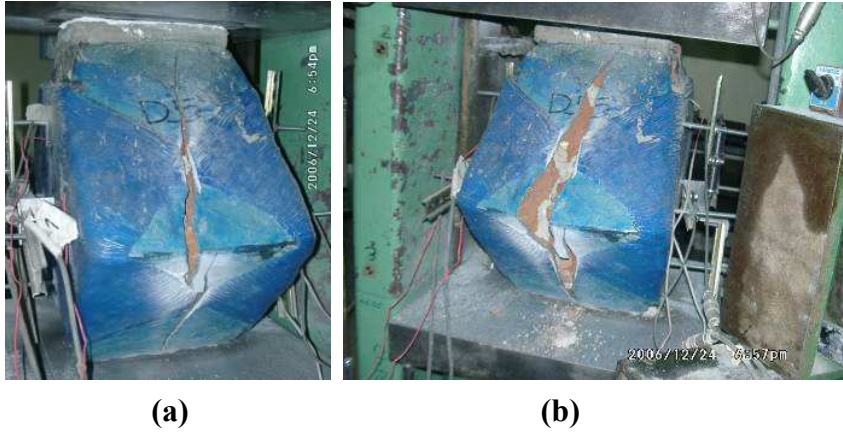
4.6.2.12. DS-P-G-2-A3-M

Monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenen DS-P-G-2-A3-M güçlendirilmiş duvar numunesinde göçme LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyde numunenin yarılmamasıyla gerçekleşmiştir.

Deney sırasında maksimum yük değerinde, 86 kN ve 0.0032 düşey şekildeğiştirme seviyesinde, LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyden, numuneyi yarmaya başlamıştır, Şekil 4.59(a). Numunenin yan yüzeyinden yarılmaması ile yük

aniden düşmeye başlamış, yan yüzdeki yarık alt ve üst yükleme başlığına doğru genişleyerek ilerlemiştir, Şekil 4.59(b). Yarılmanın ilk başladığı yan yüzün iyice zayıflaması sonucunda, diğer yan yüzde ise herhangi bir hasar oluşmamıştır. Deney LP kompozitin katlanıp yapıştırıldığı yan yüzün ikiye yarılması sonucunda düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisinin düşen kolunda, 20 kN ve 0.010 düşey şekil değiştirme seviyesinde sona ermiştir. Deney sonrasında yapılan gözlemler ile numunenin iç bölgede harç fazından doğru yükleme doğrultusunda ikiye ayrıldığı görülmüştür. Ayrıca, hasar oluşan yan yüzdeki tuğlaların parçalanarak ve/veya ezilerek dağılmış, hasar oluşmamış yan yüzdeki tuğlalarda herhangi bir ezilme olmamıştır.

Pratikte ankraj sorununun yaşanmadığı güçlendirme uygulamalarının temsil edilmeye çalışıldığı DS-P-G-1-A3-M ve DS-P-G-2-A3-M numunelerinde göçme biçimi benzer şekilde LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyde numunenin yarılmasıyla gerçekleşmiştir. DS-P-G-1-A3-M daha yüksek yük kapasitesine ulaşmasının, yüzeyine uygulanan tamir harcının daha kalın olmasından ve duvar imaltında tek tip tuğla kullanılamaması sonucunda bu numunedeki tuğla dayanımlarının daha farklı olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerden elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde katlamalı ankraj uygulamasının numunelerin davranışında daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.59: DS-P-G-2-A3-M'nin Deney Sırasında ve Sonrasında Görünümleri

Tablo 4.21 Duvar Numunelerinin Göçme Biçimleri

Numune İsmi	Göçme Biçimi		P ₁ (kN)	ε _{P1}	P _{max} (kN)	ε _{Pmax}
DS-O1-M	Yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlak sonucunda numune tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrılmıştır.		14	0.0016	15.0	0.0026
DS-O2-M	Yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlak sonucunda numune tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrılmıştır.		23.0	0.00023	24.5	0.00079
DS-P1-M	Yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlak sonucunda numune tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrılmıştır.		34.0	0.00056	36.0	0.0011
DS-P2-M	Yükleme doğrultusunda oluşan diyagonal çatlak sonucunda numune tuğla ile harç ara yüzeyinden ikiye ayrılmıştır.		32.0	0.0011	32.0	0.0011

DS-P-G-1-M	LP kompozit sıvanın tamamını ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak numune yüzeyinden ayrılmıştır.		82.0	0.0029	82.0	0.0029
DS-P-G-2-M	LP kompozit sıvanın tamamını ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak numune yüzeyinden ayrılmıştır		67.0	0.0039	67.0	0.0039
DS-P-G-3-M	LP kompozit sıvanın tamamını ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak numune yüzeyinden ayrılmıştır		64.0	0.0041	64.0	0.0041
DS-P-G-2-A1-M	LP kompozit sıvanın tamamını ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak numune yüzeyinden ayrılmıştır		58.0	0.0018	63.0	0.0033
DS-P-G-2-A1-C	LP kompozit sıvanın tamamını ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak numune yüzeyinden ayrılmıştır.		57.0	0.0033	57.0	0.0033

DS-P-G-3-A2-M	LP kompozit sıvanın tamamını ve tuğlanın ince bir bölümünü alarak numune yüzeyinden ayrılmıştır		60.0	0.0029	64.0	0.012
DS-P-G-1-A3-M	LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyden numune ayrılmıştır.		104.4	0.012	104.4	0.012
DS-P-G-2-A3-M	LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyden numune ayrılmıştır.		86.0	0.0032	86.0	0.0032

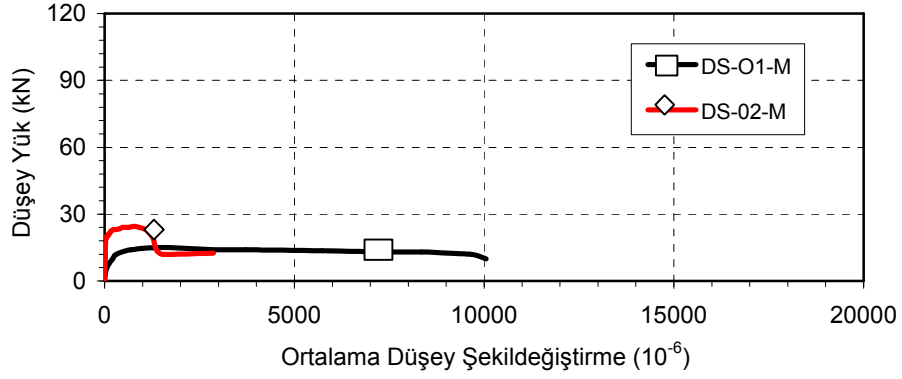
P_1 : İlk hasarın gözlemlendiği yük seviyesi.

ϵ_{P1} : İlk hasarın gözlemlendiği şekildeğiştirme değeri.

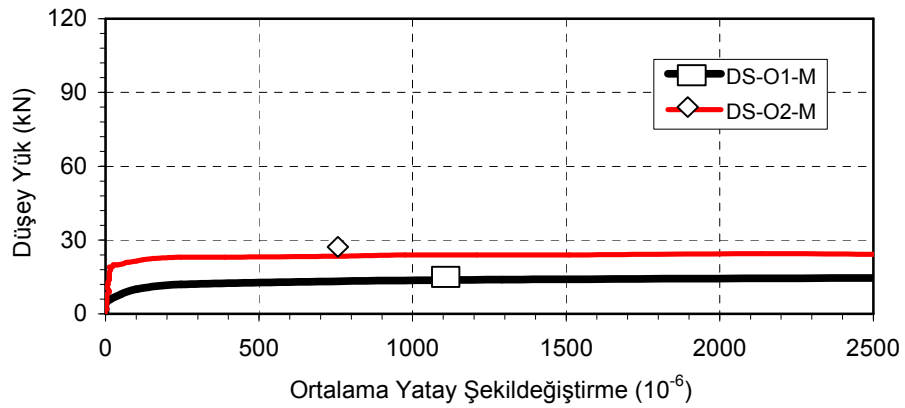
4.6.3. Deney Sonuçları

4.6.3.1. Referans Numunelerinin Deney Sonuçları

28 ve 90 günlük basınç dayanımları, sırasıyla; yaklaşık 3.26 ve 3.75 MPa olan harç ile tekli tuğla ve üçlü tuğla ortalama basınç dayanımı sırasıyla 5.00 MPa ve 2.10 MPa olan tuğla ile örülmüş, duvar numunelerinin iki adedi (DS-O1-M ve DS-O2-M), referans numunesi olarak; güçlendirilmeden, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmiştir. Referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri sırasıyla; Şekil 4.60 ve 4.61’de verilmiştir.



Şekil 4.60: Referans Numunelerine Ait Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkileri



Şekil 4.61: Referans Numunelerine Ait Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkileri

Referans numunelerinin dayanım değerlerindeki farklılığın; eleman boyutlarından, işçilik kalitesindeki olası farklılıktan ve elemanların deney yaşının aynı olmaması sonucunda imalatlarında kullanılan derz harcının deney gününe kadar kazandığı dayanım farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

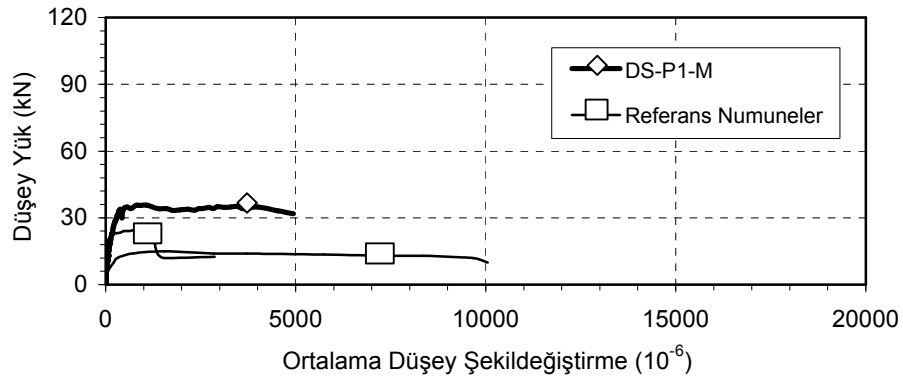
4.6.3.2. Tamir Harcı İle Güçlendirilen Numunelerin Deney Sonuçları

Bu bölümde tamir harcı ile güçlendirilen numunelerin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkileri ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri verilmiştir. DS-P1-M güçlendirilmiş numunesinde düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme eğrileri için numunenin her iki yüzeyinde orta bölgesinde bulunan ve ölçüm boyu 250 mm olan düşey ve yatay yerdeğiştirmeölçerlerden alınan ortalama yerdeğiştirme değerleri gözönüne alınmıştır. DS-P2-M güçlendirilmiş numunesinde

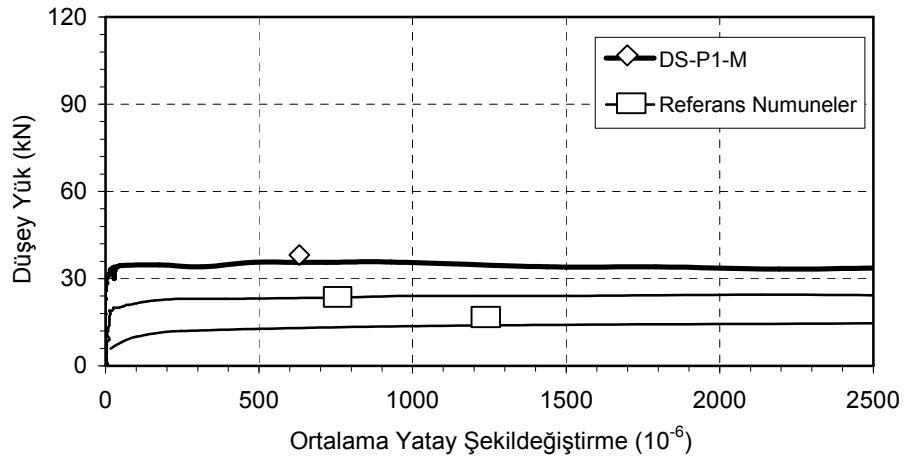
ise düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisi için 500 mm ölçüm boyundan alınan ortalama yer değiştirme değerleri, düşey yük-yatay şekil değiştirme eğrisi için de 60 mm ölçüm boyundan elde edilen ortalama şekil değiştirme değerleri gözönüne alınmıştır.

4.6.3.2.1. DS-P1-M

Tamir harcı ile sıvanarak her iki yüzeyinden güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.62 ve 4.63’de verilmiştir.



Şekil 4.62: DS-P1-M Düşey Yük-Düşey Şekil değiştirme ilişkisi



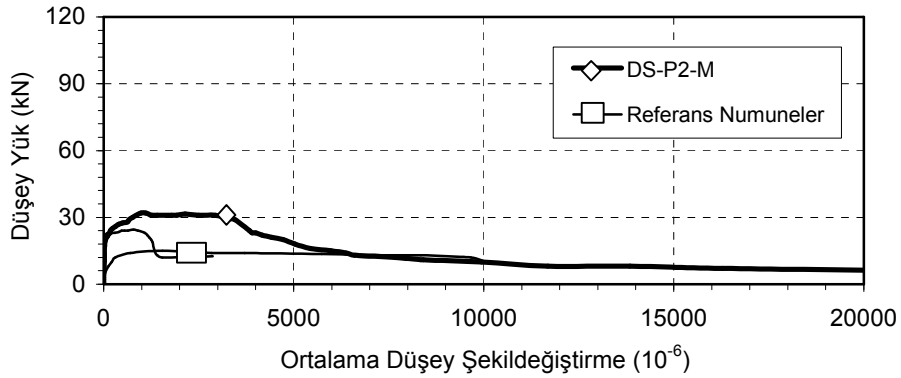
Şekil 4.63: DS-P1-M Düşey Yük-Yatay Şekil değiştirme ilişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 35 kN'dur ve bu değere 0.0011 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.0049 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.30 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre tamir harcı kullanılarak yapılan sıva ile güçlendirilen numune, referans numuneleri ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %77, kesme dayanımında %67 kadar iyileşme sağlanmıştır.

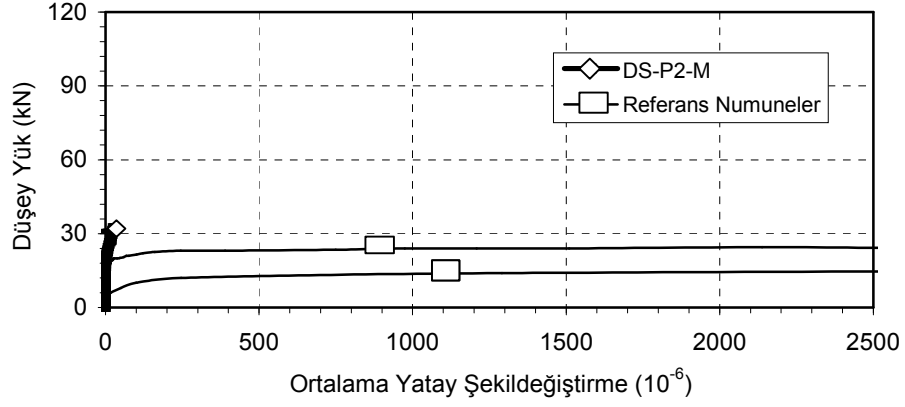
DS-P1-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; sıvalı bu numune ile referans numelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

4.6.3.2.2. DS-P2-M

Tamir harcı ile sıvanarak her iki yüzeyinden güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.64 ve 4.65'de verilmiştir.



Şekil 4.64: DS-P2-M Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 4.65: DS-P2-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 32 kN'dur ve bu değere 0.0011 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.021 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş eleman 0.27 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre tamir harcı kullanılarak yapılan sıva ile güçlendirilen numune, referans numuneleri ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %62, kesme dayanımında %50 kadar iyileşme sağlanmıştır.

DS-P2-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; sıvalı bu numune ile referans numelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilen numunelerden elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde, iki numuneninde birbirine yakın davranış gösterdikleri görülmüştür.

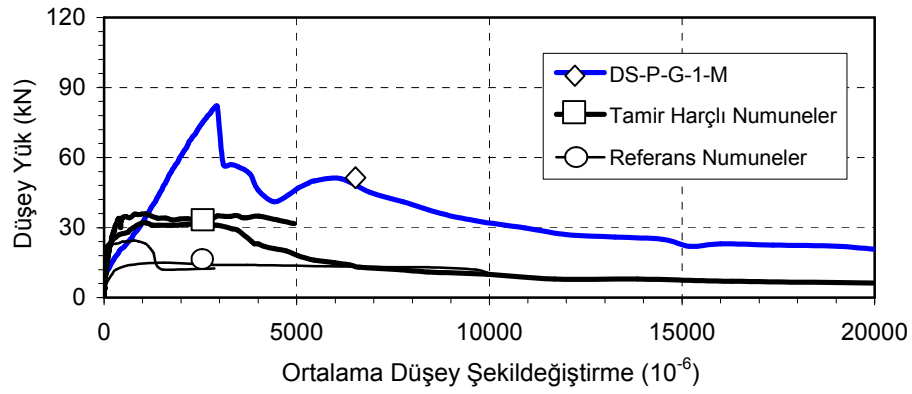
4.6.3.3. LP Kompozitler İle Güçlendirilen Numunelerin Deney Sonuçları

Bu bölümde LP kompozit ile güçlendirilen numunelerin, monoton ya da tekrarlı artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ilişkileri ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri verilmiştir. DS-P-G-1-A3-M güçlendirilmiş elemanında düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme eğrileri için elemanın her iki yüzeyinde orta bölgesinde bulunan ve ölçüm boyu 250 mm olan düşey ve yatay yerdeğiştirmeölçerlerden alınan ortalama yerdeğiştirme değerleri, diğer tüm

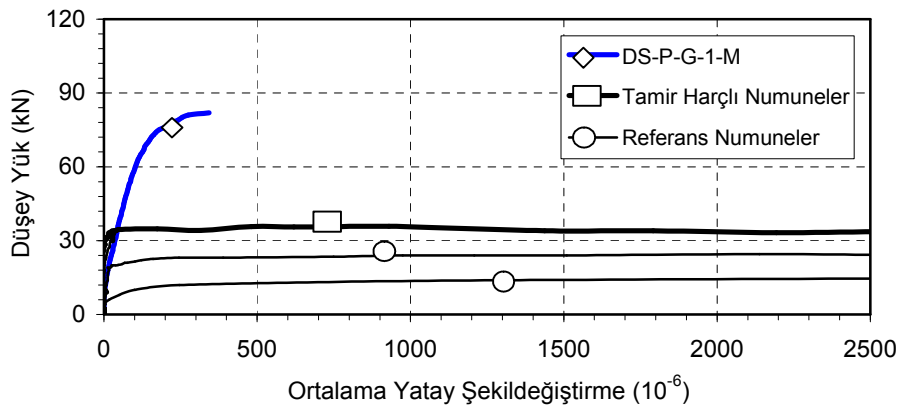
güçlendirilmiş numunelerde ise düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi için 500 mm ölçüm boyundan alınan ortalama yerdeğiştirme değerleri, düşey yük-yatay şekildeğiştirme eğrisi için de 60 mm ölçüm boyundan elde edilen ortalama şekildeğiştirme değerleri gözönüne alınmıştır.

4.6.3.3.1. DS-P-G-1-M

Bir kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.66 ve 4.67’de verilmiştir.



Şekil 4.66: DS-P-G-1-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 4.67: DS-P-G-1-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

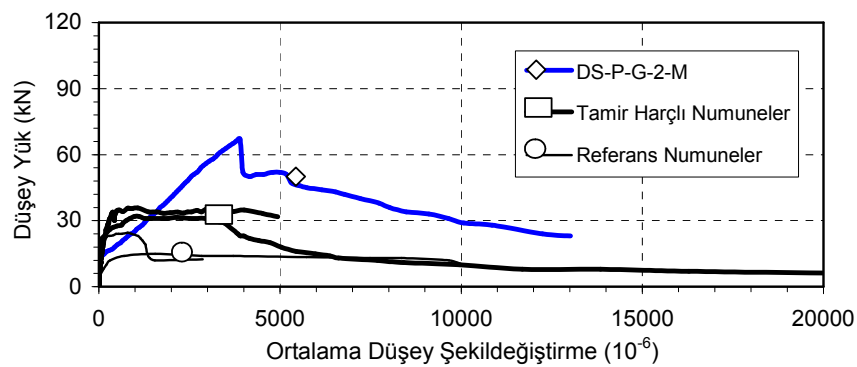
Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 82 kN'dur ve bu değere 0.0029 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.020 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.68 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre bir kat LP kompozit ile güçlendirilerek monoton artan yükler altında denen DS-P-G-1-M numunesi, referans numuneler ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %315, kesme dayanımında %283; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise sırasıyla %145 ve %138 kadar iyileşme sağlanmıştır.

DS-P-G-1-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; bir kat cam lifli polimerle ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numunelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

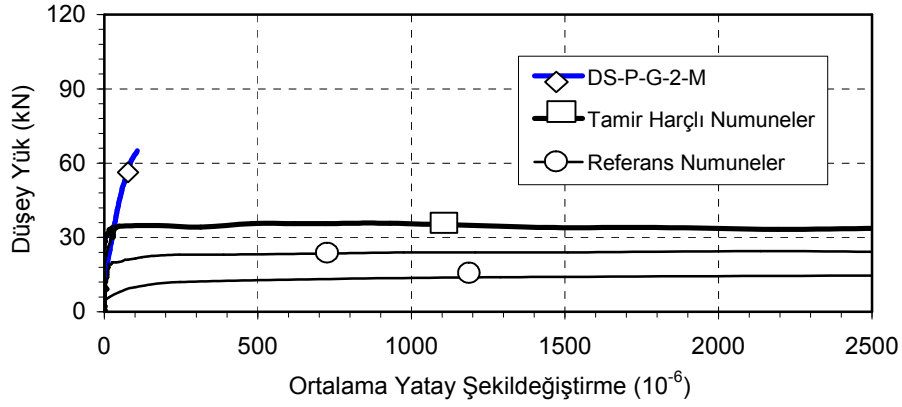
Bir kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu numunede maksimum yük kapasitesine ulaştıktan sonra meydana gelen dayanım kaybı referans ve tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilen numunelere göre daha hızlı olmuştur.

4.6.3.3.2. DS-P-G-2-M

İki kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.68 ve 4.69'da verilmiştir.



Şekil 4.68: DS-P-G-2-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 4.69: DS-P-G-2-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 67 kN'dur ve bu değere 0.0039 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.013 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.56 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre iki kat cam lifli polimerle ile güçlendirilerek monoton artan yükler altında denenen DS-P-G-2-M numunesi, referans numuneleri ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %239, kesme dayanımda %211; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise sırasıyla %100 ve %93 kadar iyileşme sağlanmıştır.

DS-P-G-2-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelerinin aynı olmaması; iki kat cam lifli polimerle ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numunelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

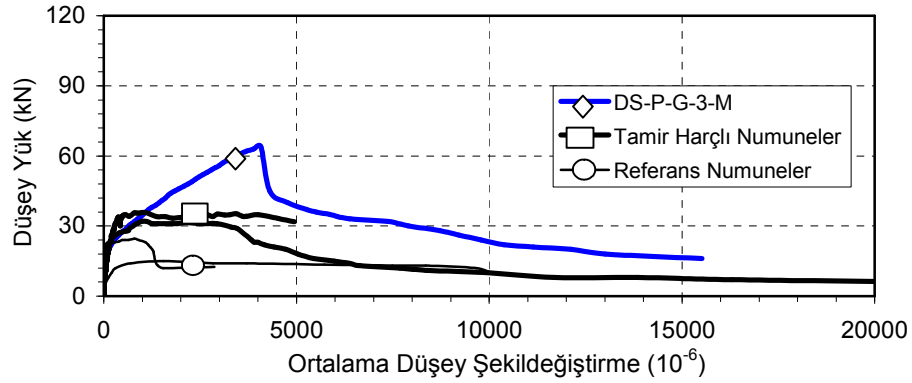
İki kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu numunede maksimum yük kapasitesine ulaştıktan sonra meydana gelen dayanım kaybı referans ve tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilen numunelere göre daha hızlı olmuştur.

DS-P-G-1-M ve DS-P-G-2-M numunelerinin deney sonuçları karşılaştırıldığında, bir kat cam lifli polimer ile güçlendirilmiş numunenin daha yüksek dayanıma ulaşmasının nedeni; işçilik kalitesindeki olası farklılıktan ve duvar imalatında tek tip tuğla kullanılmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca numune yüzeylerine uygulanan sıva kalınlığında numune dayanımda etkili olduğu düşünülmektedir. Nitekim deney sonunda numunelerin sıva kalınlıkları ölçüldüğünde

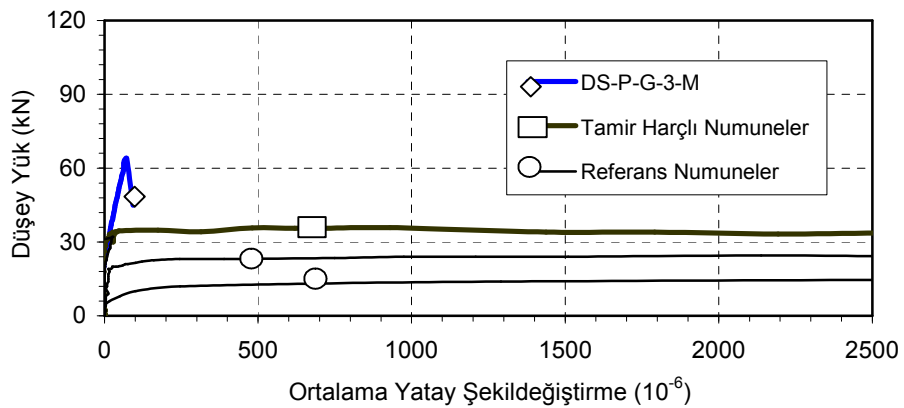
dayanım değeri yüksek çıkan DS-P-G-1-M güçlendirilmiş numunesinde yüzeye uygulanan sıva kalınlığının daha fazla olduğu görülmüştür

4.6.3.3.3. DS-P-G-3-M

Üç kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.70 ve 4.71’de verilmiştir.



Şekil 4.70: DS-P-G-3-M Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 4.71: DS-P-G-3-M Düşey Yük-Yatay Şekil Değiştirme İlişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 64 kN'dur ve bu değere 0.0041 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.016 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.54 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre üç kat cam lifli polimerle güçlendirilerek monoton artan yükler altında denenen DS-P-G-3-M numunesi, referans numuneler ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %224, kesme dayanımda %200; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise sırasıyla %91 ve %46 kadar iyileşme sağlanmıştır.

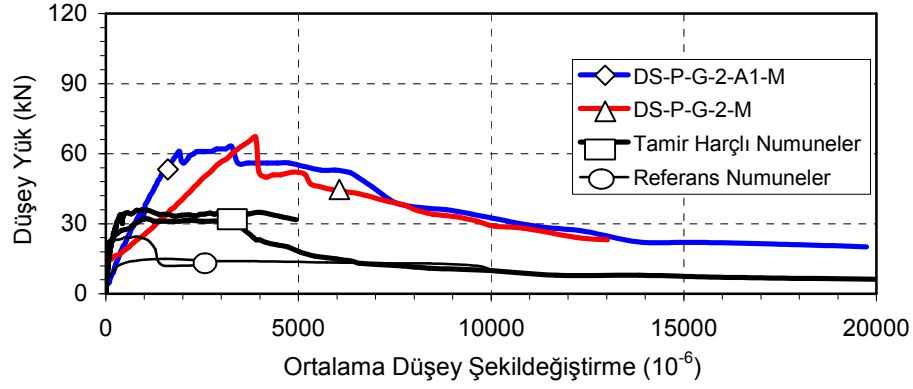
DS-P-G-3-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; üç kat cam lifli polimerle ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Üç kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş bu numunede maksimum yük kapasitesine ulaştıktan sonra meydana gelen dayanım kaybı referans ve tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilen numunelere göre daha hızlı olmuştur.

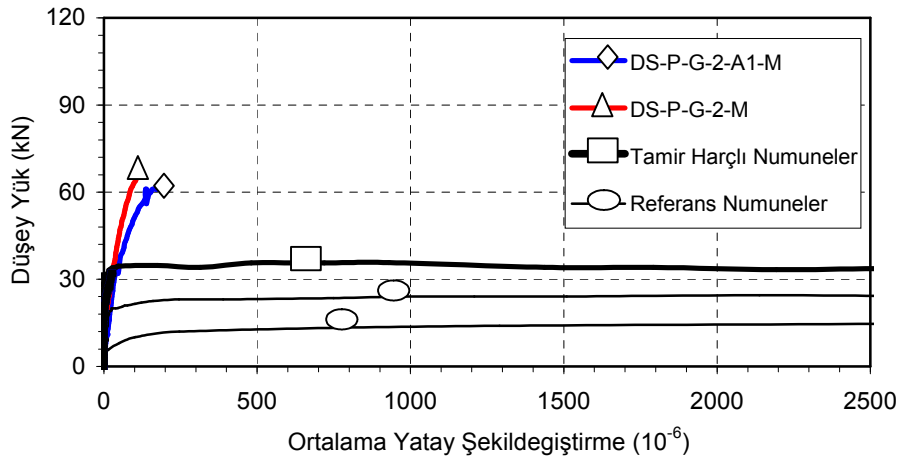
DS-P-G-1-M, DS-P-G-2-M ve DS-P-G-3-M numunelerinin deney sonuçları karşılaştırıldığında, iki ve üç kat cam lifli polimer ile güçlendirilmiş numuneler birbirine yakın davranış gösterirken, bir kat cam lifli polimer ile güçlendirilmiş numune daha yüksek dayanım değerine ulaşmıştır. Bu numunedeki dayanım farklılığının bölüm 4.6.3.3.2'de belirtilen nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.6.3.3.4. DS-P-G-2-A1-M

İki kat cam lifli polimer ve süreksiz ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denemesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.72 ve 4.73'de verilmiştir.



Şekil 4.72: DS-P-G-2-A1-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 4.73: DS-P-G-2-A1-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 63 kN'dur ve bu değere 0.0033 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.020 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.48 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre iki kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş ve süreksiz ankraj uygulaması yapılarak monoton artan yükler altında denenilen DS-P-G-2-A1-M numunesi, referans numuneleri ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %219, kesme dayanımında %167; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise sırasıyla %88 ve %66 kadar iyileşme sağlanmıştır.

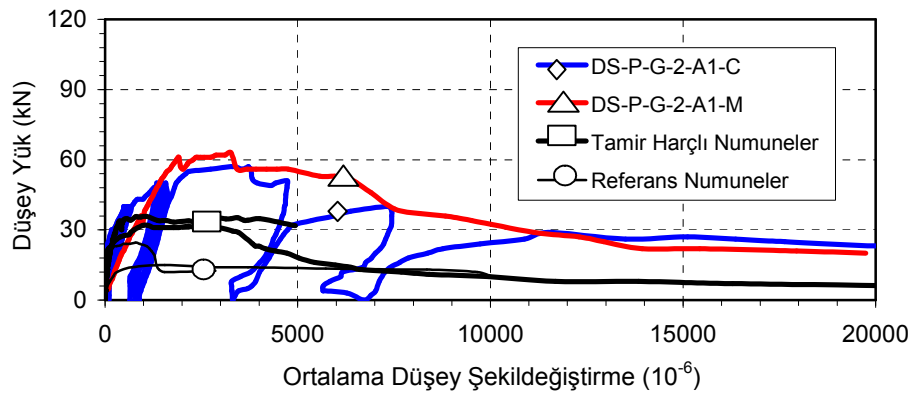
DS-P-G-2-A1-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; iki kat cam lifli polimer ve süreksiz ankraj uygulaması

ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

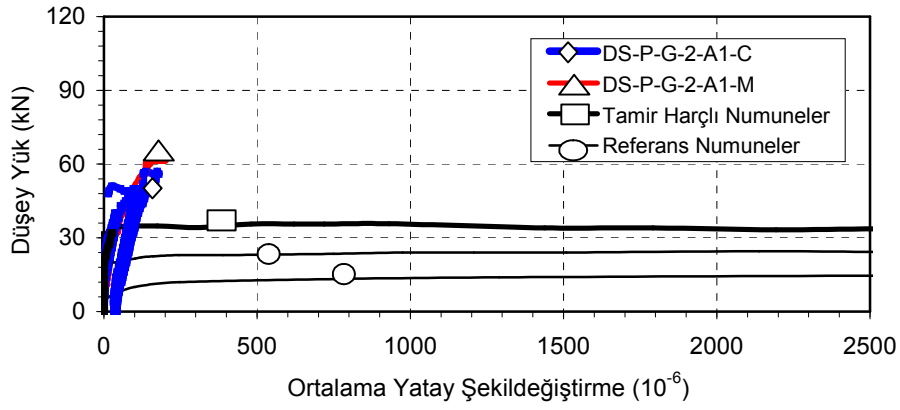
DS-P-G-2-A1-M güçlendirilmiş numunesinde yapılan süreksiz ankraj uygulaması numunenin yük kapasitesinden ziyade deformasyon yapabilme yeteneğini geliştirmiştir. DS-P-G-2-A1-M numunesinde maksimum yük kapasitesine ulaştıktan sonra meydana gelen dayanım kaybı uygulanan ankrajın etkisiyle DS-P-G-2-M güçlendirilmiş numunesine göre daha yavaş ortaya çıkmıştır.

4.6.3.3.5. DS-P-G-2-A1-C

İki kat cam lifli polimer ve süreksiz ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numunenin, tekrarlı artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.74 ve 4.75’de verilmiştir.



Şekil 4.74: DS-P-G-2-A1-C Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 4.75: DS-P-G-2-A1-C Düsey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

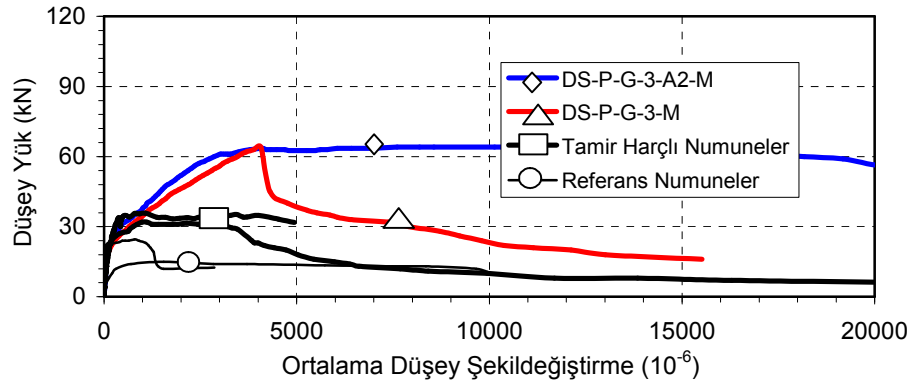
Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 57 kN'dur ve bu değere 0.0037 düsey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.032 düsey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.43 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre iki kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş ve süreksiz ankraj uygulaması yapılarak tekrarlı yükler altında denenen DS-P-G-2-A1-C numunesi, referans numuneleri ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %189, kesme dayanımda %139; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise sırasıyla %70 ve %48 kadar iyileşme sağlanmıştır.

DS-P-G-2-A1-C numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelerinin aynı olmaması; iki kat cam lifli polimer ve süreksiz ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numunelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

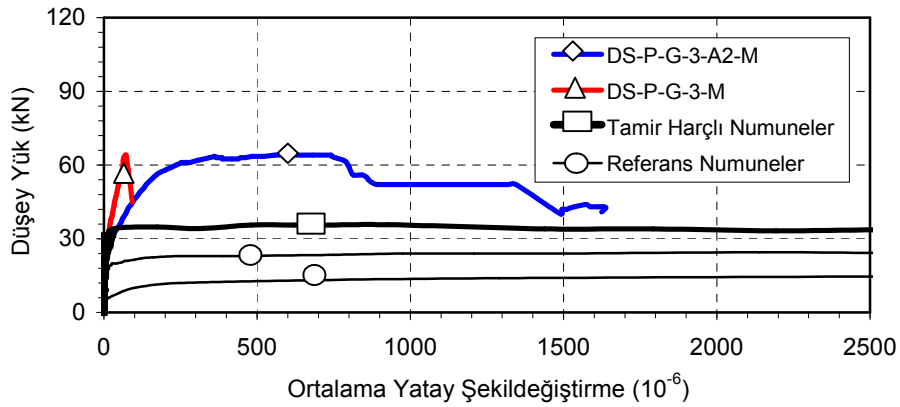
Tekrarlı artan yükler altında denenen DS-P-G-2-A1-C güçlendirilmiş numunesi; tüm diğer özellikleri aynı olan, ancak monoton artan yükler altında denenen DS-P-G-2-A1-M güçlendirilmiş numunesine yakın davranış göstermiştir. Bu durum, yükleme biçiminin, numunelerin davranışı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını göstermektedir.

4.6.3.3.6. DS-P-G-3-A2-M

Üç kat cam lifli polimer ve sürekli ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.76 ve 4.77’de verilmiştir.



Şekil 4.76: DS-P-G-3-A2-M Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 4.77: DS-P-G-3-A2-M Düşey Yük-Yatay Şekil Değiştirme İlişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 64 kN'dur ve bu değere 0.012 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.034 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.52 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre üç kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş ve sürekli ankraj uygulaması yapılarak monoton artan yükler altında denen DS-P-G-3-A2-M

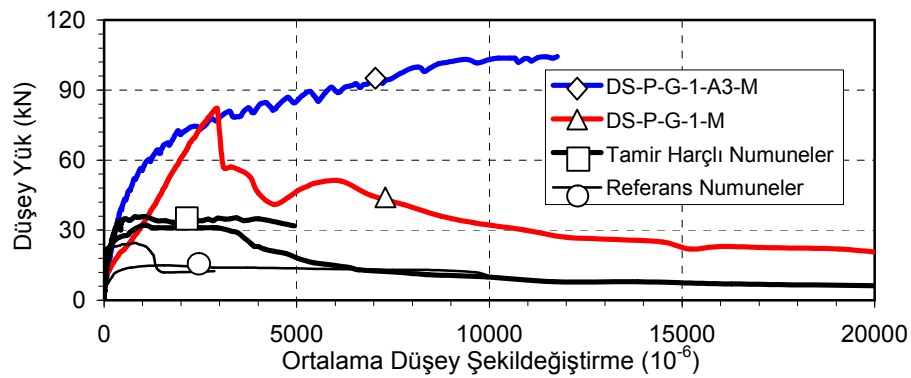
numunesi, referans numuneler ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %224, kesme dayanımında %200; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise sırasıyla %91 ve %46 kadar iyileşme sağlanmıştır.

DS-P-G-3-A2-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; üç kat cam lifli polimer ve sürekli ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numunelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

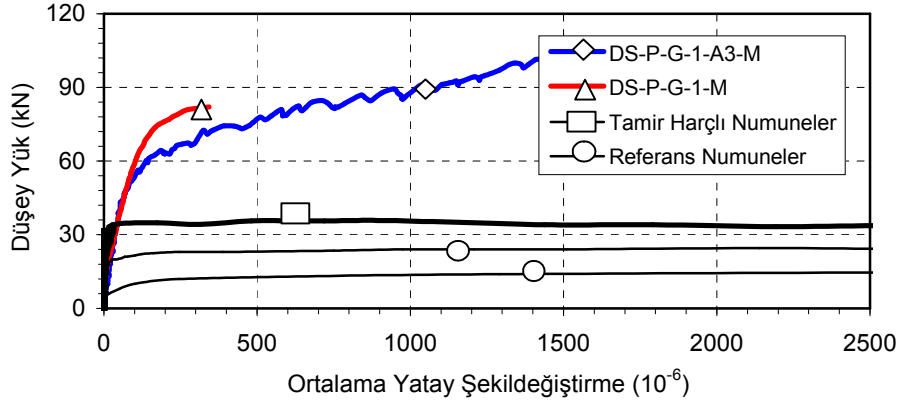
DS-P-G-3-A2-M güçlendirilmiş numunesinde yapılan sürekli ankraj uygulaması numunenin yük kapasitesinden ziyade deformasyon yapabilme yeteneğini geliştirmiştir. DS-P-G-3-A2-M numunesinde maksimum yük kapasitesine ulaştıktan sonra meydana gelen dayanım kaybı uygulanan ankrajın etkisiyle DS-P-G-3-M güçlendirilmiş numunesine göre daha yavaş ortaya çıkmıştır.

4.6.3.3.7. DS-P-G-1-A3-M

Bir kat cam lifli polimer ve katlamalı ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denenmesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri; referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.78 ve 4.79’da verilmiştir.



Şekil 4.78: DS-P-G-1-A3-M Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme İlişkisi



Şekil 4.79: DS-P-G-1-A3-M Düşey Yük-Yatay Şekildeğiştirme İlişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 104 kN'dur ve bu değere 0.012 düşey şekildeğiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.013 düşey şekildeğiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.87 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre bir kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş ve LP kompozitin katlanarak yan yüzeyine yapıştırılarak monoton artan yükler altında denenen DS-P-G-1-A3-M numunesi, referans numuneleri ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %427, kesme dayanımda %383; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise maksimum yük taşıma kapasitesinde %210, kesme dayanımda %200 kadar iyileşme sağlanmıştır.

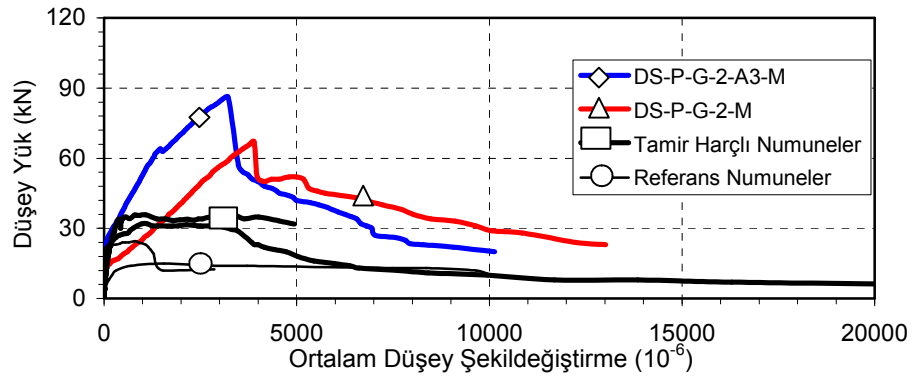
DS-P-G-1-A3-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; bir kat cam lifli polimer ve katlamalı ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

DS-P-G-1-A3-M ve DS-P-G-1-M güçlendirilmiş numunelerinin deney sonuçları değerlendirildiğinde; katlamalı ankraj uygulamasının numunenin maksimum yük taşıma kapasitesini ve deformasyon yapabilme yeteneğini geliştirdiği görülmüştür.

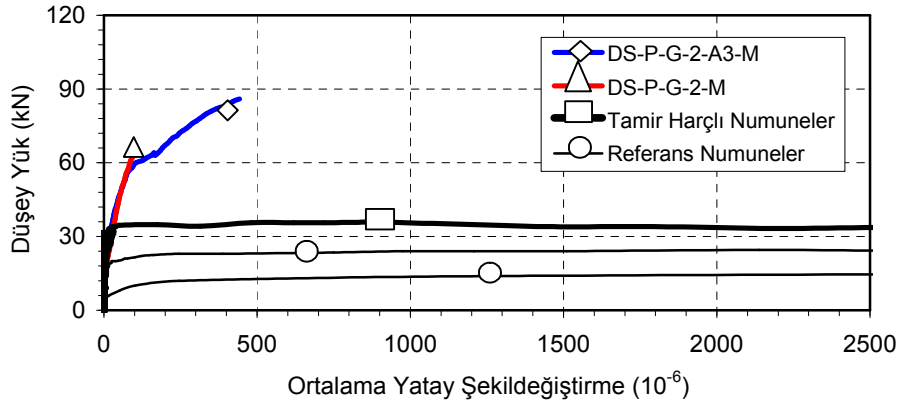
4.6.3.3.8. DS-P-G-2-A3-M

İki kat cam lifli polimer ve katlamalı ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numunenin, monoton artan diyagonal çekme etkileri altında denemesiyle elde edilen düşey yük-düşey şekildeğiştirme ve düşey yük-yatay şekildeğiştirme ilişkileri;

referans numunelerine ait düşey yük-düşey şekil değiştirme ve düşey yük-yatay şekil değiştirme ilişkileriyle birlikte sırasıyla; Şekil 4.80 ve 4.81’de verilmiştir.



Şekil 4.80: DS-P-G-2-A3-M Düşey Yük-Düşey Şekil Değiştirme İlişkisi



Şekil 4.81: DS-P-G-2-A3-M Düşey Yük-Yatay Şekil Değiştirme İlişkisi

Deneyde elde edilen maksimum yük değeri 86 kN'dur ve bu değere 0.0032 düşey şekil değiştirme seviyesinde ulaşılmıştır. 0.010 düşey şekil değiştirme seviyesine kadar devam eden deneyde, güçlendirilmiş numune 0.69 MPa'lık kesme dayanımına ulaşmıştır. Buna göre iki kat cam lifli polimerle güçlendirilmiş ve LP kompozitin katlanarak yan yüzeyine yapıştırılarak monoton artan yükler altında denenen DS-P-G-2-A3-M numunesi, referans numuneleri ile kıyaslandığında, maksimum yük taşıma kapasitesinde %335, kesme dayanımda %283; tamir harcı kullanılarak güçlendirilen numuneler ile kıyaslandığında ise sırasıyla %157 ve %138 kadar iyileşme sağlanmıştır.

DS-P-G-2-A3-M numunesinin kesme dayanımı ve maksimum yük kapasitesi artış yüzdelерinin aynı olmaması; iki kat cam lifli polimer ve katlamalı ankraj uygulaması ile güçlendirilmiş bu numune ile referans ve sıvalı numelerin enkesit alanlarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

Katlamalı ankraj uygulaması yapılan numunelerin deney sonuçları değerlendirildiğinde; uygulanan ankraj detayının numunelerin yük kapasitesi ve deformasyon yapabilme yeteneklerini geliştirdiğı görülmüştür.

DS-P-G-1-A3-M güçlendirilmiş numunesinin DS-P-G-2-A3-M numesinden daha iyi davranış göstermesinin nedeni; işçilik kalitesindeki olası farklılıktan, duvar imalatında tek tip tuğla kullanılmamasından ve özellikle de yüzeyine uygulanan sıva kalınlığının daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Giriş

Bu bölümde tarihi tuğlalar ile örülen 12 adet duvar numunesine ait diyagonal çekme deneyi sonuçları değerlendirilmiştir. Deney sonuçları ile; tüm numunelere ait maksimum yük, kesme dayanımı, başlangıç rijitliği, süneklik ve tüketilen enerji değerleri hesaplanmış ve güçlendirilmiş numunelerden elde edilen bu değerler, referans numunelerden elde edilen değerler ile karşılaştırılarak tablolar halinde verilmiştir.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda güçlendirme uygulamalarının duvar elemanlarının davranışında önemli bir iyileşme sağladığı görülmüştür.

5.2. Yük Kapasitesi

Numunelerin taşıyabildikleri maksimum yük miktarı, uygulanan güçlendirme yönteminin etkinliğinin değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulacak önemli parametrelerdendir. Duvar elemanların maksimum yük değerleri ile güçlendirilmiş elemanlara ait değerlerin, referans elemanların değerlerinin ortalamasına oranları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Bu tabloda; j , deney gününü; f_{mj} , deney günündeki harç basınç dayanımını; P_1 , ilk çatlak yükünü; P_{max} , maksimum yük kapasitesi değerini simgelemektedir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; referans numunelerine ait maksimum yük kapasitesi değerlerindeki farklılığın duvar imalatında tek tip tuğla kullanılamamasından, derz harcının deney gününe kadar kazandığı dayanımın farklılığından ve duvar numunelerinin örülmesi aşamasında oluşan kusurlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5.1 Numunelerin Maksimum Yük Kapasitesi Değerleri

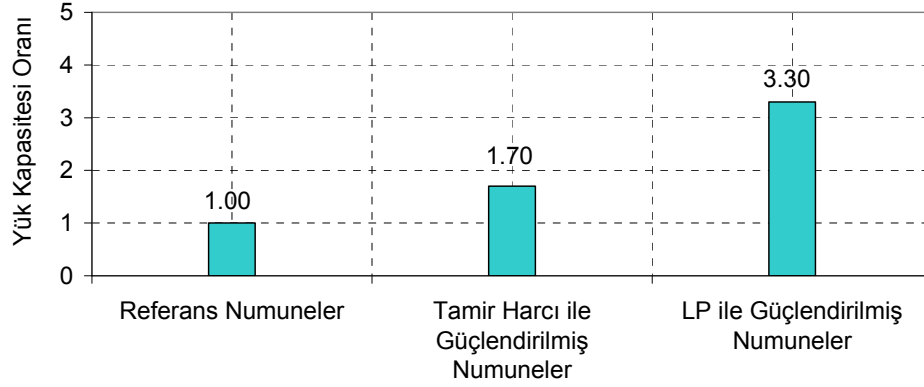
Numune İsmi	j (Gün)	f'_{mj} (MPa)	P_1 (kN)	P_{max} (kN)	Y.K.O.
DS-O1-M	49	~3.43	14	15.0	1.00
DS-O2-M	63	~3.54	23.0	24.5	1.00
DS-P1-M	50	~3.43	34.0	36.0	1.80
DS-P2-M	67	~3.57	32.0	32.0	1.62
DS-P-G-1-M	69	~3.58	82.0	82.0	4.15
DS-P-G-2-M	78	~3.66	67.0	67.0	3.40
DS-P-G-3-M	69	~3.58	64.0	64.0	3.24
DS-P-G-2-A1-M	70	~3.59	58.0	63.0	3.19
DS-P-G-2-A1-C	78	~3.66	57.0	57.0	2.89
DS-P-G-3-A2-M	135	~4.11	60.0	64.0	3.24
DS-P-G-1-A3-M	55	~3.47	104.4	104.4	5.29
DS-P-G-2-A3-M	67	~3.57	86.0	86.0	4.35

Y.K.O. : Yük Kapasitesi Oranı

Deney sonuçlarına göre güçlendirme uygulamalarının duvar numunelerinin maksimum yük kapasitesinde oldukça etkili olduğu görülmektedir.

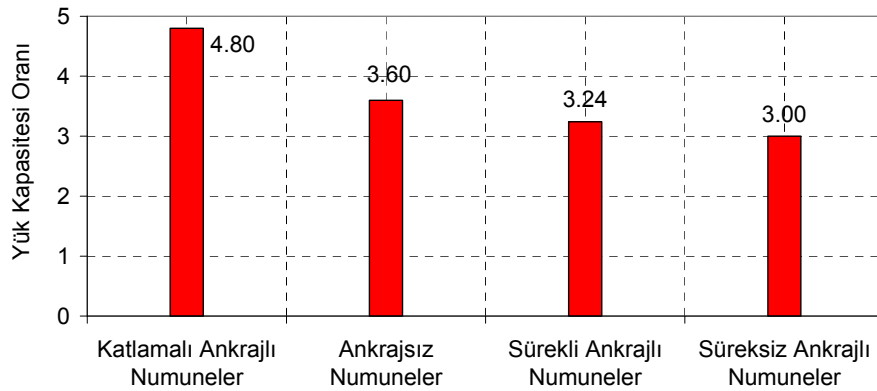
Numunelerin ortalama yük kapasitesi artış oranlarının karşılaştırıldığı Şekil 5.1’de, tamir harcı ile güçlendirilmiş numunelere ait ortalama yük kapasitesi değerinin,

referans numunelerin ortalama değerinin 1.70 katı; LP kompozit ile güçlendirilen numunelere ait ortalama yük kapasitesi değerinin, referans numunelerin ortalama değerinin 3.30 katı olduğu görülmüştür.



şekil 5.1: Numunelerin Ortalama Yük Kapasitesi Artış Oranı

LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerin ortalama yük kapasitesi artış oranlarının karşılaştırıldığı şekil 5.2’de, ankraj uygulaması yapılmadan güçlendirilmiş numunelere ait ortalama yük kapasitesi değerinin, referans numunelerin ortalama değerinin 3.60 katı; süreksiz ankraj uygulaması yapılan güçlendirilmiş numunelere ait ortalama yük kapasitesi değerinin, referans numunelerin ortalama değerinin 3.0 katı olduğu, sürekli ankraj uygulaması yapılan güçlendirilmiş numunelere ait ortalama yük kapasitesi değerinin, referans numunelerin ortalama değerinin 3.24 katı olduğu ve katlamalı ankraj uygulaması yapılan güçlendirilmiş numunelere ait ortalama yük kapasitesi değerinin, referans numunelerin ortalama değerinin 4.80 katı olduğu görülmüştür.



şekil 5.2: LP Kompozitler ile Güçlendirilmiş Numunelerin Ortalama Yük Kapasitesi Artış Oranı

LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelere ait Şekil 5.2’de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde; katlamalı ankraj uygulamasının numunelerin yük kapasitesinde önemli bir artış sağladığı görülmektedir. Sürekli ve süreksiz ankraj uygulaması yapılan LP kompozitler ile güçlendirilmiş numuneler ile ankraj uygulaması yapılmadan güçlendirilmiş numunelerin yük kapasitelerindeki artış oranlarının birbirinden farklı olmasının; duvar imalatında tek tip tuğla kullanılamamasından, numunelerin yüzeyine uygulanan sıva kalınlığının farklılığından, derz harcının deney gününe kadar kazandığı dayanımın farklılığından ve duvar numunelerinin örülmesi aşamasında oluşan kusurlardan kaynaklandığı söylenebilir.

5.3. Kesme Dayanımı

Numunelerin kesme dayanımları; deneylerden elde edilen maksimum yük değerleri kullanılarak ASTM E519 [17] tarafından verilen denklem (5.1) yardımıyla bulunmuştur, Tablo 5.2.

$$\sigma_t = 0.707P/(bt) \quad (5.1)$$

ASTM E519’da ayrıca elemanların kesme şekildeğiştirmesi ve kesme modülü değerlerinin belirlenebilmesi için denklem (5.2) ve (5.3) kullanılması belirtilmiştir.

$$\gamma = (\Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta x_1 + \Delta x_2)/GL \quad (5.2)$$

$$G = \sigma_t / \gamma \quad (5.3)$$

Tablo 5.2’de; σ_1 , ilk çatlağa karşılık gelen kesme dayanımı değerini ve σ_{max} , maksimum yüke karşı gelen kesme dayanımını simgelemektedir. Bu tabloda ayrıca; güçlendirilmiş numunelere ait kesme dayanımı değerlerinin, referans numunelerinin kesme dayanımı değerlerinin ortalamasına oranları ve numunelerin kayma dayanımı hesabında etkili kesit boyutları (bxt) verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; referans numunelerine ait kesme dayanımı değerlerindeki farklılığın bölüm 5.1’de belirtilen nedenlere bağlı olarak ulaştıkları maksimum yük kapasitesilerinin ve kesit boyutlarının aynı olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

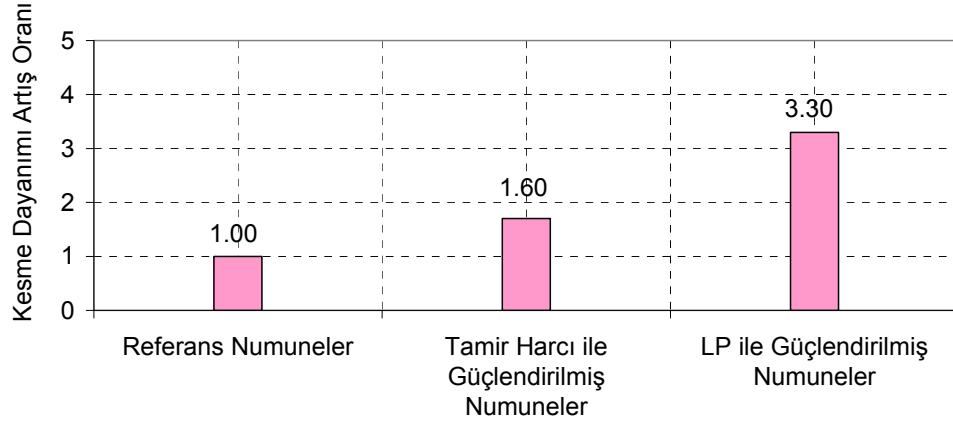
Tablo 5.2 Numunelerin Kesme Dayanımı

Eleman İsmi	Kesit Boyutları (b × t) (mm)	σ_1 (MPa)	σ_{max} (MPa)	K.D.O.
DS-O1-M	280x255	0.14	0.15	1.00
DS-O2-M	318x258	0.20	0.21	1.00
DS-P1-M	325x262	0.29	0.30	1.67
DS-P2-M	325x258	0.27	0.27	1.50
DS-P-G-1-M	333x255	0.69	0.69	3.83
DS-P-G-2-M	320x263	0.56	0.56	3.11
DS-P-G-3-M	329x255	0.54	0.54	3.00
DS-P-G-2-A1-M	350x265	0.44	0.48	2.67
DS-P-G-2-A1-C	360x260	0.43	0.43	2.39
DS-P-G-3-A2-M	340x255	0.49	0.52	2.89
DS-P-G-1-A3-M	321x266	0.87	0.87	4.83
DS-P-G-2-A3-M	338x263	0.69	0.69	3.83

K.D.O. : Kesme Dayanımı Oranı

Deney sonuçlarına göre güçlendirme uygulamalarının duvar numunelerinin kesme dayanımlarında oldukça etkili olduğu görülmektedir.

Numunelerin ortalama kesme dayanımı artış oranlarının karşılaştırıldığı Şekil 5.3’de, tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilmiş numunelere ait ortalama kesme dayanımı değerinin, referans numunelerin ortalama değerinin 1.60 katı, LP kompozit ile güçlendirilen numunelerin ortalama kesme dayanımı değerinin ise referans numunelerin ortalama değerinin 3.30 katı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.3: Numunelerin Ortalama Kesme Dayanımı Artış Oranı

5.4. Rijitlik

Duvar numunelerinin başlangıç rijitlik değerleri düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin lineer olduğu bölgenin eğimi olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.3’de numunelerin başlangıç rijitlikleri hesaplandıkları ölçüm boyları ile birlikte verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; numunelerin kendi içlerinde başlangıç rijitliklerinin birbirinden oldukça farklı olduğu görülmüştür. Bu farklılığın; değerlerin iki ayrı ölçüm boyundan hesaplanmasından, duvar imalatında tek tip tuğla kullanılamamasından, derz harcının deney gününe kadar kazandığı dayanımın farklılığından ve duvar numunelerin örülmesi aşamasında oluşan kusurlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Güçlendirilmiş numunelere ait değerler referans numunelerinki ile karşılaştırıldığında ise değerlerde önemli bir farklılık olmadığı görülmüştür. Dolayısıyla güçlendirmenin numunelerin başlangıç rijitliklerinde etkili olmadığı söylenebilir. Güçlendirme uygulamalarının, numunelerin başlangıç rijitliklerinde etkili olamamasının nedeni yukarıda sayılan sebeplerin yanı sıra duvar ile güçlendirme uygulaması arasında iyi bir yapışma yüzeyi oluşturulamamasından da kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca tamir harcı ile güçlendirme uygulamasının numunelerin başlangıç rijitliklerinde etkili olamamasının, tamir harcı ile tuğla duvarın elastisite modülleri arasındaki büyük farkta kaynaklandığı

düşünülmüktedir. Bunun nedeni; elastisite modüllerindeki bu farklılıktan dolayı tamir harcının numunelerin maksimum yük seviyelerinde yüzeyden kalkması ve tuğla duvar ile birlikte etkili bir şekilde çalışamamasıdır.

LP kompozitler ile güçlendirme uygulamasının numunelerin başlangıç rijitliklerinde etkili olamama nedeninin, numunelerin göçme biçimine ulaştıkları yük seviyesinde cam lifli polimer kompozitlerin daha etkili bir şekilde çalışmamış olduğuda düşünülmüktedir. Maksimum yük seviyesinde göçme biçimine ulaşan LP kompozitler ile güçlendirilmiş numuneler, bu yük seviyesine kadar çok az enine deformasyon yapmaktadırlar. Dolayısıyla enine deformasyon yönünde çalışan cam lifli polimer kompozitlerde oluşan gerilmelerde çok düşük düzeyde kalmakta ve LP kompozitler etkili bir şekilde çalışamamaktadırlar.

Tablo 5.3 Numunelerin Başlangıç Rijitlik Değerleri

Numune İsmi	Ölçüm Boy (mm)	K (kN/με)
DS-O1-M	250	0.058
DS-O2-M	500	0.400
DS-P1-M	250	0.148
DS-P2-M	500	0.430
DS-P-G-1-M	500	0.338
DS-P-G-2-M	500	0.362
DS-P-G-3-M	500	0.413
DS-P-G-2-A1-M	500	0.073
DS-P-G-2-A1-C	500	0.420
DS-P-G-3-A2-M	500	0.400
DS-P-G-1-A3-M	250	0.195
DS-P-G-2-A3-M	500	0.544

DS-P-G-2-A1-M numunesinden elde edilen sonucun aynı ölçüm boyundan başlangıç rijitlik değeri hesaplanan diğer duvar numunelerinden daha düşük çıkmasının; imalatı

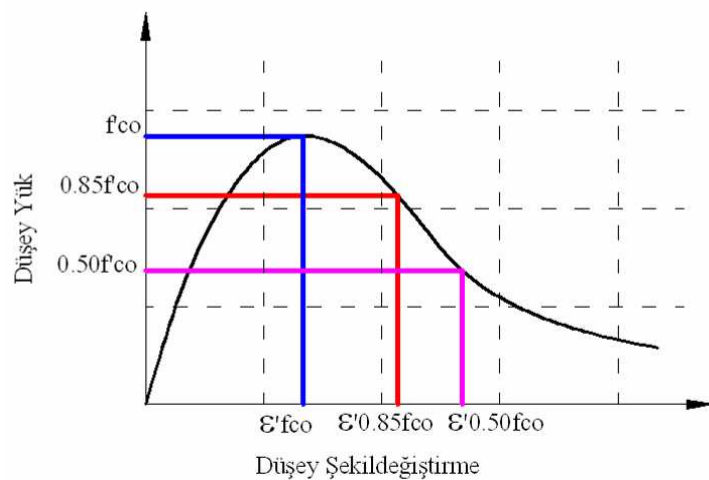
aşamasında oluşan işçilik kusurlarından ve/veya numuneler örülürken tek tip tuğla kullanılmadığından bu duvar numunesinin tuğlalarının daha zayıf olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.5. Deformasyon Yeteneği

Duvar numunelerinin deformasyon yeteneği denklem (5.4) ve (5.5) kullanılarak hesaplanmıştır. Denklemlerde; $\mu_{0.85}$ ve $\mu_{0.50}$, deformasyon yeteneğini; $\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$ ve $\epsilon_{c,(0.50f'_{co})}$ sırasıyla ilgili numunenin düşey yük-düşey şekil değiştirme eğrisindeki düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.85'i ve 0.50'si seviyelerine karşılık gelen düşey şekil değiştirme değerlerini; $\epsilon_{c,(f'_{co})}$ ise numunenin maksimum yük seviyesine karşılık gelen düşey şekil değiştirme değerini simgelemektedir, Şekil 5.4. Tablo 5.4'de numunelerin deformasyon yapabilme yeteneği ile ilgili büyükler verilmiştir.

$$\mu_{0.85} = \frac{\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}}{\epsilon_{c,(f'_{co})}} \quad (5.4)$$

$$\mu_{0.50} = \frac{\epsilon_{c,(0.50f'_{co})}}{\epsilon_{c,(f'_{co})}} \quad (5.5)$$



Şekil 5.4: Deformasyon Yeteneğinin Hesabında Kullanılan Şekil Değiştirmeler

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; tamir harcı ile güçlendirme uygulamasının numunelerin deformasyon yapabilme yeteneklerini arttırdığı görülmüştür. Gevrek bir malzeme olan tamir harcının numunelerin deformasyon yapabilme yeteneklerini, deney boyunca tamamen yüzeyden ayrılmayarak numunelerde bir sargılama etkisi oluşturmaları ve böylece numunelerin dağılmasını engelleyip dayanımlarını bir süre daha koruyabilmelerini sağlayarak arttırdığı düşünülmektedir.

LP ile güçlendirilmiş elemanlar orijinal ve sıvalı numunelere göre daha az deformasyon yapabilme yeteneği göstermişlerdir. Bu davranışın nedeni; maksimum yük kapasitelerine ulaştıkları anda aniden düşen yüklerle cam lifli polimer ile güçlendirilen duvar elemanların, düşen kolda, oldukça küçük şekildeğiştirmeler yapabilmeleridir.

LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerin deney sonuçları kendi içinde değerlendirildiğinde, ankraj uygulaması yapılan numunelerin daha büyük şekildeğiştirme değerlerine ulaştıkları görülmektedir. Dolayısıyla ankraj uygulamasının elemanların deformasyon yapabilme yeteneklerini arttırdığı söylenebilir.

Tablo 5.4 Numunelerin Deformasyon Yapabilme Yetenekleri

Numune İsmi	$\epsilon_{c,(f'_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.85f'_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.50f'_{co})}$	$\mu_{0.85}$	$\mu_{0.50}$
DS-O1-M*	0.0026	0.007	-	2.70	-
DS-O2-M	0.00079	0.0012	0.0015	1.54	1.92
DS-P1-M	0.0011	0.0053	0.0082	4.90	7.65
DS-P2-M	0.0011	0.0036	0.0054	3.26	4.94
DS-P-G-1-M	0.0029	0.003	0.0044	1.03	1.50
DS-P-G-2-M	0.0039	0.0039	0.0088	1.01	2.26
DS-P-G-3-M	0.0041	0.0042	0.0074	1.03	1.81
DS-P-G-2-A1-M	0.0033	0.0057	0.010	1.75	3.16
DS-P-G-2-A1-C	0.0037	0.0047	0.012	1.27	3.33
DS-P-G-3-A2-M*	0.012	0.024	-	2.01	-
DS-P-G-1-A3-M	0.012	0.012	0.013	1.02	1.10
DS-P-G-2-A3-M	0.0032	0.0033	0.0049	1.04	1.53

* : Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinde düşen kolda maksimum yük seviyesinin 0.85'ne ulaştığında deneye son verildiğinden $\epsilon_{c,(0.50f'_{co})}$, ve μ değerleri hesaplanamamıştır.

5.6. Tüketilen Enerji

Deney sırasında numuneler tarafından tüketilen enerji miktarı numunelerin düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alandan hesaplanabilir. Tablo 5.5’de çalışma kapsamında denenen duvar numunelerine ait alan değerleri verilmiştir. Alan hesabında; ilgili numuneler için, düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinin düşen kolu üzerinde maksimum yük seviyesininin 0.85’i ve 0.50’si seviyelerine kadar gelen kısmın altında kalan alanlar dikkate alınmıştır. Tablo 5.5’de, güçlendirilmiş numunelere ait değerler, referans numunelerine ait değerlerin ortalamasına oranlanarak verilmiştir.

Tablo 5.5 Numunelerin Düşey Yük- Düşey Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanlar

Eleman İsmi	$\epsilon_{c,(0.85f_{co})}$	$\epsilon_{c,(0.50f_{co})}$	A.O. 0.85	A.O. 0.50
DS-O1-M	0.089	0.10	1.0	1.0
DS-O2-M	0.028	0.032	1.0	1.0
DS-P1-M	0.175	0.246	2.99	3.73
DS-P2-M	0.107	0.145	1.83	2.20
DS-P-G-1-M	0.142	0.369	2.43	5.59
DS-P-G-2-M	0.159	0.368	2.72	5.58
DS-P-G-3-M	0.191	0.306	3.26	4.64
DS-P-G-2-A1-M	0.286	0.471	4.89	7.14
DS-P-G-2-A1-C	0.234	0.517	4.00	7.83
DS-P-G-3-A2-M*	1.439	-	24.60	-
DS-P-G-1-A3-M*	1.029	-	17.60	-
DS-P-G-2-A3-M	0.207	0.286	3.54	4.33

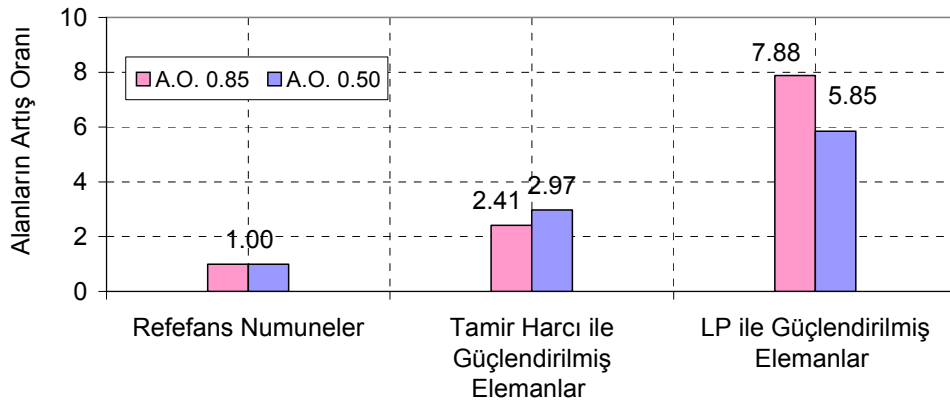
A.O. : Alanların oranı

*: Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisinde düşen kolda maksimum yük seviyesinin

0.85’ne ulaştığında deneye son verildiğinden $\epsilon_{c,(0.50f_{co})}$ değeri hesaplanamamıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde; uygulanan güçlendirme uygulamalarının duvar numunelerin enerji tüketebilme özelliklerinde oldukça etkili oldukları görülmüştür.

Düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrileri altında kalan alanların karşılaştırıldığı Şekil 5.5’de tamir harcı ile güçlendirilmiş numunelere ait ortalama alan değerlerinin, referans numunelerin ortalama değerlerinin 2.41 ile 2.97 katı, LP kompozit ile güçlendirilen numunelerin ortalama alan değerlerinin ise referans numunelerin ortalama değerlerinin 7.88 ile 5.85 katı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.5 Numunelerin Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrileri Altında Kalan Alanların Artış Oranı

5.7. LP Kompozitler İle Güçlendirilen Numunelerin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

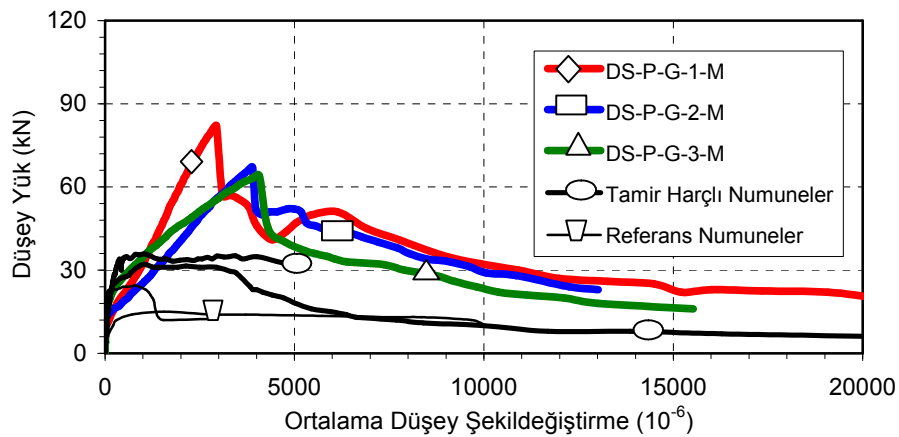
LP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde incelenen değişkenler:

- LP Kompozit Kat Sayısı [1 / 2 / 3]
- Ankraj Uygulanması [Var / Yok]
- Ankraj Detayı [Sürekli/ Süreksiz/ Bindirmeli]
- Yükleme Biçimi [Monoton/ Tekrarlı]

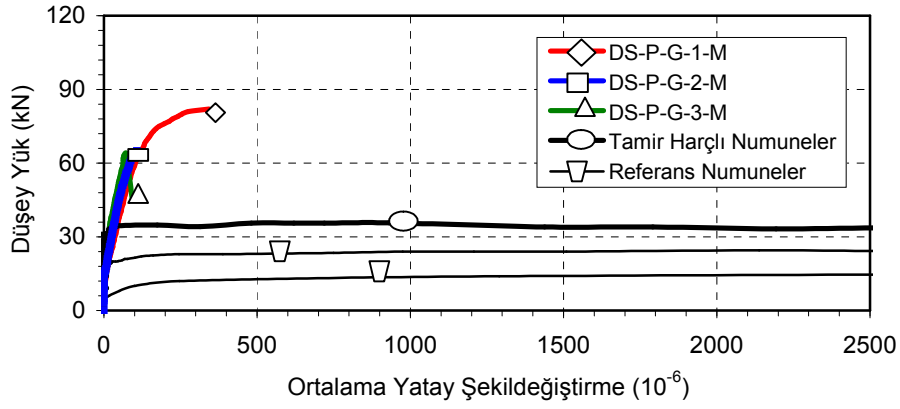
Cam lifli polimer ile güçlendirme uygulamasının yığma duvar davranışındaki etkilerinin değerlendirilebilmesi için LP kompozitler ile güçlendirilen numunelere ait

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 referans elemanların eğrilerinde düşen kol üzerinde maksimum yükün 0.85'i ve 0.50'si seviyelerine kadar gelen kısımlar altında kalan alanlara oranlanarak verilmiştir.

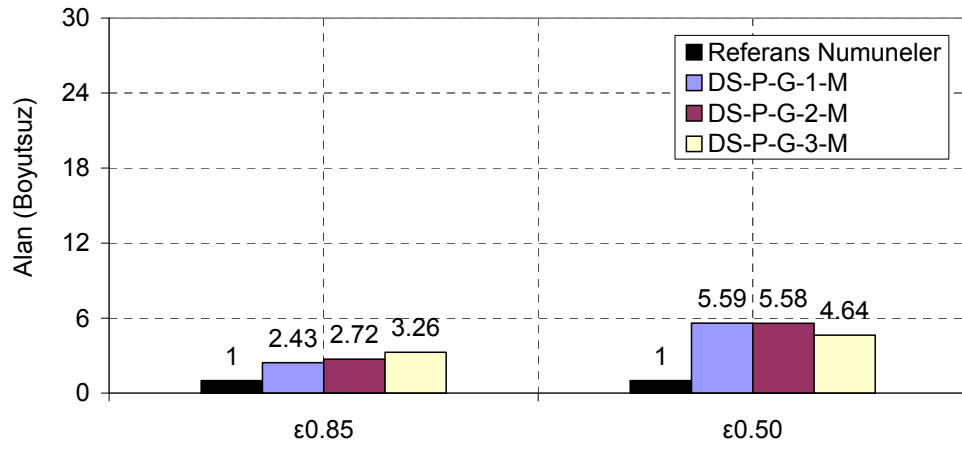
- Kompozitin bir kat yerine iki kat veya üç kat uygulanmasıyla güçlendirilen numunelerden elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Bunun nedeni; bu numunelerde göçme biçiminin benzer şekilde, LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması ile, gerçekleşmesi ve dolayısıyla da LP'in tam kapasitesinden yararlanılamamasından kaynaklanmaktadır. LP kalınlığının duvar numunelerinin davranışında etkili olmadığı görülürken, bir kat LP kompozit ile güçlendirilen numunenin daha yüksek yük kapasitesine ulaşmasının, yüzeyine uygulanan tamir harcının daha kalın olmasından ve duvar imaltında tek tip tuğla kullanılamaması sonucunda bu numunedeki tuğla dayanımlarının daha farklı olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir, Şekil 5.6, 5.7, 5.8. LP kalınlığının numunelerin kesme dayanımına etkisi Şekil 5.9'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; LP kompozitler ile güçlendirme uygulamasının numunelerin maksimum yük kapasitesi, kesme dayanımı ve deformasyon yapabilme yeteneklerinde önemli bir artış sağladığı görülmektedir.



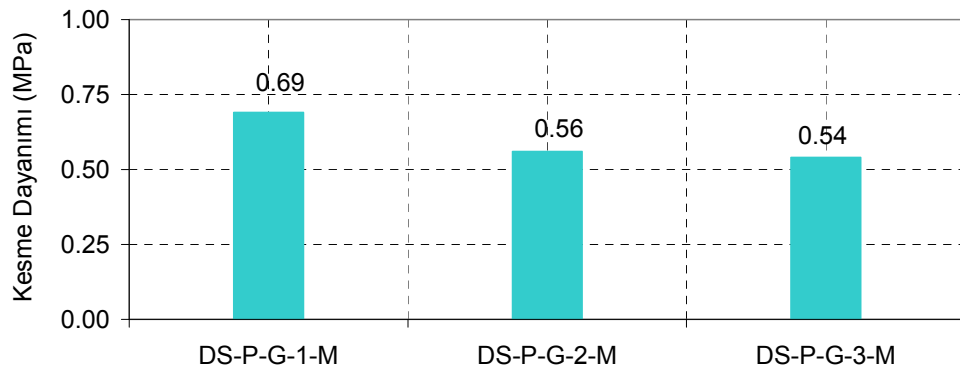
Şekil 5.6: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi



Şekil 5.7: LP Kompozit Kat Sayısının Davranışa Etkisi



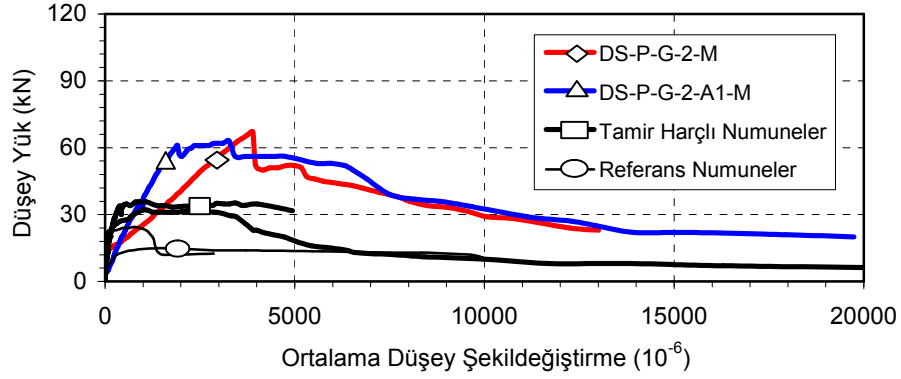
Şekil 5.8: LP Kompozit Kat Sayısının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi



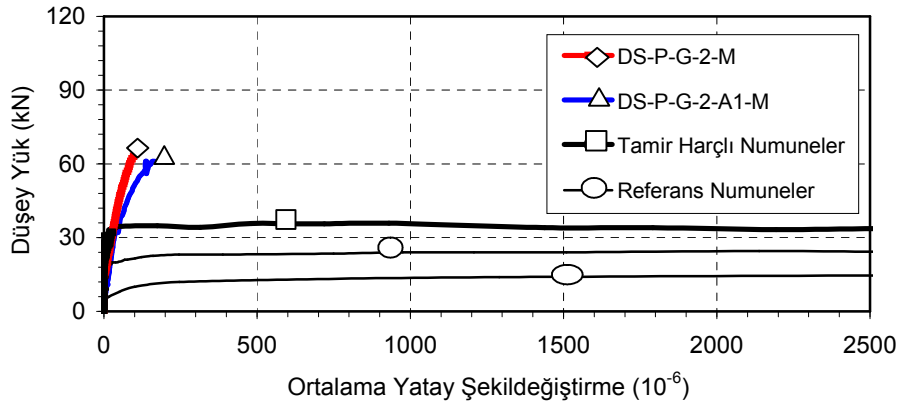
Şekil 5.9: LP Kompozit Kat Sayısının Kesme Dayanımına Etkisi

- LP kat sayısının diyagonal çekme etkileri altındaki davranışlarında etkili olmadığı görülen duvar numunelerinde sürekli veya süreksiz ankraj uygulaması yapılarak, numunelerin maksimum yük kapasitesi ve kesme dayanımı

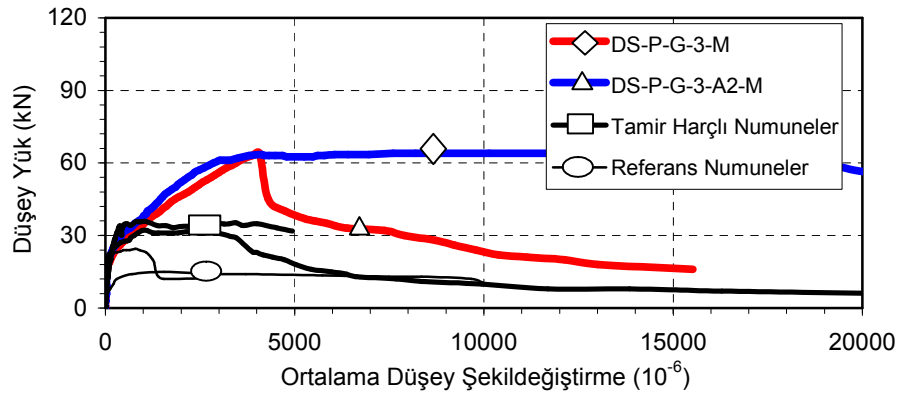
değerlerinde ankraj uygulanmayan numunelere göre önemli bir artış sağlanamamıştır. Ancak sürekli ankraj uygulamasının numunelerin şekildeğiştirme yapabilme yeteneklerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür, Şekil 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15. Ankraj uygulamasının numunelerin kesme dayanımına etkisi Şekil 5.16’da verilmiştir.



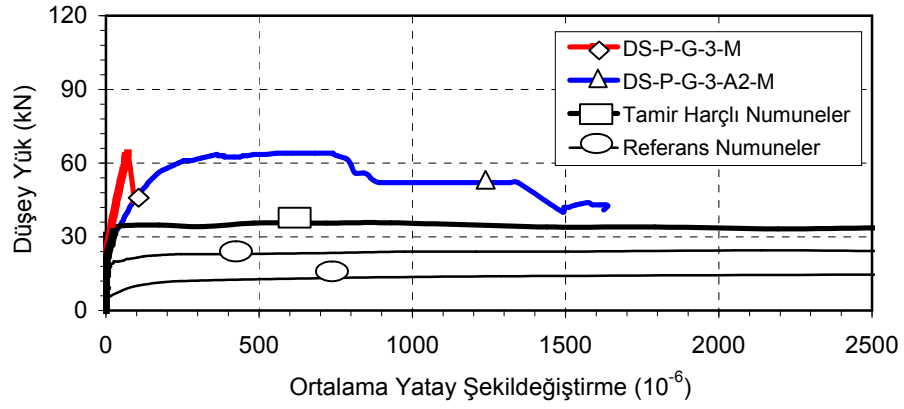
Şekil 5.10: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi



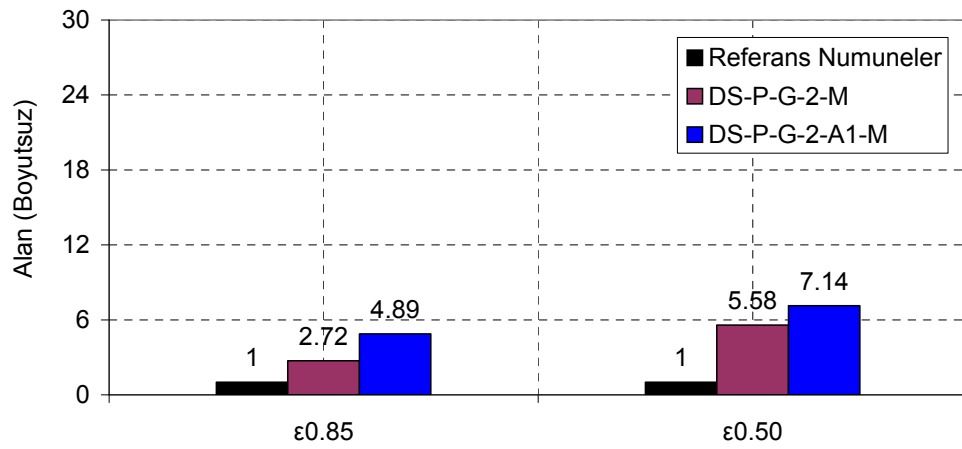
Şekil 5.11: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi



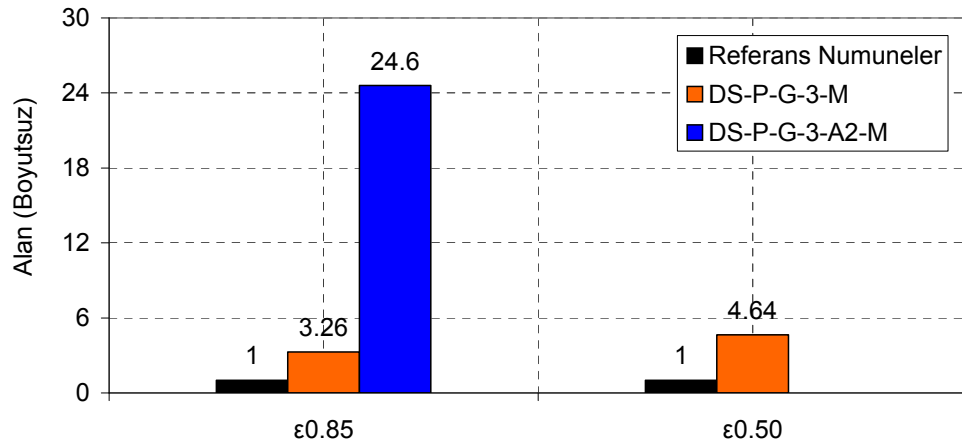
Şekil 5.12: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi



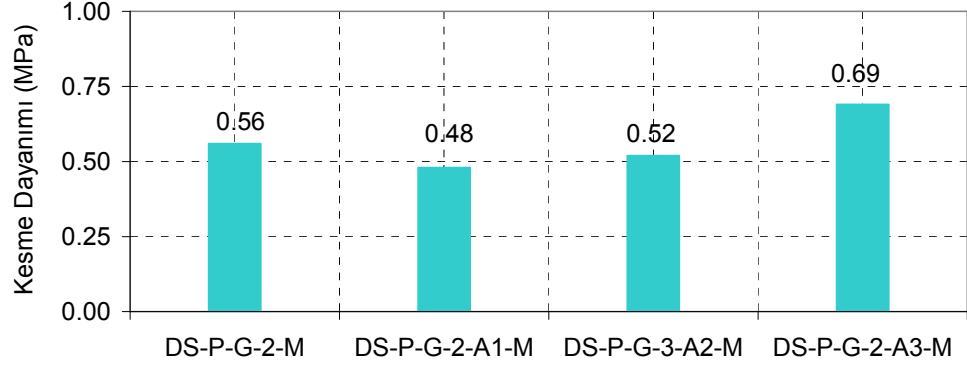
Şekil 5.13: Ankraj Uygulamasının Davranışa Etkisi



Şekil 5.14: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

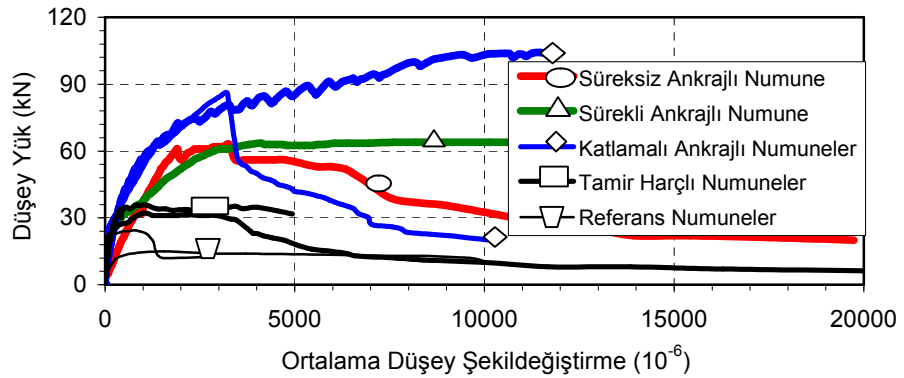


Şekil 5.15: Ankraj Uygulamasının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

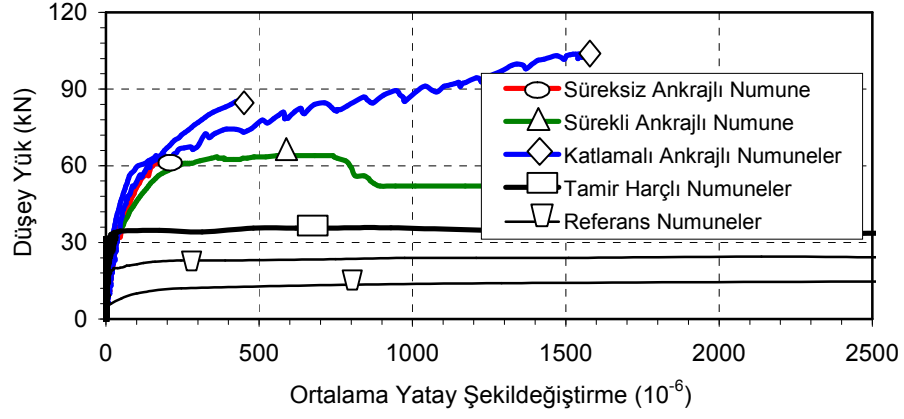


Şekil 5.16: Ankraj Uygulamasının Kesme Dayanımına Etkisi

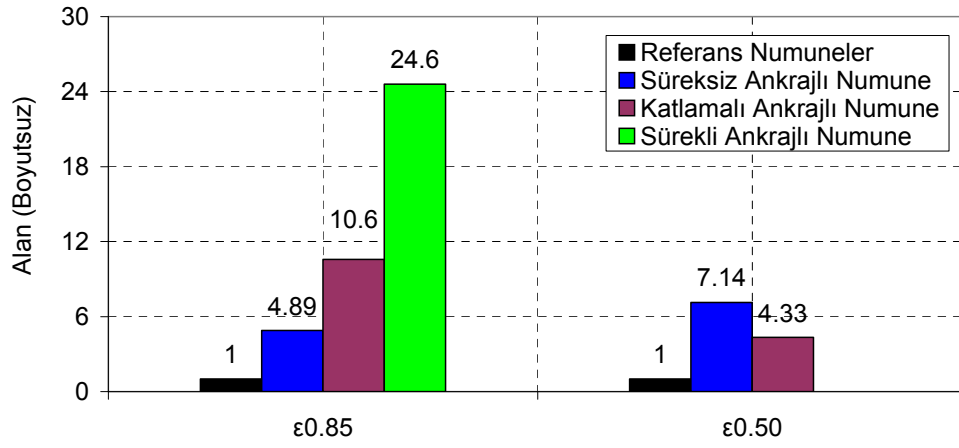
- Uygulanan ankraj detayının duvar numunelerinin davranışına etkisinin incelenmesi sonucunda; sürekli ve süreksiz ankraj uygulamaları ile numunelerin kesme dayanımında birbirine yakın sonuçlar elde edilirken, şekil değiştirme yapabilme yeteneklerinde ise sürekli ankraj uygulamasının oldukça etkili olduğu görülmüştür. Katlamalı ankraj uygulamasının ise numunelerin davranışını geliştirmiş, maksimum yük kapasitesi, kesme dayanımı ve deformasyon yapabilme yeteneklerinde oldukça etkili olmuştur. Katlamalı ankraj uygulaması yapılan iki numunenin farklı yük kapasitelerine ulaşmalarının, yüzeylerine uygulanan sıva kalınlığının farklılığından ve duvar imalatında tek tip tuğla kullanılamaması sonucunda bu numundeki tuğla dayanımlarının daha farklı olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir, Şekil 5.17, 5.18, 5.19. Ankraj detayının elemanların kesme dayanımına etkisi Şekil 5.20’de verilmiştir.



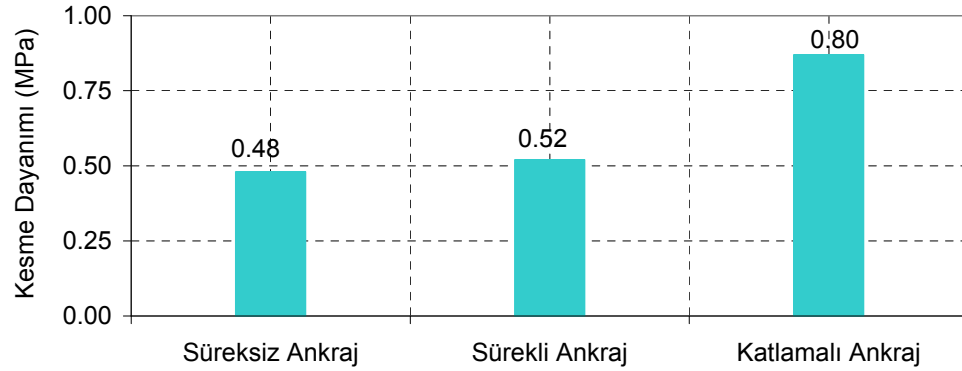
Şekil 5.17: Ankraj Detayının Davranışa Etkisi



Şekil 5.18: Ankraj Detayının Davranışa Etkisi

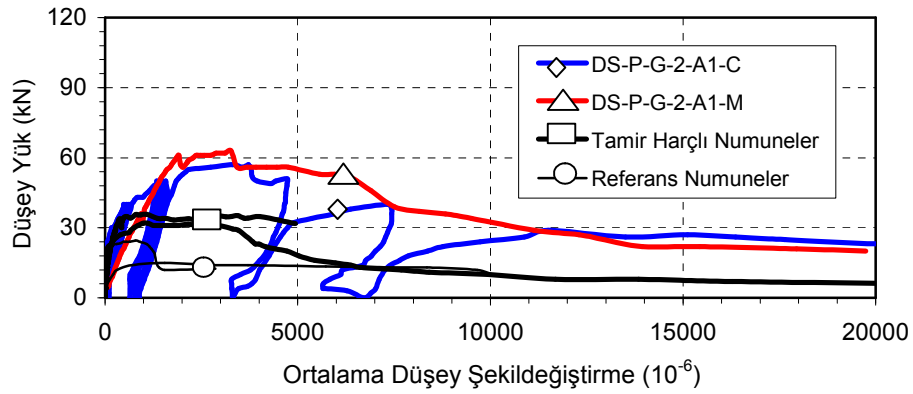


Şekil 5.19: Ankraj Detayının Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi

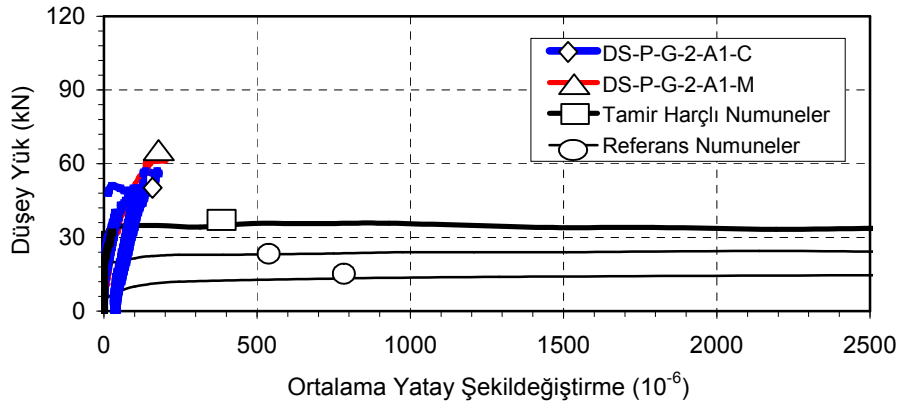


Şekil 5.20: Ankraj Detayının Kesme Dayanımına Etkisi

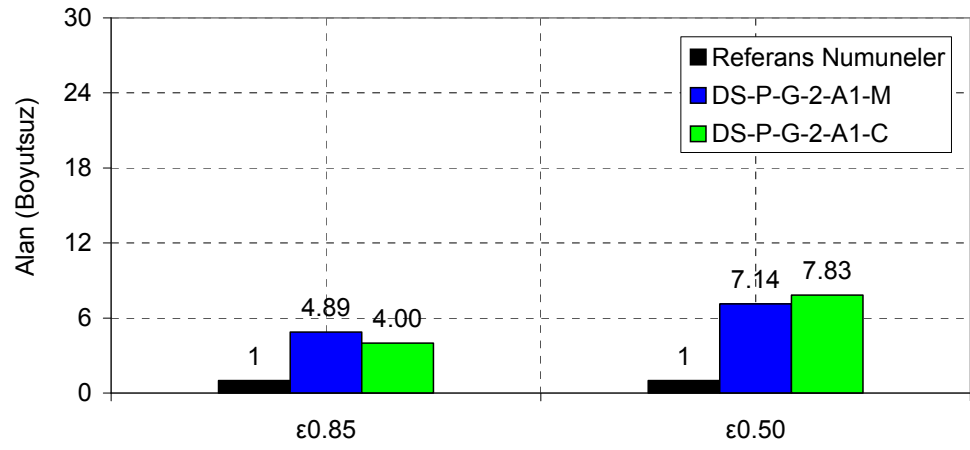
- Tekrarlı artan yükler altında denenen güçlendirilmiş numune (DS-P-G-2-A1-C); tüm diğer özellikleri aynı olan, ancak monoton artan yükler altında denenen güçlendirilmiş numune ile (DS-P-G-2-M) yakın davranış göstermiştir, Şekil 5.21, 5.22, 5.23. Yükleme biçiminin numunelerin kesme dayanımına etkisi Şekil 5.24’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; tekrarlı yükler altında denenen numunelerin davranışı ile monotonik yükler altında denenen numunelerin davranışı arasında belirgin bir fark olmadığı görülmüştür.



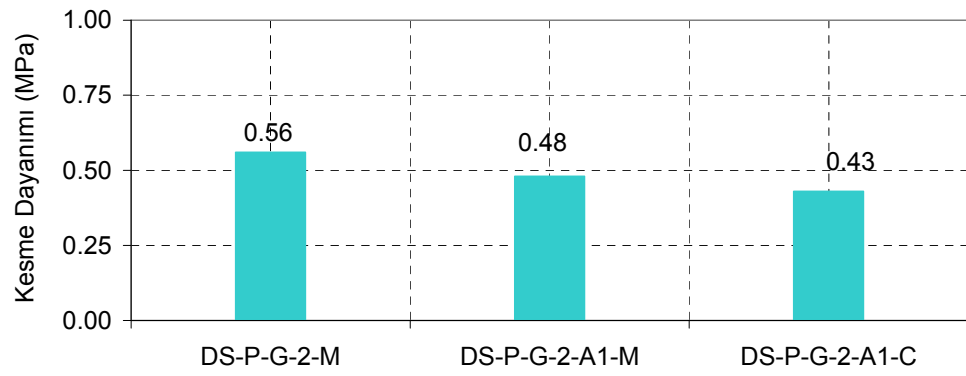
Şekil 5.21: Yükleme Biçiminin Davranışa Etkisi



Şekil 5.22: Yükleme Biçiminin Davranışa Etkisi



Şekil 5.23: Yükleme Biçiminin Düşey Yük-Düşey Şekildeğiştirme Eğrisi Altında Kalan Alana Etkisi



Şekil 5.24: Yükleme Biçiminin Kesme Dayanımına Etkisi

6. ANALİTİK ÇALIŞMA

6.1. Giriş

Çalışma kapsamında elde edilen deneysel veriler bu bölümde DBYBHY’de, [18] (Bölüm 5-Yığma Binalar için Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları) ve Eurocode-6’da [19] (Kargir Yapıların Tasarımı) tanımlanan amprik bağıntılara göre hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır.

Analitik çalışma sonuçlarının ele alındığı bu bölüm; malzeme numuneleri deneysel ve analitik sonuçları, duvar numuneleri deneysel ve analitik sonuçları olmak üzere iki başlıktan oluşmaktadır.

6.2. Malzeme Numuneleri Deneysel ve Analitik Sonuçları

Tuğla dolgu duvarların yapısal davranışlarının en iyi şekilde değerlendirilebilmesi için malzeme özellikleri bilinmelidir. Bu amaçla; çalışma kapsamında öncelikle duvar numunelerinin imalatında kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri yapılan deneyler ile belirlenmiş ve elde edilen deneysel veriler bu bölümde Eurocode-6 ile DBYBHY’de tanımlanan minimum sınır değerleri ve ayrıca tasarım değerleri ile karşılaştırılmıştır, Tablo 6.1, 6.2.

Bu tablolarda verilen ve deneysel olarak belirlenen malzeme mekanik özellikleri; f_b , tuğla basınç dayanımını; f_k , duvar basınç dayanımını; f_{vko} , sıfır basınç gerilmesi altında duvar kayma dayanımını; f_{vk} , duvar kayma dayanımını simgelemektedir.

Tablo 6.1 Eurocode-6 ve DBYBHY Minimum Sınır Değerleri

	Eurocode-6	DBYBHY
f_b :	f'_b	5.00
f_k :	$(K \cdot f_b^{0.65} \cdot f'_m^{0.25})^*$	3.20
f_{vko} :	0.1-0.3	0.15
f_{vk} :	$(f_{vko} + 0.4\sigma)^{**}$	$\tau_o + 0.5\sigma$

* : Genel amaçlı harç ile yapılan kagir karakteristik basınç dayanımı

** : Genel amaçlı harç ile yapılan kagir karakteristik kayma dayanımı

Tablo 6.2 Eurocode-6 ve DBYBHY Tasarım Değerleri

	Eurocode-6	DBYBHY
f_b :	$0.7f'_b$	5.00
f_k :	$(K \cdot f_b^{0.65} \cdot f'_m^{0.25})$	≤ 0.8
f_{vko} :	0.1-0.3	≤ 0.15
f_{vk} :	$(f_{vko} + 0.4\sigma)$	$\tau_o + 0.5\sigma$

Tuğla basınç dayanımı (f_b); Eurocode-6 da deneye tabi tutulmuş tuğla numunelerinin ortalama basınç dayanımı olarak tanımlanmıştır. Eurocode-6’da ayrıca tasarım sırasında ise tuğla basınç dayanımı olarak standartlaştırılmış tuğla basınç dayanımının kullanılması gerektiği belirtmiştir. Standartlaştırılmış tuğla basınç dayanımında, numunelerin boyutlarına bağlı olarak belirlenen ve 0.65 ile 1.55 arasında olan bir katsayı ile deneysel olarak elde edilen ortalama tuğla basınç dayanımı değerinin çarpılmasıyla hesaplanır. Yığma duvarların deprem etkisine maruz kalması durumunda bu katsayı 0.7 olarak alınabilir. [20] DBYBHY’de ise taşıyıcı duvarlarda kullanılacak doğal ve yapay birimlerin en düşük basınç dayanımının en az 5.00 MPa olması gerektiği belirtilmiştir.

Tuğla ve harç basınç dayanımına bağlı olan duvar basınç dayanımının (f_k); Eurocode-6’da duvar numuneleri üzerinde yapılacak deneylerle veya deney yapılamadığında denklem (6.1)’de verilen amprik bağıntı ile hesaplanacağı belirtilmiştir. Bu bağıntıda; K, (N/mm²) biriminde yığma yapı sınıfına bağlı bir katsayıyı; f_b , tuğla basınç dayanımını; f'_m genel amaçlı harç basınç dayanımını simgelemektedir.

$$f_k = K * f_b^{0.65} * f_m^{0.25} \quad (6.1)$$

DBYBHY’de duvar basınç dayanımının 0.25 katının duvar basınç emniyet gerilmesi olduğu belirtilmiş ve eğer tasarım yapılıyorsa çimento takviyeli kireç harcı ve dolu blok tuğla ile örülen duvar numuneleri için duvar basınç emniyet gerilmesinin 0.8 MPa alınacağı belirtilmiştir. Biz çalışmamızda yeni bir tasarım yapmayıp deneysel sonuçlarımızı yönetmelik değerleri ile karşılaştırdığımız için belirtilen emniyet katsayılarını göz önünde bulundurmayıp, duvar basınç dayanımı değerini 3.2 MPa aldık.

Sıfır basınç gerilmesi altında duvar kayma dayanımı (f_{vko}); Eurocode-6’da duvar imalatında kullanılan tuğla ve harç basınç dayanımına bağlı olarak belirlenen 0.1 ile 0.3 MPa arasında bir değerdir. DBYBHY’de duvar tasarımında çimento takviyeli kireç harcı ve dolu blok tuğla ile örülen duvar numuneleri için duvar çatlama emniyet gerilmesinin 0.15 MPa alınacağı belirtilmiştir.

Duvar kayma dayanımının (f_{vk}); Eurocode-6’da duvar numuneleri üzerinde yapılacak deneylerle veya deney yapılamadığında denklem (6.2) verilen amprik bağıntı ile hesaplanacağı belirtilmiştir.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4\sigma \quad (6.2)$$

DBYBHY’de ise duvar kayma gerilmesinin denklem (6.3)’de verilen amprik bağıntı ile hesaplanacağı belirtilmiştir. Bu denklemde; τ_o , sıfır basınç gerilmesi altında duvar çatlama gerilmesini; σ , duvar düşey gerilmesini simgelemektedir. μ , ise sürtünme katsayısıdır ve DBYBHY’de sürtünme katsayısının 0.5, ASTM C 1531-03’de [21] ise 0.3 ile 1.6 arasında bir değer olarak alınabileceği belirtilmiştir.

$$\tau = \tau_o + \mu\sigma \quad (6.3)$$

Yönetmelikte ayrıca duvar numuneleri için tasarım yapıldığında τ_{em} , duvar emniyet kayma gerilmesinin denklem (6.4)’de verilen amprik bağıntı ile hesaplanacağı ve τ_o , duvar çatlama emniyet gerilmesinin çimento takviyeli kireç harcı ile dolu blok tuğla ile örülen duvarlar için 0.15 MPa alınacağı belirtilmiştir.

$$\tau_{em} = \tau_o + \mu \sigma \quad (6.3)$$

Tablo 6.3’de malzeme numuneleri deneysel sonuçları ve yukarıda verilen amprik formüller ile minimum sınır değerler göz önüne alınarak belirlenen analitik sonuçlar karşılaştırılmalı verilmiştir.

Tuğla basınç dayanımı deneysel değeri üçlü tuğla numunelerinde yapılan basınç deneyi sonucundan elde edilmiştir. Elde edilen deneysel tuğla basınç dayanımının DBYBHY’de öngörülen minimum sınır değerinin altında olup ve yönetmelikte belirtilen şartı sağlamamıştır. Eurocode-6’ya göre alınacak tuğla basınç dayanımı ise çalışmada tasarım yapılmadığı için elde edilen deneysel tuğla basınç dayanımı değeridir.

Karot numunelerinde yapılan basınç deneyi sonucunda elde edilen duvar basınç dayanımı değerinin; Eurocode-6 ve DBYBHY’in öngördüğü sınır değerlerin üstünde olduğu ve bu yönetmeliklerde şartı sağladığı görülmüştür

Karot numunelerinde sıfır basınç gerilmesi altında yapılan kayma deneyleri sonucunda belirlenen duvar kayma dayanımı değerinin; Eurocode-6 ve DBYBHY’in öngördükleri minimum sınır değerlerinin üstünde olduğu ve bu yönetmeliklerde belirtilen şartları sağladığı görülmüştür.

Karot numunelerinde farklı düşey gerilme seviyelerinde gerçekleştirilen kayma deneyi sonucunda elde edilen duvar kayma dayanımı değerinin; Eurocode-6 ve DBYBHY’in öngördükleri minimum sınır değerlerinin altında olduğu ve bu yönetmeliklerde belirtilen şartları sağlamadığı görülmüştür, Şekil 6.1.

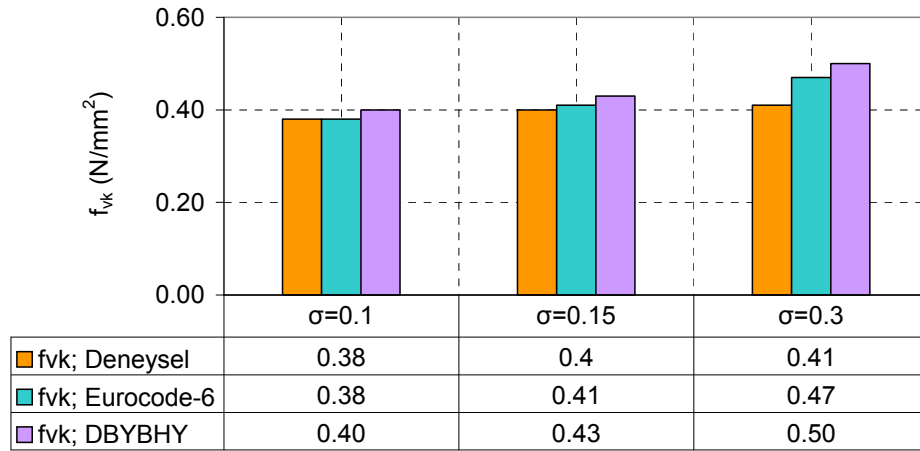
Tablo 6.3 Malzeme Numuneleri Deneyisel Sonuçları ve Analitik Minimum Sınır Değerleri

		Deneyisel Sonuçlar	Eurocode-6	DBYBHY
f_b (MPa) :	Ortalama :	2.10	2.10	5.00
	Std. Sapma :	0.67		
f_k (MPa) :	Ortalama :	3.27	1.10	3.20
	Std. Sapma :	1.02		
f_{vko} (MPa):	Ortalama :	0.35	0.20	0.15
	Std. Sapma :	0.07		
f_{vk} (MPa):	Ortalama :	0.38*	0.38	0.40
	Std. Sapma :	0.13*		
	Ortalama :	0.40**	0.41	0.43
	Std. Sapma :	0.19**		
	Ortalama :	0.41***	0.47	0.50
	Std. Sapma :	0.08***		

* : $\sigma = 0.1$ MPa

** : $\sigma = 0.15$ MPa

*** : $\sigma = 0.30$ MPa



Şekil 6.1: Duvar Kayma Dayanımı Deneyisel ve Analitik Sonuçların Karşılaştırılması

Tablo 6.4’de malzeme numuneleri deneyisel sonuçları ile yönetmeliklerin öngördüğü tasarım değerleri karşılaştırılmalı verilmiştir.

Tablo 6.4 Malzeme Numuneleri Deneysel Sonuçları ve Analitik Tasarım Değerleri

		Deneysel Sonuçlar	Eurocode-6	DBYBHY
f_b (MPa) :	Ortalama :	2.10	1.47	5.00
	Std. Sapma :	0.67		
f_k (MPa) :	Ortalama :	3.27	1.10	0.80
	Std. Sapma :	1.02		
f_{vko} (MPa):	Ortalama :	0.35	0.20	0.15
	Std. Sapma :	0.07		
f_{vk} (MPa):	Ortalama :	0.38*	0.24	0.20
	Std. Sapma :	0.13*		
	Ortalama :	0.40**	0.26	0.23
	Std. Sapma :	0.19**		
	Ortalama :	0.41***	0.32	0.30
	Std. Sapma :	0.08***		

6.3. Duvar Numuneleri Deneysel ve Analitik Sonuçları

Mevcut standart ve yönetmeliklere göre duvar numunelerinin kesme dayanımı (V), betonarme elemanlara benzer olarak, iki bileşenin katkısının toplamından oluşmaktadır. Bu bileşenlerden ilki; duvar birimin katkısı (V_m) diğeri de kesme donatısının katkısıdır (V_s). LP kompozitler ile güçlendirilmiş duvar numunelerinde ise LP'in kesme dayanımına katkısı da (V_{fip}) göz önüne alınarak numunelerin kesme dayanımı denklem (6.4)'de verildiği gibi yazılabilir.

$$V = V_m + V_s + V_{fip} \quad (6.4)$$

Çalışma kapsamında duvar numunelerinde kesme donatısı kullanılmadığı için numunelerin kesme dayanımı V_m ve V_{fip} toplamından oluşmaktadır.

Duvar birimin, numunenin kesme dayanımına katkısı (V_m) Eurocode-6 tanımlanmış olan denklem (6.5) ile hesaplanır. Bu denklemde; f_{vk} , duvar karakteristik kayma dayanımını; t , duvar kalınlığını; d , etkili derinliği ($d=0.8 \cdot l$ olarak alınabilir [20]); γ_m , kagir dolgu için emniyet katsayısını simgelemektedir.

$$V_m = \frac{f_{vk} \cdot t \cdot d}{\gamma_m} \quad (6.5)$$

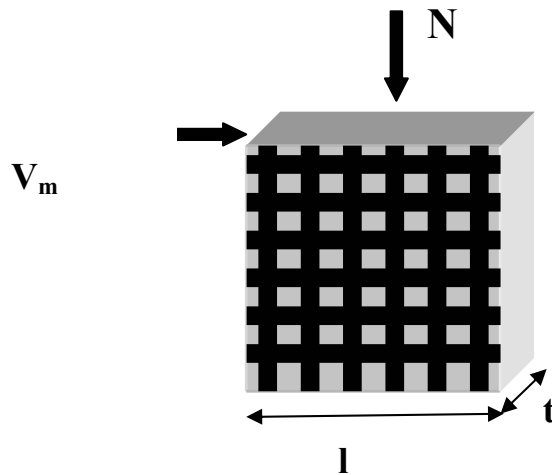
LP kompozitlerin, duvar numunelerin kesme dayanımına katkısının belirlenmesi için pek çok araştırmacı tarafından yapılmış çalışmalar sonucunda önerilmiş amprik bağıntılar bulunmaktadır. [22], [23]. Bu çalışma kapsamında lifli polimer kompozitlerin numunelerin kesme dayanımına katkısının (V_m) belirlenebilmesi için Triantafillou (1998) [20] tarafından tanımlanmış olan amprik bağıntıdan yararlanılmıştır.

Triantafillou, aksenal yükle beraber düzlem içi kesme kuvvetine maruz LP kompozit ile güçlendirilmiş duvar numunelerinin davranışının incelenmesi sonucunda lifli polimerin duvar numunelerinin kesme dayanımına katkısının belirlenebilmesi için denklem (6.6)'yı önermiştir, Şekil 6.2. Bu denklemde; ρ_h , LP kompozit kesit alanının duvar numunesi kesit alanına oranını; E_{frp} , LP kompozit elastisite modülünü; $\epsilon_{frp,e}$, LP kompozit etkin şekildeğiştirmesini; l , duvar eleman genişliğini; t , kagir eleman derinliğini simgelemektedir. γ_{frp} , ise LP kompozit için emniyet katsayısını belirtmektedir ve bu katsayı CFRP için 1.15; AFRP için 1.20; GFRP için 1.25 olarak alınabilir. [20]

Denklem (6.7)'de LP kompozit etkin şekildeğiştirme değerinin hesaplanması için önerilen [20] amprik bağıntı verilmiştir.

$$V_{FRP} = (0.7 * \rho_h * E_{FRP} * \epsilon_{FRP,e} * l * t) / \gamma_{FRP} \quad (6.6)$$

$$\epsilon_{FRP,e} = 0.0119 - 0.0205(\rho_h E_{FRP}) + 0.0104(\rho_h E_{FRP})^2 \quad (6.7)$$



Şekil 6.2: LP Kompozit ile Güçlendirilmiş Duvar Numunesi

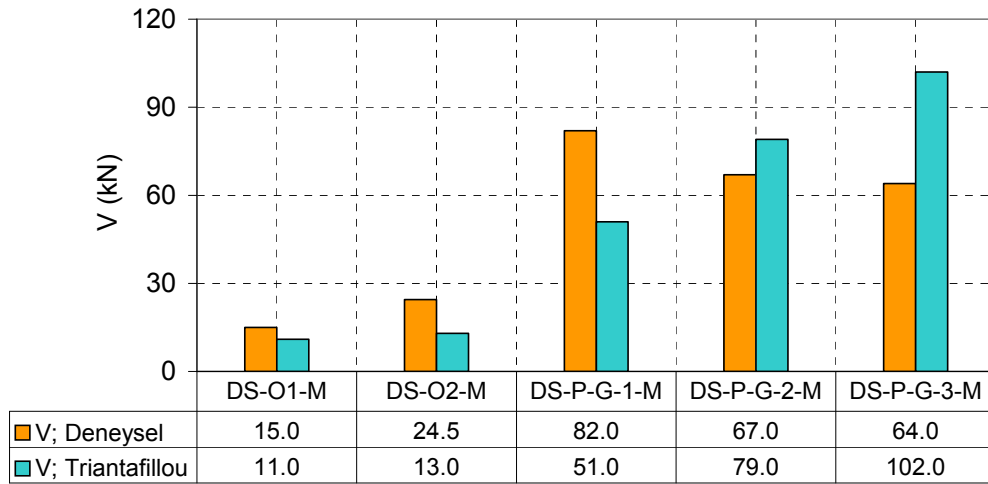
Dolayısıyla eksenel yükle beraber kesme kuvvetine maruz LP kompozitler ile güçlendirilmiş kagir elemanların duvar dayanımının denklem (6.8) ile hesaplanabileceğini söyleyebiliriz. Bu denklemde; f_k , duvar numunesi basınç dayanımını simgelemektedir.

$$V = \frac{f_{vk}td}{\gamma_m} + \frac{0.7}{\gamma_{FRP}} \rho_h E_{FRP} \epsilon_{FRP} l t \leq \frac{0.3 f_k t d}{\gamma_m} \quad (6.8)$$

Tablo 6.5’de duvar numuneleri kesme dayanımı değerlerinin deneysel ve analitik sonuçları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde LP kompozitler ile güçlendirilmiş duvar numunelerinin analitik kesme dayanımlarının deneysel sonuçlardan daha yüksek çıktığı görülmüştür, Şekil 6.3. Bunun sebebi analitik hesap için önerilen bağıntıda LP kompozitlerin göçme biçiminin göz önünde bulundurulmaması ve LP kompozitlerin tam kapasiteyle çalıştığının kabul edilmesidir. Ancak deneysel çalışmamızda LP’in etkin olarak çalışmadığı ve duvar numunelerinin dayanımlarını LP’in yüzeyden ayrılması ile kaybettiği görülmüştür.

Tablo 6.5 Duvar Numuneleri Deneysel Sonuçları ve Analitik Tasarım Değerleri

Duvar Numunesi	Analitik Kesme Kuvveti (kN)	Deneysel Kesme Kuvveti (kN)
DS-O1-M	11.0	15.0
DS-O2-M	13.0	24.5
DS-P-G-1-M	51.0	82.0
DS-P-G-2-M	79.0	67.0
DS-P-G-3-M	102.0	64.0



Şekil 6.3: LP Güçlendirilmiş Numunelerin Kesme Dayanımı Deneysel ve Analitik Sonuçların Karşılaştırılması

DS-P-G-1-M güçlendirilmiş numunesinin deneysel kesme dayanımı analitik sonuçtan daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi, numunelerin kesme dayanımı hesabı için kullanılan analitik formülde dayanıma katkıda bulunan diğer etmenlerin göz önünde bulundurulmamasıdır. Bu numunede dayanımın yüksek çıkmasında yüzeyine uygulanan sıva kalınlığının etkisi olduğu deneysel olarak gözlemlenmiştir.

7. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada; ortalama tekli tuğla ve üçlü tuğla basınç dayanımı sırasıyla 5.00 MPa ve 2.10 MPa olan tuğla ve 28 günlük basınç dayanımı da 3.26 MPa olan harç ile 12 adet duvar numunesi üretilmiştir. Yaklaşık boyutları 400x400x260 mm³ olarak üretilen bu numunelerin; 2 adedi herhangi bir güçlendirme işlemine tabi tutulmadan referans davranışı belirlemek üzere, 2 adedi tamir harcı ile sıvanarak 8 adedi de cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirilerek monoton artan veya tekrarlı yükler altında diyagonal çekme deneyi ile denenmiştir. LP kompozitler ile güçlendirilen numunelerde, kompozit kalınlığı, kompozitlerin duvar numunesine ankrajı ve tekrarlı yüklemenin davranışa etkisi incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen önemli sonuçlar şöyledir:

- Tüm özellikleri aynı olan duvar numunelerin kendi içlerinde farklı davranış göstermelerinde duvar imalatında tek tip tuğla kullanılamamasının, işçilik kalitesindeki olası farklılığın ve güçlendirilmiş numunelerde ayrıca yüzeye uygulanan sıva kalınlığının etkili olduğu görülmüştür.
- Güçlendirilmiş numunelerde yüzeye uygulanan sıva kalınlığının numunelerin dayanımını arttırdığı görülmüştür.
- Her iki güçlendirme yöntemide numunelerin davranışını önemli ölçüde geliştirmiştir. Bu iyileşmenin numunelerin; maksimum yük kapasitesinde, kesme dayanımında, deformasyon yapabilme yeteneğinde ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi altında kalan alanda gerçekleştiği gözlenmiştir.

- Tamir harcı ile sıvanarak güçlendirilen numunelerin, kesme dayanımlarında ortalama 1.60 kata ve LP kompozitlerle güçlendirilen numunelerde ise ortalama 3.30 kata varan oranlarda artış elde edilmiştir.
- Numunelerin şekildeğiştirme yapabilme yeteneği ve dayanımındaki artışta en iyi sonucu tek katlı cam lifli polimer ile güçlendirilmiş ve katlamalı ankraj uygulaması yapılmış DS-P-G-1-A3-M numunesinden alınmıştır.
- LP kompozitler ile güçlendirme uygulamasında LP kalınlığının duvar numunelerinin davranışında etkili olmadığı görülmüştür. Bunun en önemli sebebi; tuğla duvarın dayanımının düşük olması ve göçme biçiminin LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması ile gerçekleşmesidir. Bu durumda LP'in tam kapasitesinden yararlanılamamıştır.
- LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerde uygulanan ankraj detayının numunelerin dayanım, şekildeğiştirme yapabilme yeteneği ve göçme biçiminde etkili olduğu görülmüştür.
- LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerde sürekli veya süreksiz ankraj uygulaması yapılarak, maksimum yük kapasitesi ve kesme dayanımı değerlerinde ankraj uygulanmayan LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelere göre önemli bir artış sağlanamamıştır.
- Sürekli ve süreksiz ankraj uygulaması yapılan numunelerin benzer davranış gösterdikleri, göçme biçimi ve dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Numunelerin şekildeğiştirme yapabilme yeteneğinde ise sürekli ankraj uygulamasının süreksiz ankraj uygulamasından daha etkili olmuştur.
- Katlamalı ankraj uygulaması numunelerin davranışını önemli ölçüde geliştirmiştir. Bu iyileşmenin numunelerin; maksimum yük kapasitesinde, kesme dayanımında, deformasyon yapabilme yeteneğinde ve düşey yük-düşey şekildeğiştirme eğrisi altında kalan alanda gerçekleştiği gözlenmiştir.

- LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerde göçme biçimini cam lifli kumaşların duvar yüzeyine yapışma şeklinin belirlediği görülmüştür. LP kompozitler ile güçlendirilmiş tüm numunelerde göçme benzer şekilde LP'in sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabakayı alarak numunenin yüzeyinden kalkması sonucunda gerçekleşirken, LP'in katlanarak numunelerin yan yüzlerine yapıştırıldığı numunelerde göçme LP kompozitin katlanarak yapıştırıldığı yan yüzeyde numunenin yarılmasıyla gerçekleşmiştir.
- Tekrarlı artan yükler altında denenen DS-P-G-2-A1-C güçlendirilmiş numunesi; göçme biçimi, dayanım, deformasyon yeteneği ve enerji yutma özellikleri gözönüne alındığında; monoton artan biçimde yüklenen DS-P-G-2-A1-M numunesine oldukça yakın davranış sergilemiştir. Bu durum; yükleme biçiminin, elemanların davranışı üzerinde önemli bir etkisi olmadığının göstergesidir.
- Malzeme deneylerinden elde edilen sonuçların yönetmeliklerde belirtilen minimum sınır değerlerin üstünde olduğu ve duvar imalatında kullanılan bu malzemelerin belirtilen minimum değerleri sağladığı görülmüştür.
- Malzeme deneylerinden elde edilen sonuçların yönetmeliklerde belirtilen tasarım değerlerin üstünde olduğu ve duvar imalatında kullanılan bu malzemelerin belirtilen tasarım değerlerini sağlamadığı görülmüştür.
- LP kompozitler ile güçlendirilmiş duvar numunelerinin analitik kesme dayanımlarının deneysel sonuçlardan daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun en önemli sebebi analitik hesap için önerilen bağıntıda LP kompozitlerin göçme biçiminin göz önünde bulundurulmaması ve LP kompozitlerin tam kapasiteyle çalıştığının kabul edilmesidir.
- Güçlendirme uygulaması yapılan tarihi tuğlalar ile örülmüş duvar numunelerinin ele alındığı bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların geliştirilmesi ve duvar davranışının daha iyi anlaşılabilmesi için ileriki aşamalarda yapılacak deneysel ve teorik çalışmaların geliştirilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Arun, G.**, 2005. Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, ODTÜ, Ankara, 17 Şubat 2005.
- [2] **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.
- [3] **Saadatmanesh, H., Ehsani, M.R. and Jin, L.**, 1997. Repair of Earthquake-Damaged RC Columns With FRP Wraps, *ACI Structural Journal*. **91(2)**, pp. 206-215.
- [4] **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)**, pp. 52-62.
- [5] **JCI-DFRCC Committee**, 2003. DFRCC Terminology and Application Concepts, *Journal of Advanced Concrete Technology*, **Vol. 1, No.3**, pp. 335-340.

- [6] **Sağdıç, Z.**, 1999. Sıraev Kavramının İncelenmesi ve Osmanlı Mimarisinde Akaretler Sıraev Grubunun Yeri ve Önemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Kurtay, N.**, 2000. İstanbul'da 19.Yüzyıl Kentsel Yaşamına Koşut Olarak Değişen Saray ve Konut Mimarlığı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] **Kırşan, Ç.**, 1999. 19.Yüzyıl Kentsel Yaşamına Koşut Olarak Değişen Saray ve Konut Mimarlığı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **İlki, A., İspir, M., Demir, C., Karamuk, E., As, F., Cini, N., Aydın, M., Toponder, G., Tulun, T., Kumbasar, N. and Akman, S.**, 2007. Seismic Safety of Historical Row House Complex Built during Ottoman Period. *Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering Ottawa*, Ontario, Canada, 26-29 July 2007.
- [10] **Prota, A., Marcari, A., Fabbrocina, G., Manfredi G. and Aldea, C.**, 2006. Experimental In-Plane Behavior of Tuff Masonry Strengthened with Cementitious Matrix-Grid Composites. *Journal of Composites for Construction*, **10:3**, pp. 223-233.
- [11] **Gabor, A., Bennani, A., Jacquelin, E. and Lebon, F.**, 2005. Modelling Approaches of the In-Plane Shear Behaviour of Unreinforced and FRP Strengthened Masonry Panels. *Composites Structures*, 2005.04.012.
- [12] **Valluzzi, M.R., Tinazzi, D. and Modena, C.**, 2002. Shear Behavior of Masonry Panels Strengthened by FRP Laminates. *Journal of Construction and Building Materials*, **16**, pp. 409-416.
- [13] **Corradi, A., Borri, A. and Vignoli, A.**, 2003. Experimental Study on the Determination of Strength of Masonry Walls. *Journal of Construction and Building Materials*, **17**, pp. 325-337.

- [14] **Corradi, A., Borri, A. and Vignoli, A., 2003.** Strengthening Techniques Tested on Masonry Structures Struck by the Umbria-Marche Earthquake. *Journal of Construction and Building Materials*, **16**, pp. 229-239.
- [15] **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.
- [16] **Collins, M.P., Vecchio, F.J. and Mehlhorn, G, 1985.** An International Competition to Predict the Response of Reinforced Concrete Panels. *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 12, pp. 624-644.
- [17] **ASTM E 519 – 02. (2002).** Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. An American National Standard.
- [18] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007).** Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü.
- [19] **ENV 1996-1-1. Eurocode 6., (1996).** Design of Masonry Structures.
- [20] **Triantafillou, Thanasis C., 1998.** Experimental Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates. *Journal of Composites and Construction*, **Vol. 2, No. 2**, pp. 96-104.
- [21] **ASTM C 1531 – 03. (2003).** Standard test method for in situ measurement of masonry mortar joint shear strength index. An American National Standard.
- [21] **Tomazevic, M., Lutman, M. and Pertrovic, L. 1993.** In Plane Behavior of Reinforced Masonry Walls Subjected to Cyclic Lateral Loads. Report the Ministry of Science and Technology of Republic of Slovenia, part 1 and part 2, Ljubljana, Slovenia.

ÖZGEÇMİŞ

E.Fundagül AŞ, 1981 yılında Zonguldak'da doğmuştur. 1999 yılında Mehmet Çelikel Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 2004 yılında bu bölümden mezun olmasının ardından aynı sene içinde İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Deprem Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.