

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİT PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
BÖLME DUVARLARININ KAYMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa GÜR

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2017

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ DEPREM MÜHENDİSLİĞİ VE AFET
YÖNETİMİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİT PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
BÖLME DUVARLARININ KAYMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mustafa GÜR
(802141219)**

Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU

HAZİRAN 2017

İTÜ, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü'nün 802141219 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mustafa GÜR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİT PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BÖLME DUVARLARININ KAYMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Tülay AKSU ÖZKUL**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2017**

Savunma Tarihi : **08 Haziran 2017**

Aileme, müstakbel eşime ve beni destekleyen herkese,

ÖNSÖZ

Bu tezde bana danışmanlık eden, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU'na,

Çalışmalarımın başından sonuna ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle yol gösteren değerli hocalarım Araş. Gör. Mehmet Mustafa DAŞKIRAN'a, Araş. Gör. Esmâ Gizem DAŞKIRAN'a ve çalışmalarım sırasında bana her türlü konuda yardımcı olan değerli arkadaşım İ.T.Ü. Yapı Mühendisliği Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih YILDIZ'a,

Aynı zamanda deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanı Teknisyen Oktay YALÇINKAYA'ya ve duvar numunelerinin üretimi aşamasında emeği geçen Sayın Muhittin TOPRAK'a,

Çalışmalarım sırasında hep yanımda olup, sürekli destek olan babam Selim GÜR'e, annem Fadik GÜR'e, abilerim Yakup ve Kerim GÜR'e, yengelerim Rabia ve Yeşim GÜR'e, kardeşim Hilal OMALA'ya ve isimlerini sayamadığım emeği geçen herkese teşekkür ederim.

Yapılan bu tez çalışmasında güçlendirme plakaları PT 2016-01701 referans nolu ve 2016/19016 dosya nolu 'Yeni Bir Kompozit Üretim Yöntemi ve Makinesi' başlıklı patent başvurusu kapsamında geliştirilen makine ve üretim yöntemi kullanılarak imal edilmiştir.

Söz konusu tez çalışmasında PT 2016-01702 referans nolu ve 2016/19402 dosya nolu 'Kompozit Güçlendirme Plakası' başlıklı patent başvurusundaki kompozit ürünler kullanılmıştır.

Haziran 2017

Mustafa GÜR
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|--|-----------|
| ÖNSÖZ | vii |
| İÇİNDEKİLER | ix |
| KISALTMALAR | xi |
| SEMBOLLER | xiii |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | xv |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | xvii |
| ÖZET | xxi |
| SUMMARY | xxiii |
| 1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI..... | 1 |
| 1.1 Genel | 1 |
| 1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı | 2 |
| 1.3 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar | 9 |
| 2. DUVAR NUMUNELERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN KOMPOZİT PLAKALARIN ÜRETİMİ..... | 15 |
| 2.1 Genel Bilgi | 15 |
| 2.2 Harç Deneyleri | 19 |
| 2.3 Kompozit Plakaların Üretimi | 22 |
| 3. BÖLME DUVAR KAYMA DENEYLERİ | 27 |
| 3.1 Genel Bilgi | 27 |
| 3.2 Duvar Numunelerinin Üretimi | 29 |
| 3.2.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri | 30 |
| 3.2.2 Güçlendirilmiş duvar numuneleri | 31 |
| 3.3 Bölme Duvarların Güçlendirilmesi ve Güçlendirme Metotları..... | 33 |
| 3.4 Malzeme Deneyleri | 42 |
| 3.4.1 Tuğla deneyleri | 42 |
| 3.4.2 TRCC plaka bağlayıcı harç deneyleri | 44 |
| 3.5 Deneç Düzenegİ | 46 |
| 3.5.1 Yükleme düzenegİ..... | 46 |
| 3.5.2 Ölçüm düzenegİ | 48 |
| 3.6 Diyagonal Kayma Deneyleri | 50 |
| 3.6.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri (referans numuneler) kayma deneyleri | 51 |
| 3.6.2 Güçlendirilmiş bölme duvar kayma deneyleri | 58 |
| 3.6.2.1 G-4-A-1 numunesi kayma deneyi | 58 |
| 3.6.2.2 G-4-A-2 numunesi kayma deneyi | 62 |
| 3.6.2.3 G-6-A-2 numunesi kayma deneyi | 68 |
| 3.6.2.4 G-4-P-1 numunesi kayma deneyi..... | 72 |
| 3.6.2.5 G-4-P-2 numunesi kayma deneyi..... | 75 |
| 3.6.2.6 G-6-P-1 numunesi kayma deneyi..... | 79 |
| 3.6.2.7 G-6-P-2 numunesi kayma deneyi..... | 81 |
| 3.6.3 Bölme duvar numunelerinin kayma deneyi sonuçlarının kıyaslanması.... | 85 |

| | |
|--|------------|
| 3.6.3.1 R numuneleri ile G-4-A-1 numunesinin karşılaştırılması | 85 |
| 3.6.3.2 R numuneleri ile G-4-A-2 numunesinin karşılaştırılması | 87 |
| 3.6.3.3 R numuneleri ile G-6-A-2 numunesinin karşılaştırılması | 88 |
| 3.6.3.4 R numuneleri ile tüm ARG numunelerin karşılaştırılması..... | 89 |
| 3.6.3.5 R numuneleri ile G-4-P-1 numunesinin karşılaştırılması..... | 90 |
| 3.6.3.6 R numuneleri ile G-4-P-2 numunesinin karşılaştırılması..... | 91 |
| 3.6.3.7 R numuneleri ile G-6-P-1 numunesinin karşılaştırılması..... | 92 |
| 3.6.3.8 R numuneleri ile G-6-P-2 numunesinin karşılaştırılması..... | 93 |
| 3.6.3.9 R numuneleri ile tüm PVA numunelerin karşılaştırılması | 94 |
| 3.6.3.10 Tüm numunelerin birbirleriyle karşılaştırılması | 96 |
| 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME | 99 |
| 4.1 Değerlendirmeler | 99 |
| 4.2 Sonuç | 102 |
| KAYNAKLAR..... | 103 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 107 |

KISALTMALAR

| | |
|----------------------|--|
| AR | : Alkali Resistant (Alkali Dayanımlı) |
| ARG | : AR Glass |
| ASCE | : American Society of Civil Engineers |
| ASTM E 519-15 | : Yığma Yapılar İçin Kayma Gerilmesi Deney Tekniği |
| CMG | : Cement Based Matrix-Coated Alkali Resistant Glass Grid System (Alkali Dayanımlı Cam Lif Takviyeli Çimento Esaslı Kompozit) |
| CFCM | : Carbon Fiber Cement Matrix |
| CFRC | : Karbon tekstil ile güçlendirilmiş betonarme (Carbon Fiber Reinforced Concrete) |
| CFRP | : Karbon Lif Takviyeli Polimer |
| DBYBHY'07 | : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 |
| FRCM | : Fabric Reinforced Cementitious Mortar |
| FRP | : Lif Takviyeli Polimer |
| GFRP | : Cam Lif Takviyeli Polimer |
| LVDT | : Linear Variable Differential Transducer (Yerdeğiştirme Ölçer) |
| PPR | : Pull-Pour-Roll |
| PVA | : Polyvinyl Alcohol (Polivinil Alkol) |
| RC | : Reinforced Concrete |
| TR | : Technical Report |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |
| TS | : Türk Standartları |
| TS-EN | : Türk Standartları-European Norm |
| TRC | : Textile Reinforced Concrete (Tekstil Takviyeli Beton) |
| TRCC | : Textile Reinforced Cementitious Composite (Tekstil Takviyeli Çimento Esaslı Kompozit) |
| TRM | : Textile Reinforced Mortar |

SEMBOLLER

| | |
|------------|---|
| A_n | : Duvar net en kesit alanı |
| P | : Uygulanan yük |
| w | : Numune genişliği |
| h | : Numune yüksekliği |
| t | : Numune toplam kalınlığı |
| n | : Numune enkesit alanı doluluk oranı |
| τ | : Kayma gerilmesi |
| G | : Kayma modülü |
| γ | : Kayma şekil değiştirmesi |
| ΔV | : Numunede, yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişim |
| ΔH | : Numunede, yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişim |
| g_v | : Yerdeğiştirme ölçerin düşey ölçüm aralığı |
| g_h | : Yerdeğiştirme ölçerin yatay ölçüm aralığı |

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

| | | |
|---------------|--|----|
| Çizelge 2.1: | Üretici firma tarafından alınan PVA tekstil teknik özellikleri. | 18 |
| Çizelge 2.2: | Alkali dayanımlı cam liflerden oluşan AR Glass tekstil malzemesinin üretici firma tarafından alınan teknik özellikleri. | 19 |
| Çizelge 2.3: | PVA içerikli kompozit plakaların üretiminde kullanılan çimento harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları. | 20 |
| Çizelge 2.4: | AR Glass içerikli kompozit plakaların üretiminde kullanılan çimento harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları. | 21 |
| Çizelge 3.1: | Deney grupları. | 38 |
| Çizelge 3.2: | EMS Dubell F.1311 epoksi teknik özellikleri. | 40 |
| Çizelge 3.3: | Tuğla basınç deneyi sonuçları. | 43 |
| Çizelge 3.4: | Beton harcı basınç deneyi sonuçları. | 44 |
| Çizelge 3.5: | Duvar bağlayıcı harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları. | 46 |
| Çizelge 3.6: | Çelik yükleme başlıklarının boyutları ve özellikleri. | 48 |
| Çizelge 3.7: | R numuneleri deney sonuçları. | 52 |
| Çizelge 3.8: | R numuneleri istatistiksel değerleri. | 52 |
| Çizelge 3.9: | G-4-A-1 numunesi deney sonuçları. | 62 |
| Çizelge 3.10: | G-4-A-2 numunesi deney sonuçları. | 67 |
| Çizelge 3.11: | G-6-A-2 numunesi deney sonuçları. | 71 |
| Çizelge 3.12: | G-4-P-1 numunesi deney sonuçları. | 75 |
| Çizelge 3.13: | G-4-P-2 numunesi deney sonuçları. | 79 |
| Çizelge 3.14: | G-6-P-1 numunesi deney sonuçları. | 81 |
| Çizelge 3.15: | G-6-P-2 numunesi deney sonuçları. | 84 |
| Çizelge 3.16: | G-4-A-1 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması. | 86 |
| Çizelge 3.17: | G-4-A-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması. | 87 |
| Çizelge 3.18: | G-6-A-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması. | 88 |
| Çizelge 3.19: | ARG ve R numuneleri tüm deneysel parametreleri. | 90 |
| Çizelge 3.20: | G-4-P-1 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması. | 91 |
| Çizelge 3.21: | G-4-P-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması. | 92 |
| Çizelge 3.22: | G-6-P-1 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması. | 93 |
| Çizelge 3.23: | G-6-P-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması. | 94 |
| Çizelge 3.24: | PVA ve R numuneleri tüm deneysel parametreleri. | 95 |
| Çizelge 3.25: | Tüm duvar numunelerinin deneysel parametreleri. | 98 |
| Çizelge 3.26: | Güçlendirilmiş bölme duvar numunelerinin referans numunelere oranla parametrelerindeki artış ve azalış miktarları. | 98 |

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 1.1 : Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçeveli sistemin yatay yük altındaki kat deplasmanları (Kaplan 2008). | 3 |
| Şekil 1.2 : Deprem etkisi altında duvar salınım durumları (Kaplan 2008)..... | 4 |
| Şekil 1.3 : Deprem etkisi altında oluşan diyagonal basınç çubuğu (Kaplan 2008). | 5 |
| Şekil 1.4 : Duvar-kiriş-kolon arası boşluk etkisi (Kaplan 2008). | 5 |
| Şekil 1.5 : Yumuşak kat ve enerjinin boşaldığı yalın çerçeve (Kaplan 2008)..... | 6 |
| Şekil 1.6 : DBYBHY 2007’de geçen hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirme metodu. | 7 |
| Şekil 1.7: DBYBHY 2007’de geçen lifli polimerler (FRP) ile güçlendirme metodu . | 7 |
| Şekil 1.8 : DBYBHY 2007’de geçen prefabrike beton paneller ile güçlendirme metodu. | 8 |
| Şekil 1.9 : Elgawady deney düzeneği. | 10 |
| Şekil 1.10 : Taghdi deney numunesi ve deney düzeneği. | 10 |
| Şekil 1.11 : Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin FRP ile güçlendirme modeli. | 13 |
| Şekil 2.1 : Tekstil takviyeli U-profil elemanın eğilme yükü; Basınç ve gerilme altında σ - ϵ ilişkisi. | 16 |
| Şekil 2.2 : PVA tekstilden bir kesit a) PVA örgü şekli genel görünüm b) Atkı ve çözümlerin yakınlaştırılmış görünümü. | 17 |
| Şekil 2.3 : AR Glass tekstilden bir kesit a) AR Glass ağ şekli genel görünüm b) Atkı ve çözümlerin yakınlaştırılmış görünümü. | 17 |
| Şekil 2.4 : PVA ve AR Glass harcı basınç deneyi. | 20 |
| Şekil 2.5 : PVA ve AR Glass harcı üç noktalı eğilme deneyleri. | 21 |
| Şekil 2.6 : Eğilme deney verilerinin kaydedildiği entegre bilgisayar. | 22 |
| Şekil 2.7 : Çimento harcının tekstil üzerine yayılmış hali a) Yandan görünüş b) Önden görünüş. | 23 |
| Şekil 2.8 : Çimento harçlı tekstilin sarılma ve kalıp aşamaları a) Çimento harçlı tekstilin plaka üzerine sarılması b) Naylon ile tekrar sarılması c) Kalıba alınması d) Kalıptan çıkarılması. | 24 |
| Şekil 2.9 : Kompozit plakaların kesim işlemi ve aşamaları. | 25 |
| Şekil 3.1 : Duvar Numunesi. | 27 |
| Şekil 3.2 : Tek yüzü 4 katlı PVA plaka ile güçlendirilmiş duvar numunesi için kod açılımı örneği. | 28 |
| Şekil 3.3 : Çift yüzü 6 katlı AR Glass plaka ile güçlendirilmiş duvar numunesi için kod açılımı örneği. | 29 |
| Şekil 3.4 : Şahit (referans) numunelerin kod açılımı. | 29 |
| Şekil 3.5 : Güçlendirilmemiş duvar numunesi. | 30 |
| Şekil 3.6 : Güçlendirilmemiş duvar numunesi (Üretim sırasında) | 31 |
| Şekil 3.7 : Tek yüzü TRCC ile güçlendirilmiş duvar numunesi. | 32 |
| Şekil 3.8 : İki yüzü TRCC ile güçlendirilmiş duvar numunesi. | 32 |
| Şekil 3.9 : Plaka ebatları ve duvar yüzeyine uygulanışı. | 33 |
| Şekil 3.10 : Duvar numunesini güçlendirme aşamaları a) Yüzeyin pürüzlendirilmesi b) Yapıştırma harcının tırtıklanması c,d) Plakaların yapıştırılması (4 kat PVA). | 34 |
| Şekil 3.11 : İki yüzü de 4 kat PVA plakalarla güçlendirilmiş duvar numunesi a) Önden görünüş b) Yandan görünüş. | 35 |
| Şekil 3.12 : 6 kat PVA plaka ile güçlendirilmiş duvar numunesi. | 36 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.13 : Duvar numunesinin AR Glass içerikli kompozit plakalarla güçlendirme aşamaları..... | 37 |
| Şekil 3.14 : 6 kat AR Glass kompozit plakalarla güçlendirilmiş duvar numunesi a) Önden görünüş b) Yandan görünüş..... | 37 |
| Şekil 3.15 : Tijlerin yerleştirileceği ankraj delikleri..... | 39 |
| Şekil 3.16 : Delik içerisini doldurmak için kullanılan epoksi ürünü..... | 39 |
| Şekil 3.17 : Tijleri yerleştirilen ve yüzeyleri kireç ile boyanan duvar numunesi..... | 41 |
| Şekil 3.18 : Duvar yüzeyine karolaj yapımı..... | 41 |
| Şekil 3.19 : Pres makinesinde basınç deneyi yapılan tuğla örneği..... | 42 |
| Şekil 3.20 : Tuğla numunelerinin dikey ve yatay yük değerleri..... | 43 |
| Şekil 3.21 : Duvar harcı basınç deneyi..... | 45 |
| Şekil 3.22 : Duvar harcı eğilme deneyi ve verilerin kaydedildiği bilgisayar..... | 45 |
| Şekil 3.23 : Yükleme düzeneği..... | 47 |
| Şekil 3.24 : Alt ve üst çelik yükleme başlıkları..... | 47 |
| Şekil 3.25 : Yerdeğiştirme ölçerler (Transducer, LVDT)..... | 49 |
| Şekil 3.26 : Yerdeğiştirme ölçerlerin numune üzerindeki yerleri..... | 49 |
| Şekil 3.27 : Referans numunelerine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri..... | 52 |
| Şekil 3.28 : R-1 numunesinin deney düzeneği..... | 53 |
| Şekil 3.29 : R-1 numunesinde meydana gelen çatlaklar a) Ön yüz (A) çatlakları b) Arka yüz (B) çatlakları..... | 54 |
| Şekil 3.30 : R-1 numunesi göçme sonrası hasar durumu..... | 55 |
| Şekil 3.31 : R-2 numunesinin deney düzeneği..... | 55 |
| Şekil 3.32 : R-2 numunesinde meydana gelen ilk çatlaklar..... | 56 |
| Şekil 3.33 : R-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinde meydana gelen tüm çatlaklar.. | 57 |
| Şekil 3.34 : R-2 numunesi göçme sonrası hasar durumu..... | 57 |
| Şekil 3.35 : G-4-A-1 numunesinin deney düzeneği..... | 59 |
| Şekil 3.36 : G-4-A-1 numunesinin göçme sonrası hasar durumu..... | 60 |
| Şekil 3.37: Duvarlar üretilirken yapılan imalat hataları ve yetersiz aderans ve boşluklardan kaynaklanan ayrılmalar..... | 61 |
| Şekil 3.38 : G-4-A-1 numunesine ait kayma dayanımı-kayma şekil değiştirmesi eğrisi..... | 62 |
| Şekil 3.39 : G-4-A-2 numunesinin deney düzeneği..... | 63 |
| Şekil 3.40 : G-4-A-2 numunesinde oluşan çatlaklar a) Üst başlığın oturduğu en kesit alanı üzerinde meydana gelen çatlak b) Derzlerde ve plaka ile duvar arasında meydana gelen çatlaklar..... | 64 |
| Şekil 3.41 : G-4-A-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu..... | 64 |
| Şekil 3.42 : Bağlayıcı harç üzerindeki plaka izleri ve plaka üzerindeki harç izleri.. | 65 |
| Şekil 3.43 : Maksimum yükleme ve göçme sonrası meydana gelen AR Glass tekstil malzemesindeki kopma ve uzamalar..... | 66 |
| Şekil 3.44 : G-4-A-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi..... | 67 |
| Şekil 3.45 : G-6-A-2 numunesinin deney düzeneği..... | 68 |
| Şekil 3.46 : G-6-A-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu..... | 69 |
| Şekil 3.47 : G-6-A-2 numunesi ile duvar arasındaki boşluklar..... | 70 |
| Şekil 3.48 : G-6-A-2 numunesinde aderansın kuvvetli olduğu ve zayıf kaldığı plakalar..... | 70 |
| Şekil 3.49 : G-6-A-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi..... | 71 |
| Şekil 3.50 : G-4-P-1 numunesinin deney düzeneği..... | 72 |

| | |
|--|-----------|
| Şekil 3.51 : G-4-P-1 numunesinin göçme sonrası hasar durumu. | 73 |
| Şekil 3.52 : G-4-P-1 numunesinde duvar ile plakalar arasındaki boşluklar ve yetersiz aderans..... | 73 |
| Şekil 3.53 : G-4-P-1 numunesinde performansı yüksek olan plakalar ve zorlanmış PVA tekstil tabakası. | 74 |
| Şekil 3.54 : G-4-P-1 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi. | 75 |
| Şekil 3.55 : G-4-P-2 numunesinin deney düzeneği. | 76 |
| Şekil 3.56 : G-4-P-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu. | 77 |
| Şekil 3.57 : G-4-P-2 numunesindeki kuvvetli aderans ve zorlanan PVA tekstil..... | 78 |
| Şekil 3.58 : G-4-P-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi. | 78 |
| Şekil 3.59 : G-6-P-1 numunesinin deney düzeneği ve ‘B1’ çatlakları. | 79 |
| Şekil 3.60 : G-6-P-1 numunesinin göçme sonrası hasar durumu. | 80 |
| Şekil 3.61 : G-6-P-1 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi. | 81 |
| Şekil 3.62 : G-6-P-2 numunesinin deney düzeneği ve A1 çatlakları. | 82 |
| Şekil 3.63 : G-6-P-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu. | 83 |
| Şekil 3.64 : G-6-P-2 numunesinde yüksek ve düşük aderansa sahip plakalar..... | 83 |
| Şekil 3.65 : G-6-P-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi. | 84 |
| Şekil 3.66 : G-4-A-1 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 86 |
| Şekil 3.67 : G-4-A-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 87 |
| Şekil 3.68 : G-6-A-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 88 |
| Şekil 3.69 : ARG numuneler ile R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 89 |
| Şekil 3.70 : ARG numuneler ile R numuneleri maksimum kayma dayanımı ilişkisi. | 89 |
| Şekil 3.71 : G-4-P-1 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 90 |
| Şekil 3.72 : G-4-P-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 91 |
| Şekil 3.73 : G-6-P-1 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 92 |
| Şekil 3.74 : G-6-P-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 93 |
| Şekil 3.75 : PVA numuneler ile R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi..... | 94 |
| Şekil 3.76 : PVA numuneler ile R numuneleri maksimum kayma dayanımı ilişkisi..... | 95 |
| Şekil 3.77 : Tüm duvar numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri. | 96 |
| Şekil 3.78 : Tüm deney numunelerinin maksimum kayma dayanımları. | 97 |
| Şekil 3.79 : Tüm deney numunelerinin maksimum basınç yükleri. | 97 |

ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİT PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BÖLME DUVARLARININ KAYMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Yakın tarih boyunca meydana gelen çok sayıda yıkıcı depremler farklı ülkelerde yüzbinlerce insanın yaşamını yitirmesine ve milyonlarca insanın da evlerini kaybetmesine neden olmuştur. Dünya üzerinde, doğal afetler içerisinde depremin etkili olduğu ülkelerden birisi de Türkiye'dir. Türkiye çok önemli bir deprem kuşağında yer almaktadır. Dünyanın en aktif fay hatlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı başta olmak üzere Doğu Anadolu Fay Hattı, Batı Anadolu Fay Hattı ve birçok fay hattı ülkemizde bulunmaktadır. Dolayısıyla, yapılan yapıların projelendirilmesinden bitimine kadar olan süreçte deprem etkisini karşılayabilecek düzeyde olması gerekir. Gelişmiş ülkelerde, depremden kaynaklanan can ve mal kayıpları önemli ölçüde azaltılmıştır ve ilgili yönetmeliklerde deprem etkisini karşılayabilecek tasarımlar mevcuttur. Ülkemizde ise deprem risklerinin azaltılması konusunda 17 Ağustos 1999 tarihinde yaşanan büyük felaketten sonra detaylı incelemeler ve önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesi ise kolon ve kirişlerden oluşan betonarme çerçeve ile sınırlandırılmış bölme duvarlarının çeşitli yöntemlerle güçlendirilmesidir. Yapılan araştırmalar, betonarme çerçeve içerisinde bulunan bölme duvarlarının betonarme taşıyıcı sistemin rijitliğini ve yatay yük taşıma kapasitesini artırdığını göstermektedir. Daha öncesinde önemi üzerinde fazla durulmayan bölme duvarlarının 2007 Deprem Yönetmeliği'nde yapılan birtakım düzenlemeler ve eklemeler sonrasında taşıyıcı sistem üzerindeki katkısı dikkate alınmış ve söz konusu yönetmelikte çeşitli güçlendirme yöntemlerine yer verilmiştir.

İçinde bulunduğumuz coğrafyanın tarihine bakılacak olursa yaşanan depremler içerisinde büyük ölçekli depremlerin dışında küçük ölçekli depremlerin de can ve mal kaybına neden olduğu görülmektedir. Bunun nedeni Türkiye'de bulunan mevcut yapıların çoğunun mühendislik hizmeti almamış olmasıdır. Bunun yanı sıra yapıların yapıldığı zamandaki ilgili yönetmeliklere ve standartlara uyulmayan üretimler veya yönetmeliklerdeki eksiklikler can ve mal kaybının artmasının diğer nedenleridir.

Dolayısıyla, ülkemizdeki 1999 depremi öncesi yapılmış mevcut yapıların çoğu, mühendislik hizmeti görmediğinden ve denetimlerde ihmallerin olmasından, düşük dayanımlı beton ve yetersiz donatı ile inşa edilen yapılar olup, can ve mal kaybı için büyük risk taşımaktadırlar.

Böyle bir durumda, deprem riskini ve can ve mal kaybını azaltmak için mevcut yapıların güçlendirilmesi, yapılacak yeni yapıların da deprem etkisini karşılayabilecek yeterli taşıyıcı sistem güvenliğine sahip olması gerekmektedir. Fakat ülkemizdeki mevcut yapılar dikkate alındığında, güçlendirme işlemleri ciddi ekonomik problemlere yol açacaktır. Bunun için, güçlendirme ihtiyacı olan yapıların güçlendirilmesinde, maliyetin önemli derecede düşük tutulması ve yeterli güvenliğin sağlanması gerekmektedir.

İşte bu tez çalışmasında, zayıf yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde farklı bir güçlendirme yöntemi oluşturmak, yeni yapılacak yapıların da deprem etkisi altındaki davranışlarının ve performanslarının, yeni bir güçlendirme yöntemi olan kompozit plakalarla güçlendirilen bölme duvarlarının artırılmış ilave katkılarıyla değiştirilmesi

ve geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, mevcut binaların ve inşa edilecek yeni binaların yatay etkiler açısından daha güvenli olması ve daha az işçilik gerektirmesi söz konusudur. Ayrıca ülkemizdeki gelişen sanayii ile birlikte yeni güçlendirme metotlarının daha ekonomik ve uygulanabilir olması hedefler arasındadır.

Bu tez çalışması için İ.T.Ü. Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında deneysel olarak çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında, denenmek için 9 adet 760x760 mm ölçekli bölme duvar numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu numunelerden bazıları çimento esaslı kompozitlerle (TRCC) güçlendirilmiş ve bu güçlendirme yönteminin dayanıma olan etkisi güçlendirilmeyen şahit numunelerle karşılaştırılarak incelenmiştir.

Güçlendirme tekniği olarak kullanılan bu çimento esaslı kompozit (TRCC) malzeme, çimento harcı ve liflerden oluşan kare boşluklu yatay ve düşey doğrultuda dokunmuş ağ şeklinde özel tekstillerden oluşmaktadır. Bu çalışmada PVA (Polyvinyl Alcohol) ve AR Glass içerikli iki farklı tekstil kullanılmıştır. Bu sistemle üretilen kompozitlerin detaylı bir işçilik ve yüzey hazırlığı gerektirmemeleri, yanma dayanımlarının karbon elyafı, epoksi gibi malzemelere göre yüksek olması, güve, bit, mantar vs. ye karşı dirençli olmalarından dolayı dayanımlarında herhangi bir azalmanın olmaması, kopma ve yırtılmalara karşı dayanıklı olmaları, özellikle nem gibi atmosferik koşullardan etkilenmemeleri, ara yüzeylerde yapışma özelliklerinin iyi olması gibi avantajları vardır. Kompozit malzemenin yapımında kullanılan çimento hamuru ise belli oranlarda çimento, kum, su, akışkanlaştırıcı, silis dumanı, uçucu kül, defoamer ve polimer içermektedir. Ayrıca bölme duvarların güçlendirilmesinde kullanılan TRCC sistemler, duvarlar deneye tabi tutulduğunda plakaların basınçla patlayarak deney sonuçlanmadan kopmasını engellemek için tüm kenarlarından 10~15 mm boşluk bırakılarak duvarlara yapıştırılmıştır. Diyagonal olarak deneye tabi tutulan numunelerin basınç yükünü sağlıklı bir şekilde iletmeleri için de düşey yüke maruz kalan köşegenlere beton başlıklar yapılmıştır.

Malzemelerle ilgili yapılan deneysel çalışmalar iki aşama halinde gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada bölme duvarlar üzerine yapıştırılacak kompozit plakalar üretilmiştir. Sonraki aşamada ise boşluklu tuğlalar kullanılarak 760x760 mm boyutundaki duvar numuneleri üretilmiştir. Üretilen TRCC plakalarla farklı şekillerde güçlendirilen bu bölme duvarların şahit numunelere ve birbirlerine göre kayma dayanımlarındaki, kayma şekil değiştirmelerindeki ve kayma modüllerindeki değişimler (artışlar ve azalışlar) incelenmiştir.

DETERMINATION OF SHEAR STRENGTH OF INFILL WALLS STRENGTHENED BY CEMENT BASED COMPOSITE PLATES

SUMMARY

Numerous destructive earthquakes occurred during recent history have caused hundreds of thousands people to lose their lives and millions people being homeless in different countries. Around the world, Turkey is one of the countries where earthquake is the most effective within the natural disasters. Turkey is located in a very important earthquake zone. Particularly North Anatolian Fault Line, East Anatolian Fault Line, Western Anatolian Fault Line and many other fault lines are located in our country. Therefore it must be at a level that can meet the effect of earthquake in the process from the designing of the structures to the end. In developed countries, life and property losses because of the earthquakes are significantly reduced and there are designs that can meet the earthquake effect in the related regulations. On the other hands, after the great disaster that occurred on 17 August 1999, detailed and important studies were conducted in order to reduce the earthquake risks in our country. One of these studies is strengthening of infill walls delimited by reinforced concrete frame consisted of columns and beams by various methods. The investigations show that infill walls inside the reinforced concrete frame increase the rigidity and horizontal load carrying capacity of the reinforced concrete structural system. Infill walls, previously with lower priority, were taken into account in the 2007 Turkish Seismic Code by contribution to carrier system and the Code includes different strengthening methods.

If we look at the history of the geography we are in, it is seen that besides large-scale earthquakes, small-scale earthquakes also have caused the losses of life and property within the earthquakes taken place. The reason for this is that existing structures in Turkey have not received engineering services. In addition to this, deficiencies in regulations or productions that do not comply with the relevant regulations and standards at the time of construction are other causes of increased loss of life and property.

Therefore, most of existing structures built before the earthquake in 1999 in our country were constructed with low-strength concrete and inadequate reinforcement and have great risk for loss of life and property because they do not provide engineering services and there are vitally negligence in audits.

In such a case, existing structures should be strengthened in order to mitigate earthquake risk and loss of life and property, and new structures to be constructed should have sufficient carrier system safety to meet the earthquake effect. However, given the existing structures in our country, the strengthening will lead to serious economic problems. For this reason, while the structures that need reinforcement are strengthened, it is necessary to keep the cost considerably low and ensure adequate safety.

In this thesis, it is aimed to construct a different strengthening method in strengthening weak structures against earthquake, to make new structures in a shorter time, to be safer and to be economically less costly. Also it is aimed to change and improve the behaviours and performances of the new buildings due to the earthquake with the additional contributions of infill walls strengthened by composite plates which is a

new strengthening method. To this end, existing buildings and new buildings to be built are expected to be safer and require less labor in terms of horizontal loads. In addition, it is expected that new strengthening methods will be more economical and feasible with the developing industry in our country.

The most important composite materials used in Civil Engineering applications are reinforced concrete. The combination of high compressive stress of the concrete and the high tensile stress of the reinforcement provides an appropriate load carrying capacity in reinforced concrete systems. On the other hand, textile-reinforced composite materials allow the production of thin-walled reinforced concrete elements with high compressive and tensile strength. In recent years, TRCC systems have become attractive with the high performance they provide within cement based composites. These textile-reinforced concretes have better and more homogeneous structure than ordinary concretes and provide good performance with high strength and improved durability characteristics. The textiles can significantly increase the mechanical behaviour of cement matrices under static and dynamic conditions and provide protection against effects of superior tensile strength, toughness, ductility, energy absorption and environmental degradation. Cementitious composites containing textiles have higher strength and they are more effective when compared to randomly dispersed short fibers into the concrete. These textiles have advantages such as good adherence, easy application and working in harmony with cement mortar.

In this thesis, polyvinyl alcohol (PVA) and alkali resistance glass (AR Glass) textile systems are used in the production of cementitious composite plates. AR Glass textile has a more brittle structure while PVA is more ductile. Therefore PVA textile has more energy absorption capacity and its contribution to strength is more. However, in PVA textiles, it is not easy to pass the cement mortar through the voids because the filaments forming the fabric are knitted tightly. This sometimes causes the composite material not to work properly. However, the use of textiles in cementitious composite materials provides higher ductility and tensile strength than glass fiber reinforced concrete and other fiber-containing composites.

This thesis has been experimentally studied in Istanbul Technical University, Earthquake and Structural Engineering Laboratory. For this study, 9 pieces of 760x760 mm sized infill wall specimens were produced for testing. Some of these specimens were reinforced with cement based composites (TRCC) and the effect of this strengthening method was examined by comparing with the non-reinforcing test specimens.

This cement-based composites used as a strengthening technique consists of cement mortar and special fibrous textiles woven in horizontal and vertical direction with square space. Two different textiles, PVA (Polyvinyl Alcohol) and AR Glass, were used in this study. The composites produced with such a system have advantages such as no need for detailed workmanship and surface preparation, having higher fire resistance compared to materials such as carbon fiber and epoxy, no reduction in strength due to their resistance to lice, moth, fungus etc. being resistant to rupture and tearing, not to be affected by atmospheric conditions, especially humidity, having strong adhesion on interfaces. Cement paste used in the production of composite plates includes cement, sand, water, silica fume, plasticizer, fly ash, defoamer and polymer at certain ratios. In addition, TRCC systems were applied on the partition walls with 10~15 mm gaps from all sides so that the plates did not break before the end of the experiment when the infill walls were tested.

Experimental studies on materials have been carried out in two stages. In the first stage, composite plates to be bonded on infill walls were produced. The production of these composite plates was carried out in Istanbul Technical University, Composite Structures Laboratory. A total of 48 pieces of plates were produced. A new system was applied for these productions. In this system, the textile was placed on a rotating band and the cement mortar pre-placed into the reservoir located on the machine was poured over the textile while in motion. Textile was wrapped on a metal slab 4 times or 6 times by applying tension on textile. The plates removed from the formwork after one day were cured in water for strengthening. Eventually, the plates were cut in 360x360 mm dimensions to be applied on the infill walls.

In the next stage, 760x760 mm wall specimens were produced using hollow bricks. The infill walls were built in 4 rows with 4 bricks in a row. After the first row is completed, the second row starts with half brick. The reason of this is that the bricks do not overlap and so they are not separated from each other because they work in harmony with each other. The joint gaps left between the bricks are 10~15 mm. After the produced wall specimens gain strength for about a week, notches were made on the walls to provide better adherence between the cement mortar used to bond the plates and the wall. Then the plates were adhered on the wall specimens and held for 28 days to gain enough strength. In the final stage, the wall samples placed diagonally in the testing machine were tested under compressive loads. The changes (increase and decrease) in the shear strength, shear deformation and shear modulus of these infill walls differently strengthened with produced TRCC plates in comparison with the reference specimens were analysed.

1. GİRİŞ VE ÇALIŞMANIN AMACI

1.1 Genel

Depremler, dünyanın oluşumundan beri var olup dünya devam ettikçe insanoğlunun karşı karşıya kalabileceği doğal bir afettir. Dünya üzerinde meydana gelen depremlerin milyonlarca insanı ve yapıları yok ettiği bilinen bir gerçektir. Bu doğal afetle mücadele etmek, önleyebilmek ve ne zaman olacağını tam olarak kestirebilmek günümüz şartlarında pek mümkün değildir. Ancak deprem sonrası meydana gelen can ve mal kayıplarını en aza indirmek mümkündür. Nitekim bununla alakalı dünya üzerinde birçok başarılı çalışma mevcuttur. Bu noktada depremin yol açtığı kayıpların çoğunluğunun insanların inşa ettiği yapıların zayıf ve mühendislik hizmeti açısından yetersiz olmasından kaynaklandığı da aşikârdır. Ülkemizin de ciddi depremlerle karşı karşıya olduğu ve bu depremlerin meydana getireceği yıkıcı etkilere tam anlamıyla hazırlıklı olmadığı kabul edilen bir gerçektir. Betonarme yapıların beton dayanımının düşük olması, tasarım ve uygulamadaki hatalar, yapı elemanlarının sünek bir davranış gösterememesi, zamana bağlı zayıflamalar gibi nedenlerle onarım ve güçlendirilmeleri gerekebilmektedir.

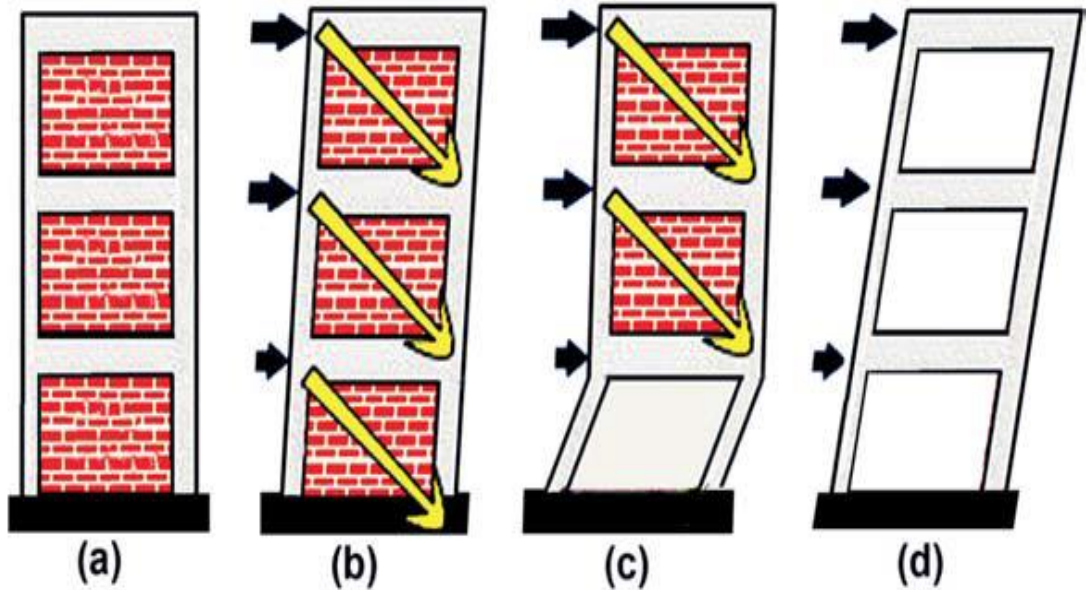
Tuğla örgülü bölme duvarlar, yapılar içerisinde yaşam alanı olarak kullanılan mekânları birbirinden ayırmak suretiyle günümüzde uygulanan betonarme çerçeve sistemlerin mimari olarak ihtiyacını karşılayabilmektedirler. Bunun yanında bölme duvarların statik olarak yapı sistemlerine yaptıkları dayanım ve rijitlik katkısı ihmal edilmektedir. Hâlbuki taşıyıcı sistemlere katkısı göz ardı edilemeyecek kadar önem arz etmektedir. Bununla beraber bölme duvarlar betonarme yapı elemanlarını rüzgâr, kar, yağmur gibi olumsuz çevre koşullarına karşı korumaktadır. Nitekim depremlerin meydana getirdiği hasarlar üzerinde yapılan araştırmalar ve gözlemler, bölme duvarların da taşıyıcı sistem davranışı üzerinde etkisinin olduğunu ortaya çıkarmış, projelendirilme aşamasında bölme duvarların da etkisinin göz önüne alınması konusunda gelişmeler sağlanmıştır. Yapısal olmayan ancak yapısal elemanlara sağladığı katkılar göz ardı edilemeyecek seviyede olan bölme duvarlarının güçlendirilmesi konusunda dünyada ve ülkemizde birçok araştırma ve deneysel

çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların başında lifli polimerler (FRP) ile yapılan çalışmalar gelmektedir. Betonarme çerçeveler ile sınırlandırılmış alanda yer alan bölme duvarlarının, şiddetli rüzgârlardan veya depremlerden kaynaklanan yanal etkilere karşı direnç gösterdiği ve mevcut yapının yatay rijitlik ve yatay yük taşıma kapasitesini artırdığı bilinen bir gerçektir. Binaya etki eden yatay yükler o binanın doğal periyoduna dolayısıyla kütesine ve rijitliğine bağlıdır. Dolayısıyla, yapı içerisinde bulunan bölme duvarları hesaba katılmadan binanın deprem yükü, titreşim periyodu, deprem yükü altında meydana gelen yanal yerdeğiştirmeler ve göçme modları gibi parametreler gerçek değerleri yansıtmayacaktır. Tüm bu somut verilerden yola çıkarak şunu söyleyebiliriz ki, betonarme çerçeve içerisinde bulunan bölme duvarlarının inşa edilmesinde daha duyarlı olunması ve uygun bir güçlendirme yöntemiyle güçlendirmesinin yapılması gerekmektedir. İşte bu tez çalışması kapsamında, yeni bir güçlendirme yöntemi olan kompozit plakalarla güçlendirilen bölme duvarlarının deprem riski altında bulunan mevcut betonarme yapıların davranışına etkisinin belirlenmesinde, bu söz konusu bölme duvarlarının kayma dayanımları araştırılmıştır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

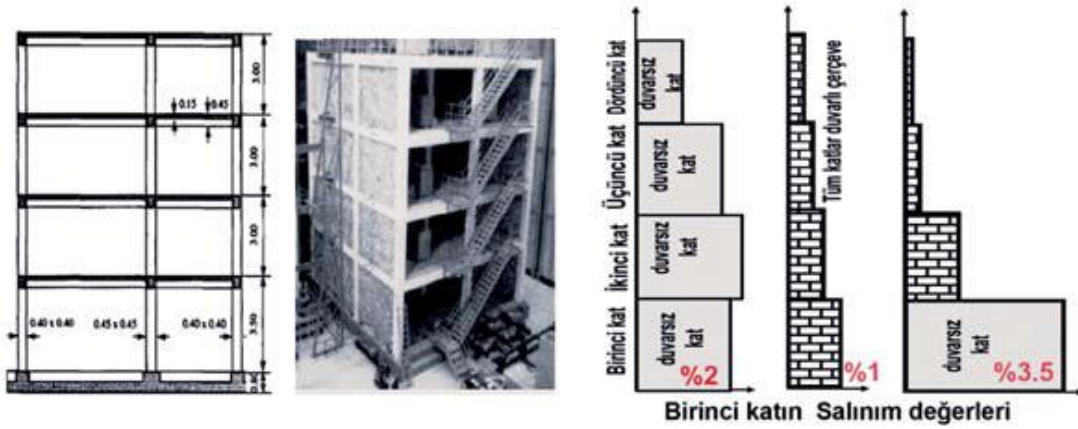
Türkiye'nin sismik aktivitesi en yüksek deprem kuşaklarından birinde kalması sebebiyle yapıların ekonomik ömürleri boyunca şiddetli deprem ya da depremlere maruz kalmaları oldukça yüksektir. Daha önce yaşanmış ciddi öneme sahip depremlerde yapılan araştırmalar sonucu gerçekleştirilen deneylerde betonarme yapılarda bulunan ve taşıyıcı olmayan bölme duvarların rijitlik ve dayanımlarının yapının dinamik özellikleri ve yatay yük taşıma kapasiteleri üzerinde önemli etkilere sahip oldukları görülmüştür. Depremlere karşı güçlendirilen bu tür yapıların en büyük avantajı mevcut taşıyıcı sistemle beraber çalışarak olası deprem etkilerini güvenle karşılayabilmesidir. Ülkemizde bulunan mevcut yapıların yeni ve modern yapı malzemeleri ile güçlendirilmesi mühendislik adına çok büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda kullanılan yapı malzemelerinin başında lifli polimer kompozitler ve tekstil takviyeli kompozitler gelmektedir. Yapılan deneyler sonucunda kompozitlerle güçlendirilen elemanlarda rijitlik ve dayanım açısından önemli artışlar gözlenmiştir. Ülkemizde bulunan mevcut yapıların büyük çoğunluğunun beton kalitesi düşük dayanımlıdır. Bu tür düşük dayanımlı betonarme çerçevelerde bulunan güçlendirilmiş bölme duvarların kayma dayanımlarının belirlenmesi ve yapının yatay yük taşıma

kapasitesine olan etkisinin tespiti amacıyla deneysel olarak çalışılmıştır. Yapıya etki eden yatay yükler o yapının doğal periyodu, depremin süresi, kütlesi ve rijitliği gibi parametrelere bağlıdır. Eğer çerçeve içerisinde bulunan bölme duvarlarının mevcut sisteme olan katkıları göz ardı edilirse, söz konusu bu önemli parametreler yanlış değerlendirilmiş olacaktır. Bununla birlikte dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da, dolgu duvarlardan meydana gelen yatay ve düşey düzensizliklerdir. Dolgu duvarların bina içerisine asimetrik yerleşimi düzensizlik sebeplerinde biri olarak gösterilebilir. Böyle bir durumda meydana gelecek burulma düzensizliğinden dolayı kolonlar, hem yüklerden gelen hem de burulmadan kaynaklanan kesme kuvvetini taşımak zorunda kalacaktır. Burulma düzensizliği kesme kuvvetinin artışına neden olmaktadır. Dolayısıyla bölme duvarları hesaba katılmadan binanın projelendirilmesi hatalı bir davranış olacaktır. Bu yüzden hem rijitlik merkezini hem de yük dağılımını etkileyen bölme duvarlarının taşıyıcı sistemle beraber dikkate alınması önemlidir. Deprem sonrası betonarme çerçevelerde oluşan yanal yerdeğiştirmeler dolgu duvarlarının bina içerisindeki dağılımına bağlıdır. Dolgu duvarlı betonarme çerçeveler daha rijit bir davranış sergiledikleri için yatay deformasyonlar daha az olmaktadır. Diğer taraftan, bina içerisinde dolgu duvarsız olan çerçeveler ise yumuşak kat etkisine sahip olarak büyük yatay deformasyonlar yapmaktadırlar. Ayrıca binanın tüm katlarında bölme duvarlarının bulunmasıyla yanal yerdeğiştirmeler daha az ve rijitlik dağılımı daha düzenli olmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1: Dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız çerçevesi sistemin yatay yük altındaki kat deplasmanları (Kaplan 2008).

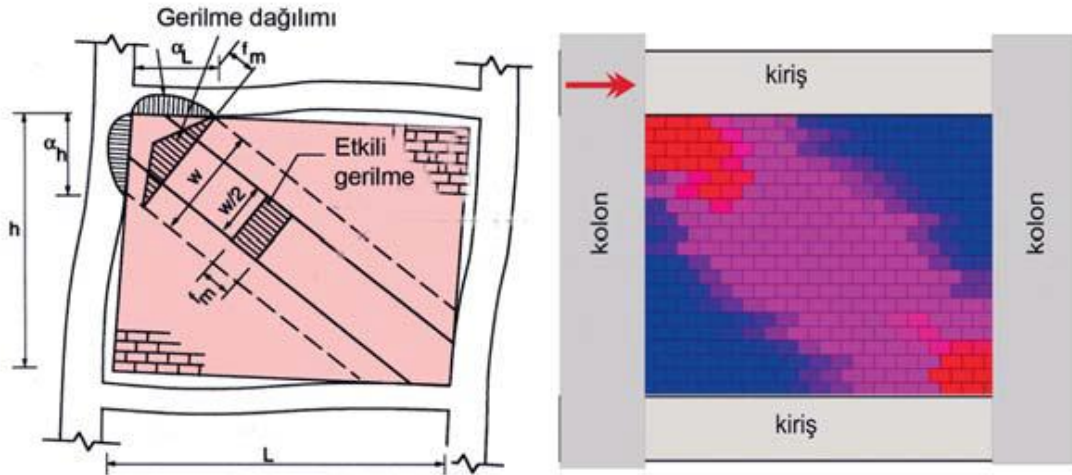
Bir binanın enerji yutma kapasitesi ve sünekliliğine bağlı olarak, binanın bir katındaki yerdeğiştirme miktarının o katın yüksekliğine oranı kat salınımı olarak ifade edilmektedir ve her kat için bu ifade farklı farklı değerlere sahiptir. Dolgu duvarlarının kat salınımına etkisi üzerinde birçok araştırma ve deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesinde, deprem doğrultusunda deformasyon yapan betonarme çerçeve sistemli bir binanın katlarının, dolgu duvarlı olduğu durumda ve ilk kat dolgunsuz diğer katlar dolgu duvarlı olduğu durumda yaptığı salınım oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 1.2). İlk katın dolgu duvarsız olması durumunda yumuşak kat etkisi göstererek salınım oranı fazla çıkmıştır. Bu yapılan deneysel çalışmadan bölme duvarlarının deprem etkisi altında sistemin yatay deformasyon miktarını azalttığı sonucuna varabiliriz.



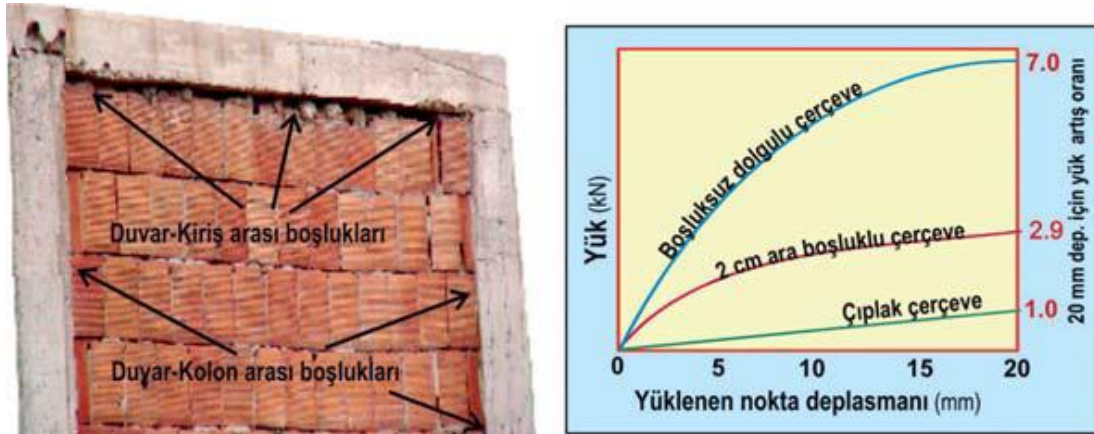
Şekil 1.2: Deprem etkisi altında duvar salınım durumları (Kaplan 2008).

Kolon ve kiriş taşıyıcı sistem elemanlarıyla sınırlandırılmış alanda kalan bölme duvarları üzerinde bulunan boşluklar (kapı, pencere boşlukları) dolgu duvarlı sistemin dayanımını ve rijitliğini kaybetmesine neden olmaktadır ve bu da çerçevenin davranışını olumsuz etkilemektedir. Yatay yükün etkilediği doğrultuya bağlı olarak çerçeve içerisinde bulunan dolgu duvarının gerilme dağılımı Şekil 1.3'deki gibi olmaktadır. Dolgu duvar üzerinde boşluk bulunmadığı takdirde gerilmeler diyagonal ve homojen dağılmaktadır. Duvar üzerinde kapı ve pencere boşluklarının bulunması durumunda ise yatay yükün yerdeğiştirmesiyle diyagonal basınç çubuğu önemli derecede etkilenir ve düzensiz bir yapı sergiler. Duvar üzerinde boşluklar bulunduğu takdirde yatay yükün her iki doğrultuda da hesaba katılarak etkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Buna ek olarak, çerçeve sistem içerisinde bulunan bölme duvarları ile kolon ve kirişler arasındaki boşluklar az bile olsa sistemin rijitliğini ve yatay yük

taşıma kapasitesini olumsuz etkilemektedir (Şekil 1.4). Yapılan araştırmalarda deprem sonrasında yıkılmayan bazı yapılarda bölme duvarlarının düzgün ve boşluksuz örüldüğü gözlenmiştir. Nitekim bazı inşaat uygulamalarında da önce duvarın örüldüğü daha sonra kolonların ve kirişlerin betonlarının atıldığı bilinmektedir. Bunun asıl nedeni kalıp malzemesinden tasarruf etmek olsa da, sistem üzerindeki boşluklar çok daha küçük mertebelere indirildiği için sistem bir bütün halinde çalışmakta ve performansı artmaktadır.

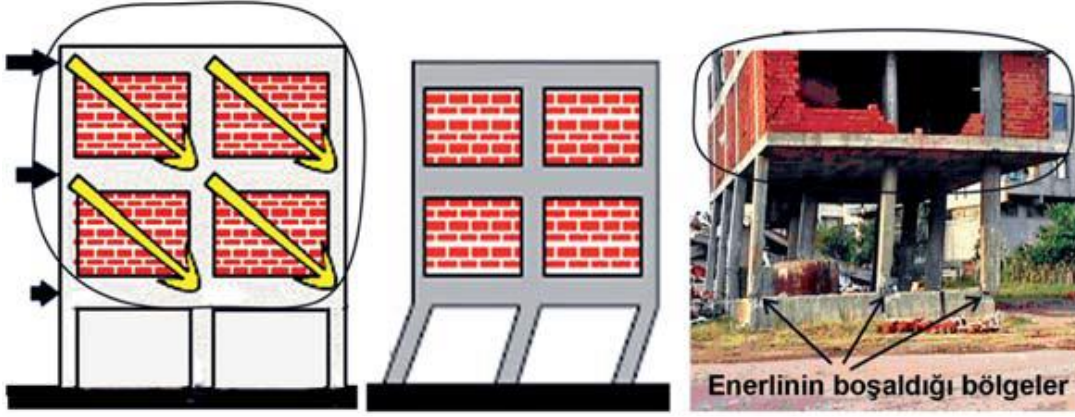


Şekil 1.3: Deprem etkisi altında oluşan diyagonal basınç çubuğu (Kaplan 2008).



Şekil 1.4: Duvar-kiriş-kolon arası boşluk etkisi (Kaplan 2008).

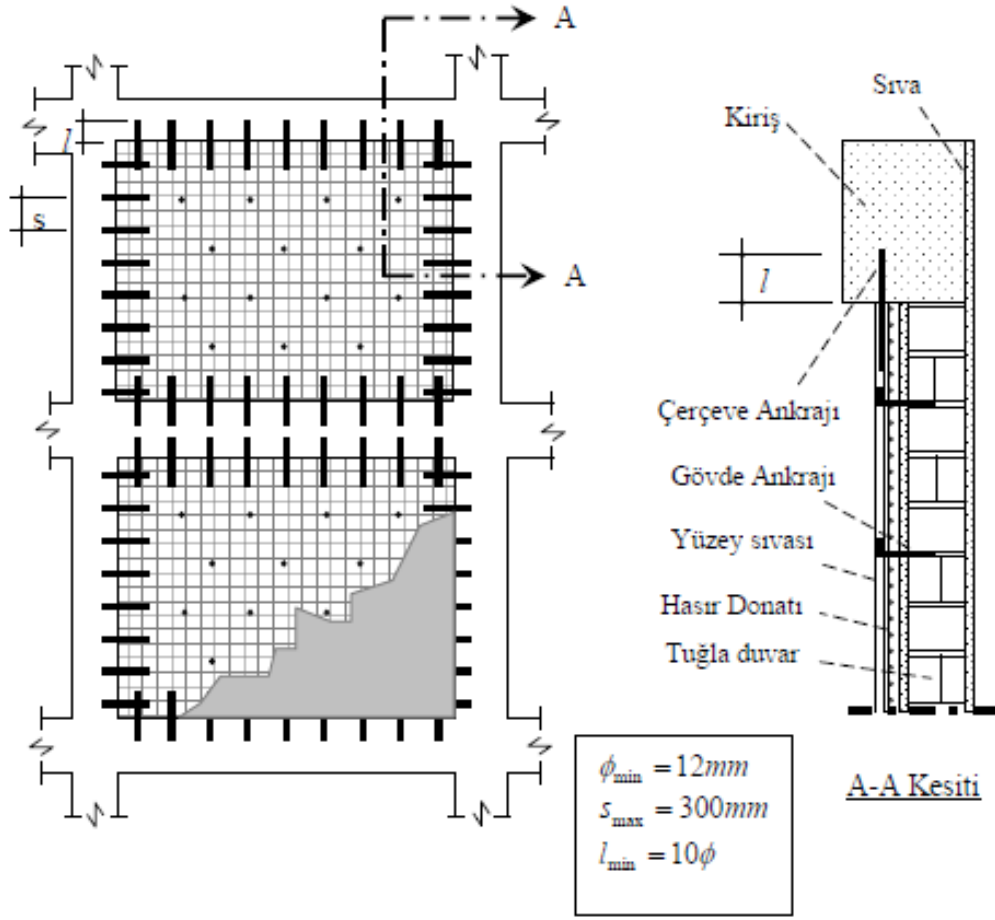
Ülkemizde bulunan birçok binanın giriş katları dolgu duvarsız yalın çerçeve olarak bırakılmaktadır. Böyle bir durumun sistem üzerinde meydana getirdiği olumsuz etkiler yapılan deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Deprem etkisiyle birlikte titreşim yapan binanın enerjisi rijitliğin az olduğu dolgu duvarsız yalın çerçevede boşalarak binanın yumuşak kat düzensizliğiyle göçmesine neden olmaktadır (Şekil 1.5).



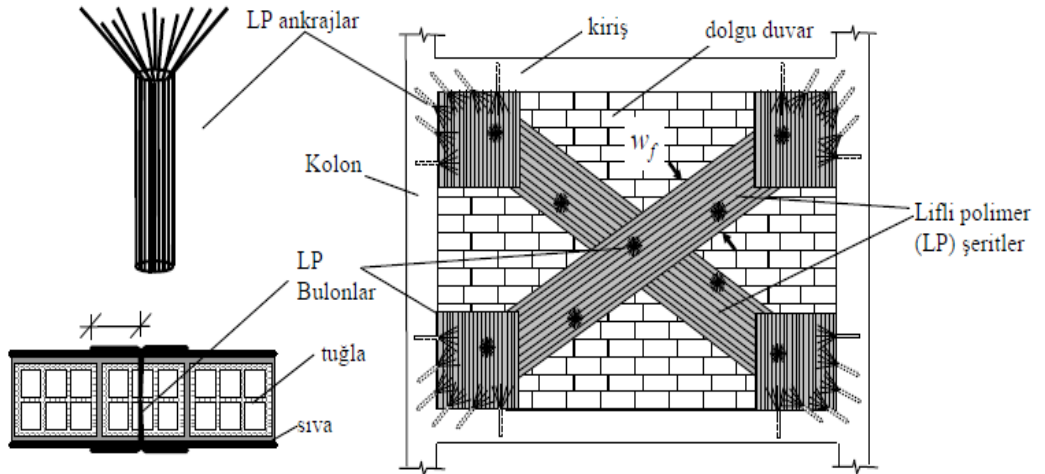
Şekil 1.5: Yumuşak kat ve enerjinin boşaldığı yalın çerçeve (Kaplan 2008).

Şekil 1.5’de görüldüğü gibi dolgu duvarlı çerçevelerin bulunduğu katlar çok daha rijit bir davranış sergilemekte ve bir bütün halinde hareket ederek üzerinde bulunan yanal kuvvetlerden kaynaklanan enerjiyi dolgu duvarsız yalın çerçeve kolonlarına iletmektedir. Duvarın olmadığı katlarda biriken enerji ise kolonlar üzerindeki kesme etkisiyle binanın göçmesine neden olmaktadır.

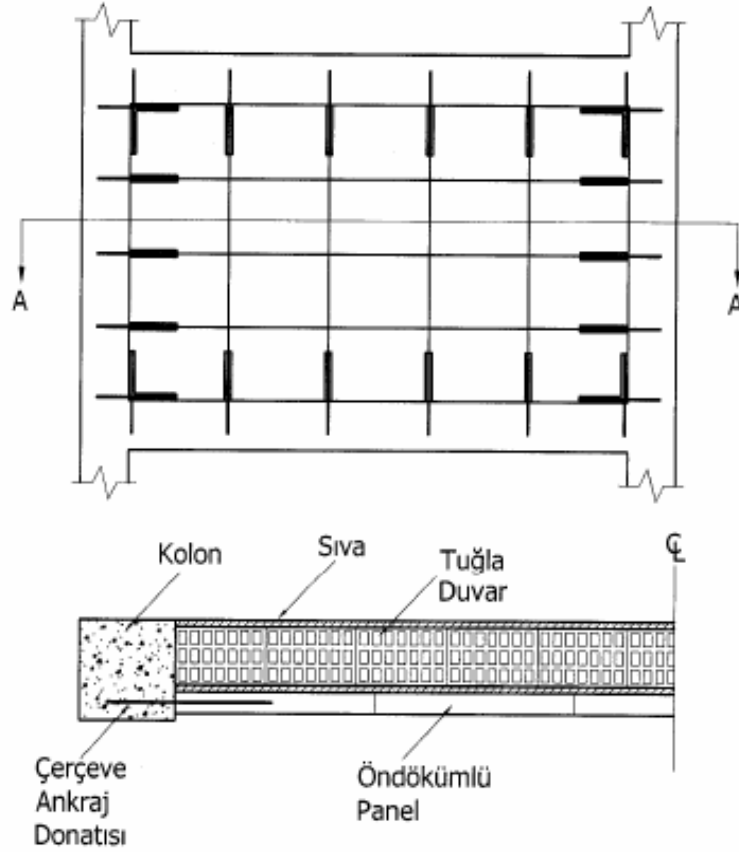
Depremi etkili olduğu gelişmiş ülkeler bölme duvarlarının sağladığı ilave katkıları dikkate almakta ve ilgili yönetmeliklerinde bölme duvarları ile ilgili öneriler sunmaktadırlar. Ülkemizde ise 17 Ağustos 1999 depreminden sonra bölme duvarları ve etkileri üzerine çalışmalar yapılmış, 2007 yılında yayımlanan Deprem Yönetmeliği’nde bölme duvarlarının farklı yöntemlerle güçlendirilmesine yer verilmiştir. DBYBHY 2007’de yer alan ‘Dolgu Duvarlarının Güçlendirilmesi İçin Yöntemler’ başlıklı Ek 7F’de bölme duvarlarının güçlendirilmesi için yöntemler üzerine değinilmiştir. Burada geçen ifadeye göre, bodrum katı dışındaki en fazla 3 katlı binalarda temelden itibaren süreklilik gösteren çerçeve içindeki dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, güçlendirme yöntemleriyle artırılabilir. Söz konusu bu güçlendirme yöntemleri, hasır çelik donatılı özel sıva, lifli polimerler ve prefabrike beton paneller ile güçlendirmelerdir (Şekil 1.6, 1.7 ve 1.8). Bu tez çalışması kapsamında da FRP ile güçlendirmede olduğu gibi yapının ömrünü uzatabilecek, daha ekonomik olmasını sağlayacak şekilde ve düşük dayanımlı olan bölme duvarlarda veya diğer yapı elemanlarında etkin olarak kullanılacak bir kompozit malzeme ve güçlendirme tekniğinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bununla beraber özellikle kırsal kesimlerde bulunan yığma yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılacak çimento esaslı kompozitlerin uygulanabilirliğinin test edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.6: DBYBHY 2007’de geçen hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirme metodu.



Şekil 1.7: DBYBHY 2007’de geçen lifli polimerler (FRP) ile güçlendirme metodu.



Şekil 1.8: DBYBHY 2007’de geçen prefabrike beton paneller ile güçlendirme metodu

Bu amaç doğrultusunda 9 adet 760 x 760 mm ebatlarındaki bölme duvarlar üretilmiş ve üzerinde deneysel olarak çalışılarak bu duvarlara ait kayma dayanımları test edilmiştir. Bu deneyler sonucunda duvarı oluşturan tuğlalar arasındaki harcın dayanımı, çimento esaslı kompozitlerin bu harca olan katkıları ve kompozit plakalarla güçlendirilen bölme duvarların kayma dayanımları araştırılmıştır.

Deneysel olarak çalışılan bu tezde bölme duvarların bir veya iki yüzü kompozitlerle güçlendirilmiştir. Bu sayede bölme duvarlarının betonarme çerçeve içerisinde yer almaları durumunda kompozitlerle birlikte çalışarak ağır hasar almamaları ve güçlendirilen elemanın daha rijit bir davranış göstermesi amaçlanmıştır. Güçlendirmede kullanılan bu kompozit malzeme yırtılmaya ve kopmaya dayanıklı kare boşluklu ağ şeklinde olan tekstillerden ve çimento harcından oluşmuştur. Üretilen numuneler diyagonal basınç yükleri altında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı şekillerde güçlendirilen diğer numuneler ve şahit numunelerle karşılaştırılarak kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülündeki değişimler incelenmiştir.

1.3 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar

Dünyada depremden en çok etkilenen ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede ve ülkemizde betonarme yapıların güçlendirilmesine ve yeni güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Bu konuda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalardan bazıları ve sonuçları şunlardır;

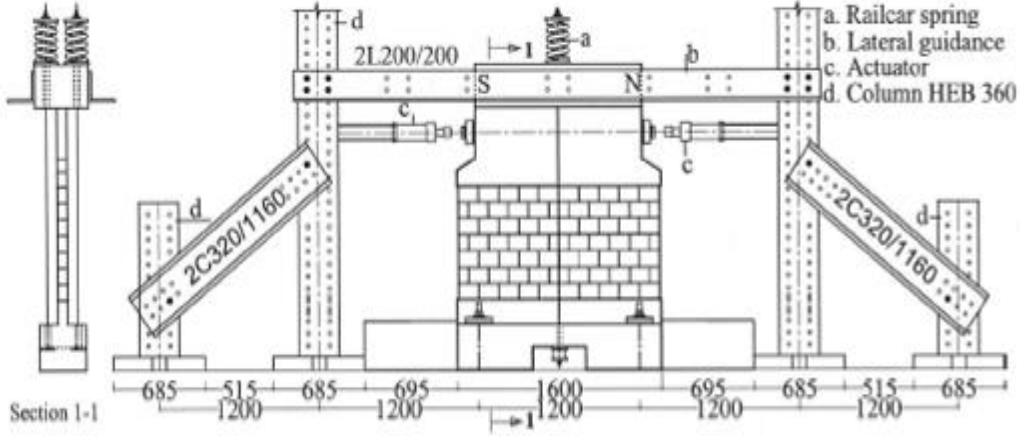
El-Dakhkhni ve diğ. (2005), dolgu duvarlı çelik çerçevelerin ve yalın ve güçlendirilmiş yığma duvar elemanlarının davranışlarını tespit etmek üzere deneyler yapmıştır. Birinci adımda 24 adet basınç ve kayma deneyi yapılmış, ikinci aşamada ise 5 adet yalın ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçeve test edilmiştir. Güçlendirme için kompozit lamine elemanlar kullanılmıştır. Yapılan güçlendirme rijitlik ve dayanımı artırdığı gibi, genel davranış eğrisinin azalan kolu üzerinde de etkili olmuştur.

Hashemi ve Mosalam (2006), sarsma tablasında dolgu duvarlı betonarme çerçeve deneylerini gerçekleştirmiştir. Bir prototip yapının $\frac{3}{4}$ geometrik ölçekle küçültülmüş kısmına karşı gelen dolgu duvarlı betonarme çerçeve üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları bilgisayar programında oluşturulan matematik model ile karşılaştırılmıştır. Yapı içerisinde bulunan ve taşıyıcı olmayan bu dolgu duvarlarının yapının dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasitelerine önemli katkı sağladıkları ve tasarım aşamasında dikkate alınmaları gerektiği rapor edilmiştir. Araştırılan numunelerde, dolgu duvarların yapı yatay rijitliğini 3.8 kat artırdığı, doğal titreşim periyodunu %50 oranında azalttığı, kritik sönüm oranını %5-12 oranında artırdığı ve sönümlenen enerjide de önemli oranda artış olduğu kaydedilmiştir.

Lignola ve diğ. (2009), ürettikleri yığma duvarlar üzerine CFRC sistem ile güçlendirme yapmışlardır. Deneysel numune olarak kullandıkları duvarların boyutları 25x103x103 cm'dir. Eksenel yükleme sonucu CFRC ile güçlendirilen numunelerin güçlendirilmeyen numunelere göre göçme yükü kapasitelerinde %90 oranında artış olmuştur.

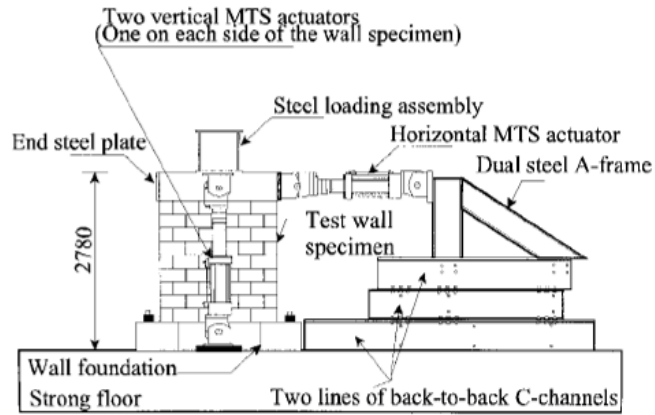
Elgawady ve diğerleri (2007), sabit düşey yükler ve artan yatay yerdeğiştirmeler etkisi altında yedi adet $\frac{1}{2}$ ölçekli yığma duvarın davranışını FRP ile güçlendirme öncesi ve sonrası araştırmıştır. Duvar elemanların rijitliği, yatay yük taşıma kapasitesi ve enerji tüketme kapasitelerinde lifli polimer malzemelerin eksenel rijitliği önemli parametrelerdendir. FRP kullanımındaki miktarın çok olması duvarın çok gevrek

davranış göstermesine neden olmaktadır. Duvar elemanlarına ait sönüm oranları tartışılmış ve güçlendirilmiş numunelerin sönüm oranlarının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1.9: Elgawady deney düzeneği.

Taghdi ve diğerleri (2000), 4 adet beton blok yığma duvar, 2 adet de betonarme perde duvar üretmişlerdir. Yığma duvar elemanlarının ikisi için donatı kullanılmış, diğerleri için kullanılmamıştır. Betonarme perde duvarlar için ise minimum donatı kullanılmıştır. Her duvar elemandan biri düşey veya çapraz doğrultuda çelik levhalarla desteklenmiştir. Ankraj bulonları ve çelik elemanlar temele ve elemanın üst bölümüne monte edilmiştir. Deney numuneleri tersinir tekrarlı ve statik düşey yükler altında test edilmiştir. Sonuç olarak; güçlendirilmiş olan numunelerde dayanım artışı, rijitlik artışı ve enerji tüketimi artışı gözlenmiştir.



Şekil 1.10: Taghdi deney numunesi ve deney düzeneği.

Yüksel ve diğeri (2006), karbon lifler kullanılarak dolgu duvarlı betonarme çerçevelerinin güçlendirme çalışmasında, güçlendirilmemiş dolgu duvarlar ile karbon liflerle güçlendirilmiş dolgu duvarların betonarme çerçevenin davranışı üzerindeki etkileri araştırılmış ve bir bilgisayar programı ile malzeme açısından lineer olmayan çözümlerinin yapılması hedeflenmiştir. Yerdeğiştirmelerine bakılarak tekrarlı tersinir yükler altında üç adet tek açıklıklı ve iki katlı betonarme çerçeveler test edilmiştir. Bu çerçevelerden birincisi dolgu duvarsız, ikincisi dolgu duvarlı ve üçüncü çerçeve de karbon liflerle güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevedir. Yapılan deneyler sonrası dolgu duvarlı çerçeve ile güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin dayanım ve rijitliğinde yalın çerçeveye göre ciddi bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu güçlendirme sonucu meydana gelen çapraz çatlakların ve kırılmaların bir bölgede toplanması önlenmiş ve dolgu duvarın tüm bölgelerine homojen olarak dağıtılması sağlanmıştır. Bu sayede duvarın tamamının aynı anda göçmesi engellenmiştir. Bununla birlikte dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi yalın numuneye göre 4 kat artmış ve güçlendirilmiş dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi ise güçlendirilmemiş dolgu duvarlı çerçeveye göre 1.3 kat artış göstermiştir.

Lee ve diğeri (2003), yaptıkları deneysel çalışma kapsamında 6 adet kolon üretmişler ve bu kolonların korozyona karşı dayanıklılıklarını ve diğer davranışlarını incelemişlerdir. Bu kapsamda bütün numuneler farklı oranlarda korozyona maruz bırakılmışlardır. Bu çalışma esnasında meydana gelen çatlaklar onarılmış ve CFRP ile güçlendirilmişlerdir. Yapılan güçlendirme çalışması sonucu süneklik kapasitelerinde artış görülmüş ve kesme çatlakları büyük oranda engellenmiştir. Diğer taraftan güçlendirilmeyen kolonlarda oluşan çatlakların çok olduğu ve dayanımlarının daha düşük olduğu gözlenmiştir. Üretilen bu kolonlar enerji yutma kapasitesi açısından ele alındıklarında ise korozyon miktarının artması sonucu enerji yutma kapasitelerinin azaldığı görülmüştür. CFRP ile güçlendirilen kolon numunelerinin diğer numunelere göre iki kat daha fazla süneklik kapasitesine sahip olduğu görülmüştür.

Arya ve diğ. (2002), lifli kompozit polimerlerin (FRP) betonarme yapıların dış kısmına yapıştırılmasıyla yaptıkları çalışmada, kiriş ve kolonların kesme dayanımı, kolonların eğilme ve basınca karşı dayanımı ve döşemelerin eğilmeye karşı davranışlarındaki etkiyi gözlemlemeyi hedeflemişlerdir. Bu sayede, yapılan güçlendirmelerin betonarme elemanlar üzerindeki olumlu etkileri bir rehber niteliği taşımaktadır. Bu güçlendirme çalışmasıyla alakalı hazırlanan raporda malzeme özellikleri, işçilik, montaj, uygulama

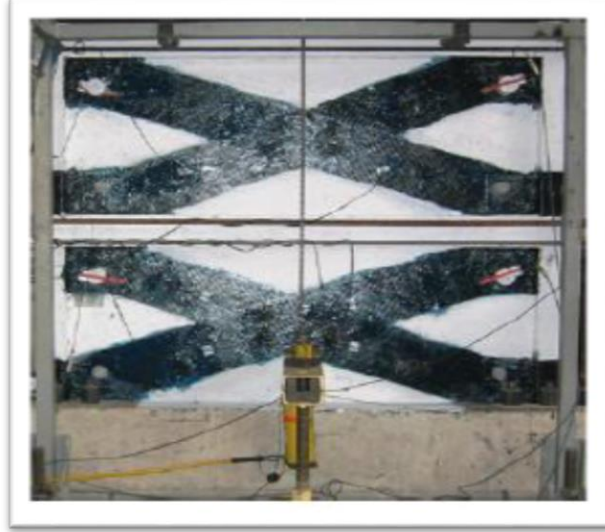
alanları vs. bilgiler yer almaktadır. Bununla birlikte lifli kompozit polimer (FRP) ile güçlendirilmiş bir kirişin eğilme testi ve sonuçları da özetlenmiştir.

Ehsani ve diğ. (1997), depremlerin meydana getirdiği çatlakların ve hasarların yapılarda onarım ve güçlendirmelerin ihtiyaç haline geldiğini vurgulamak amacıyla bir takım çalışmalarda bulunmuşlardır. Tuğla malzeme ile yapılmış bir yapının dış kısmı FRP uygulaması ile güçlendirilmiş ve kesme mukavemetindeki artış gözlenmiştir. Yapılan güçlendirmede, kullanılan kompozit malzemenin dayanımına, liflerin istif şekline ve uygulama şekline dikkat edilmiştir. Deneysel çalışmaların sonunda ise, elemanların süneklik ve mukavemetlerinde ciddi bir artış gözlenmiştir. Fiber liflerin istif açısındaki uyumun sistemin rijitliğine sağladığı artışa da ayrıca dikkat çekilmiştir.

Kolsch (1998), yapı elemanlarının dış yüzeyine karbon elyafı ve çimento esaslı kompozit bir malzeme ile güçlendirme çalışmasında bulunmuş ve bu elemanların yük taşıma kapasitelerindeki artışını araştırmıştır. Güçlendirilen kiriş numunelere ve dolgu duvarlara eğilme testi yapılmış ve sonuç olarak bunların yük taşıma kapasitelerinde ciddi oranda bir artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca güçlendirmede kullanılan kompozit malzemenin, deprem sonucu meydana gelen düzlem dışı göçmeleri de engellediği görülmüştür.

Khalil ve Ghobarah (2005), yaptıkları deneysel çalışmada, deprem yüklerinden kaynaklanan yapı duvarlarındaki çökmelerin nedenlerini ve mümkün olan iyileştirme ve güçlendirme tekniklerini araştırmışlardır. Duvarlardaki plastik mafsallaşmaların olduğu bölgeler deneye tabii tutulmuş ve kesme kuvvetlerinin burkulma momenti ve eksenel yük ile olan ilişkisi incelenmiştir. Bunun için, bir kontrol numunesi olmak üzere duvar üretilmiş ve teste tabii tutulmadan önce kesme etkisiyle hasar verilmiştir. Kesme etkisinden kaynaklanan çökmeleri engelleyecek ve duvarın davranışını olumlu yönde etkileyecek şekilde çift-eksenel FRP levhaları üretilmiştir. Bu FRP levhalar iki farklı şekilde duvar numunelerini güçlendirmede kullanılmıştır. Duvarların uç kolonlarına FRP sabitleyiciler ile levhalar sabitlenerek sünekliğin artırılması amaçlanmıştır. Yine bu iki farklı güçlendirme metodunda, karbon lifli polimerler (CFRP) kullanılmış karbon ya da çelik tespitlerin etkisi incelenmiştir. Her iki güçlendirme yönteminde de duvar numunelerinin kesme kuvveti, süneklik ve enerji yutma kapasitelerinde önemli derecede artış gözlenmiştir.

Binici ve diğ. (2007), betonarme çerçeve içerisinde bulunan dolgu duvarlarının FRP kompozitler ile güçlendirilmesi konusunda bir çalışma yapmıştır ve makale yayınlamıştır. Yaptıkları çalışmada, gerçek bir yapının performansını belirlemek amacıyla lifli polimerlerle donatılmış içerisinde boşluklu kil dolgu duvar bulunan betonarme çerçevenin güçlendirilmiş tasarımını yaparak çerçevenin performansını belirlemek amacıyla bir model hazırladılar. Deprem Yönetmeliği'nde de güçlendirme yöntemi olarak tanımlanan lifli polimerlerin özelliklerini değerlendirmişlerdir. Burada elde edilen sonuçlar yapı mühendislerinin güçlendirme sürecini incelemelerine ve değerlendirmelerine olanak vermektedir. FRP'nin sıva yüzeyinden erken ayrılmasını önlemek için dolgu duvar yüzeyine ankraj uygulaması yapmışlardır. Kolonların FRP ile güçlendirilmeden önce deformasyon kapasitelerini % 75 oranında aştığı tespit edilmiştir. FRP ile güçlendirme yapıldıktan sonra ise deformasyon oranlarında beklenildiği gibi bir azalma meydana gelmiştir ve sapma kontrolü sağlanmıştır. Bu yolla hasar kontrolü mümkün olmaktadır. FRP ile güçlendirilen betonarme çerçevelerin doğrusal olmayan statik analizi için yapılan modelleme, düşük dayanımlı dolgu duvarlı yapıların FRP ile güçlendirilmesinde de kullanılabilir.

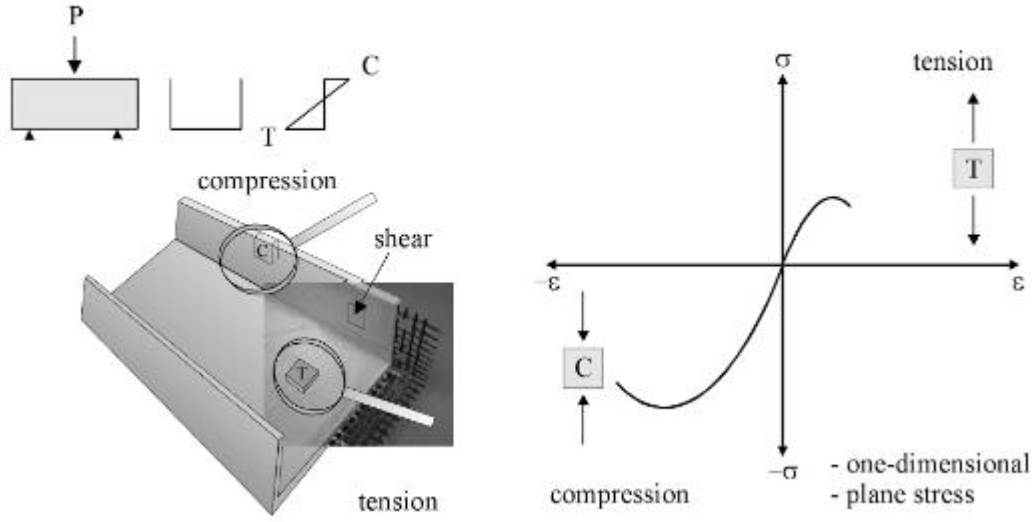


Şekil 1.11: Dolgu duvarlı betonarme çerçevenin FRP ile güçlendirme modeli.

2. DUVAR NUMUNELERİNİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN KOMPOZİT PLAKALARIN ÜRETİMİ

2.1 Genel Bilgi

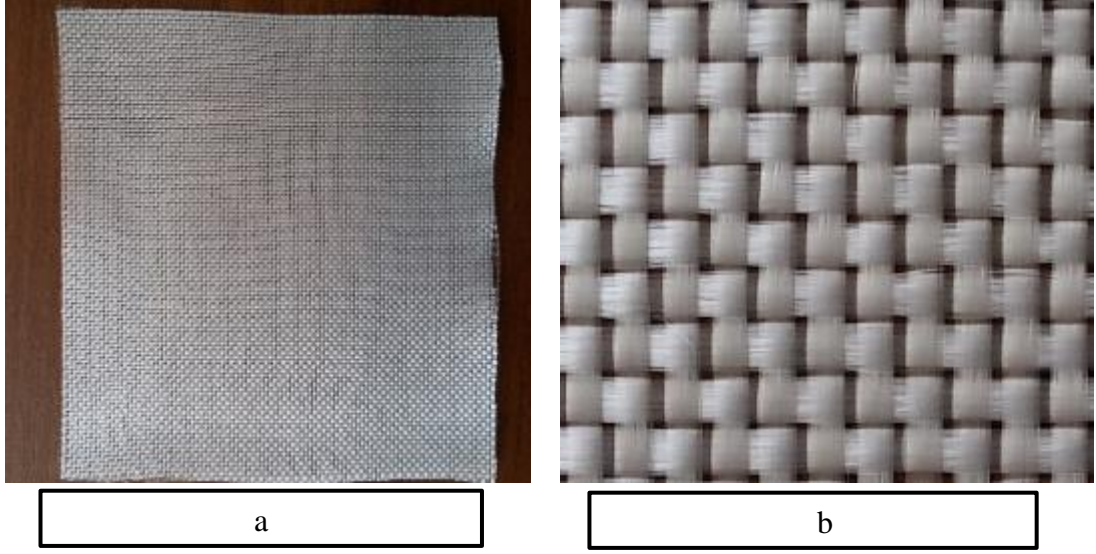
Kompozit malzemeler, birbirlerinin zayıf özelliklerini tamamlayan iki ya da daha çok malzemeden oluşan ve mekanik özellikleri kendisini oluşturan malzemelerden daha yüksek olan malzeme sistemidir. İnşaat Mühendisliği uygulamalarında yaygın olarak kullanılan en önemli kompozit malzeme donatı takviyeli betonlardır. Betonun yüksek basınç gerilmesi ile donatının yüksek çekme gerilmesinin kombinasyonu betonarme sistemlerde uygun bir yük taşıma kapasitesi sağlar. Diğer taraftan tekstil takviyeli kompozit malzemeler, yüksek basınç ve çekme dayanımına sahip ince yapılı betonarme elemanların üretilmesine olanak verir. Son yıllarda ortaya çıkan TRCC kompozit sistemler, çimento esaslı kompozitler içerisinde sağladığı yüksek performans ile cazip hale gelmiştir. Bu tekstil takviyeli betonlar sıradan betonlara kıyasla daha iyi ve daha homojen bir yapı sergiler ve bu sayede yüksek mukavemetli ve geliştirilmiş dayanıklılık özellikleri ile iyi bir performans sağlar. TRCC sistemlerin boyutlandırılmasında ve tasarımında ince taneli betonun mekanik özellikleri, TRCC yapı elemanlarının boyutlandırılmasına uygun olduğu için gerilme, kesme mukavemeti, kayma gerilmesi ve şekil değiştirmeler açısından değerlendirilir (Şekil 2.1). Tekstiller statik ve dinamik koşullar altında çimento matrislerinin mekanik davranışını belirgin bir şekilde artırabilir ve üstün gerilme mukavemeti, tokluk, süneklik, enerji Emilimi ve çevresel bozulma etkilerine karşı koruma sağlar. Genel olarak kompozit elemanların çekme dayanımları, elastisite modülleri, yırtılmaya ve kopmaya karşı dirençleri, yorulma dayanımları, ısı dayanımları oldukça yüksektir. Lif veya tekstil içeren betonların çekme ve eğilme dayanımları arttığı gibi darbe etkisine karşı dirençleri de artmaktadır. Tekstillerin içerisinde bulunan filamentler, içerisine nüfuz eden uygun çimento harçlarıyla güçlü bir kenetlenme gösterir ve yüksek derecede lif-matris aderansı sergiler.



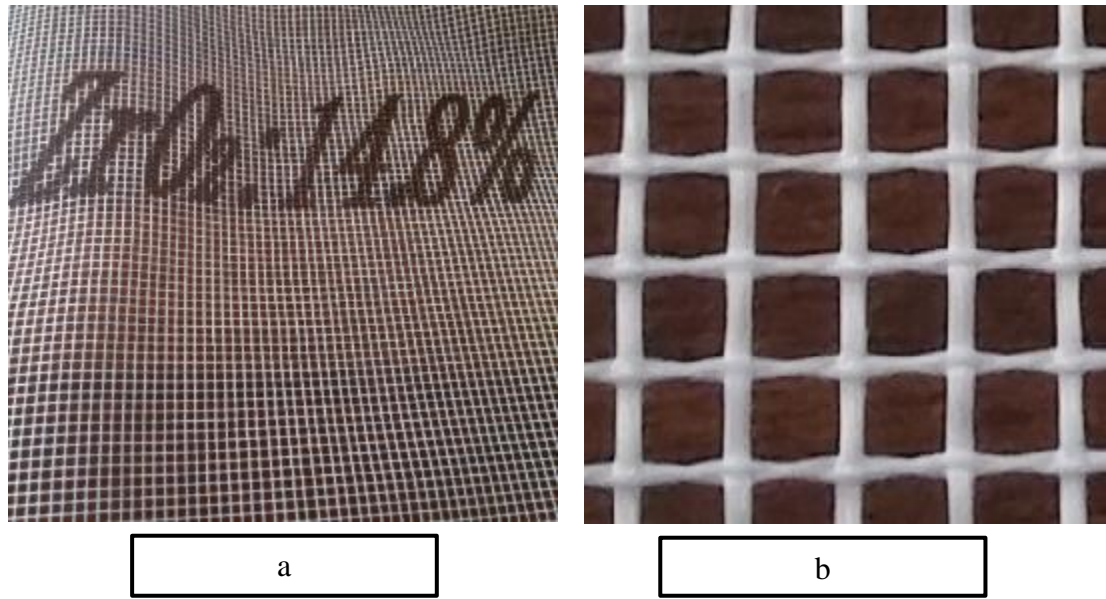
Şekil 2.1: Tekstil takviyeli U-profil elemanın eğilme yükü; Basınç ve gerilme altında σ - ϵ ilişkisi.

Kompozit malzemelerin yapımında kullanılan tekstillerin diğer bir özelliği ise esnek olmalarıdır. Esneklik, kumaş üretme metotlarında iplik ve kumaş geometrisinin kontrol edilmesini sağlar. Esneklik sayesinde kumaş geometrisinin kontrol edilebilmesi, çimento matris modifikasyonları ile farklı şekil ve performanstaki kumaşların çok geniş bir yelpazede kompozit tasarımında kullanılmasına olanak verir.

Bu tez çalışmasının ilk adımı olarak üretilen kompozit plakalarda PVA (Polivinil Alkol) ve AR Glass tekstil malzemeleri kullanılmıştır. Tekstiller de çimentolu kompozitler içerisinde kullanılan donatı türlerindedir. Kolay uygulanabilir olması, iyi aderans sağlaması ve çimento harcı ile uyum içerisinde çalışması avantajlarındandır. PVA filament kumaş, çok sayıda filamentin enine ve boyuna birbirleri içerisinde geçirilmesiyle oluşan bir tekstil ürünüdür. Birbirlerine dik ve paralel olan ipliklerin birbirlerinin altından ve üstünden geçirilmesiyle meydana gelir. Bu enine ve boyuna filamentler çözü (warp) ve atkı (weft) diye isimlendirilirler (Şekil 2.2). PVA tekstiller sünek bir yapıya sahiptir ve gevrek olan betonla bir kompozit oluşturduğunda, ortaya çıkan yeni malzemenin sünek bir davranış sergilemesini sağlarlar (Çizelge 2.1).



Şekil 2.2: PVA tekstilden bir kesit a) PVA örgü şekli genel görünüm b) Atkı ve çözümlerin yakınlaştırılmış görünümü



Şekil 2.3: AR Glass tekstilden bir kesit a) AR Glass ağ şekli genel görünüm b) Atkı ve çözümlerin yakınlaştırılmış görünümü

Ancak PVA tekstillerde, tekstili oluşturan filamentler çok sık dokunduğu için çimento harcının filament içerisine nüfuzu kolay olmamaktadır. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan diğer bir tekstil ürünü de AR Glass tekstil malzemesidir. AR Glass tekstiller de PVA kumaşlarda olduğu gibi liflerden oluşan ağ şeklinde bir yapıya sahiptir. Birbirine dik ve paralel olan atkı ve çözümlerin birbirlerinin altından ve üstünden geçmesiyle oluşur (Şekil 2.3). Bu malzemeler PVA kumaşların aksine

gevrek bir yapı sergilerler. Ancak çimento harcı malzemeyi oluşturan filamentlerin arasından rahatlıkla geçebildiği için bu ürünler çimento harcı ile daha uyumlu çalışırlar ve daha homojen bir yapı sergilerler. Üretici firma tarafından alınan AR Glass tekstil ürününe ait teknik özellikler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Bununla birlikte çimento esaslı kompozit malzemelerde tekstil kullanılması, cam lif takviyeli beton ve diğer lif içerikli kompozitlerle kıyaslandığında daha yüksek süneklik ve çekme mukavemeti sağlar. Beton esasında gevrek bir malzemedir ve tekstil ilave edilmesiyle sünek bir yapıya sahip olur. Kompozitlerde kullanılan tekstillerin temel faydaları şu şekilde özetlenebilir;

- a) Sünekliğinin ve taşıma kapasitesinin yüksek olması
- b) Dayanıklılık
- c) Korozyonun engellenmesi ve betonun pürüzsüz bir yüzeye sahip olması
- d) Büyük çatlaklar yerine kontrol edilebilir küçük çatlakların oluşması
- e) Donatı işçiliğinin daha kolay olması.

Betonun dayanımına azımsanmayacak kadar katkısı olan ve birçok yararını yukarıda ifade ettiğimiz bu iki tekstil ürününün diğer fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 2.1: Üretici firma tarafından alınan PVA tekstil teknik özellikleri.

| | | |
|---------------------------------------|-------------|------|
| Filament sayısı (25 mm kesit için) | Çözü (Warp) | 14 |
| | Atkı (Weft) | 14 |
| Genişlik (mm) | | 1039 |
| Kalınlık (mm) | | 0.25 |
| Ağırlık (g/m ²) | | 146 |
| Çekme Dayanımı (N/25 mm) | Çözü (Warp) | 1028 |
| | Atkı (Weft) | 1019 |
| Kopma Uzaması (%) | Çözü (Warp) | 13.8 |
| | Atkı (Weft) | 14.4 |

Çizelge 2.2: Alkali dayanımlı cam liflerden oluşan AR Glass tekstil malzemesinin üretici firma tarafından alınan teknik özellikleri.

| | | |
|---|-------------|------|
| Başlangıç çekme-kopma mukavemeti (N/5 cm) | Çözü (Warp) | 1310 |
| | Atkı (Weft) | 1280 |
| Genişlik (mm) | | 1000 |
| Kalınlık (mm) | | 0.25 |
| Ağırlık (g/m ²) | | 163 |
| ZrO ₂ içeriği (%) | | 14.8 |
| ZrO ₂ + TiO ₂ içeriği (%) | | 19.3 |
| Kopma Uzaması (%) | | 2.7 |
| Tekstildeki ağ boyutu (mm) | Çözü (Warp) | 5 |
| | Atkı (Weft) | 5 |

2.2 Harç Deneyleri

Duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan PVA ve AR Glass kompozit plakaların üretiminde kullanılan çimento harçlarının içerisinde çeşitli oranlarda çimento, kum, su, polimer, akışkanlaştırıcı, silis dumanı, uçucu kül ve defoamer bulunmaktadır. Bu oranlar PVA ve AR Glass tekstil içerikli plakaların üretiminde kullanılan harçlar için değişiklik göstermektedir. PVA ve AR Glass tekstil kumaşlar için özel üretilen bu çimento harçlarından alınan 4x4x16 cm ebatlarındaki dikdörtgen prizma numuneler İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki pres makinesinde deneye tabi tutulmuş ve 28 günlük basınç değerleri ölçülmüştür (Şekil 2.4). Bu deneyler için toplam 6 adet prizma numunesi alınmıştır. Bunlardan 3 tanesi PVA harcından 3 tanesi ise AR Glass harcından alınmıştır. Prizma numuneler için ayrıca eğilme deneyleri de

gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyleri eğilme deneyleri sonrası gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve ortalamaları Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4: PVA ve AR Glass harcı basınç deneyi.

Çizelge 2.3: PVA içerikli kompozit plakaların üretiminde kullanılan çimento harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları.

| Numune No | 28. Gün Eğilme Dayanımı (MPa) | 28. Gün Basınç Dayanımı (MPa) |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|
| PVA Harcı | 13.1 | 76.1 |
| | 14.2 | 72.9 |
| | 13.8 | 73.7 |
| Ortalama | 13.7 | 74.2 |

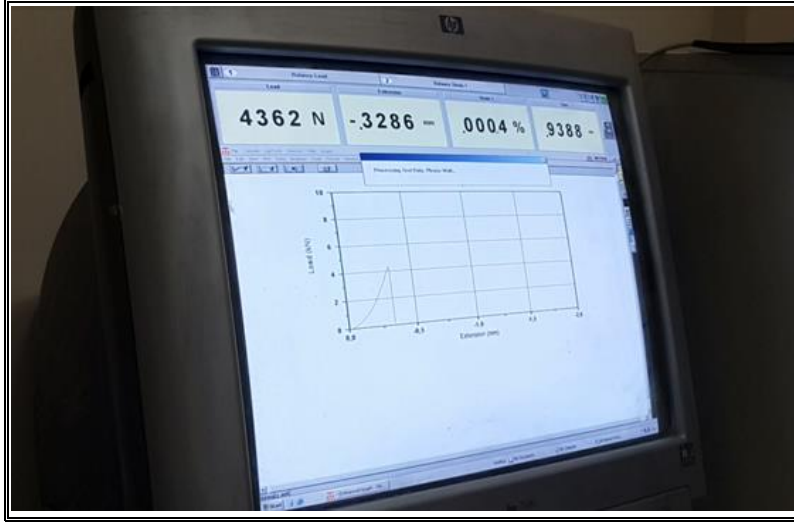
Çizelge 2.4: AR Glass içerikli kompozit plakaların üretiminde kullanılan çimento harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları.

| Numune No | 28. Gün Eğilme Dayanımı (MPa) | 28. Gün Basınç Dayanımı (MPa) |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| AR Glass Harcı | 13.8 | 69.6 |
| | 14.6 | 72.6 |
| | 13.1 | 75.7 |
| Ortalama | 13.8 | 72.6 |

PVA ve AR Glass tekstiller için üretilen özel çimento harcından alınan dikdörtgen prizma numuneler için yapılan 3 noktalı eğilme deneylerinin yapılışı Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.5: PVA ve AR Glass harcı üç noktalı eğilme deneyleri.

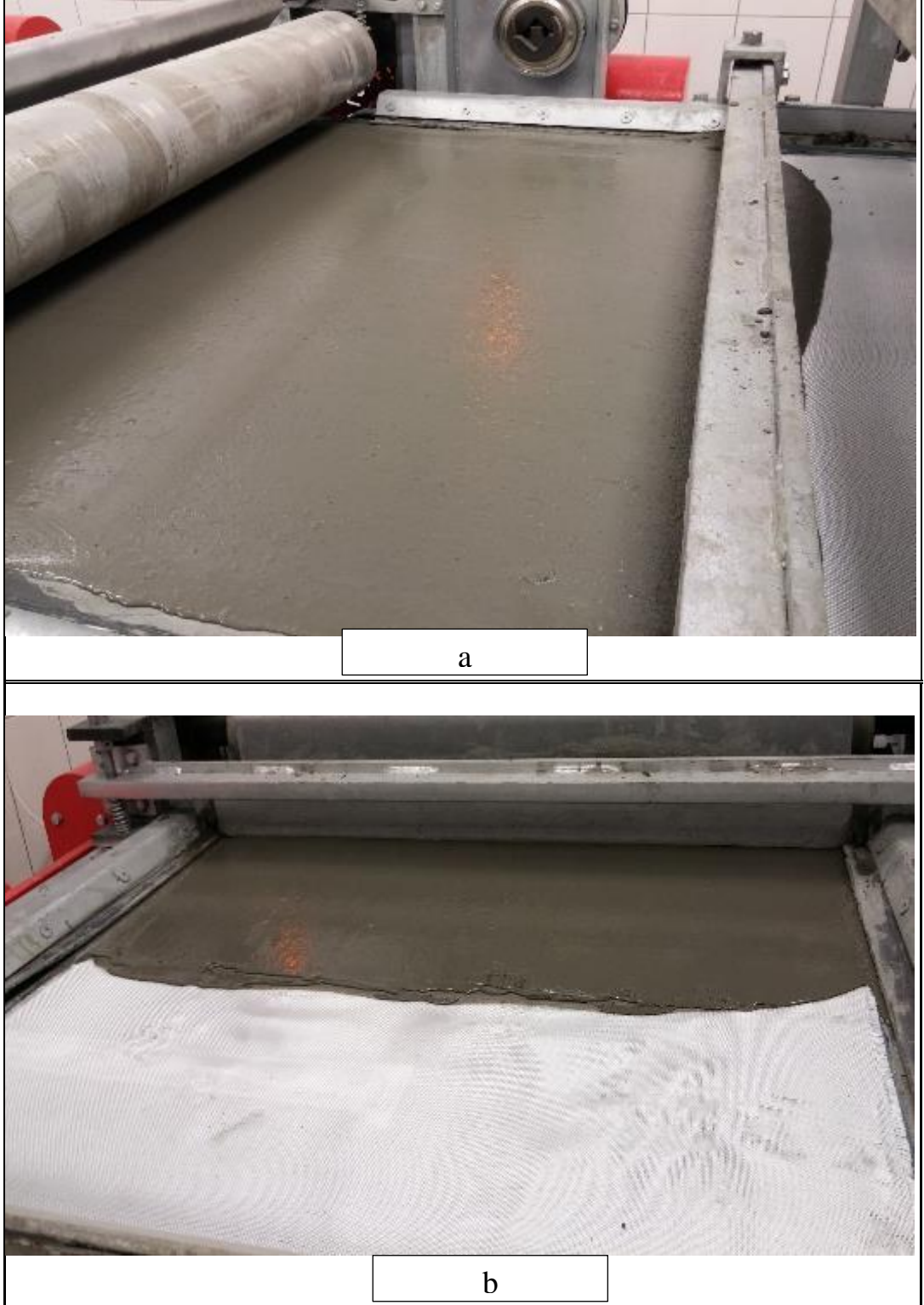


Şekil 2.6: Eğilme deney verilerinin kaydedildiği entegre bilgisayar.

2.3 Kompozit Plakaların Üretimi

Kompozit plakaların üretimi için İTÜ Kompozit Yapı Elemanları Laboratuvarında çalışılmıştır. İlk olarak, üretim için özel olarak tasarlanan ve çimento harcıyla uyumlu çalışan bir makinada, PVA ve AR Glass tekstil malzemeleri dönen silindirler yardımıyla makinenin üzerinde yer alan iki tambur arasına gerdirilmiş ve genişliği tekstilin genişliğine uygun olarak tasarlanmış bir bantın üzerinden geçirilmiştir. Sonraki aşamada makinenin üzerinde yer alan bir hazneye çimento harcı konulmuştur. Bandın hareket ettirilmesiyle birlikte, bant üzerinde bulunan tekstilin üzerine çimento harcı yavaş yavaş yayılmıştır ve kalınlığın istenilen seviyede kalması için çimento harçlı tekstil sıyırıcıdan geçirilmiştir (Şekil 2.7). Bundan sonraki aşamada, tekstil banttan ayrılarak bir plaka kalıbın üzerine basınç verilmek suretiyle 4 kat ve 6 kat olarak sarılmıştır. Bu işlemde sonra plakanın tamamı arada hiç boşluk kalmayacak şekilde naylon ile tekrar sarılmıştır (Şekil 2.8). Bunun nedeni kompozit malzemenin yüzeyinin düzgün olması, kalıba alındıktan sonra kalıba yapışmaması ve malzemenin kalıp içinde bile olsa şişmesini engellemektir. Daha sonra kalıba alınan kompozit numuneler bir gün beklendikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler dayanım kazanmaları için 28 gün boyunca kür havuzunda tutulmuştur. Bu sürecin sonunda havuzdan çıkarılan numuneler önceden üretilen 760x760 mm

ebatlarındaki duvarların üzerlerine yapıştırılmak üzere kesilmiştir. Her bir duvar yüzeyine 4 adet plaka gelecek şekilde plakalar 360x360 mm boyutlarında kesilmiştir.



Şekil 2.7: Çimento harcının tekstil üzerine yayılmış hali a) Yandan görünüş b) Önden görünüş.



Şekil 2.8: Çimento harçlı tekstilin sarılma ve kalıp aşamaları a) Çimento harçlı tekstilin plaka üzerine sarılması b) Naylon ile tekrar sarılması c) Kalıba alınması d) Kalıptan çıkarılması.

Deneysel çalışma kapsamında toplam 9 adet duvar numunesi üretilmiştir. Bunlardan 2 tanesi şahit numune olarak üretilmiş, diğer 7 tanesi üzerlerine kompozit plakalar yapıştırılmak suretiyle farklı güçlendirme metotlarıyla üretilmiştir. Kompozit plakaların her bir tekstil malzemesi için 4 kat ve 6 kat olarak ve özel çimento harcı kullanılarak üretildiğini daha önce söylemiştik. Yeni bir yöntem olan PPR yöntemiyle toplamda 12 adet üretilen bu kompozit numunelerin 6 tanesini PVA, diğer 6 tanesini ise AR Glass tekstil içerikli kompozit paneller oluşturmaktadır. Bu panel numunelerin

kesilmesi sırasında her bir kompozit panelden 4 adet kesilmek suretiyle toplam 48 adet kompozit plaka elde edilmiştir (Şekil 2.9). Bunlardan 12 tanesi 4 kat PVA, 12 tanesi 6 kat PVA, 12 tanesi 4 kat AR Glass ve 12 tanesi 6 kat AR Glass kompozit plakadır.

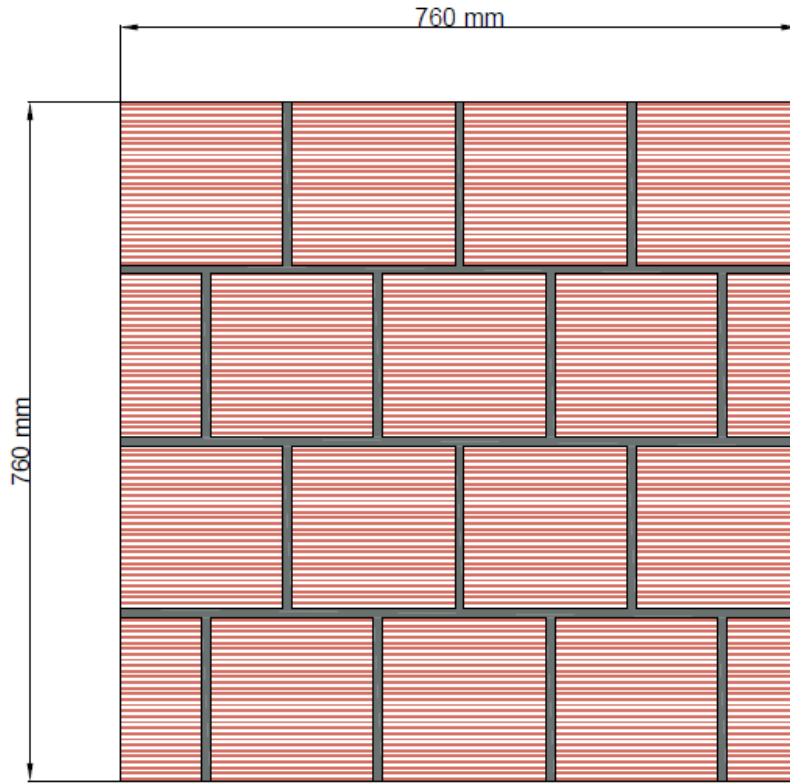


Şekil 2.9: Kompozit plakaların kesim işlemi ve aşamaları.

3. BÖLME DUVAR KAYMA DENEYLERİ

3.1 Genel Bilgi

Deneysel çalışmaların ikinci adımı olarak, günlük hayatta genellikle betonarme çerçevelerin içerisine örülen ve kullanım amacına göre yapı içerisinde çeşitli bölmeler oluşturan duvar numuneleri üretildi. Bu aşamada toplamda 9 adet 760x760 mm eşkenar dörtgen duvar numuneleri hazırlandı (Şekil 3.1).

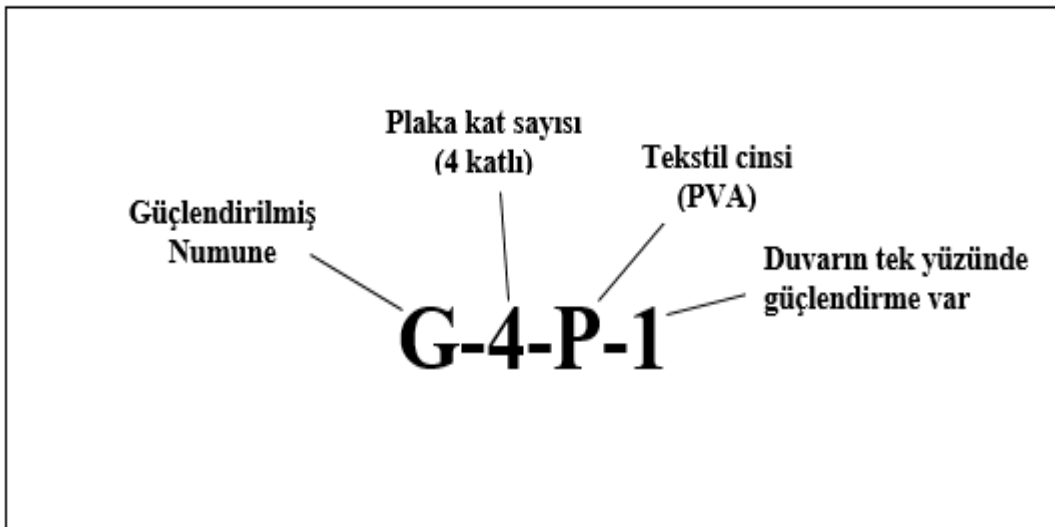


Şekil 3.1: Duvar numunesi.

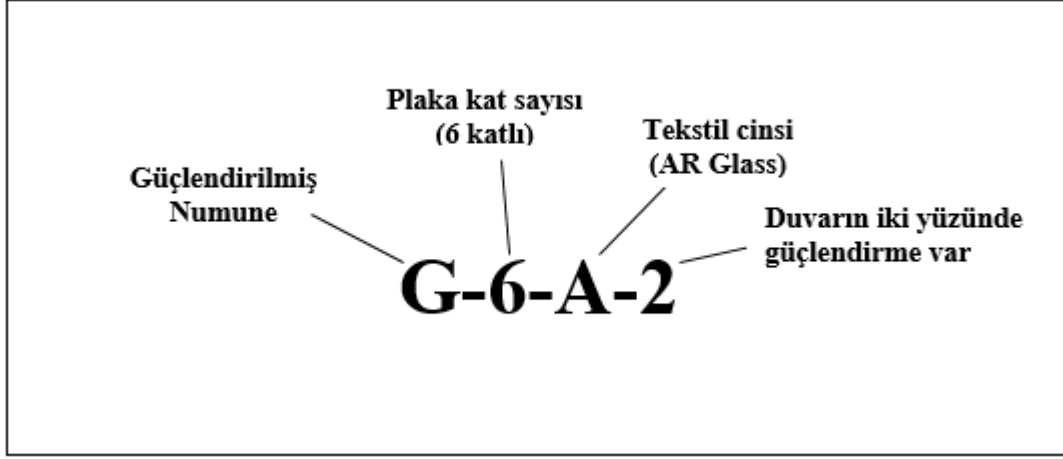
Duvar numuneleri Türkiye’de kullanımı yaygın olan ince cidarlı 190x190x135 mm boyutlarındaki tuğlalardan üretilmiştir. Bütün numunelerde aynı çimento harcı ve aynı tuğlalar kullanılmıştır. Tuğlalar 4 sıra halinde ve her numunede toplamda 16 adet tuğla olacak şekilde örülmüştür. İlk sıra ve 3. sırada 4 tam tuğla, 2. ve 4. sırada ise 3 tam ve

2 yarım tuğla şaşırtmalı olarak kullanılmıştır. Bunun nedeni duvarın bir bütün halinde çalışmasını sağlamak, kopmalara ve ayrılmalara karşı direncini artırmaktır. Su terazisi, şekül ve ip yardımıyla numunelerin düzgünlüğü kontrol edilmiş ve tuğlalar çimento harcı üzerine oturtularak kenetlenmesi sağlanmıştır. Örme işleminde duğla delikleri yatay olacak şekilde yerleştirilmiştir. Ancak 2. ve 4. sıranın başında ve sonunda bulunan yarım tuğlalar, delikler düşeyde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yatay derz kalınlığı ve düşey derz kalınlığı 10 mm olarak ayarlanmıştır. Bölme duvarlar örüldükten sonra dayanım kazanmaları için 7 gün bekletilmiş ve bu süre zarfında duvarlar, dayanımlarının artması ve rötre çatlaklarının azaltılması için 2 gün içerisinde birkaç kez sulanmıştır.

Bu işlemlerden sonra daha önce üretilen kompozit plakalar farklı güçlendirme yöntemleriyle duvar numuneleri üzerine monte edildi. Güçlendirmenin bölme duvarların bir ya da iki yüzüne uygulanması, tekstil cinsi ve plakaların kat sayısı deneyin ana değişkenleridir. Güçlendirilen numuneler “G” kodu ile gösterilmiştir. “G” kodundan sonraki rakam plakanın kaç katlı olduğunu, sonra gelen harf kodu plakaların üretiminde kullanılan tekstil malzemesinin cinsini, en sonda yer alan rakam ise duvarın kaç yüzünde güçlendirme yapıldığını göstermektedir. Güçlendirilmiş numunelerin tekstil cinsi, plaka kat sayısı ve duvarın bir veya iki yüzünde güçlendirme olduğunu gösteren kod açılımı örnekleri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir.

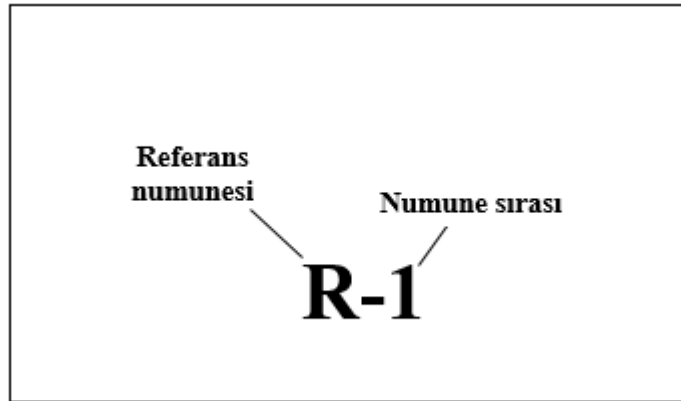


Şekil 3.2: Tek yüzü 4 katlı PVA plaka ile güçlendirilmiş duvar numunesi için kod açılımı örneği.



Şekil 3.3: Çift yüzü 6 katlı AR Glass plaka ile güçlendirilmiş duvar numunesi için kod açılımı örneği.

Güçlendirilmemiş numuneler şahit (referans) numuneleridir ve “R” kodu ile gösterilmiştir. Bu numunelerde duvarın herhangi bir yüzünde güçlendirme olmadığı için R kodundan sonra tek rakam bulunur. Bu rakam numunenin kaçınıcı sırada denendiğini gösterir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Şahit (referans) numunelerin kod açılımı.

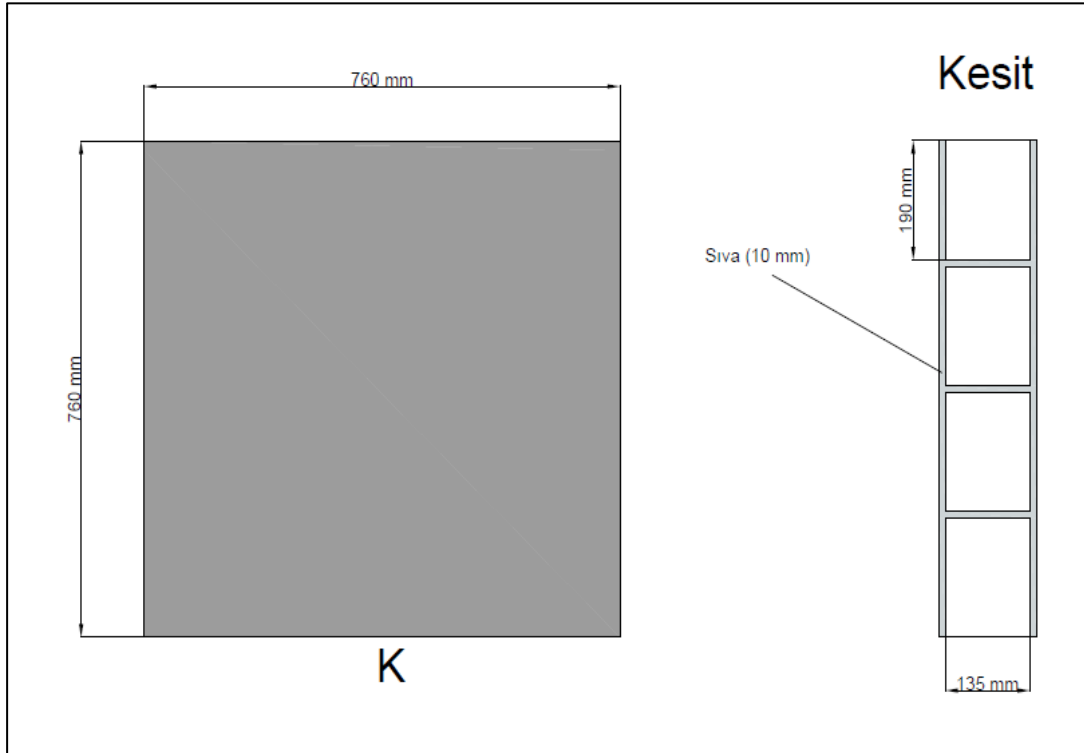
3.2 Duvar Numunelerinin Üretimi

Laboratuvar ortamında üretilen duvar numuneleri toplamda 9 adet olarak üretilmiştir. Güçlendirme şekline göre numuneler, bir veya iki yüzünde iki farklı tekstil malzemesi içerikli 4 veya 6 katlı kompozit plakalarla güçlendirilmiştir. Güçlendirilmeyen şahit (referans) numunelerin ise güçlendirilmiş numunelerle birlikte deneysel analizi

yapılmıştır. Bütün numunelerden elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Duvar numunelerinin deneyleri yapılırken yükleme başlığının düzgün oturması için duvar köşelerine başlık yapılmıştır. Üretilen numunelerin tamamı laboratuvar ortamında muhafaza edilmiştir.

3.2.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri

Bu çalışma kapsamında üretilen bölme duvar numunelerinden 2 tanesi güçlendirilmemiş R kodlu şahit numunelerdir. Bu referans numuneleri, iki yüzü standart çimento harcı ile 10 mm kalınlığında sıvanmak suretiyle oluşturulmuştur (Şekil 3.5, Şekil 3.6). Bu duvar numuneleri kayma dayanımı, kayma modülü ve kayma şekil değiştirmesi parametrelerinin tekstil takviyeli çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilmiş duvar numuneleri ile karşılaştırılması ve değerlendirilmesi açısından oluşturulan referans numuneleridir.



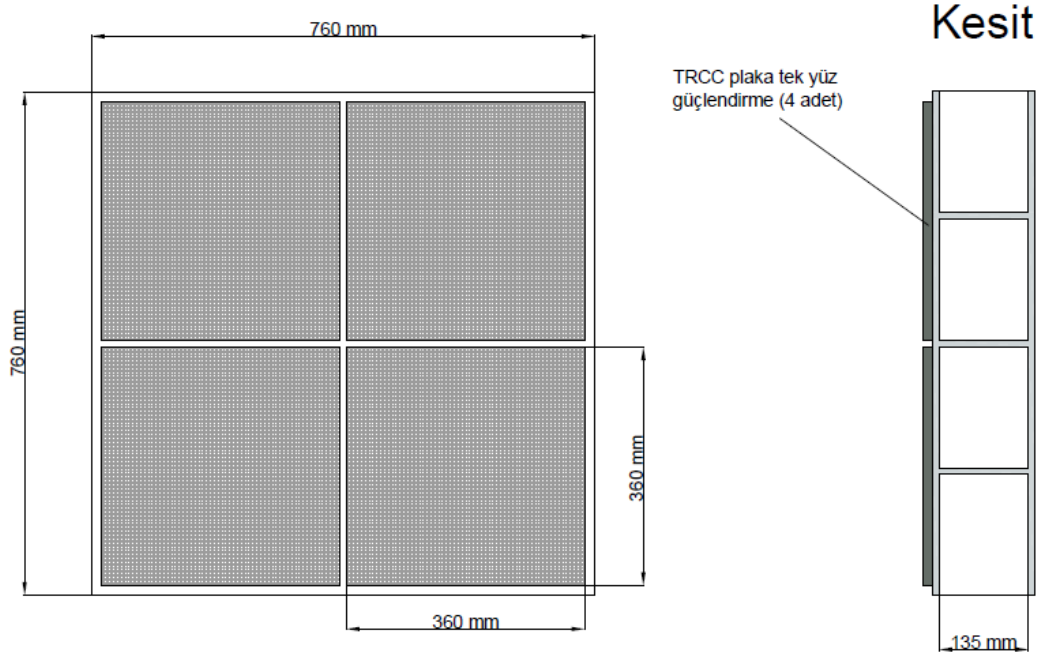
Şekil 3.5: Güçlendirilmemiş duvar numunesi.



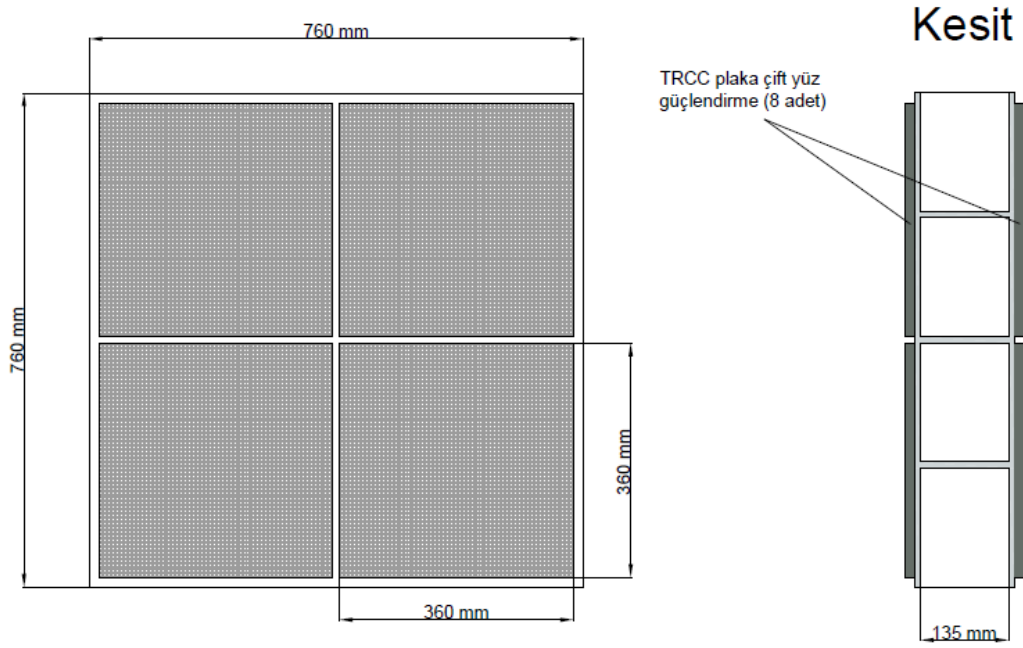
Şekil 3.6: Güçlendirilmemiş duvar numunesi (Üretim sırasında)

3.2.2 Güçlendirilmiş duvar numuneleri

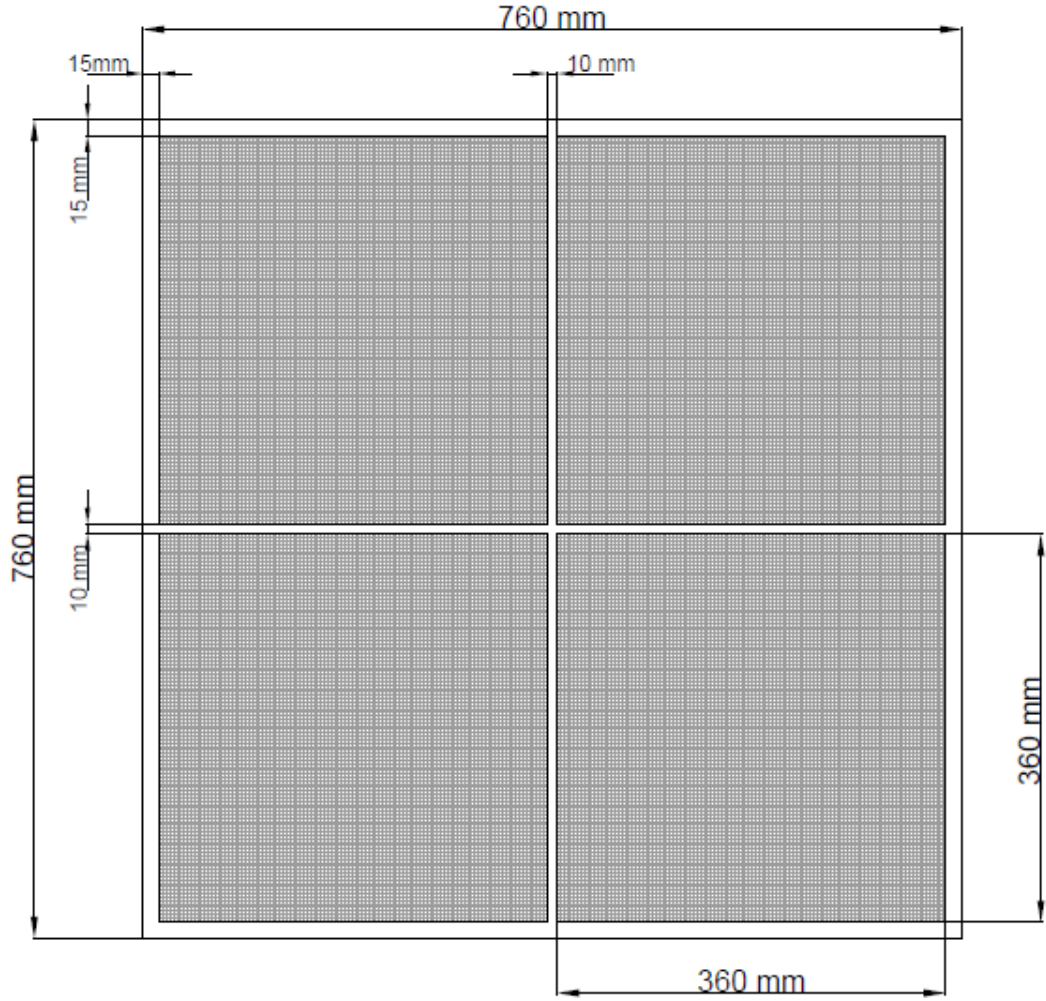
Güçlendirilmemiş referans numunelerinin haricinde geriye kalan toplam 7 adet duvar numunesi TRCC ile farklı şekillerde güçlendirilmiştir. Güçlendirme metoduna göre iki farklı tekstil malzemesi olan PVA ve AR Glass tekstillerle oluşturulan çimento esaslı, 4 ve 6 katlı olmak üzere iki farklı güçlendirme özelliğine sahip kompozit plakaların uygulandığı duvar numuneleri 7 ayrı grup altında değerlendirilmiştir. Güçlendirme işleminde önceden üretilen 4 kat ve 6 kat PVA ve AR Glass tekstil takvileyi kompozit plakalar duvarların bir veya iki yüzüne, her yüzde toplam 4 adet plaka olacak şekilde yapıştırılmıştır (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8). Yapıştırma işleminden önce duvar yüzeyi suyla ıslatılmıştır. Hazırlanan özel çimento harcı yaklaşık 5 mm olacak şekilde yüzeye sürülmüştür ve üzerine plakalar yapıştırılmıştır. Örülen duvar numunelerinin ebatları standart olup 760x760 mm dir. Duvarların üzerine monte edilecek plakalar ise duvar yüzey boyutlarına uygun olarak kesilmiştir. Kesilen her bir plakanın ebatları standart olup 360x360 mm dir. Plakalar arasındaki derz boşluğu 10 mm, plaka ile duvarın her bir kenarı arasında ise 15 mm boşluk bırakılmıştır (Şekil 3.9). Bunun nedeni deney başlıklarının plakalarla temasını engelleyerek olası erken kopmaların önüne geçmektir.



Şekil 3.7: Tek yüzü TRCC ile güçlendirilmiş duvar numunesi.



Şekil 3.8: İki yüzü TRCC ile güçlendirilmiş duvar numunesi.



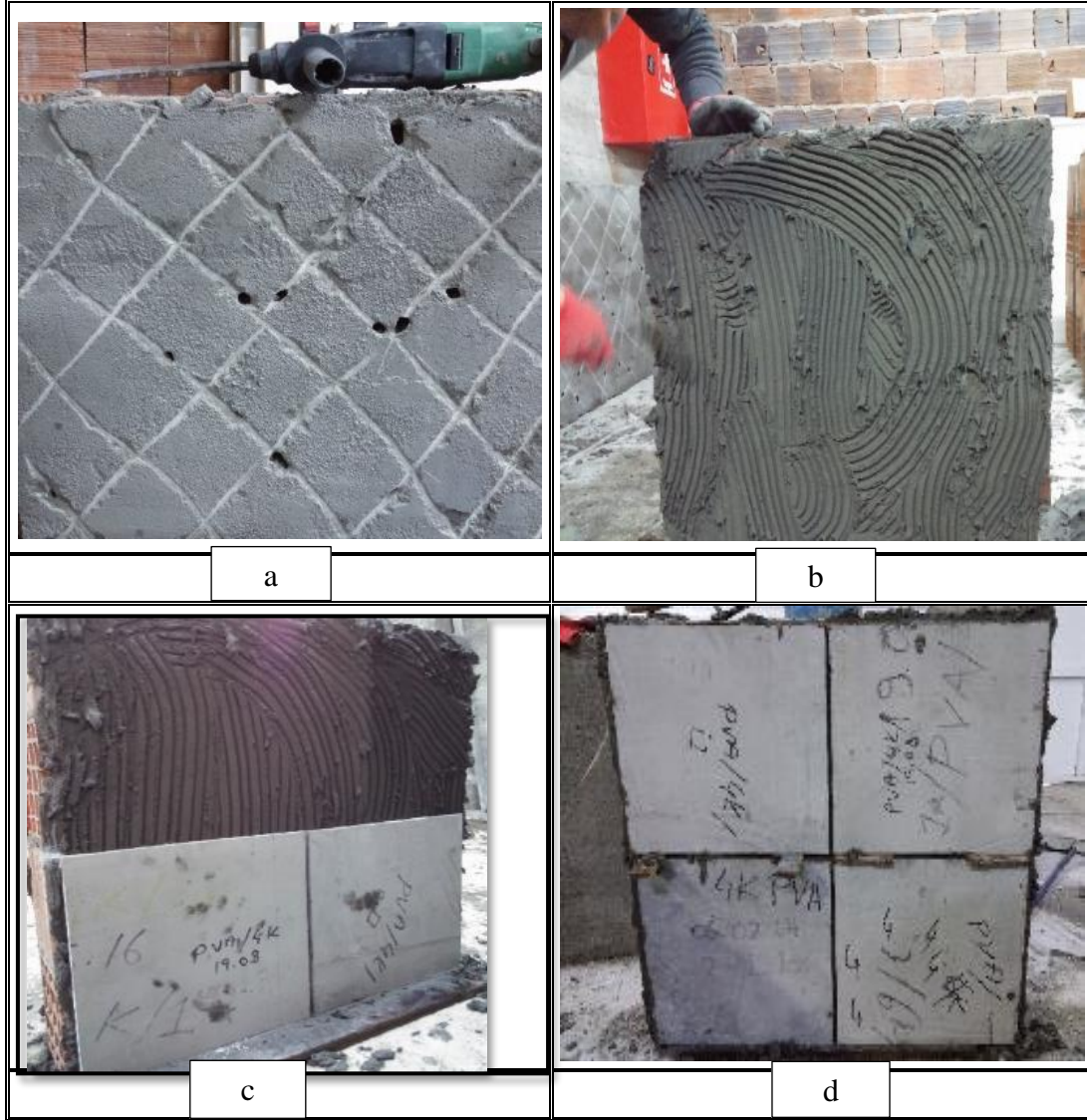
Şekil 3.9: Plaka ebatları ve duvar yüzeyine uygulanışı.

3.3 Bölme Duvarların Güçlendirilmesi ve Güçlendirme Metotları

Laboratuvar ortamında üretilen ve analizi yapılacak olan duvar numunelerinden iki tanesinin şahit numune olarak bırakıldığından ve 7 tanesi üzerinde de farklı şekillerde güçlendirme metotları uygulandığından bahsetmiştik. Referans numuneleri güçlendirilmiş numunelerin deneysel parametrelerindeki artış ve azalışları incelemek amacıyla üretilmiştir. Bölme duvarların güçlendirme metotları şu şekilde özetlenebilir;

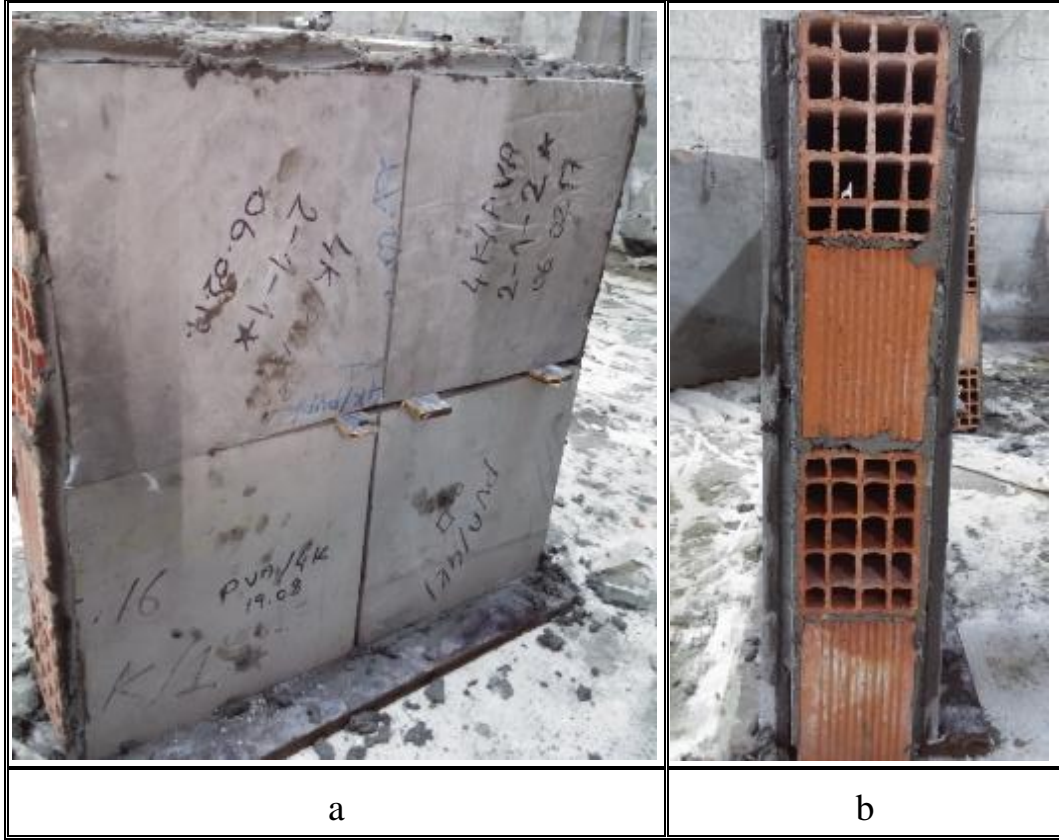
İlk olarak G-4-P-1 kodlu duvar numunesi duvarın tek yüzeyine 4 adet TRCC plaka uygulamak suretiyle güçlendirilmiştir (Kod açılımlarını görmek için Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'e bakınız). Güçlendirme işlemine duvar yüzeyi nemlendirilerek başlanmıştır. Plakaların daha kolay ve daha güçlü yapışması için önceden pürüzlendirilen duvar

yüzeyine yapıştırma harcı uygulanmış ve üzeri tırtıklanmıştır. Bu işlemden sonra toplam 4 adet plaka duvara yapıştırılarak sabitlenmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10: Duvar numunesini güçlendirme aşamaları a) Yüzeyin pürüzlendirilmesi b) Yapıştırma harcının tırtıklanması c,d) Plakaların yapıştırılması (4 kat PVA).

İkinci olarak üretilen numune G-4-P-2 kodlu duvar numunesidir. Duvarın her iki yüzeyine de 4 kat PVA tekstil takviyeli kompozit plakalar uygulanmıştır. Her yüzeye 4 adet olmak üzere toplam 8 adet plaka kullanılmıştır (Şekil 3.11). Bundan sonra sırasıyla üretilen numuneler G-6-P-1 ve G-6-P-2 kodlu, sırasıyla duvarın tek ve iki yüzünde 6 katlı PVA tekstil içerikli kompozit plakalarla güçlendirme yapılmış, duvar numuneleridir (Şekil 3.12).



Şekil 3.11: İki yüzü de 4 kat PVA plakalarla güçlendirilmiş duvar numunesi a) Önden görünüş b) Yandan görünüş.

AR Glass tekstil içerikli kompozit güçlendirme plakaları da PVA tekstil içerikli kompozit güçlendirme plakalarında olduğu gibi aynı işlemler ile duvar numunelerine monte edilmiştir. Ancak AR Glass plakaların üretimi PVA plakaların üretimine nazaran daha kolay ve kusursuz olduğu için bu plakalar daha ince bir yapıya sahiptir. Alkali dayanımlı bu tekstillerle üretilen kompozit plakalarla güçlendirilen duvar numuneleri G-4-A-1 kodlu, tek yüzeyde 4 kat AR Glass kompozit güçlendirme olan; G-4-A-2 kodlu, iki yüzeyde de 4 kat AR Glass kompozit güçlendirme olan ve G-6-A-2 kodlu, iki yüzeyde de 6 kat AR Glass takviyeli kompozit güçlendirme olan duvar numuneleridir (Şekil 3.13, Şekil 3.14). Kompozit plakaların içerisinde bulunan AR Glass tekstil ürününü oluşturan filamentlerin seyrek dokunması ve filamentler arasındaki boşlukların fazla olması sayesinde çimento hamuru tekstil içerisine daha iyi nüfuz edebilmektedir. Bu da AR Glass içerikli kompozit plakaların PVA plakalara göre daha ince ve düzgün bir yapıya sahip olmalarına neden olmaktadır (Tekstil ve içeriği ile ilgili detaylı bilgi için bakınız Bölüm 2.1).



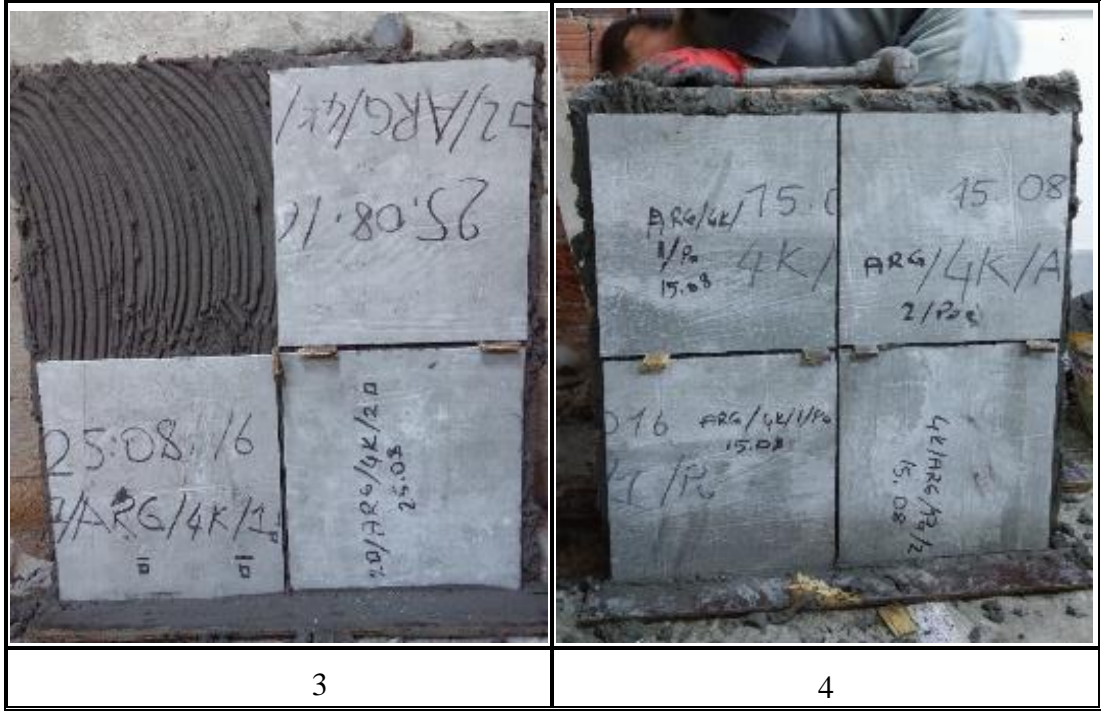
Şekil 3.12: 6 kat PVA plaka ile güçlendirilmiş duvar numunesi.



1



2



Şekil 3.13: Duvar numunesinin AR Glass içerikli kompozit plakalarla güçlendirme aşamaları.



Şekil 3.14: 6 kat AR Glass kompozit plakalarla güçlendirilmiş duvar numunesi a) Önden görünüş b) Yandan görünüş.

Diğer taraftan, kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi, kayma modülü gibi deney parametrelerinin belirlenmesi amacıyla üretilen bütün deney numunelerinin numune kodları, güçlendirme yöntemleri, kullanılan tekstil malzemeleri ve plakaların kaç katlı olduğu ayrıca Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Deney grupları.

| Numune Sırası | Duvar Numune Kodu | Güçlendirme Yöntemi | TRCC Plakanın kat sayısı | TRCC Tekstil Malzemesi |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 | G-4-P-1 | Duvarın tek yüzünde güçlendirme var | 4 | PVA |
| 2 | G-4-P-2 | Duvarın iki yüzünde güçlendirme var | 4 | PVA |
| 3 | G-6-P-1 | Duvarın tek yüzünde güçlendirme var | 6 | PVA |
| 4 | G-6-P-2 | Duvarın iki yüzünde güçlendirme var | 6 | PVA |
| 5 | G-4-A-1 | Duvarın tek yüzünde güçlendirme var | 4 | AR Glass |
| 6 | G-4-A-2 | Duvarın iki yüzünde güçlendirme var | 4 | AR Glass |
| 7 | G-6-A-2 | Duvarın iki yüzünde güçlendirme var | 6 | AR Glass |
| 8 | R-1 | Güçlendirilmemiş şahit numune | - | - |
| 9 | R-2 | Güçlendirilmemiş şahit numune | - | - |

Kompozit plakalar duvar numunelerinin üzerlerine yapıştırıldıktan sonra numunelerin dayanım kazanmaları için 28 gün beklenildi. Sonraki aşamada deney esnasında yerdeğiştirme ölçerlerin sağlıklı sonuçlar vermesi için yerdeğiştirme ölçerlerin kendisine bağlanacağı tijler için delikler açıldı (Şekil 3.15).



Şekil 3.15: Tijlerin yerleştirileceği ankraj delikleri.

Bu delikler, her bir numune diyagonal olarak ele alındığında köşegenlerin her iki ucundan 250 mm pay bırakılarak oluşturuldu. Aynı köşegen üzerinde yer alan bu delikler arası mesafe 570 mm olarak ayarlandı. 60~70 mm derinliğinde açılan bu deliklere her biri 140 mm uzunluğunda ve 10 mm kalınlığında olan tijler epoksi yardımıyla yerleştirildi. Bu işlemde, beton, tuğla, taş gibi sert ve/veya boşluklu yüzeyler için geliştirilen EMS Dubell marka F. 1311 cinsi kimyasal dübel epoksi kullanıldı (Şekil 3.16).



Şekil 3.16: Delik içerisini doldurmak için kullanılan epoksi ürünü.

Polyester reçine esaslı ve iki bileşenli olarak geliştirilen bu malzeme, kolay uygulanabilme, hızlı kuruma ve yüksek mukavemet gibi özelliklere sahiptir. Metsan Endüstriyel Yapıştırıcılar A.Ş. tarafından üretilen bu ürün tiksotropik olup düşük sıcaklıklarda bile yüksek verim sağlayan bir yapıştırıcı türüdür. Zaman ve işçilik tasarrufu sağlayan bu ürünün teknik özellikleri Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Çizelge 3.2: EMS Dubell F.1311 epoksi teknik özellikleri.

| | |
|----------------------|--|
| Görünüş | Tiksotropik harç |
| Renk | Gri |
| Kimyasal Bileşim | Geliştirilmiş polyester reçine ve anorganik dolgular |
| Viskozite | Tiksotropik |
| Kuru madde içeriği | % 100 |
| Özgül ağırlığı | 1.57 g/cm ³ |
| Muhafaza süresi | 18 ay (22 °C'de) |
| Hacim | 345 ml |
| Basınç dayanımı | 8.2 N/mm ² |
| Klorür iyonu içeriği | % 0.0056 |

Ankraj deliklerine tijler yerleştirildikten sonra duvar numunelerinin tüm yüzeyleri kireç ile beyaza boyanmıştır (Şekil 3.17). Bunun nedeni deney sırasında basınçtan dolayı meydana gelen yüzey çatlaklarının daha iyi görülebilmesini sağlamaktır. Numuneler kireç ile boyandıktan sonra köşegenlere dik ve paralel olarak 100 mm aralıklarla çizgiler çizilmek suretiyle karolaj yapılmıştır (Şekil 3.18). Bunun da nedeni duvar numunesinin yüzeyinde oluşan çatlakların boylarının daha iyi tespit edilebilmesidir.



Şekil 3.17: Tijleri yerleştirilen ve yüzeyleri kireç ile boyanan duvar numunesi.



Şekil 3.18: Duvar yüzeyine karolaj yapımı.

3.4 Malzeme Deneyleri

Bölme duvarların üretiminde kullanılan çimento harcı ve tuğla örnekleri ile TRCC plakaların duvar numuneleri üzerine yapıştırılmasında kullanılan özel çimento harcından alınan örnekler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki deney aletlerinde denenmiştir. Standart basınç dayanımları 2500 kN kapasiteli pres makinesinde gerçekleştirilmiştir.

3.4.1 Tuğla deneyleri

Duvar numunelerinin üretiminde kullanılan tuğlalar kullanımı yaygın olan ince cidarlı 190x190x135 mm boyutlarındaki tuğlalardır. Bu tuğlalardan 6 tane örnek alınarak 3 tanesi tuğla delik doğrultusunda, 3 tanesi de delik doğrultusuna dik olarak basınç değerleri belirlenmek üzere pres makinesinde denenmiştir (Şekil 3.19).



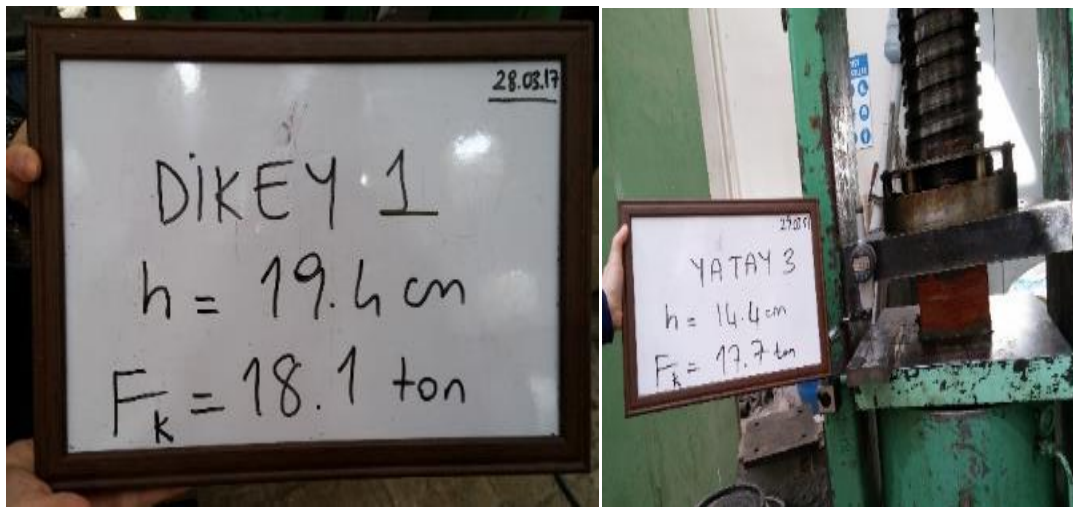
Şekil 3.19: Pres makinesinde basınç deneyi yapılan tuğla örneği.

Tuğlalar basınç deneyine tabi tutulmadan önce yüzeyleri üzerinde düzgün bir yüzey oluşturmak amacıyla başlıklar yapılmıştır. Numunelerin maksimum yüklemelere karşılık gelen maksimum basınç değerleri ve elastisite modülü değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. Numuneler adlandırılırken delik doğrultusunda denenilen numuneler dikey

(D-1, D-2, D-3), delik doğrultusuna dik olarak deneye tabi tutulan numuneler de yatay (Y-1, Y-2, Y-3) olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.20).

Çizelge 3.3: Tuğla basınç deneyi sonuçları.

| Numune Adı | P_{max} (kN) | σ_{max} (MPa) | E (MPa) |
|------------|----------------|----------------------|---------------|
| D-1 | 181 | 7.46 | 2295.2 |
| D-2 | 226 | 9.32 | 3073.7 |
| D-3 | 242 | 9.98 | 3167.3 |
| ORT | 216.3 | 8.92 | 2845.4 |
| Y-1 | 131 | 3.95 | 1469.4 |
| Y-2 | 185 | 5.59 | 1766.8 |
| Y-3 | 177 | 5.34 | 1514.1 |
| ORT | 164.3 | 4.96 | 1583.4 |



Şekil 3.20: Tuğla numunelerinin dikey ve yatay yük değerleri.

Duvarların üretiminde kullanılan standart beton harcı su, kum ve çimentodan oluşmaktadır. Bu beton harcının basınç dayanımının belirlenebilmesi için standart 3 silindir numunesi (150x300 mm) alındı. Bu silindir numuneleri pres makinesinde deneye tabi tutularak basınç dayanımları tespit edilmiştir (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4: Beton harcı basınç deneyi sonuçları.

| Numune No | H (mm) | d (mm) | P_{max} (kN) | σ_{max} (MPa) |
|------------------|---------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 1 | | | 126.48 | 7.16 |
| 2 | 300 | 150 | 118.36 | 6.70 |
| 3 | | | 123.62 | 7.00 |
| | | | P_{ort} = 122.82 | σ_{ort} = 6.95 |

3.4.2 TRCC plaka bağlayıcı harç deneyleri

Bölme duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan TRCC plakaların duvar yüzeylerine yapıştırılması için kullanılan özel çimento harcından alınan 4x4x16 cm ebatlarındaki dikdörtgen prizma numuneler İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki pres makinesinde deneye tabi tutulmuş ve basınç değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.21). Bu deneyler için toplam 3 adet prizma numunesi alınmıştır. Duvar harcı numuneleri için ayrıca eğilme deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Numuneler için önce eğilme, sonra basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bağlayıcı harç numuneleri için yapılan üç noktalı eğilme deneyleri Şekil 3.22’de verilmiştir. Duvar ve plakalar arasında bağlayıcı görev gören yapıştırma harcı için alınan 28 günlük eğilme ve basınç deneyi sonuçları Çizelge 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.21: Duvar harcı basınç deneyi.



Şekil 3.22: Duvar harcı eğilme deneyi ve verilerin kaydedildiği bilgisayar.

Çizelge 3.5: Duvar bağlayıcı harcı eğilme ve basınç deneyi sonuçları.

| Numune No | 28. gün Eğilme Dayanımı (MPa) | 28. Gün Basınç Dayanımı (MPa) |
|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Duvar Harcı | 10.3 | 40.3 |
| | 10.8 | 41.1 |
| | 10.1 | 42.5 |
| Ortalama | 10.4 | 41.3 |

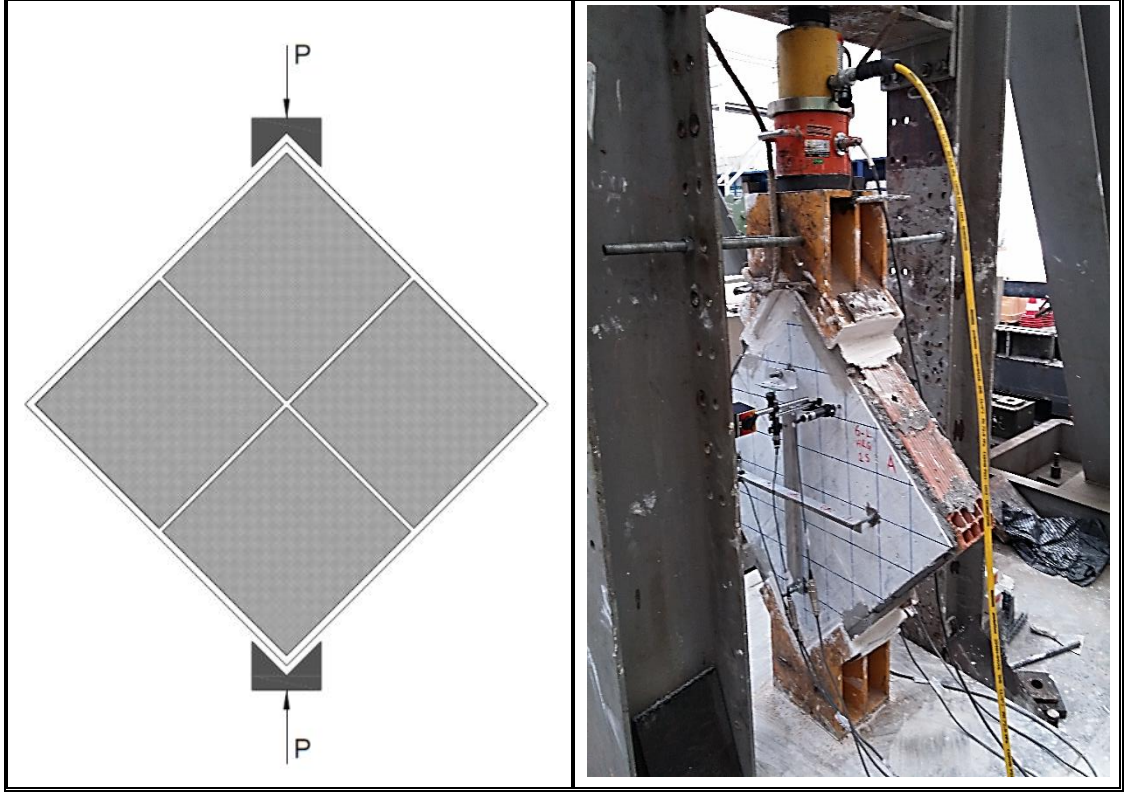
3.5 Deney Düzenegi

3.5.1 Yükleme düzenegi

Deneyel çalışmaların bu bölümünde TRCC kompozit plakalarla güçlendirilmiş duvar numunelerinin ‘Diyagonal Kayma Deneyleri’ yer almaktadır. Yapılan deneylerde ASTM-E 519-15 (2015)’de açıklanan bölme duvarlı yapılar için önerilen kayma gerilmesi deney tekniği kullanılmıştır. Bu deneylerde 760x760 mm boyutlarındaki bölme duvar numuneleri 45° döndürülerek, köşegenlerden biri düşeyde diğeri yatayda olacak şekilde diyagonal olarak yerleştirilmek suretiyle düşey basınç kuvvetlerinin etkisinde monotonik artan yükler altında denenmiştir. Duvar numuneleri bu yükler altında göçmeye kadar zorlanmış, kayma dayanımlarının ve kayma rijitliklerinin doğrusal olmayan bölgedeki değişimleri test edilmiştir (Şekil 3.23). Numunelerin deney düzenegine diyagonal olarak yerleştirilmesi sırasında alt ve üst çelik başlıklar kullanılmıştır (Şekil 3.24). Bu başlıklar, deney sırasında hareketlerinin önlenmesi amacıyla kaynak makinesi ile sabitlenmiştir ve numuneler diyagonal olarak bu başlıkların içerisine yerleştirilmiştir. Başlıklarının numunenin köşegenlerine yerleştirilmesinin temel amacı uygulanan kuvvetin numuneye homojen bir şekilde aktarılmasıdır. Avrupa standartlarından alınan ve kesitinin adı UPN 350 olarak geçen bu çelik başlıkların boyutları ve özellikleri Çizelge 3.6’de gösterilmiştir.

Deneylerde yükleme 1000 kN kapasiteli bir hidrolik kriko ile yapılmış ve yük değerleri 1000 kN kapasiteli bir yük ölçer (Load Cell) kullanılarak ölçülmüştür. Yükleme adımları saniyede 10 kN’luk artımlar ile yükleme hızı sabit tutulmaya çalışılarak

uygulanmıştır. Numunenin göçme yükünün yaklaşık % 30'una kadar iki defa yükleme boşaltma uygulanmış, üçüncü seferde numune göçme yüküne kadar yüklenmiştir.

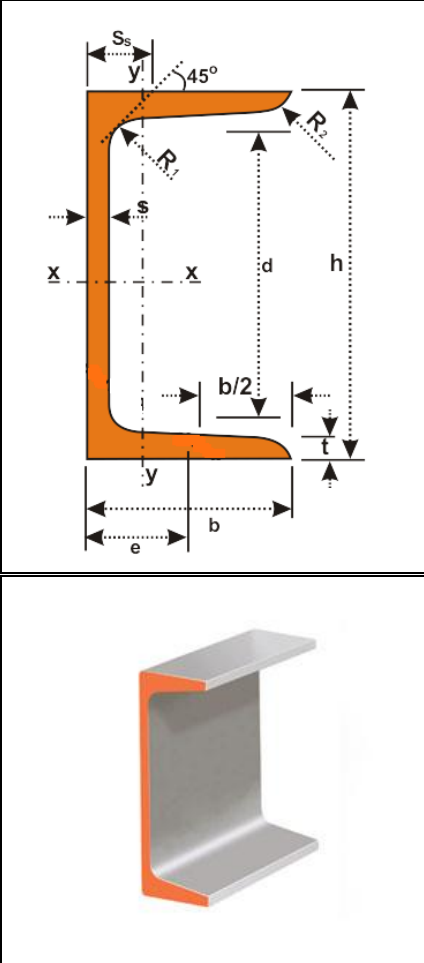


Şekil 3.23: Yükleme düzeneği.



Şekil 3.24: Alt ve üst çelik yükleme başlıkları.

Çizelge 3.6: Çelik yükleme başlıklarının boyutları ve özellikleri.

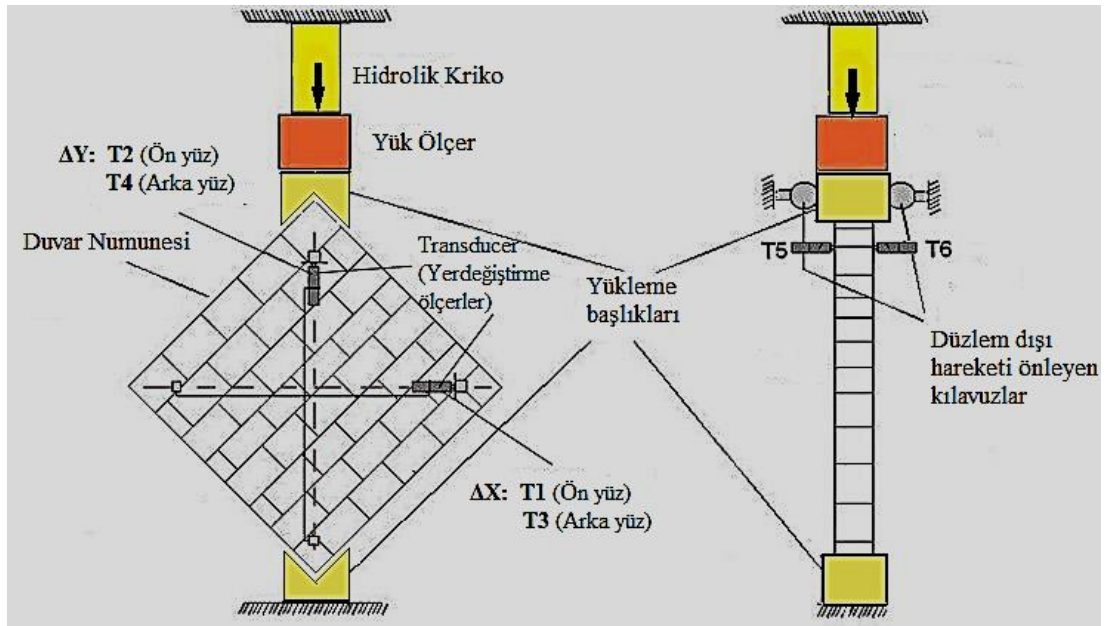
| UPN 350 Özellik | Birim | Değer | |
|---------------------------|-------------------|-------|---|
| G | kg/m | 60.6 |  |
| b | mm | 100 | |
| h | mm | 350 | |
| s | mm | 14 | |
| t=R ₁ | mm | 16 | |
| R ₂ | mm | 8 | |
| e | mm | - | |
| A (Kesit A.) | cm ² | 77.3 | |
| d | mm | 282 | |
| φ | - | M22 | |
| e _{min} | mm | 56 | |
| e _{max} | mm | 62 | |
| A _L (Yüzey A.) | m ² /m | 1.05 | |
| A _G (Yüzey A.) | m ² /t | 17.25 | |

3.5.2 Ölçüm düzeneği

Bölme duvar numunelerinin yatay ve düşey yer değiştirmeleri, numunenin her iki yüzüne yerleştirilen toplam 4 adet 25 mm kapasiteli yerdeğiştirme ölçer (LVDT) kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin düzlem dışı hareketini kontrol edebilmek amacıyla 2 adet 25 mm kapasiteli LVDT yerdeğiştirme ölçerler ile de düzlem dışı yerdeğiştirmeler ölçülmüştür (Şekil 3.25, Şekil 3.26). Yük ölçer ve yerdeğiştirme ölçerler ile her bir yük artımında ölçülen değerler veri toplayıcı (Data Logger) ile bilgisayara aktarılmış ve özel bir bilgisayar programı kullanılarak kaydedilmiştir. Her bir yükleme adımı sonunda oluşan çatlaklar ve deney sonunda numunenin göçme şekli ve kırılmalar detaylı bir şekilde fotoğraflanmış ve kaydedilmiştir.



Şekil 3.25: Yerdeğiştirme ölçerler (Transducer, LVDT).



Şekil 3.26: Yerdeğiştirme ölçerlerin numune üzerindeki yerleri.

3.6 Diyagonal Kayma DeneYleri

Bölme duvarlarda kayma deneYleri; test edilen duvar numunelerinin, kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirme ilişkisi ile kayma modülü ve göçme modu ile ilgili deneysel ve analitik çalışmalardır. Numunelere ait bu özelliklerin ve değerlerin elde edilmesinde kullanılan formül ve semboller aşağıda açıklanmıştır. Buna göre kayma gerilmesi (τ),

$$\tau = \frac{0.707 * P}{A_n} \quad (3.1)$$

Burada,

$P \rightarrow$ uygulanan yük (kN),

$A_n \rightarrow$ duvar net en kesit alanıdır (mm²).

Kayma en kesit alanı A_n ise denklem 3.2'de verilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$A_n = [(w + h)/2] * t * n \quad (3.2)$$

Burada,

$w \rightarrow$ numune genişliği (mm), $h \rightarrow$ numune yüksekliği (mm),

$t \rightarrow$ numune toplam kalınlığı (mm) ve $n \rightarrow$ numune enkesit alanı doluluk oranıdır.

Kayma şekil değiştirmesi (γ) ise numunede oluşan düşey birim kısalma ile yatay birim uzamanın toplamına bağlı olarak hesaplanmıştır. Buna göre kayma şekil değiştirmesi (γ) denklem 3.3'te görüldüğü gibidir;

$$\gamma = [(\Delta V/g_v) + (\Delta H/g_h)] \quad (3.3)$$

Yukarıdaki denklemde;

(ΔV) \rightarrow numunede, yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen düşey ölçüm boyunda meydana gelen değişim (mm)

(ΔH) \rightarrow numunede, yerdeğiştirme ölçerlerden elde edilen yatay ölçüm boyunda meydana gelen değişim (mm)

$g_v \rightarrow$ yerdeğiştirme ölçerin düşey ölçüm aralığı (mm)

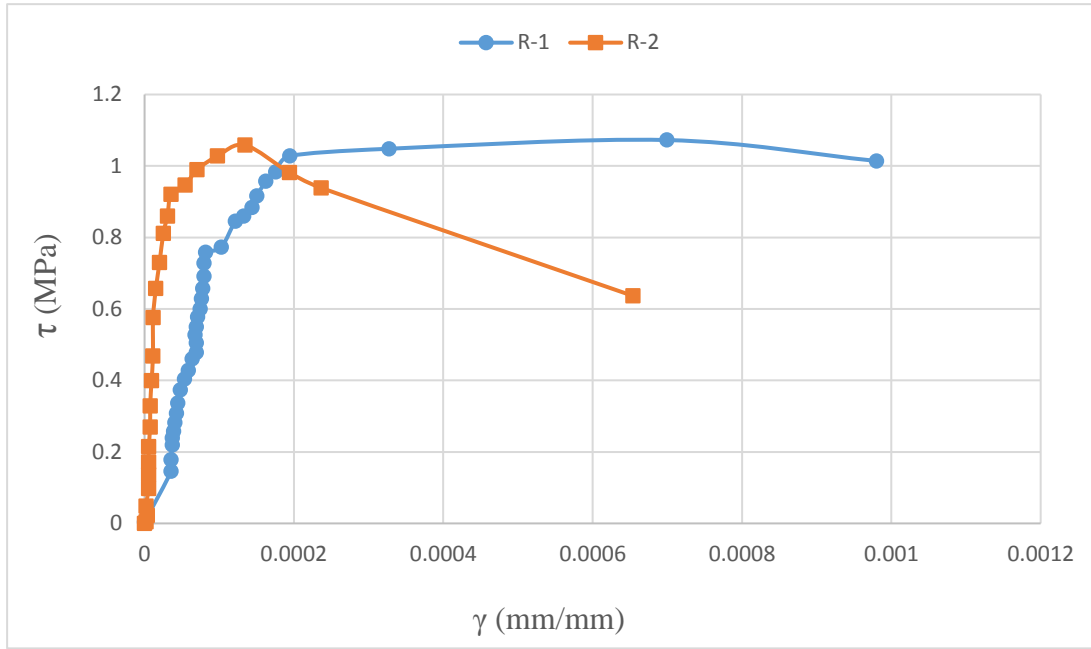
$g_h \rightarrow$ yerdeğiştirme ölçerin yatay ölçüm aralığı (mm) olarak verilmiştir.

Kayma modülü (G), kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisinde, duvar numunelerinin maksimum kayma dayanımlarının % 5 ile % 30'u arasındaki eğim olarak tanımlanmıştır. Bu eğriler yerdeğiştirme ölçerler ile toplanan veriler kullanılarak çizilmiştir. Hazırlanma süreci ve aşamaları yukarıda izah edilen bölme duvar numuneleri, ASTM E519-15'de belirtilen deney tekniklerine uygun olarak diyagonal kayma deneylerine tabi tutulmuş ve sonuçları kaydedilmiştir.

Hazırlanan bölme duvar numunelerinin 45° döndürülmesiyle düşey basınç kuvveti etkisi ve monotonik artan yükleme altında diyagonal kayma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Motorlu bir kriko kullanılarak ve yükleme hızı da sabit tutularak yükleme yapılmıştır. Bu yükleme 10 kN'luk artımlarla yapılmış ve yük ölçer (Load Cell) ile kontrol edilmiştir. Numunenin göçme yükünün yaklaşık % 30'una kadar iki defa yükleme-boşaltma yapılmış ve son durumda da numuneler göçmeye kadar zorlanmıştır. Buna bağlı olarak duvar kayma dayanımlarının ve kayma rijitliklerinin değişimleri doğrusal olmayan bölgede incelenmiştir. Yapılan kayma deneylerinde, duvar yüzeylerinde meydana gelen çatlaklar kalemle işaretlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Bu çatlaklar harfler ile isimlendirilmiştir. Duvar ön yüzeyinde meydana gelen çatlaklar 'A' harfi ile isimlendirilmiş ve çatlak sayısınca bu harfin yanına sayılar konulmak suretiyle işaretlemeler yapılmıştır. Duvar ön yüzünde meydana gelen ilk çatlak için 'A1', ikinci çatlak için 'A2' ismi verilmiş ve meydana gelen diğer çatlaklarda bu metoda göre işaretlenmiş ve isimlendirilmiştir. Duvar arka yüzeyinde oluşan çatlaklar ise 'B' harfi ile isimlendirilmiştir. Ön yüzeyde olduğu gibi çatlak adedince numaralandırma yapılarak çatlaklar işaretlenmiştir. Duvar numunesinin, laboratuvarın deney alanına bakan yüzü ön yüz veya 'A' yüzü, laboratuvar giriş-çıkış kapısına bakan yüzü ise arka yüz veya 'B' yüzü diye ifade edilmiştir.

3.6.1 Güçlendirilmemiş duvar numuneleri (referans numuneler) kayma deneyleri

Diyagonal kayma deneylerinde ilk deneyler güçlendirilmemiş referans (şahit) numuneleri ile yapılmıştır. Deneye ilk sırada başlanan bu duvar numuneleri R kodlu şahit (referans) numuneleri olup 2 tanedir. Bu şahit numuneler diyagonal basınç yükü altında deneye tabi tutulmuş ve bu yük altında numunelerin davranışları incelenmiştir. Numunelerin üzerlerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerin kaydettiği değerler kullanılarak bu numunelere ait kayma gerilmesi- kayma şekil değiştirmesi ilişkileri değerlendirilmiş ve eğrileri çizilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27: Referans numunelerine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi eğrileri.

Bu gruba ait deneyler devam ederken elde edilen veriler deney sonunda kullanılarak numunelerin deneysel parametreleri hesaplanmış, bu deneysel parametreler (Çizelge 3.7) ve bunlara ait istatistiksel değerler (Çizelge 3.8)'de verilmiştir. Bu referans numuneleri R-1 ve R-2 olarak adlandırıldı. Deneyde ilk olarak R-1 kodlu duvar numunesi denendi ve deney esnasında numunede gözlenen değışimler detaylı olarak kaydedildi.

Çizelge 3.7: R numuneleri deney sonuçları.

| Numune Adı | τ_{\max} (MPa) | $\gamma_{\tau_{\max}}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| R-1 | 1.07 | 0.070 | 3830 |
| R-2 | 1.06 | 0.013 | 4714 |

Çizelge 3.8: R numuneleri istatistiksel değerleri.

| İstatistiksel değerler | Ortalama değerleri |
|-----------------------------------|--------------------|
| τ_{\max} (MPa) | 1.065 |
| $\gamma_{\tau_{\max}}$ (mm/mm)(%) | 0.042 |
| G (MPa) | 4272 |

R-1 numunesinin deneyine başlarken alt başlığın içerisine normal sıva alçısı konuldu. Alçı ile başlık içerisine sabitlenen numunenin üzerine de aynı şekilde üst başlık ile numune arasında boşluk kalmayacak şekilde alçı konuldu ve numunenin tespiti yapıldı. Diyagonal olarak yerleştirilen numunenin her iki yüzeyinde 570 mm aralıklı tijler arasına x ve y doğrultularında 25 mm kapasiteli yerdeğiştirme ölçerler yerleştirildi. Numunenin düzlem dışı hareketini gözlemlemek için de yine numunenin her iki yüzeyine yerden 830 mm mesafede 2 adet 10 mm kapasiteli yerdeğiştirme ölçer yerleştirildi (Şekil 3.28). Üst başlık üzerine yük ölçer ve hidrolik kriko yerleştirildi ve tüm bu enstrümantasyon çalışmaları yapıldıktan sonra deneye başlandı.

R-1 numunesinde deney boyunca aşağıdaki olaylar gözlenmiştir;

Numunede ilk çatlak 2. yükleme çevriminde, 165 kN'da numunenin arka yüzünde (B yüzü) meydana geldi. Bu çatlak "B1" çatlağı olarak işaretlendi (Şekil 3.29). Çatlağın genişliği 0.7 mm olarak ölçüldü.



Şekil 3.28: R-1 numunesinin deney düzeneği.

170 kN’da numuneden yüksek çatırdama sesleri geldi. Bu sefer numunenin hem arka yüzünde hem ön yüzünde çatlaklar meydana geldi. Arka yüzündeki “B1” çatlağı genişledi ve buna paralel “B2” “B3” “B4” ve “B5” geniş çatlaklar oluştu. Ön yüzünde ise yaklaşık 0.9 mm genişliğinde “A1” çatlağı, genişliği 1 mm’ den büyük “A2” ve “A4” çatlakları ve boylu boyunca geniş bir “A3” çatlağı meydana geldi (Şekil 3.29). Meydana gelen bu ani çatlaklar sonucu, numunede 173 kN’da gevrek bir göçme meydana gelmiştir. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 3.30’da verilmiştir.

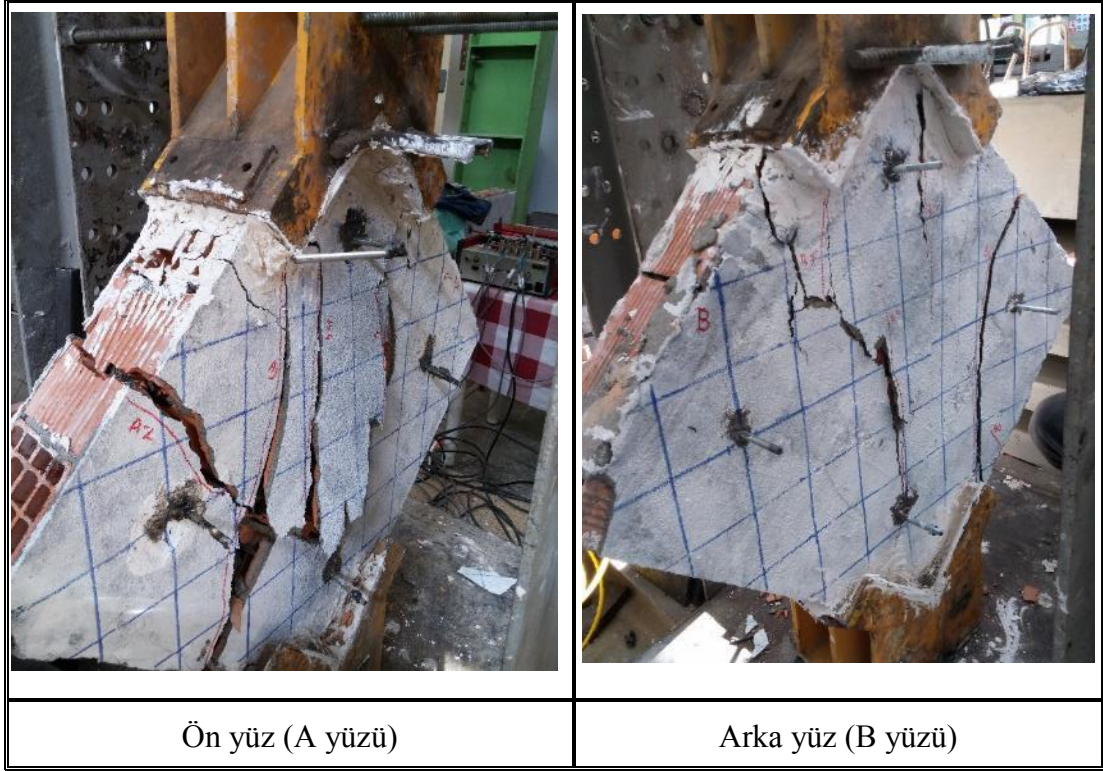


a



b

Şekil 3.29: R-1 numunesinde meydana gelen çatlaklar a) Ön yüz (A) çatlakları b) Arka yüz (B) çatlakları.



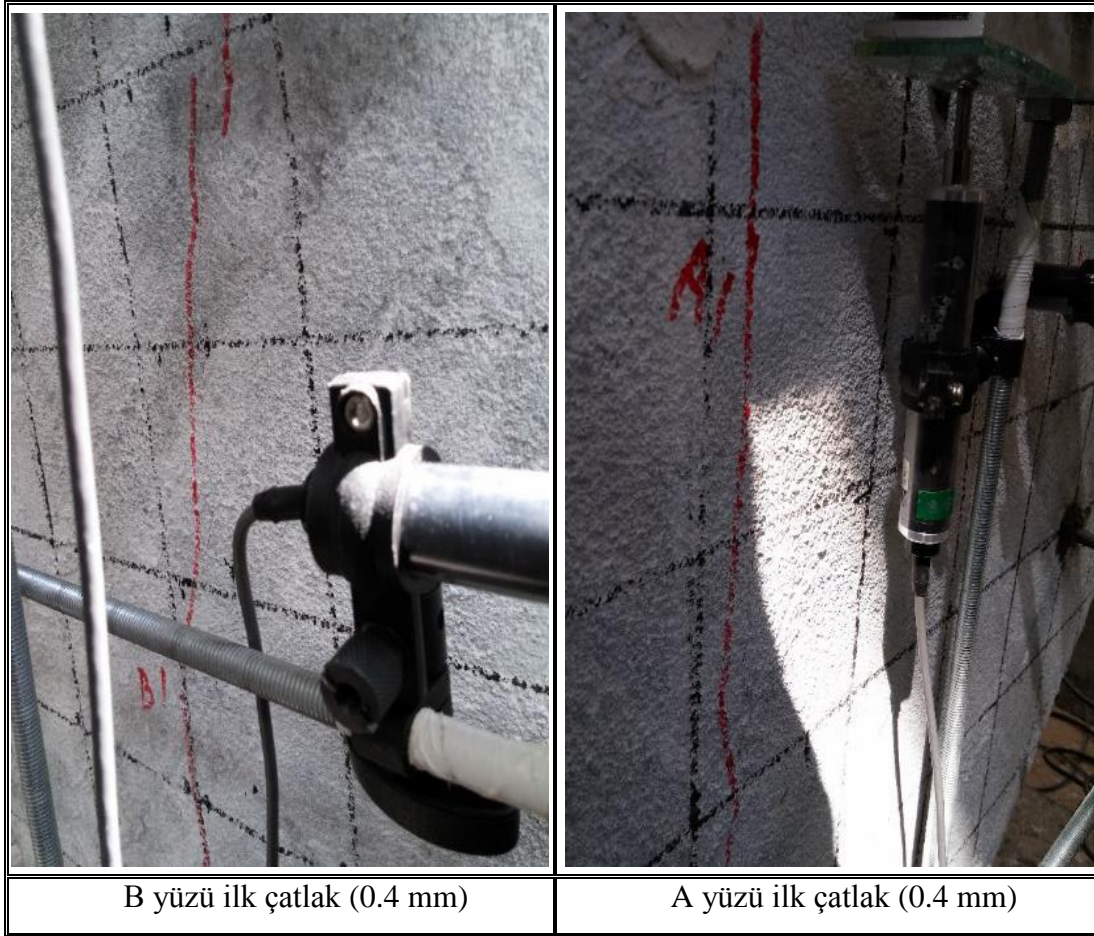
Şekil 3.30: R-1 numunesi göçme sonrası hasar durumu.

Güçlendirilmemiş diğer bir numune olan R-2 numunesi de ilk şahit numunede olduğu gibi aynı adımlar izlenerek hazırlanmıştır (Şekil 3.31).

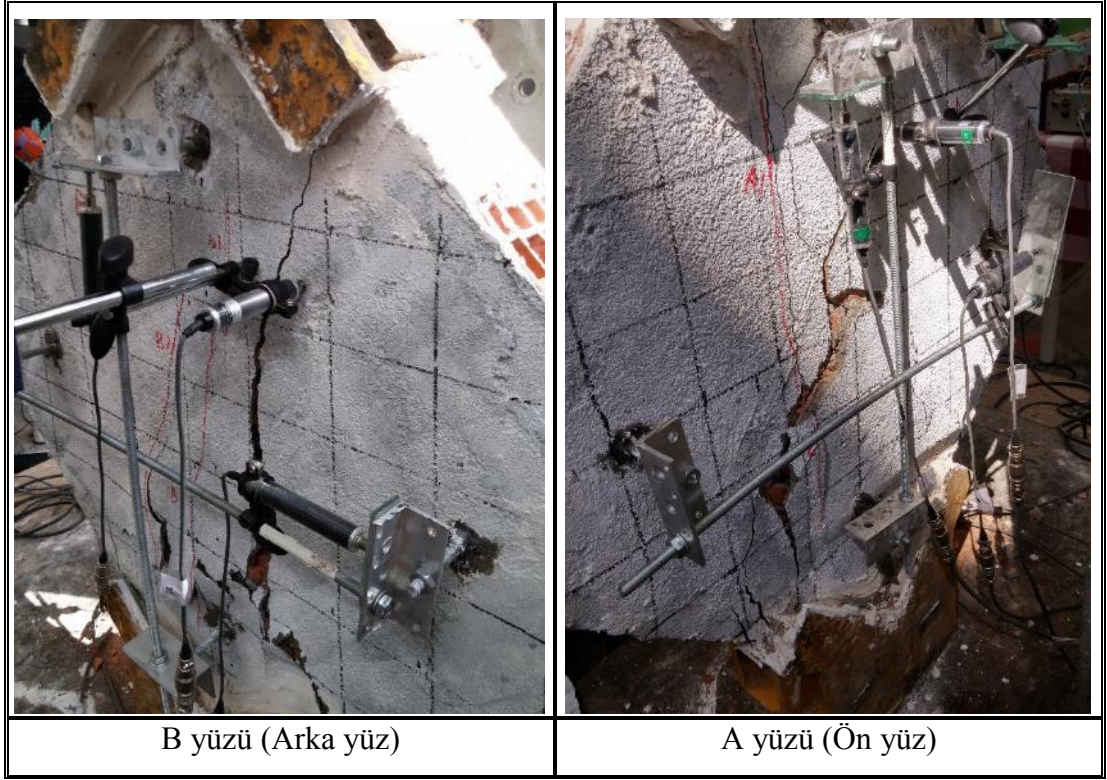


Şekil 3.31: R-2 numunesinin deney düzeneği.

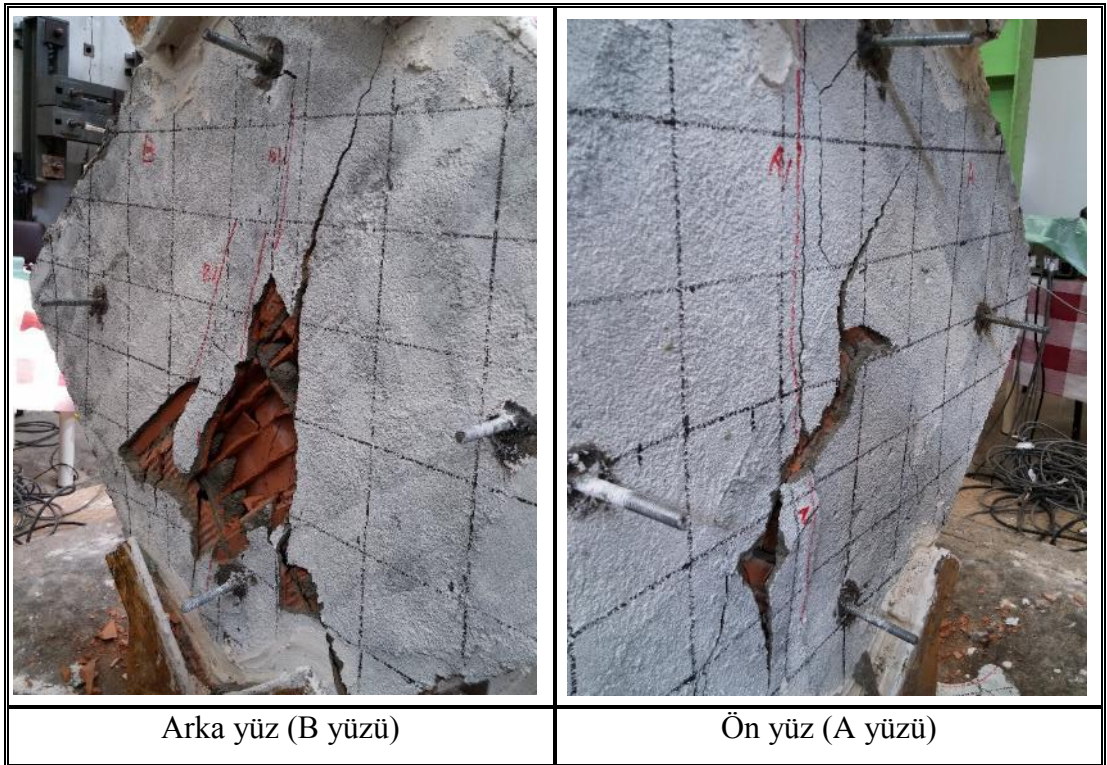
R-2 numunesinin deneyinde meydana gelen önemli gözlemler ise şöyle özetlenebilir. 2. yükleme çevriminde 105 kN'da numunenin içerisinde ilk çatlama sesi duyulmuştur. Ancak bu çatlamlar yüzeyde belirmemiştir. 148 kN'a kadar çatlama sesleri devam etmiştir. 148.4 kN'da ise ilk çatlama ilk numunede olduğu gibi yine 'B' yüzeyinde meydana gelmiştir. Bu çatlağın genişliği ise 0.4 mm olarak ölçülmüştür ve bu çatlak boylu boyunca bir çatlak olarak işaretlenmiştir. Devam eden yük artımında A yüzünde de 0.4 mm genişliğinde bir çatlak meydana gelmiştir (Şekil 3.32). Devam eden yük artımında B yüzünde 'B2' ve 'B3' çatlakları A yüzünde 'A2' çatlağı meydana gelmiştir (Şekil 3.33). 170 kN'a kadar çatlaklar genişlemeye devam etmiştir ve 170.6 kN'da ani bir göçme meydana gelmiştir. Numunenin deney sonrası hasar durumu Şekil 3.34'de verilmiştir.



Şekil 3.32: R-2 numunesinde meydana gelen ilk çatlaklar.



Şekil 3.33: R-2 numunesinin ön ve arka yüzlerinde meydana gelen tüm çatlaklar.



Şekil 3.34: R-2 numunesi göçme sonrası hasar durumu.

3.6.2 Güçlendirilmiş bölme duvar kayma deneyleri

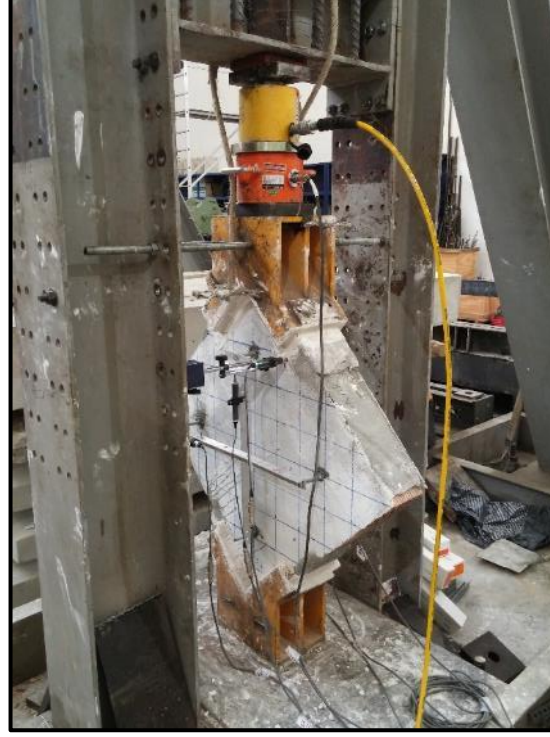
Diyagonal basınç etkileri altında deneye tabi tutulan güçlendirilmiş bölme duvar numunelerinin davranışları bu bölümde açıklanmıştır. Farklı şekillerde 7 adet üretilen güçlendirilmiş bu numuneler, tek yüzünde veya iki yüzünde 4 katlı veya 6 katlı PVA veya AR Glass kompozit plakalar bulunan duvar numuneleridir. Güçlendirilmiş numunelerde deneye ilk olarak tek yüzeyi 4 kat PVA içerikli kompozit plaka ile güçlendirilmiş numune (G-4-P-1) ile başlanılmıştır. Bundan sonra sırasıyla iki yüzü 4 katlı PVA içerikli kompozit plaka ile güçlendirilmiş numune (G-4-P-2), tek yüzeyi 6 kat PVA ile güçlendirilmiş numune (G-6-P-1) ve iki yüzeyi 6 kat PVA ile güçlendirilmiş numune (G-6-P-2) ile devam edilmiştir.

PVA içerikli plakalarla güçlendirilmiş numunelerden sonra AR Glass içerikli kompozit plakalarla güçlendirilmiş duvar numuneleri denenmiştir. Bu numunelerde ise deneye ilk olarak tek yüzeyi 4 kat AR Glass tekstil içerikli kompozit plaka ile güçlendirilmiş numune (G-4-A-1) ile başlanılmıştır. Bundan sonra sırasıyla iki yüzeyi 4 kat AR Glass ile güçlendirilmiş numune (G-4-A-2) ve iki yüzeyi 6 kat AR Glass tekstil içerikli kompozit plaka ile güçlendirilmiş numune (G-6-A-2) ile devam edilmiştir. Güçlendirme aşamasında her bir duvar yüzeyine 4 adet plaka yapıştırılmış olup, bu 7 adet duvar numunesi için toplamda 44 adet plaka kullanılmıştır. Bunlardan 12 adedi 4 kat PVA, 12 adedi 6 kat PVA, 12 adedi 4 kat AR Glass ve 8 adedi 6 kat AR Glass kompozit plakalardır. Plakalar duvarın ebatlarına uygun olarak ve her iki plaka arasında derz bırakılacak şekilde 360x360 mm olarak kesilmiştir. Bu numuneler hakkında geniş bilgi için Bölüm 3.3 ve Çizelge 3.1'e bakılabilir. Bu numunelerin üzerlerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler yardımıyla, deney esnasında kaydedilen değerler kullanılarak elde edilen kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri verilmiş ve aynı zamanda deneysel parametreler hesaplanmıştır.

3.6.2.1 G-4-A-1 numunesi kayma deneyi

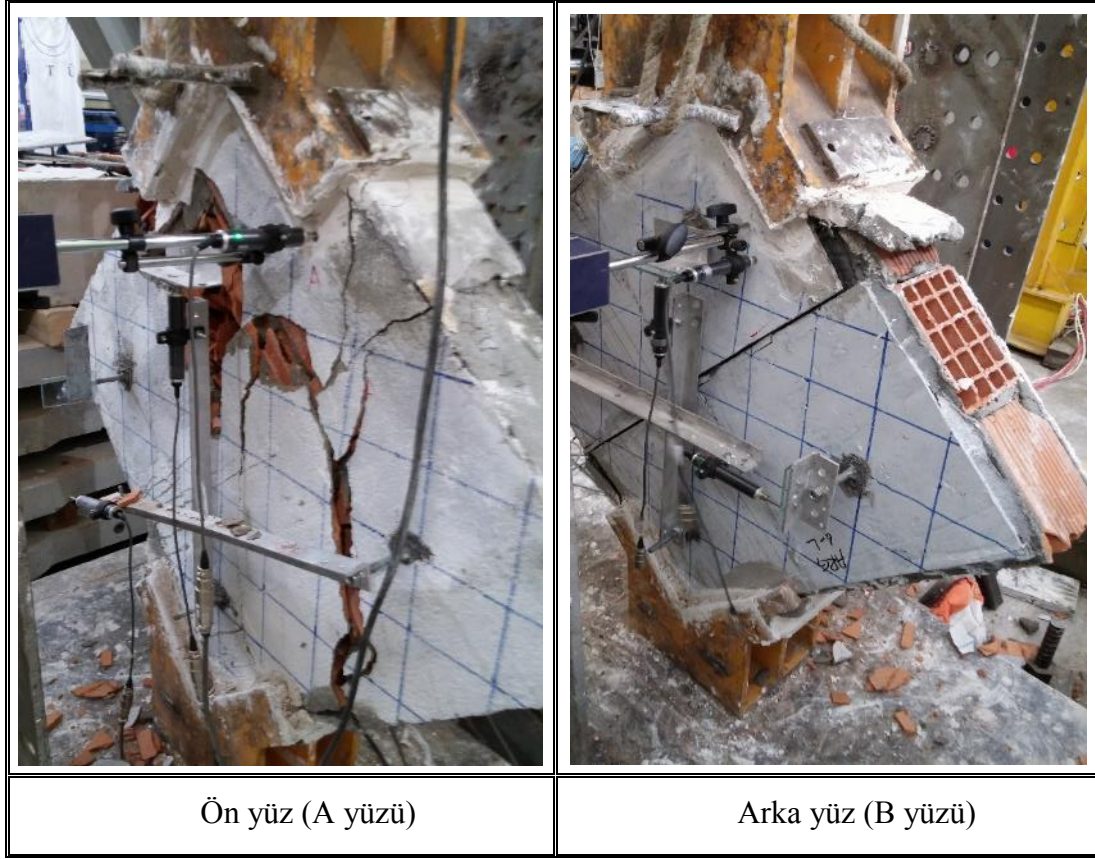
G-4-A-1 numunesi tek yüzünde 4 adet 4 kat AR Glass tekstil içerikli kompozit plakalar bulunan G kodlu duvar numunesidir. Şahit numuneler için yapılan deneyler güçlendirilmiş bu duvar numunesi için de aynı şekilde tekrarlanmıştır. Numunenin diyagonal kayma etkileri altındaki davranışı incelenmiş, hesaplanan deneysel parametreler ve elde edilen eğriler kullanılarak şahit numuneler ile kıyaslanmıştır. Deneyine başlanan numune ilk olarak diyagonal bir şekilde alt ve üst başlıklar arasına yerleştirilmiştir. Terazeye alınan ve dikliği sağlanan numune ile başlıklar arasında

kalan boşluklar alçı ile doldurularak tespiti yapılmıştır. Alçı kuruduktan sonra enstrümantasyon işlemleri yapılmıştır. Numunenin her iki yüzeyine x ve y doğrultularında yerdeğiştirme ölçerler (LVDT) yerleştirilmiştir. Düzlem dışı hareketi belirlemek için de 2 adet transducer (LVDT) numunenin yüzeylerine dik olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.35).



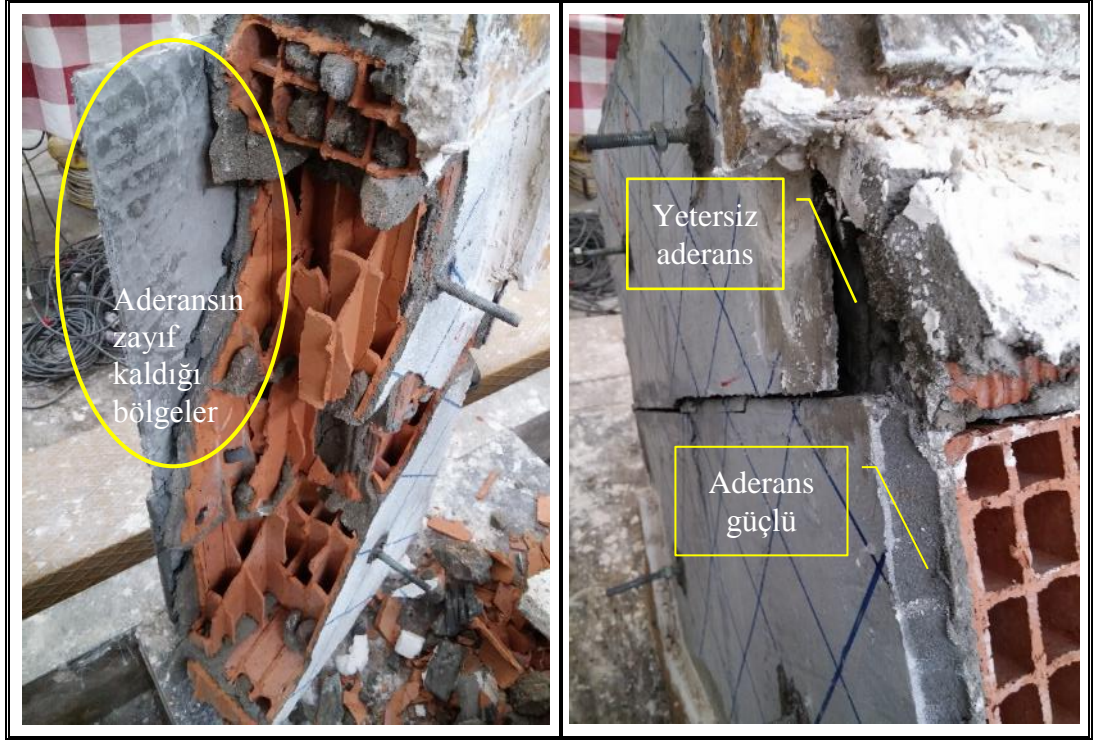
Şekil 3.35: G-4-A-1 numunesinin deney düzeneği.

AR Glass tekstil içerikli kompozit plakalarla güçlendirilen bu duvar numunesinde tek yüzeye 4 kat uygulanan tekstil ürününün duvarın diyagonal basınç altındaki davranışına katkısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deney esnasında göçme yükünün % 20~25' ine kadar iki defa yükleme boşaltma yapılmıştır. Bunun nedeni numune ile başlıklar arasında kalan boşlukların tamamen doldurulup numunenin tam yerleşmesinin sağlanması ve deney esnasında daha sağlıklı verilerin elde edilmesidir. 3. çevrimde ise monotonik artan yükler altında duvar yüzeyinde meydana gelen değişimler ve çatlaklar gözlemlenmiş ve fotoğraflanarak kaydedilmiştir. Artan yükler altında güçlendirmenin olduğu yüzeyde oluşan ilk çatlakla beraber numune derz bölgelerinden 195.8 kN'da ani bir şekilde göçmüştür. Göçme sonrası numunenin durumu Şekil 3.36'da verilmiştir.



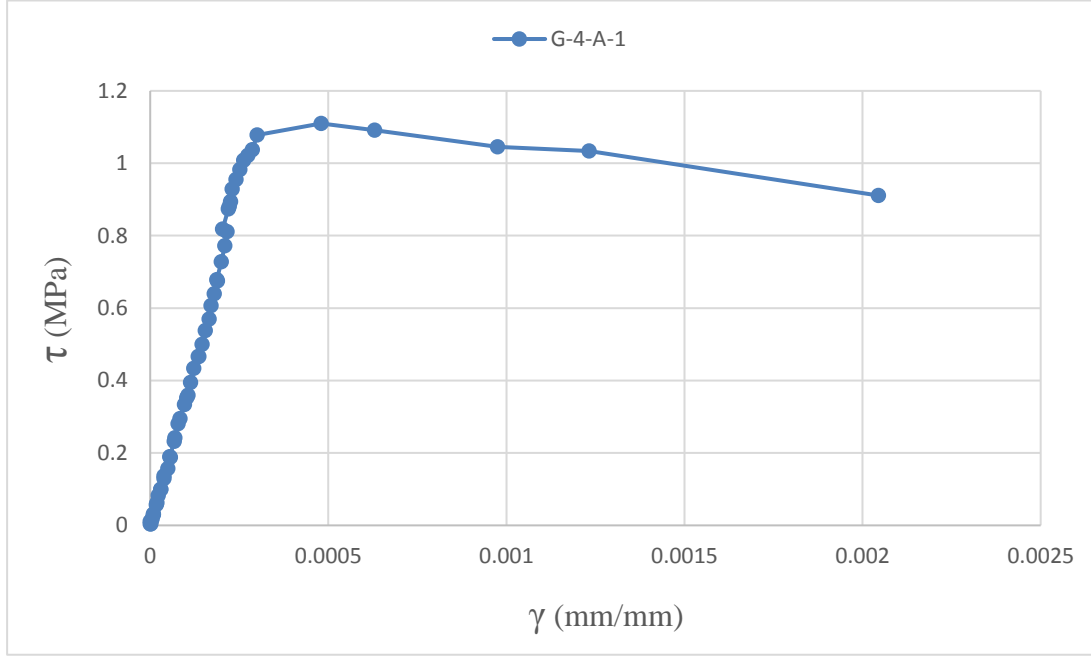
Şekil 3.36: G-4-A-1 numunesinin göçme sonrası hasar durumu.

Referans numuneleriyle kıyaslandığında G-4-A-1 numunesinin maksimum yük değerinde % 14'lük bir artış meydana gelmiştir. Bu oranın az olmasına sebep olarak güçlendirme uygulamasının tek yüzeyde olması, imalat kusurları nedeniyle bazı plakalarla yapıştırma harcı arasında iyi aderans sağlanırken ve hiç boşluk kalmazken bazı plakalarda ise yeterli aderansın sağlanamaması ve plakalarla duvar harcı arasında boşlukların olması, dolayısıyla plakaların istenilen yük taşıma kapasitesine çıkamaması ve güçlendirmenin zayıf kaldığı bölgeden erken göçmenin meydana gelmesi gösterilebilir (Şekil 3.37). Diğer taraftan duvar ile bazı plakalar arasında, uygulanan yapıştırma harcının ideal kalınlığının üzerinde olması, yükün böyle olan yerlerde bu plakalardan çok yapıştırma harcı tarafından taşınmasına neden olmaktadır. Yapıştırma harcı ile arasındaki aderansın iyi sağlandığı ve hiç boşluğun olmadığı plakalar göçme sonrasında incelendiğinde, plakayı oluşturan ilk katmanın yük taşıdığı ancak plakanın istenilen kapasitesine ulaşmadan numunenin göçtüğü anlaşılmaktadır. Ayrıca bu plakalar duvar numunesinin göçme anında dağılmasını engellemektedir.



Şekil 3.37: Duvarlar üretilirken yapılan imalat hataları ve yetersiz aderans ve boşluklardan kaynaklanan ayrılmalar.

Şekil 3.23'deki yükleme düzeneğinde de görüldüğü gibi, 1000 kN kapasiteli hidrolik krikonun altında üst başlık üzerine yerleştirilen yük ölçer (Load Cell) aracılığıyla okunan yük değerleri, Data Logger yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Denklem 3.1 ve 3.3'de verildiği gibi söz konusu denklemler kullanılarak duvar numunesi için kayma dayanımı ve kayma şekil değiştirmesi değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu deneysel parametreler kullanılarak kayma dayanımı-kayma şekil değiştirmesi eğrisi çizilmiştir (Şekil 3.38). Bu parametreler, kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü olarak ifade edilebilir. Bilgisayara kaydedilen bu değerler Çizelge 3.9'da verilmiştir. Deneyleri yapılan bu tuğla duvar numuneleri esasında gevrek bir yapıya sahip olduğu için rijit bir davranış sergilemiştir ve bu yüzden de maksimum yük kapasitesine ulaştığında ani göçmeler meydana gelmiştir. Diğer taraftan üretilen kompozit plakaların çok katlı olması ve kalınlıklarının yer yer 10 mm'nin üzerinde olması duvar numunesinin daha gevrek bir yapıya sahip olmasına neden olmuştur ve güçlendirmenin olduğu numunelerin rijitlikleri ekseriyetle şahit numunelere göre daha fazla çıkmıştır. Bununla birlikte en rijit davranışı sergileyen numunelerin, güçlendirmenin iki yüzde olduğu duvar numuneleri olduğu gözlemlenmiştir (Bkz. Çizelge 3.25).



Şekil 3.38: G-4-A-1 numunesine ait kayma dayanımı-kayma şekil değıştirmesi eğrisi.

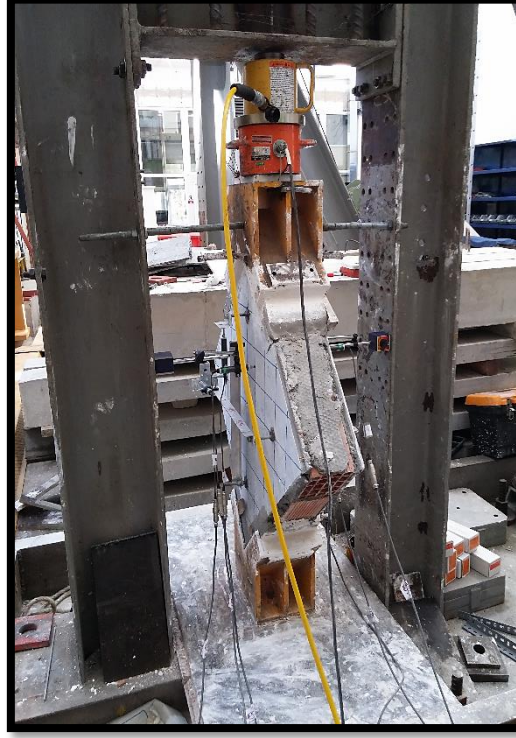
Çizelge 3.9: G-4-A-1 numunesi deney sonuçları.

| Numune Adı | τ_{\max} (MPa) | $\gamma_{\tau_{\max}}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| G-4-A-1 | 1.11 | 0.048 | 3572 |

3.6.2.2 G-4-A-2 numunesi kayma deneyi

G-4-A-2 numunesi iki yüzünde de 4 kat AR Glass kompozit plaka güçlendirmesi bulunan duvar numunesidir. Önceki numunelerin deneylerinde olduğu gibi bu güçlendirilmiş numune de alt ve üst çelik başlıklar arasına diyagonal olarak yerleştirildi. Deney esnasında hareketini önlemek ve sağlıklı bir şekilde yük almasını sağlamak için başlıklar ile duvar arasında kalan boşluklar alçıyla dolduruldu ve kurumaya bırakıldı. Numunenin yüzeylerine yerdeğıştirme ölçerler yerleştirildi ve üst başlık üzerine sırasıyla load cell (yük ölçer) ve hidrolik kriko yerleştirildi. Bundan sonraki aşamada yerdeğıştirme ölçerlerin başlangıç yatay ve düşey boyları, düzlem dışı hareketi tespit etmek için yerleştirilen yerdeğıştirme ölçerlerin yerden yükseklikleri ve basınç kuvvetinin etki ettiği duvar en kesit alanı bilgisayar programı

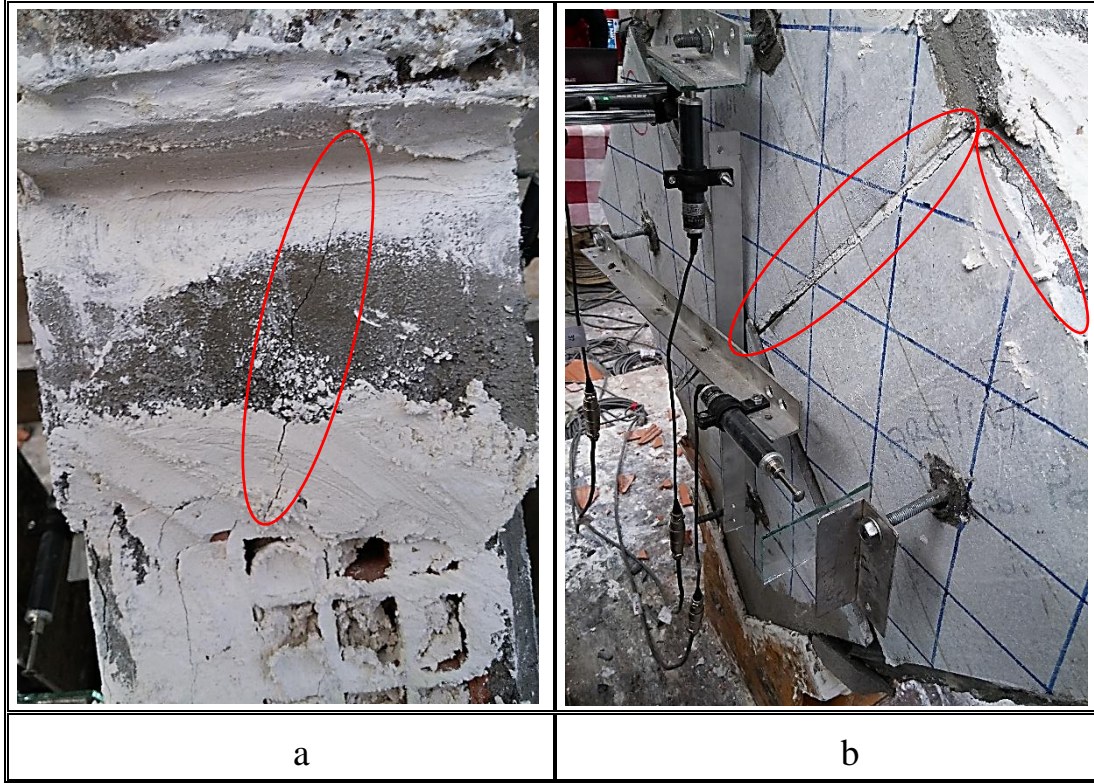
içerisine kaydedilmiştir. G-4-A-2 numunesine ait deney düzeneği Şekil 3.39’da verilmiştir.



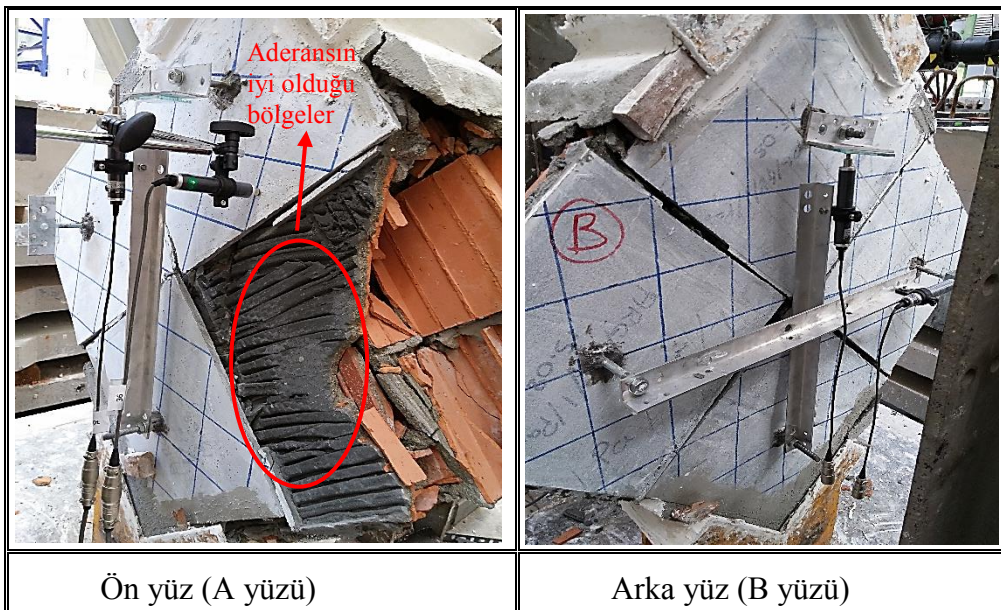
Şekil 3.39: G-4-A-2 numunesinin deney düzeneği.

Bu deneyde güçlendirilmenin her iki yüzde de olduğu duvar numunesi üzerinde bulunan kompozit plakaların içeriğini oluşturan AR Glass tekstil malzemesinin yapısal davranışının incelenmesi ve içeriğini bu tekstil ürününün oluşturduğu kompozit plakaların duvar numunesinin yük taşıma kapasitesine katkısının ne oranda olduğunu tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yükleme 3 çevrimde tamamlanan numune için ilk çevrimde 40 kN’a kadar yükleme yapılmıştır ve sonra bu yük boşaltılarak numunenin tam yerleşmesi sağlanmıştır. 2. çevrimde de bu adımlar tekrarlanmıştır. 3. çevrimde ise yükleme monotonik artışlarla yapılmıştır ve numune göçme yüküne kadar zorlanmıştır. Artan yükler altında numune ve plakalar üzerinde hiçbir çatlak meydana gelmemiştir. Sadece göçme yüküne yakın yüklerde, derzlerde ve numunenin üst başlığa yakın bölgelerinde çatlaklar meydana gelmiştir (Şekil 3.40). Numunenin iç kısmından 150 kN’da çıtırdama sesleri gelmiştir. Numune maksimum yük değeri olan 396.5 kN’a ulaştığında ise ani bir patlama ile göçmüştür (Şekil 3.41). Göçme sonrasında numunede herhangi bir dağılma olmamıştır. Numunenin parçalanarak dağılmamasının nedeni ise üzerindeki plakaların duvar ile iyi bir kompozit yapı

sergilemesi, plakalarla duvar arasındaki aderansın güçlü olması ve boşlukların olmaması ve plakaların duvar numunesini tutucu bir görev üstlenmesidir.



Şekil 3.40: G-4-A-2 numunesinde oluşan çatlaklar a) Üst başlığın oturduğu en kesit alanı üzerinde meydana gelen çatlak b) Derzlerde ve plaka ile duvar arasında meydana gelen çatlaklar.



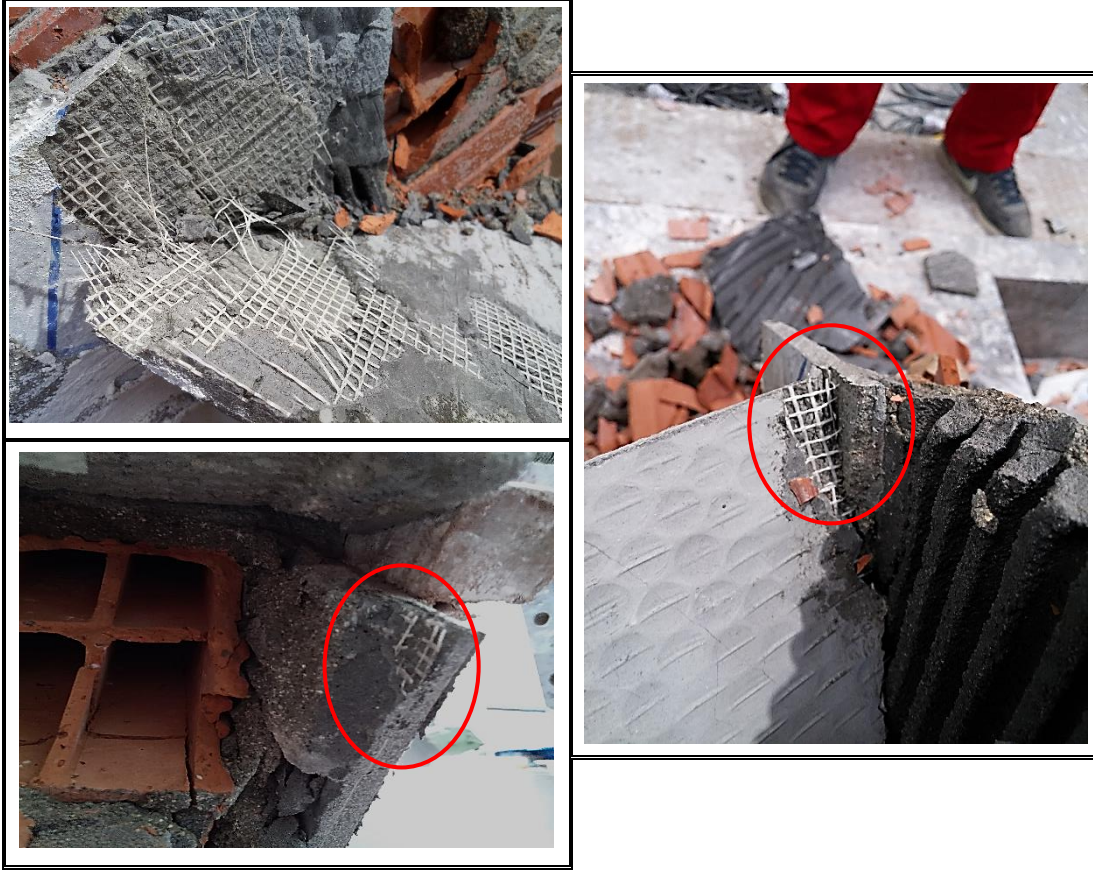
Şekil 3.41: G-4-A-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu.

G-4-A-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu incelendiğinde, imalat hatalarının G-4-A-1 numunesine göre daha az olduğu, kompozit plakalar ile duvar yüzeyinde bulunan bağlayıcı harç arasındaki aderansın çok iyi olduğu ve duvar yüzeyi ile plakalar arasında hemen hemen hiç boşluk olmadığı gözlemlenmiştir. Deney sonunda bağlayıcı harçta bulunduğu plaka yüzeyleri dikkatli incelendiğinde yapıştırma harcının izleri göze çarpmaktadır. Bu harç izleri, harcın iyi mukavemet gösterdiğinin ve kompozit plaka ile bağlayıcı harcın birlikte çalıştığının bir göstergesidir (Şekil 3.42).



Şekil 3.42: Bağlayıcı harç üzerindeki plaka izleri ve plaka üzerindeki harç izleri.

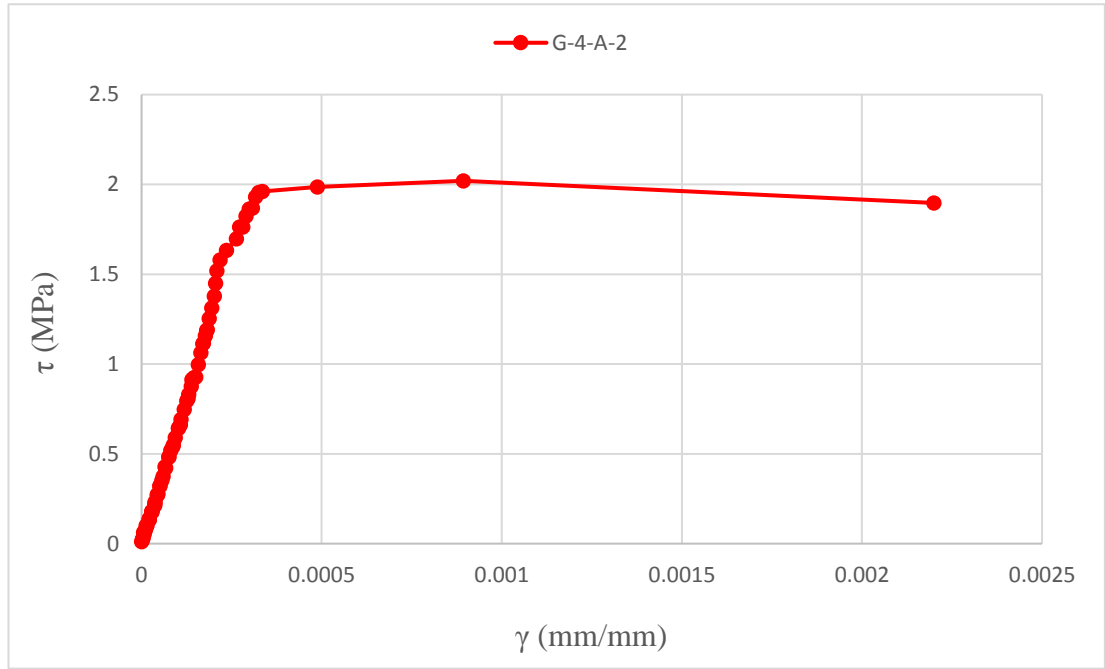
Güçlendirme amacıyla kullanılan 4 katlı bu kompozit plakaların içeriğini oluşturan AR Glass tekstil ürününün de yüksek performansta çalıştığı gözlemlenmiştir. Maksimum yükleme sonrası kompozit plakaların 1. ve 2. katlarındaki tekstil malzemesinde uzamalar ve kopmalar meydana gelmiştir (Şekil 3.43).



Şekil 3.43: Maksimum yükleme ve göçme sonrası meydana gelen AR Glass tekstil malzemesindeki kopma ve uzamalar.

Kusurların az olması plakaların ve dolayısıyla numunenin performansını oldukça artırmıştır. G-4-A-2 numunesi referans numuneleriyle kıyaslandığında performansının oldukça yüksek olduğu dikkat çekmiştir. Bu numunenin maksimum yük taşıma kapasitesi 396.5 kN olarak ölçülmüştür. Tuğla duvar ile beraber kompozit plakalarında yük taşıdığı belirgin olarak göze çarpmaktadır. Şahit numunelerle mukayese edildiğinde maksimum diyagonal basınç yükü değerinde yaklaşık olarak % 132 oranında bir artış olmuştur. Şahit numunelerin maksimum basınç yükü değeri ortalama olarak 171.8 kN olarak ölçülmüştü. Diğer taraftan G-4-A-2 numunesinin maksimum kayma dayanımı değeri şahit numunelerle kıyaslandığında % 90 oranında bir artış

görülmüştür. Bu sonuçlar göz önüne alındığında duvar yüzeyinde bulunan kompozit plakalar maksimum yük taşıma kapasitesine yaklaşmış ve yüksek verimde çalışmıştır. Çift taraflı güçlendirilmesi yapılmış bu duvar numunesine ait yük değerleri Data Logger yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır ve bu numuneye ait kayma gerilmesi, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametreleri hesaplanmıştır ve bu parametreler Çizelge 3.10’da verilmiştir. G-4-A-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi Şekil 3.44’de verilmiştir.



Şekil 3.44: G-4-A-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi.

Çizelge 3.10: G-4-A-2 numunesi deney sonuçları.

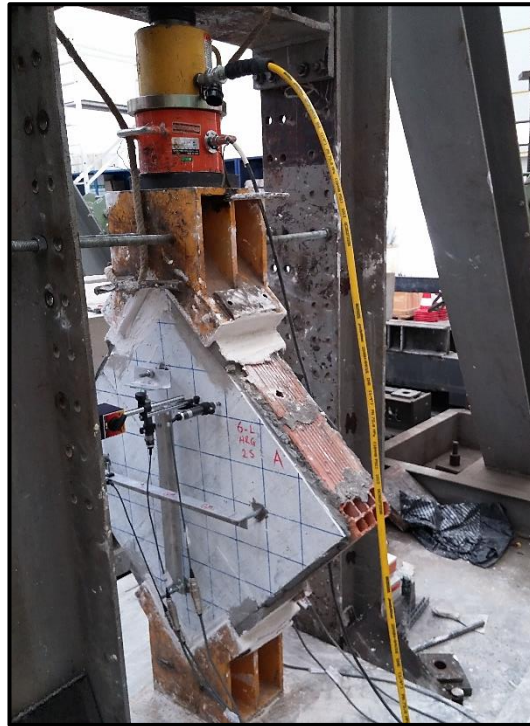
| Numune Adı | τ_{\max} (MPa) | $\gamma_{\tau_{\max}}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| G-4-A-2 | 2.02 | 0.089 | 6290 |

Bu numune ve diğer numunelere ait kayma gerilmesi, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametrelerinin karşılaştırılması daha sonra ‘Duvar Numunelerinin Karşılaştırılması’ bölümünde verilecektir. Bu bölümde referans numuneler ile AR Glass içerikli güçlendirilmiş numuneler, referans numuneler ile PVA içerikli güçlendirilmiş numuneler, AR Glass içerikli güçlendirilmiş numuneler ile PVA

içerikli güçlendirilmiş numuneler ve en son olarak tüm numuneler birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

3.6.2.3 G-6-A-2 numunesi kayma deneyi

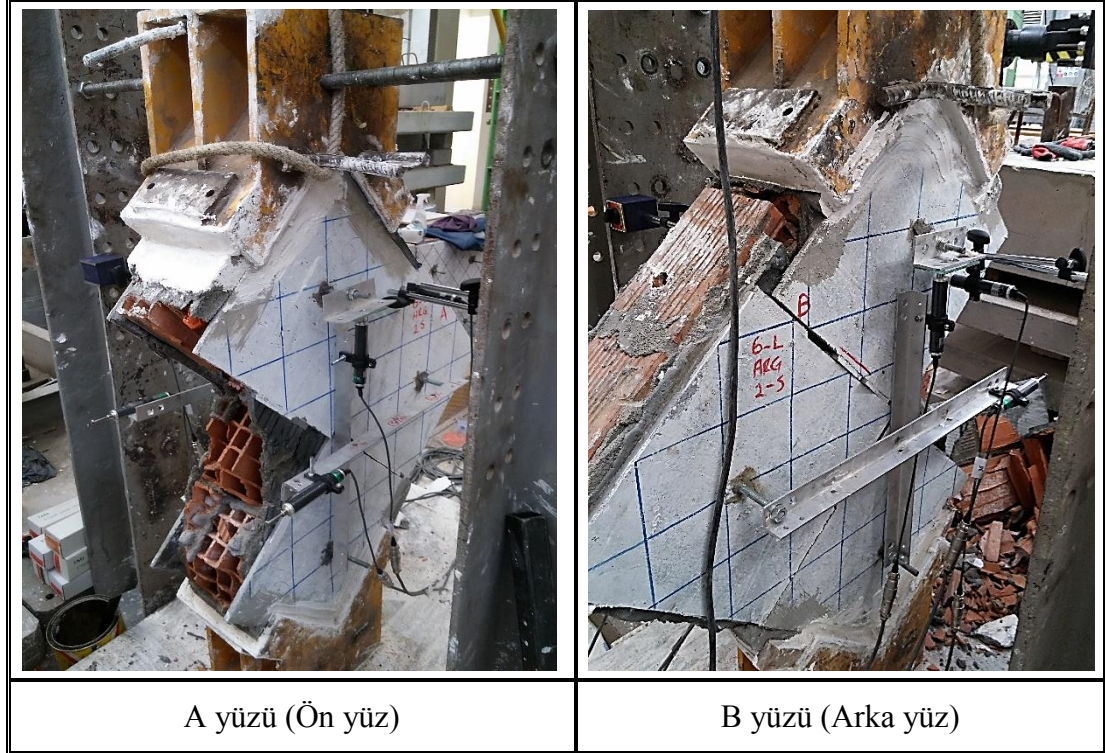
G-6-A-2 numunesi, iki yüzünde de 6 kat AR Glass tekstil içerikli kompozit plaka bulunan güçlendirilmiş duvar numunesidir. Deney hazırlığı aşamasında önceki numunelerde olduğu gibi numune, alt ve üst başlık arasına diyagonal olarak yerleştirildi. Numunenin tespiti için başlıklarla numune arasında kalan boşluklar alçıyla dolduruldu, enstrümantasyon işlemleri yapıldı ve numune deneye hazır hale getirildi (Şekil 3.45).



Şekil 3.45: G-6-A-2 numunesinin deney düzeneği.

Numune üzerindeki hidrolik kriko ile ilk çevrimde 40 kN'a kadar yükleme yapıldı ve sonra bu yük boşaltıldı. 2. çevrimde bu işlem tekrarlandı. 3. çevrimde ise yükleme monotonik artarak yapıldı ve yük ölçerin ölçtüğü değerler bilgisayara kaydedildi. Deney esnasında numuneden ilk çıtırdama sesleri 160 kN'da geldi. Numune üzerinde ilk çatlaklar göçme yüküne yakın yüklemelerde meydana geldi. Çatlakların meydana gelmesi ile numunenin göçmesi arasında geçen zaman çok kısa olduğu için çatlakları işaretlemek mümkün olmamıştır. Maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşan numune 337 kN'da aniden göçmüştür. Göçme sonrası numunenin hasar durumu Şekil 3.46'da

verilmiştir. Yükleme maksimum değere ulaştığı anda aniden patlayarak numunenin bir parçası koparak düşmüştür. Numune üzerinde sadece derz bölgelerinde çatlaklar meydana gelmiştir ve numune bu bölgelerden göçmüştür (Şekil 3.46).



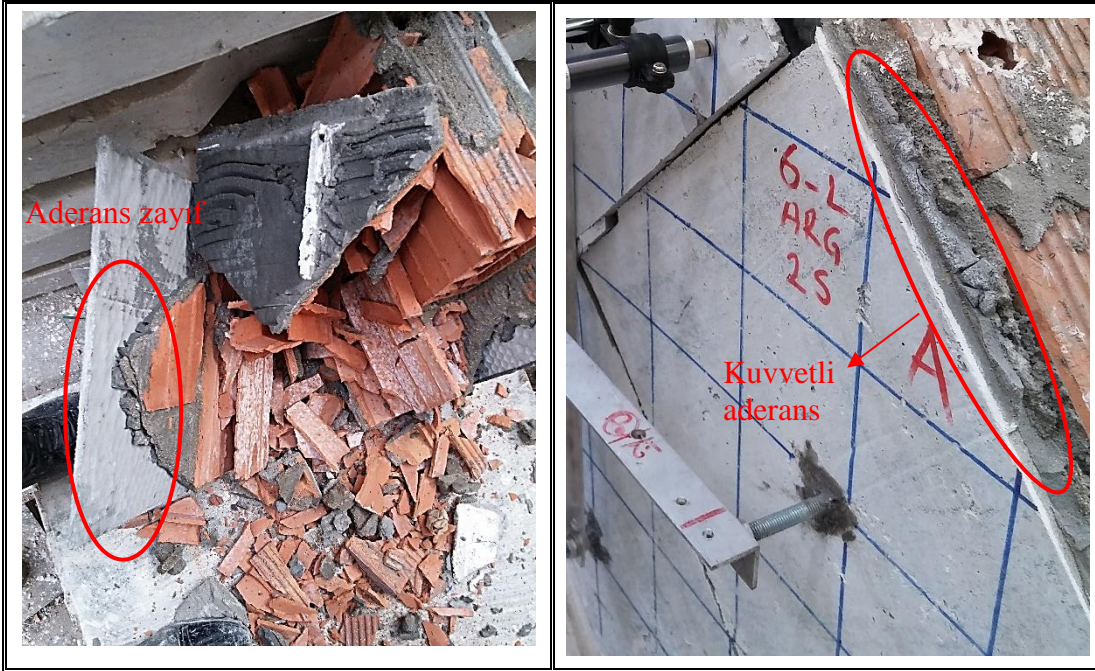
Şekil 3.46: G-6-A-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu.

Şekil 3.46'da da görüldüğü gibi numunenin basınç yükü 337 kN'a ulaştığı halde numunede herhangi bir dağılma olmamıştır. Kompozit plakaların numune üzerindeki sargı etkisi oldukça fazladır. Numunenin bir kısmının koparak düşmesinin nedeni ise kompozit plakalar üzerindeki en zayıf bölgelerin derz bölgeleri olması ve tuğlalar arasındaki bağlayıcı harcın kopma bölgesinde iyi aderans sağlayamamasıdır. Her ne kadar bu parça numuneden ayrılrsa da kompozit plakalar yine duvar yüzeyinde kalmış ve sargı etkisi devam etmiştir. Deney sonrası, göçen numune üzerinde inceleme yapıldığında kompozit plakalar ile bağlayıcı harç arasında imalat hatalarından kaynaklanan boşlukların olduğu farkedilmiştir (Şekil 3.47). Bununla beraber kopan plakaların yüzeyleri incelendiğinde, yapıştırma harcı ile plakalar arasındaki aderansın yeterince kuvvetli olmadığı ve harcın bağlayıcı görevini yerine getiremediği gözlemlenmiştir (Şekil 3.48). Bunun da nedeni üretim esnasında kusurların azaltılması için gereken hassasiyetin gösterilmemesidir. İmalattan kaynaklanan kusurların olması, kompozit plakaların beklenen davranışı sergileyememesine ve maksimum

kapasitesine ulaşamamasına neden olmaktadır. Eğer imalat hataları minimize edilir ve kompozit plakalar ile duvar arasındaki aderansın kuvvetli olması sağlanırsa kompozit plakaların olduğundan daha iyi sonuçlar vereceği açıktır.

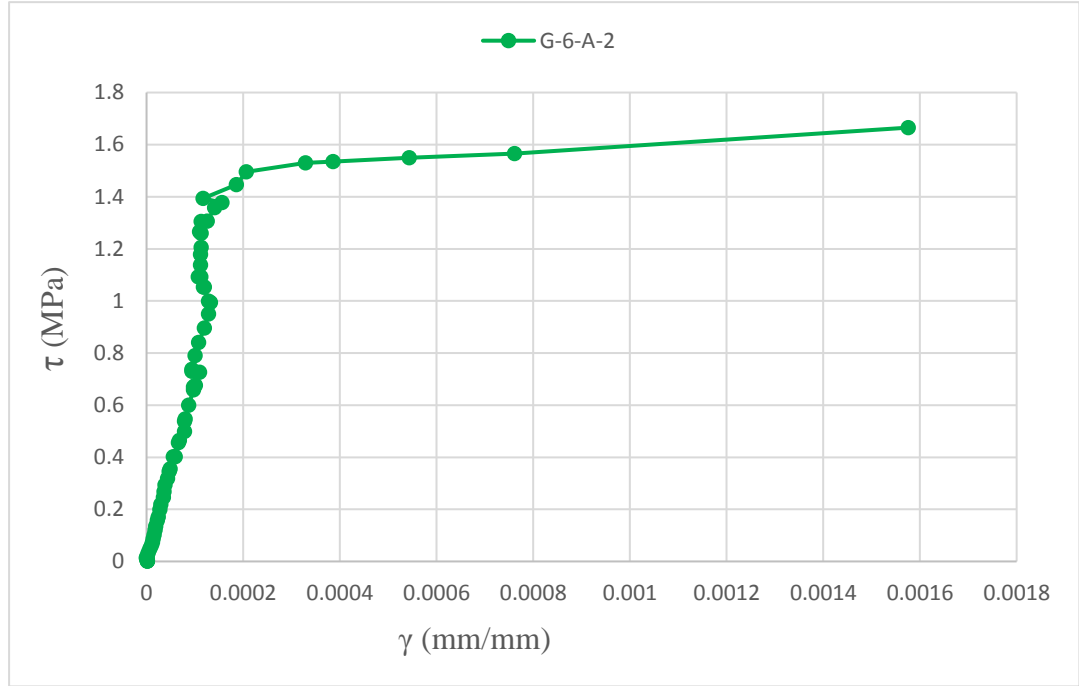


Şekil 3.47: G-6-A-2 numunesi ile duvar arasındaki boşluklar.



Şekil 3.48: G-6-A-2 numunesinde aderansın kuvvetli olduğu ve zayıf kaldığı plakalar.

G-6-A-2 numunesi üzerinde oluşan hasarlar ilk olarak aderansın zayıf olduğu ve bağlayıcı harç ile arasında boşlukların bulunduğu plakaların derz bölgelerinde olduğu gözlemlenmiştir. G-6-A-2 numunesine ait parametreler Çizelge 3.11’de ve kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi Şekil 3.49’da verilmiştir.



Şekil 3.49: G-6-A-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi.

Çizelge 3.11: G-6-A-2 numunesi deney sonuçları.

| Numune Adı | τ_{\max} (MPa) | $\gamma_{\tau_{\max}}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| G-6-A-2 | 1.67 | 0.158 | 6786 |

AR Glass tekstil içerikli kompozit plakalarla güçlendirilmiş numuneler ve referans numuneleri arasında G-6-A-2 numunesi rijitliği en yüksek olan numune olarak göze çarpmaktadır. Bu duruma neden olarak, güçlendirmenin her iki yüzeyde de olması ve plakalarla birlikte duvar kalınlığının fazla olması, dolayısıyla numunenin daha gevrek bir yapı sergilemesi gösterilebilir. Nitekim numune bir noktaya kadar çok az şekil değiştirmiş, maksimum yük değerine ulaştığında ise şekil değiştirmesinde ani bir artış meydana gelmiştir (Bkz. Şekil 3.49).

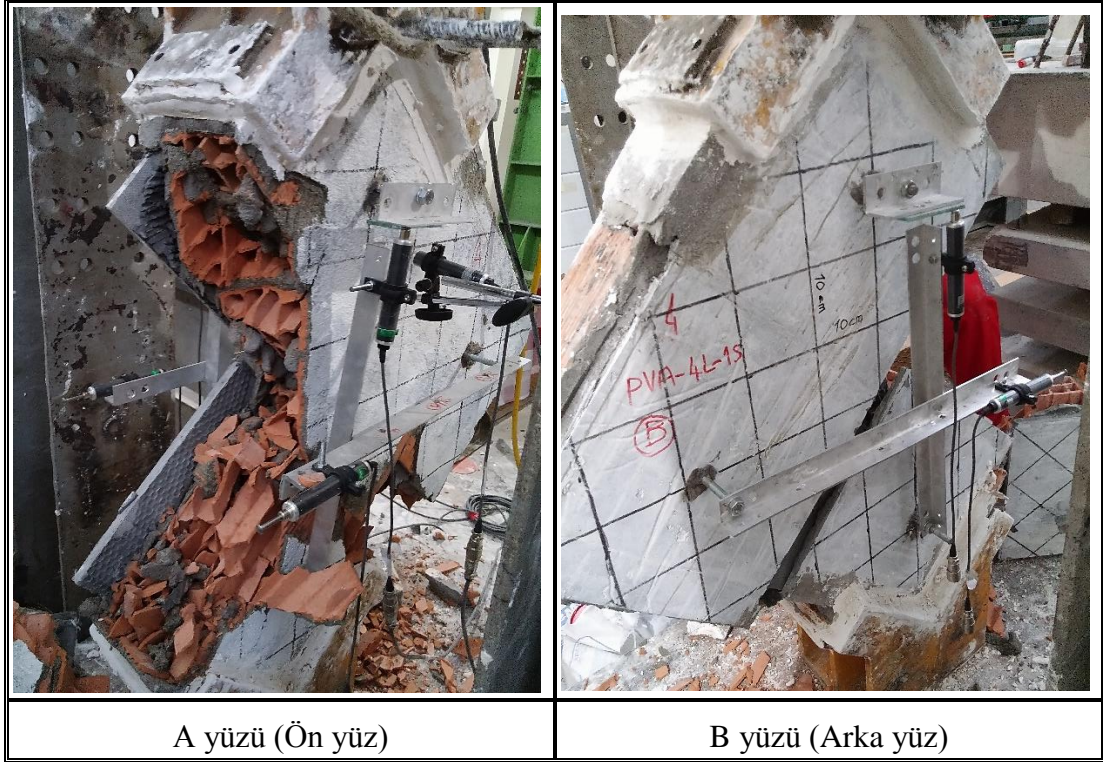
3.6.2.4 G-4-P-1 numunesi kayma deneyi

G-4-P-1 numunesi tek yüzeyinde 4 adet 4 katlı PVA tekstil içerikli kompozit plaka ile güçlendirme yapılmış duvar numunesidir. Güçlendirme, PVA tekstil ve bu tekstil için üretilen özel çimento harcıyla 4 katlı olarak yeni bir sistem olan PPR yöntemiyle üretilen kompozit plakalardan ibarettir. Önceki numunelerin deneylerinde olduğu gibi deney hazırlığı aşamasında numune diyagonal olarak iki başlık arasına yerleştirildi. Numune ile başlıklar arasında kalan boşluklar alçı ile dolduruldu ve enstrümantasyon çalışmaları yapılarak numune deneye hazır hale getirildi (Şekil 3.50).



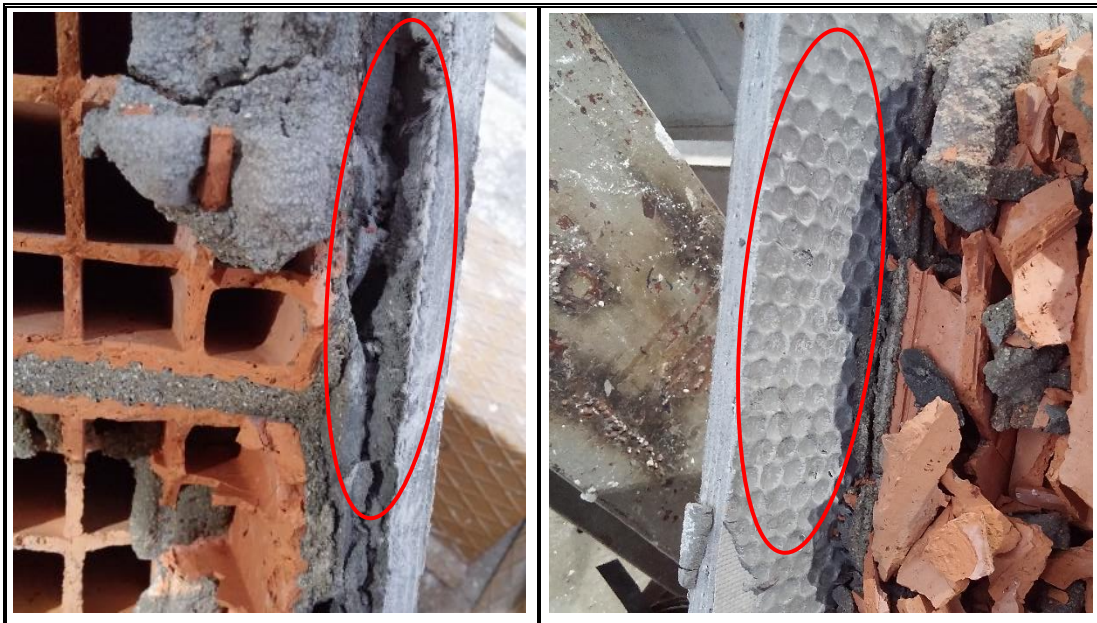
Şekil 3.50: G-4-P-1 numunesinin deney düzeneği.

Yine 3 çevrimde yapılan yüklemenin ilk çevriminde numune 40 kN'a kadar yüklendi. 2. Çevrimde bu yükleme tekrarlandı ve 3. Çevrimde monotonik artışlarla yüklemeye devam edildi. 160 kN'a gelindiğinde numuneden ilk çıtırdama sesleri gelmiştir. Göçme yüküne kadar olan yüklemelerde numune yüzeylerinde hiçbir çatlak meydana gelmemiştir. Yükleme numunenin maksimum taşıma kapasitesi olan 288 kN'a ulaştığında numune ani bir patlama ile göçmüştür. Göçme, önceki numunelerde olduğu gibi numunenin en zayıf bölgesi olan derz bölgelerinden olmuştur. PVA içerikli kompozit plakalar da AR Glass ile yapılan güçlendirmelerde olduğu gibi göçme anında numunenin dağılmasını önlemiştir. Derz bölgelerinden göçen numunenin bir kısmı göçme sonrası dağılmadan koparak bir bütün halinde düşmüştür (Şekil 3.51).



Şekil 3.51: G-4-P-1 numunesinin göçme sonrası hasar durumu.

Göçme sonrası numune incelendiğinde bazı plakalar ile duvar arasında boşlukların olduğu ve yeterli aderansın sağlanamadığı görüldü. Plakaların duvar yüzeyine tam teması sağlanmadığı ve bağlayıcı harç ile birlikte istenildiği gibi çalışmadığından plakalar ideal taşıma kapasitesine ulaşmadan numune göçmüştür (Şekil 3.52).



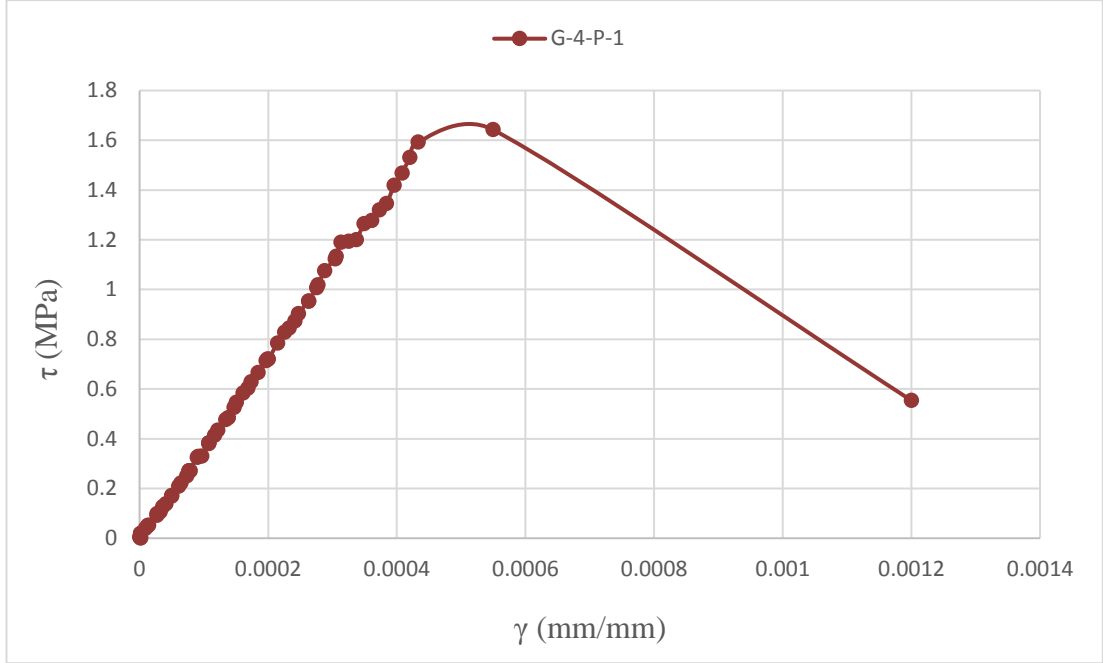
Şekil 3.52: G-4-P-1 numunesinde duvar ile plakalar arasındaki boşluklar ve yetersiz aderans.

Uygulama hataları en aza indirildiği takdirde plakaların beklenen sonuçları vereceği ve maksimum performansına ulaşacağı bu gözlemlerden çıkartılabilir. Diğer taraftan numune üzerindeki bazı plakaların ise duvar ile tam temasının sağlandığı ve aralarında hiç boşluk kalmadığı gözlemlenmiştir. Kuvvetli aderansın olduğu bu plakalar ve duvar yüzeyi göçme sonrası incelendiğinde plakaları oluşturan PVA tekstil malzemesinin ilk tabakasının zorlandığı ve sıva yüzeyinden sıyrılarak ayrıldığı gözlemlenmiştir. Tekstil tabakasının uç kısımlarında kopmalar olmuştur (Şekil 3.53).



Şekil 3.53: G-4-P-1 numunesinde performansı yüksek olan plakalar ve zorlanmış PVA tekstil tabakası.

Diyagonal basınç etkileri altında denenen G-4-P-1 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi Şekil 3.54’de ve bu numuneye ait deneysel parametreler Çizelge 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.54: G-4-P-1 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi.

Çizelge 3.12: G-4-P-1 numunesi deney sonuçları.

| Numune Adı | τ_{\max} (MPa) | $\gamma_{\tau_{\max}}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| G-4-P-1 | 1.64 | 0.055 | 3597 |

3.6.2.5 G-4-P-2 numunesi kayma deneyi

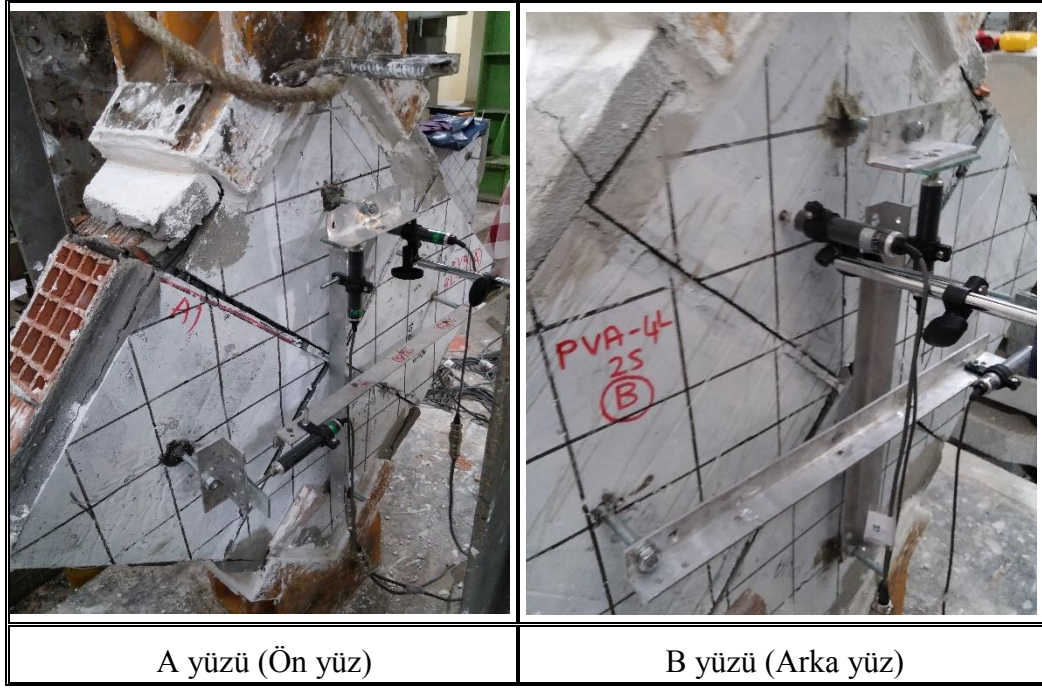
G-4-P-2 numunesi, her iki yüzünde de 4 adet 4 katlı PVA tekstil içerikli kompozit plakalar ile güçlendirilmesi yapılan duvar numunesidir. Bu numunenin deney öncesi hazırlığında önceki numunelerde yapılan benzer çalışmalar yapıldı. Numune başlıklar arasına diyagonal olarak yerleştirildi ve boşluklar alçı ile dolduruldu. Enstrümantasyon çalışmaları yapılan numune deneye hazır hale getirildi. Numuneye ait deney düzeneği ve hazırlığı Şekil 3.55’de gösterilmiştir. Diyagonal basınç yükü ve buna bağlı olarak kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametreleri ile üzerindeki basınç yükü etkileri tespit edilmek istenen G-4-P-2 duvar

numunesinin deneyi, önceki numunelerin deneylerinde olduğu gibi 3 çevrimde gerçekleştirilmiştir. İlk çevrimde, numuneye 40 kN'a kadar yükleme-boşaltma işlemi yapılmış ve 2. çevrimde bu işlem tekrarlanmıştır. 3. çevrimde ise monotonik artan yükler altında numunedeki değişimler tespit edilmiştir.



Şekil 3.55: G-4-P-2 numunesinin deney düzeneği.

Ön yüklemeler ile iki başlık arasında oturması sağlanan numunede yükleme esnasında basınç yükü değeri 185 kN'a ulaştığında ilk çıtırdama sesleri gelmiştir. 230 kN'da çıtırtı sesleri artarak devam etmiştir ancak numune yüzeylerinde herhangi bir çatlak izine rastlanılmamıştır. Göçme yüküne yakın yüklerde, derzlerde ve numune en kesit bölgelerinde çatlaklar meydana gelmiş fakat bu çatlakları işaretleme fırsatı bulmadan numune 321 kN'da aniden göçmüştür (Şekil 3.56). G-4-P-2 numunesinde G-4-P-1 numunesine nazaran imalat kusurlarının daha az olduğu görülmüş, plakalar ile duvar arasında boşlukların azlığı dikkat çekmiştir. Duvar numunesi maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığında numunede herhangi bir dağılma ve dökülme meydana gelmemiştir. Duvar yüzeyindeki PVA plakalar numune üzerinde sargı görevi görerek numuneyi tutmuş ve dağılmasını engellemiştir. Göçme sonrası, numune üzerindeki plakaların yük taşıması için tasarlanan betonarme başlıklar üzerinde de çatlakların olduğu görülmüştür.



Şekil 3.56: G-4-P-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu.

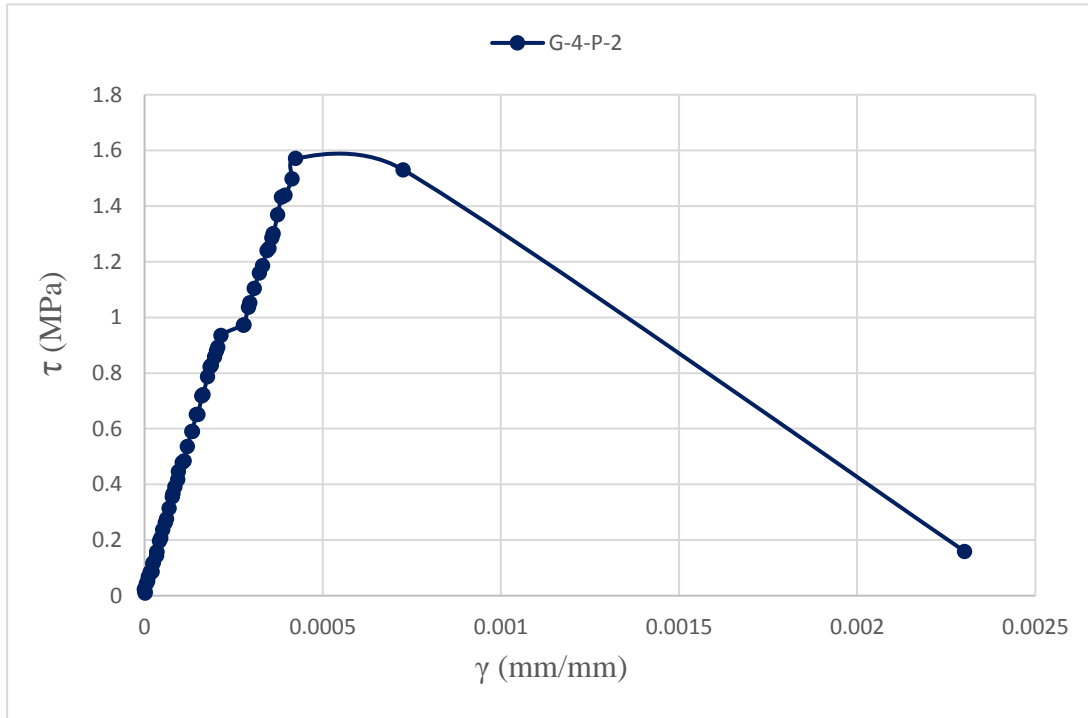
Göçme sonrası G-4-P-2 numunesi incelendiğinde, plaka ile bağlayıcı harç birleşim noktasında çatlamların olduğu görülmüştür. Yine bağlayıcı harç ile plakalar arasındaki aderansın kuvvetli olduğu, PVA tekstilin yükleme esnasında zorlandığı ve sıyrılarak yapıştırma harcından ayrıldığı gözlenmiştir (Şekil 3.57).





Şekil 3.57: G-4-P-2 numunesindeki kuvvetli aderans ve zorlanan PVA tekstil.

Diyagonal basınç yükü altında test edilen G-4-P-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi eğrisi Şekil 3.58’de ve bu numuneye ait deneysel parametreler Çizelge 3.13’de verilmiştir.



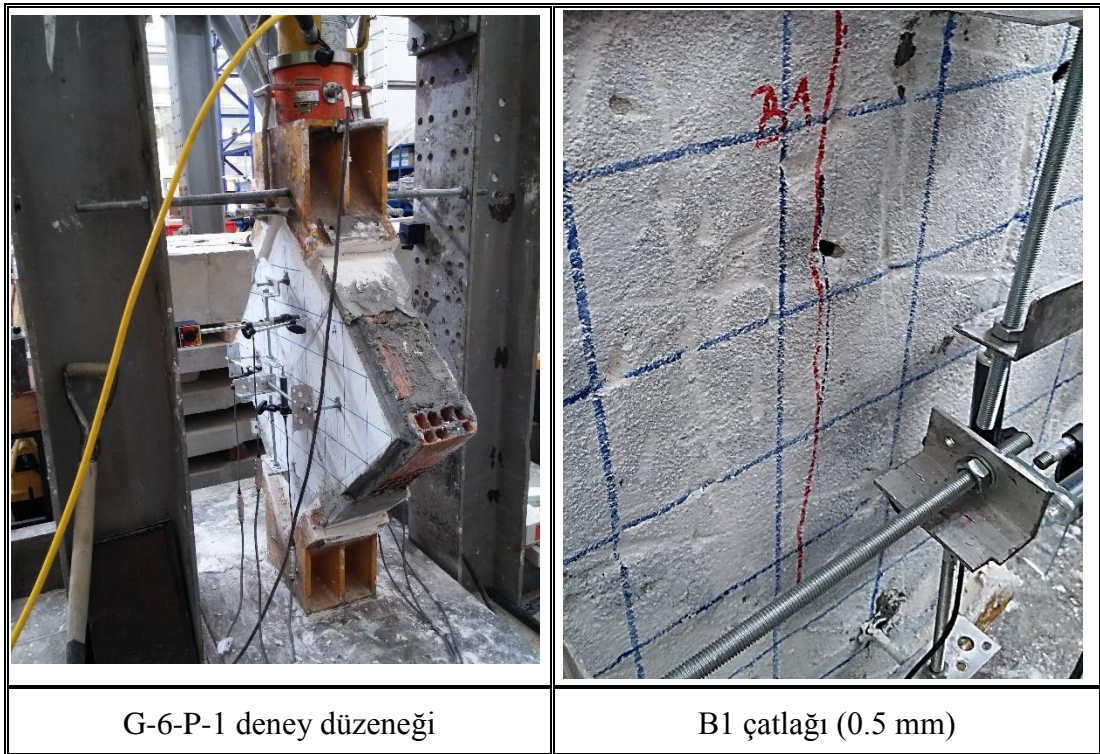
Şekil 3.58: G-4-P-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi eğrisi.

Çizelge 3.13: G-4-P-2 numunesi deney sonuçları.

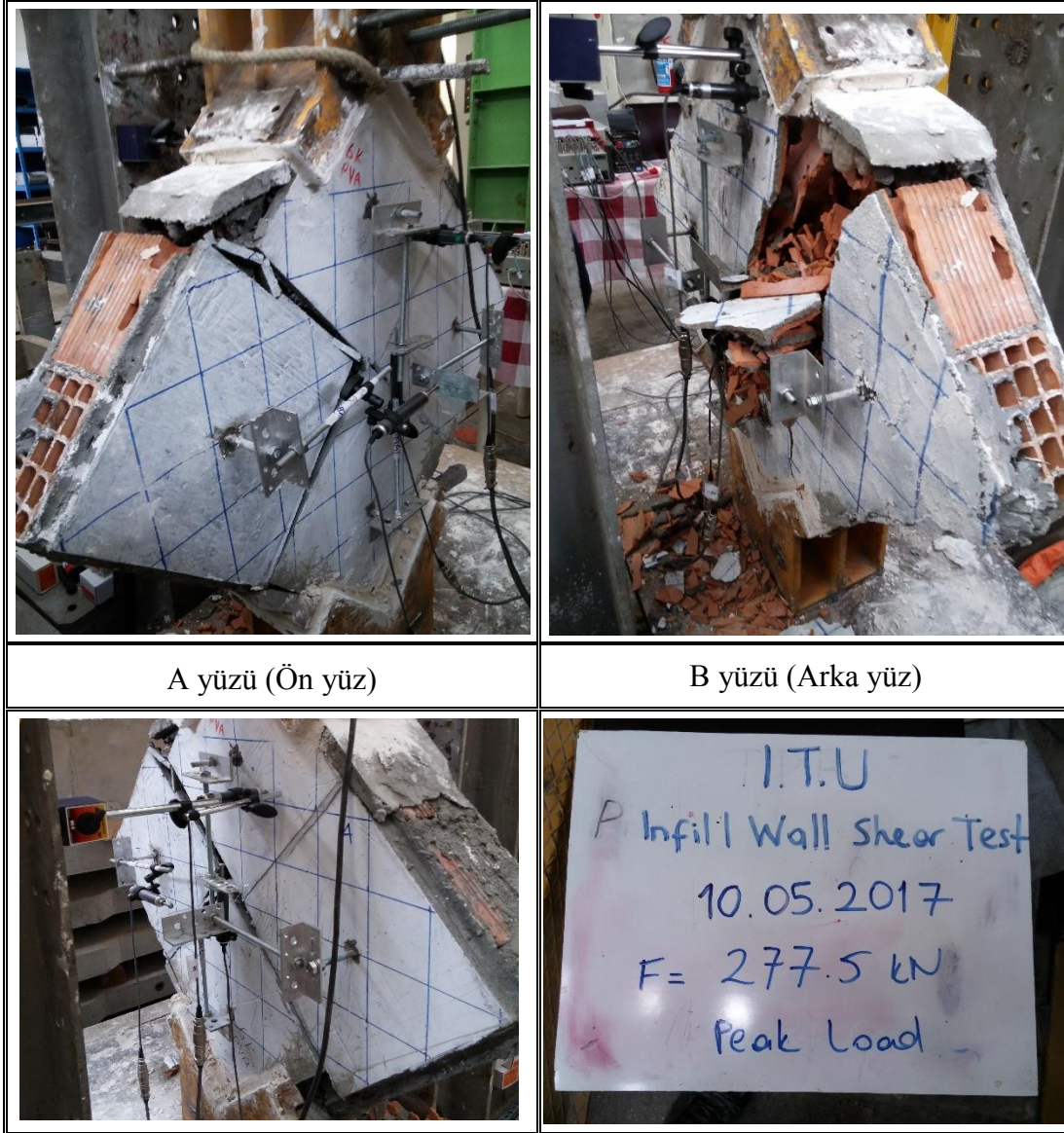
| Numune Adı | τ_{\max} (MPa) | $\gamma_{\tau\max}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|---------------------|--------------------------------|--------|
| G-4-P-2 | 1.57 | 0.042 | 4481 |

3.6.2.6 G-6-P-1 numunesi kayma deneyi

G-6-P-1 numunesi tek yüzeyinde PVA tekstil içerikli 4 adet 6 katlı kompozit plakalarla güçlendirilmiş duvar numunesidir. Diyagonal basınç yükü ve bu yüke bağlı parametreleri belirlenmek istenen duvar numunesinin deneyi 3 çevrimde gerçekleştirilmiştir. İlk çevrimde ve 2. çevrimde 40 kN'a kadar yükleme ve boşaltma işlemleri yapılmış ve numunenin tespiti sağlanmıştır. 3. çevrimde ise yükleme monotonik artarak gerçekleştirilmiş ve yük değeri 145 kN'a ulaştığında ilk çıtırdama sesleri gelmiştir. Yükleme devam ettikçe ve yük değerleri arttıkça numuneden gelen çatlama sesleri de artmıştır. Yük değeri 212.5 kN'a ulaştığında numunenin B yüzünde 0.5 mm genişliğinde 'B1' çatlağı meydana geldi (Şekil 3.59). Sonraki yüklemelerde başka bir çatlak meydana gelmedi ve numune 277.5 kN'da aniden göçtü (Şekil 3.60).



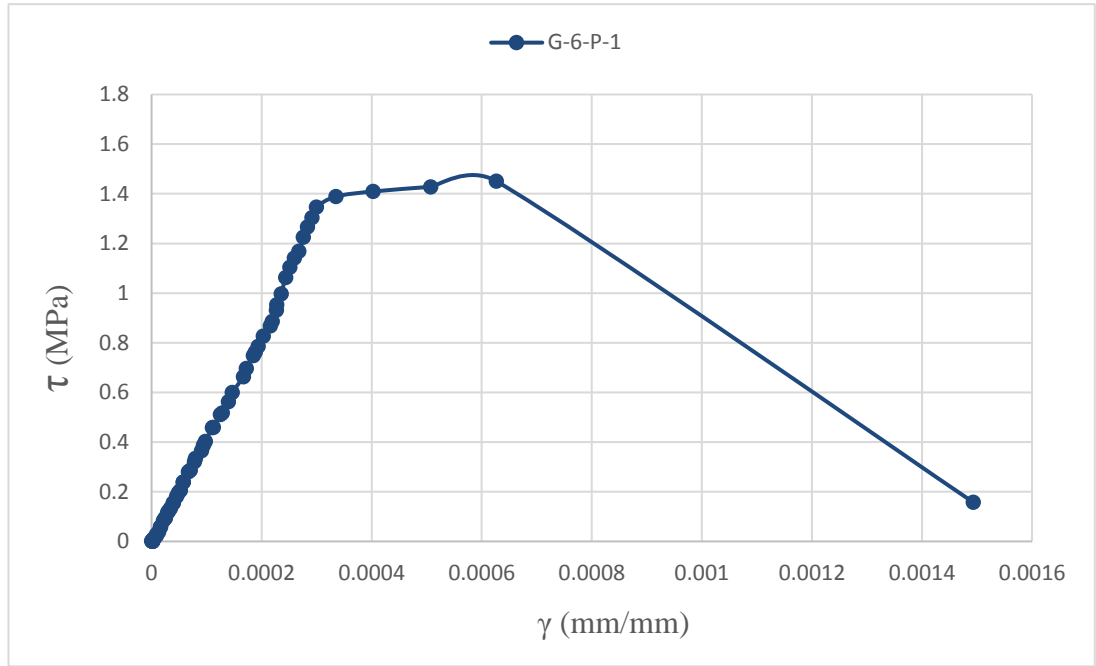
Şekil 3.59: G-6-P-1 numunesinin deney düzeneği ve 'B1' çatlağı.



Şekil 3.60: G-6-P-1 numunesinin göçme sonrası hasar durumu.

G-6-P-1 numunesinin göçmesi sonrası güçlendirme olmayan B yüzünde dağılmalar olurken, güçlendirmenin olduğu A yüzünde göçme derz bölgelerinden olmuş ve herhangi bir dağılma meydana gelmemiştir. Güçlendirmenin olduğu yüzeyde plakalar duvar harcına güçlü bir aderansla bağlanmasına ve aralarında herhangi bir boşluk olmamasına rağmen numunenin arka yüzünde (B yüzü) güçlendirme olmadığı için göçme, numunenin zayıf olan arka yüzeyinden ve derz bölgelerinden meydana gelmiştir. Nitekim göçme sonrası güçlendirmenin olduğu tarafta plakalarda herhangi bir kopma veya ayrılma meydana gelmemiştir. G-6-P-1 numunesine ait kayma

gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi Şekil 3.61’de ve deney parametreleri Çizelge 3.14’de verilmiştir.



Şekil 3.61: G-6-P-1 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi.

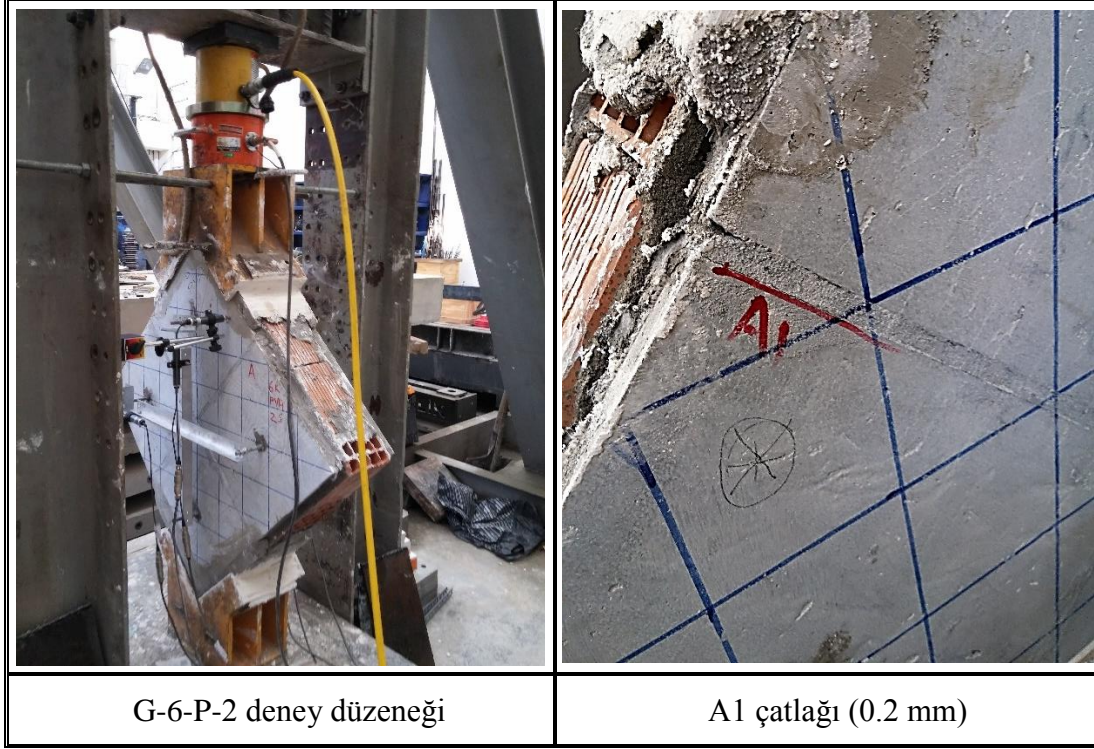
Çizelge 3.14: G-6-P-1 numunesi deney sonuçları.

| Numune Adı | τ_{max} (MPa) | $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|--------------------|----------------------------------|--------|
| G-6-P-1 | 1.45 | 0.063 | 4241 |

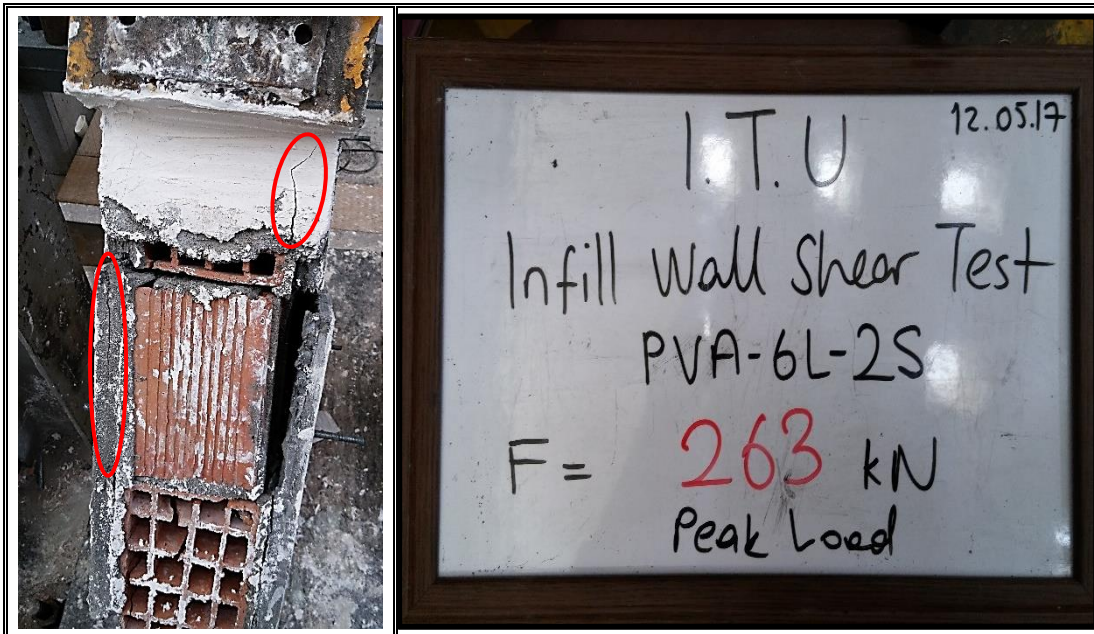
3.6.2.7 G-6-P-2 numunesi kayma deneyi

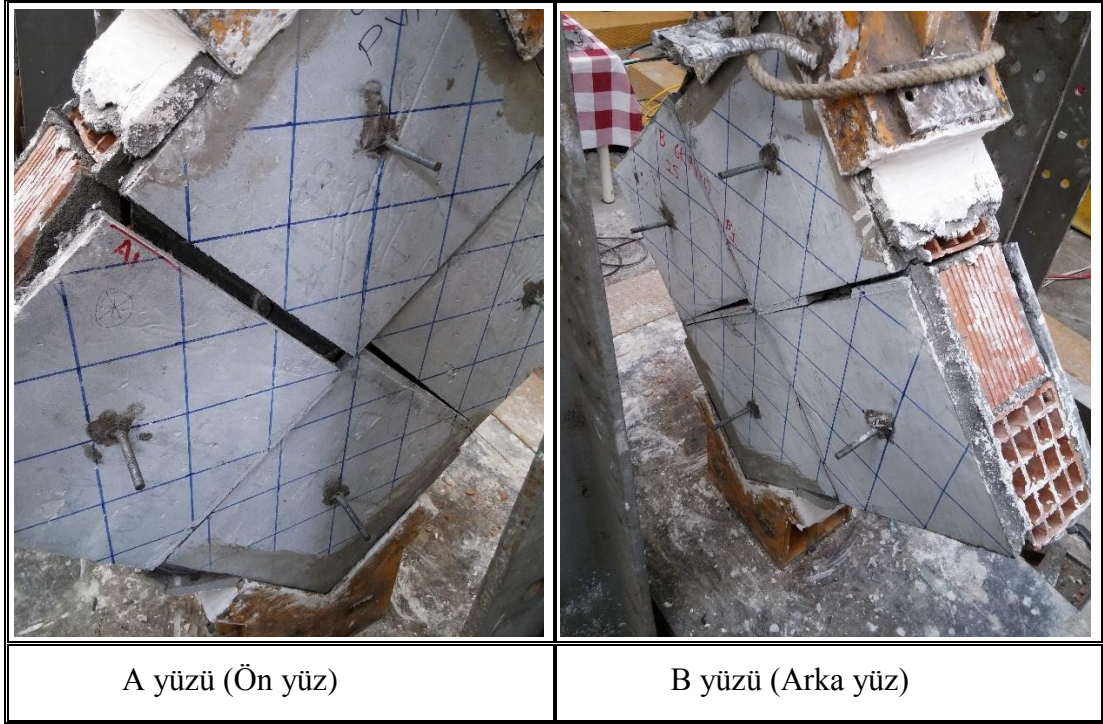
G-6-P-2 numunesi, iki yüzünde de PVA tekstil içerikli 4 adet 6 katlı kompozit plakalar bulunan güçlendirilmiş duvar numunesidir. Diyagonal olarak alt ve üst başlık arasına yerleştirilen duvar numunesinin deney hazırlığı tamalandıktan sonra hidrolik kriko ile ilk çevrimde ve 2. evrimde 40 kN’a kadar yükleme-boşaltma işlemi yapıldı. Bundan sonraki yükleme monotonik artan basınç yükleri altında devam etti ve yük değerleri bilgisayara kaydedildi. 125 kN’da numuneden ilk çıtırdama sesleri geldi. Yük değeri 175 kN’a ulaştığında ise çıtırdama sesleri artarak devam etti. Ancak yüklemenin bu adımına kadar numune üzerinde herhangi bir çatlak oluşmadı. 185 kN’da numunenin ön yüzünde (A yüzü) derz üzerinde 0.2 mm genişliğinde ‘A1’ atlağı meydana geldi

(Şekil 3.62). 230 kN’da derz üzerindeki A1 çatlağı giderek genişledi ve yine bu çatlaktan başka bir çatlak meydana gelmedi. Numune maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı 263 kN’da aniden göçtü (Şekil 3.63). Göçme sonrası numunede herhangi bir dağılma, ayrılma ve dökülme olmadı.



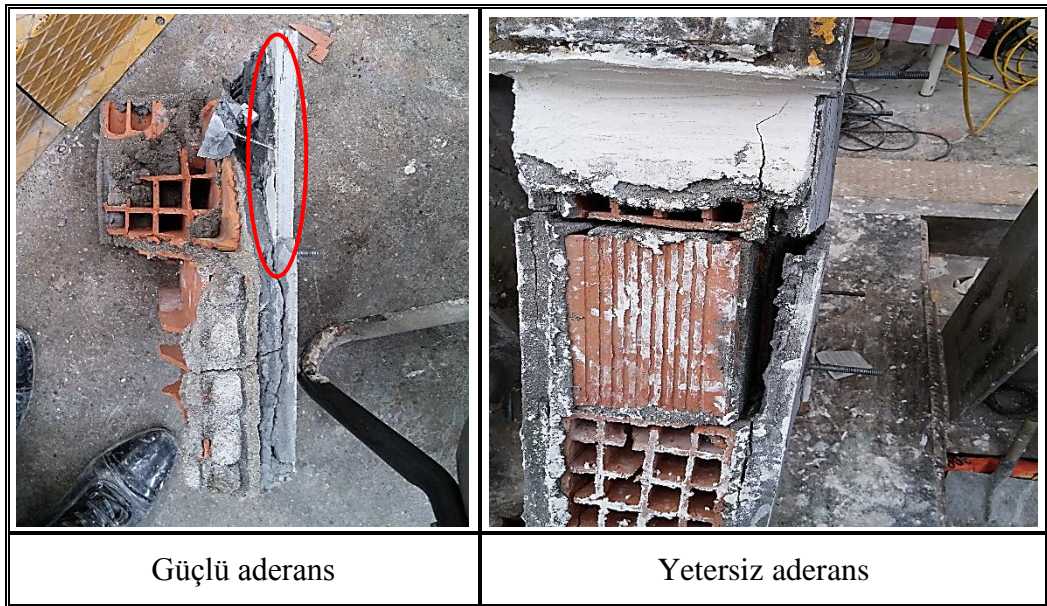
Şekil 3.62: G-6-P-2 numunesinin deney düzeneği ve A1 çatlağı.





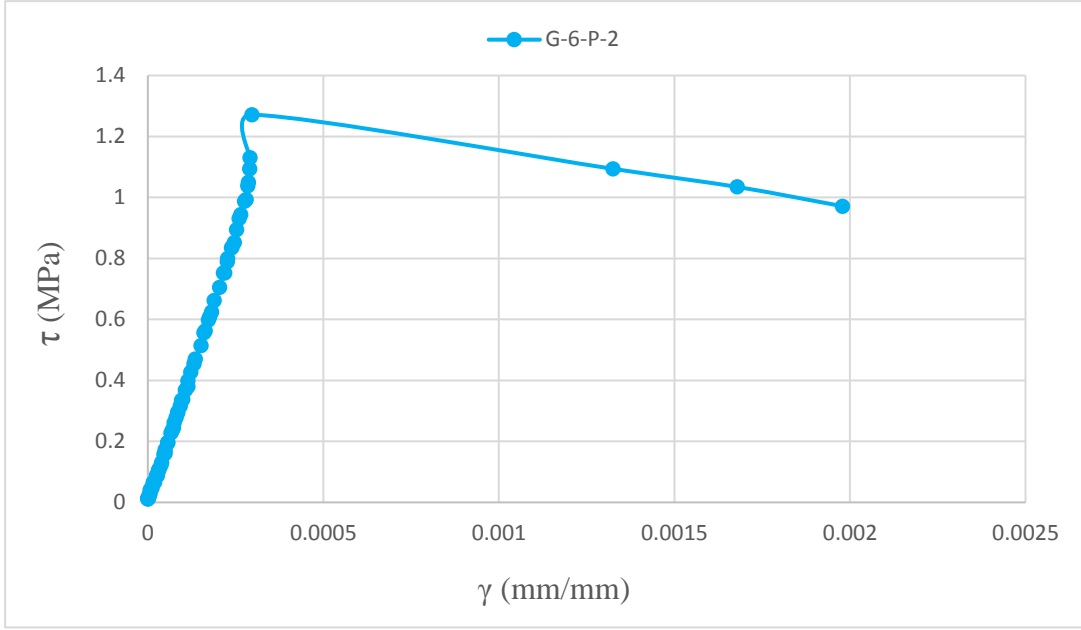
Şekil 3.63: G-6-P-2 numunesinin göçme sonrası hasar durumu.

Göçme sonrası numunenin incelemesi yapıldığında, kuvvetli aderans sonucu bağlayıcı harcın iyi performans sergilediği plakalar dikkat çekti. Bunun yanında bazı plakalar ile bağlayıcı harç arası boşlukların olduğu ve aderansın yetersiz kaldığı imalat hatası bölgelere de rastlanıldı (Şekil 3.64). Üretim kusurlarının en aza indirilmesi durumunda bu kompozit plakaların iyi performans sergileyeceğini söyleyebiliriz.



Şekil 3.64: G-6-P-2 numunesinde yüksek ve düşük aderansa sahip plakalar.

Diyagonal basınç yükü ve bu yüke bağlı etkileri incelenen duvar numunesine ait kayma dayanımı-kayma şekil değiştirmesi eğrisi Şekil 3.65’de verilmiştir.



Şekil 3.65: G-6-P-2 numunesine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrisi.

Diyagonal basınç yükü altında belirlenen G-6-P-2 güçlendirilmiş duvar numunesine ait maksimum kayma dayanımı, buna karşılık gelen maksimum kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametreleri Çizelge 3.15’de verilmiştir.

Çizelge 3.15: G-6-P-2 numunesi deney sonuçları.

| Numune Adı | τ_{\max} (MPa) | $\gamma_{\tau_{\max}}$ (mm/mm)(%) | G(MPa) |
|------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| G-6-P-2 | 1.27 | 0.030 | 3474 |

PVA içerikli güçlendirilmiş numuneler içerisinde G-6-P-2 numunesinin kayma dayanımının düşük çıkmasının sebebi, 6 katlı olarak üretilen PVA plakaların kalınlığının fazla olması duvar en kesit alanını büyütmede dolayısıyla kayma dayanımı değerinin azalmasına neden olmaktadır. Diğer taraftan bazı plakalar ile yapıştırma harcı arasında boşlukların olması plakaların istenilen verimde çalışmasına ve yüksek performansta yük taşımalarına mani olmaktadır.

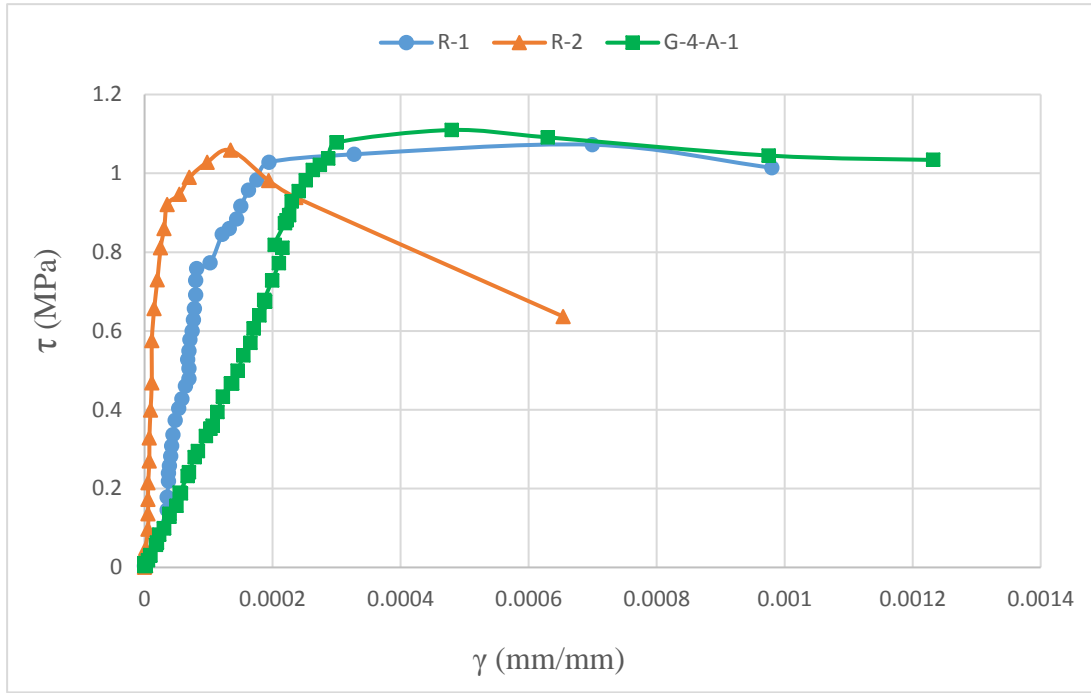
3.6.3 Bölme duvar numunelerinin kayma deneyi sonuçlarının kıyaslanması

Diyagonal basınç yükü altında deneyleri tamamlanan duvar numunelerinin birbirleri ile ve şahit numuneler ile kıyaslanması bu bölümde yapılacaktır. Numunelerin deney düzeneklerinde üst başlık üzerinde ve hidrolik kriko altında bulunan yük ölçer (load cell) tarafından okunan basınç yükü değerleri Data Logger yardımıyla bilgisayara kaydedilmiş ve buna bağlı olan kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametreleri hesaplanmıştır. Bölme duvar numunelerinin kayma deneyi sonuçlarının karşılaştırılması bu parametreler ve maksimum göçme yükü değerleri üzerinden olacaktır.

İlk aşamada, 2 adet üretilen ve deneyleri ilk sırada yapılan güçlendirilmemiş referans numuneleri ile AR Glass tekstil içerikli kompozit plakalarla güçlendirilmiş numuneler birbirleriyle kıyaslanacaktır. Sonraki aşamada yine referans numuneleri ile PVA tekstil içerikli kompozit plakalarla güçlendirilmesi yapılan duvar numuneleri karşılaştırılacaktır. 3. Aşamada ise içeriklerini bu iki farklı tekstil ürünü oluşturan güçlendirilmiş numuneler birbirleriyle mukayese edilecektir. Son aşamada ise bütün numunelere ait deneysel veriler bir arada sunulacak ve karşılaştırmaları yapılacaktır. Yapılan kıyaslamalarda baz alınan deneysel verilerin birbirlerine göre artış ve azalışları ve yüzdelik oranları analiz edilecektir.

3.6.3.1 R numuneleri ile G-4-A-1 numunesinin karşılaştırılması

G-4-A-1 numunesinin deneysel parametrelerinin referans numunelerinin ortalama maksimum kayma dayanımı, buna karşı gelen ortalama maksimum kayma şekil değiştirmesi, ortalama kayma modülü ve ortalama maksimum basınç yükleri ile oransal karşılaştırılması yapılmış ve kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri bir arada verilmiştir (Şekil 3.66). G-4-A-1 güçlendirilmiş numune ile referans numuneleri hasar durumu bakımından incelendiğinde referans numunelerinin yüzeyinde meydana gelen dikine çatlakların çokluğu dikkat çekmiş ve göçme bu dikine çatlaklardan meydana gelmiştir. G-4-A-1 numunesinin göçmesi ise güçlendirilmenin olmadığı yüzeyde üst başlık ile duvar birleşim noktasından patlama sonucu, güçlendirilmenin olduğu tarafta ise derz bölgelerinden meydana gelmiştir. Güçlendirme olan tarafta göçme sonucu herhangi bir patlama ve dağılma meydana gelmemiştir. Referans numuneleri ile G-4-A-1 numunesinin parametrelerinin oransal ifadeleri Çizelge 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.66: G-4-A-1 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.

Çizelge 3.16: G-4-A-1 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması.

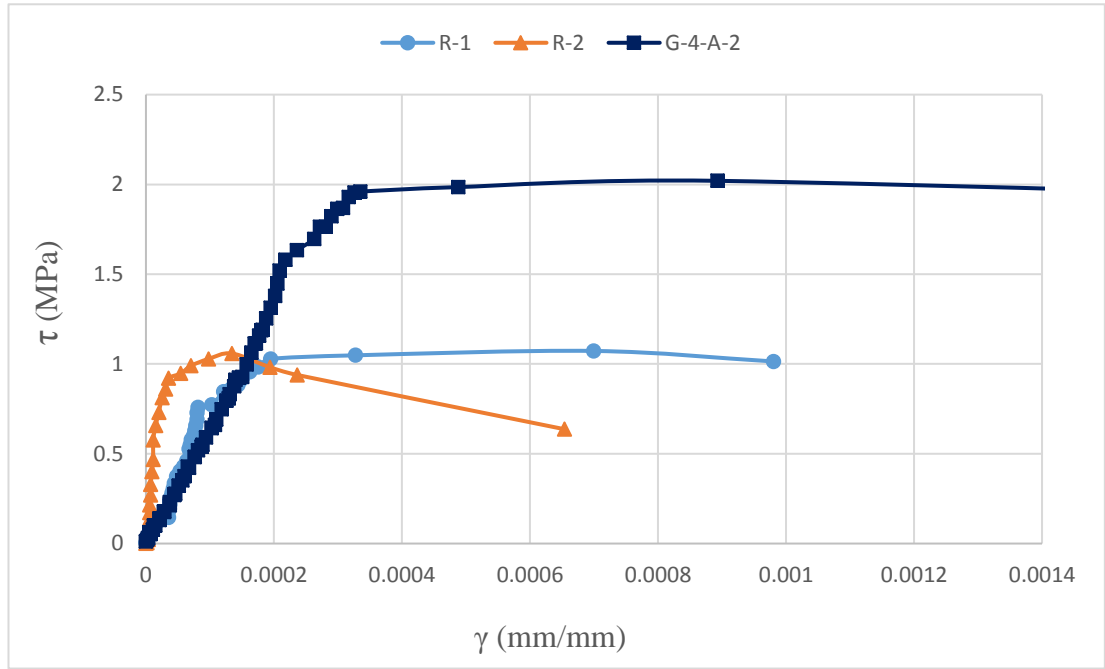
| Deneysel parametreler | G-4-A-1/R Oranı | Artış veya azalış miktarı (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| P_{max} (kN) | 1.14 | 14 artış |
| τ_{max} (MPa) | 1.04 | 4 artış |
| $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%) | 1.15 | 15 artış |
| G (MPa) | 0.84 | 16 azalış |

Referans numuneleri ile G-4-A-1 numunesi kıyaslandığında, referans numunelerine oranla güçlendirilmiş G-4-A-1 duvar numunesinin maksimum basınç yükü, maksimum kayma dayanımı ve buna karşılık gelen maksimum kayma şekil değiştirmesi değerlerinde artış gözlenmiştir. Diğer taraftan kayma modülü değerinde ise % 16'lık bir azalış meydana gelmiştir. Böyle bir azalmanın olması, duvarın tek yüzünde güçlendirme olmasına ve dolayısıyla meydana gelen çatlamların ve uzama-

kısaltmaların güçlendirme olmayan tarafta daha fazla meydana gelmesine bağlanabilir. Hem referans numunelerinde hem de güçlendirilmiş G-4-A-1 numunesinde gevrek bir göçme meydana gelmiştir.

3.6.3.2 R numuneleri ile G-4-A-2 numunesinin karşılaştırılması

Referans numunelerinin deneysel parametrelerinin ortalama değerleri ile G-4-A-2 numunesinin deneysel verilerinin karşılaştırılması Çizelge 3.17’de ve bunlara ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri Şekil 3.67’de verilmiştir.



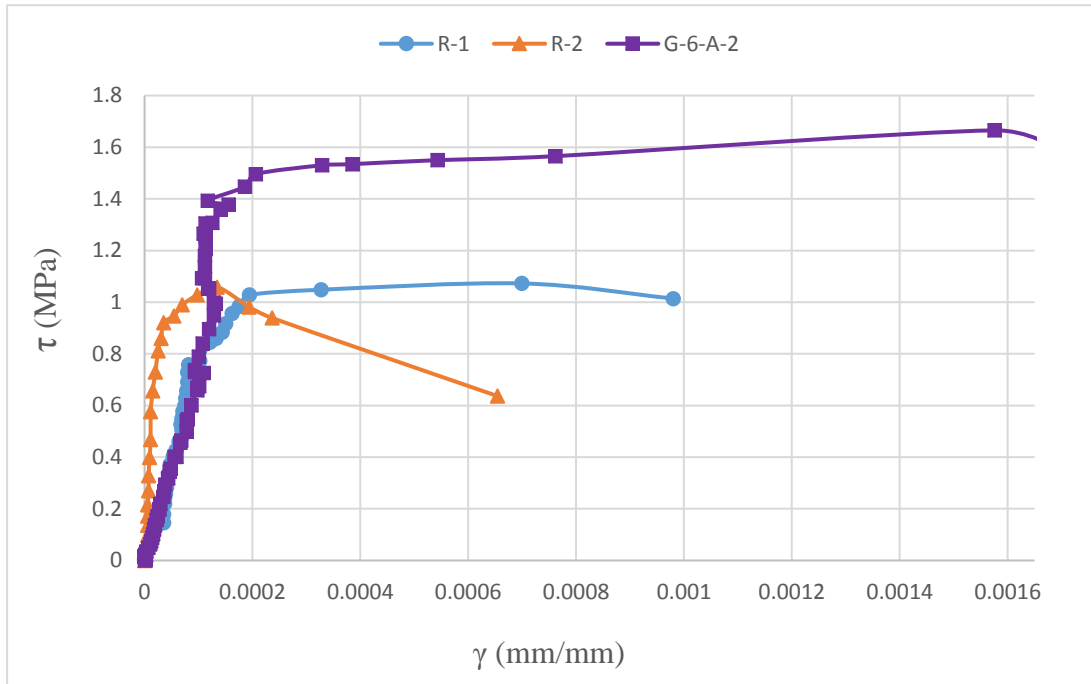
Şekil 3.67: G-4-A-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.

Çizelge 3.17: G-4-A-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması.

| Deneysel parametreler | G-4-A-2/R Oranı | Artış veya azalış miktarı (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| P_{max} (kN) | 2.32 | 132 artış |
| τ_{max} (MPa) | 1.90 | 90 artış |
| $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%) | 2.14 | 114 artış |
| G (MPa) | 1.47 | 47 artış |

3.6.3.3 R numuneleri ile G-6-A-2 numunesinin karşılaştırılması

İki yüzeyi de AR Glass tekstil içerikli 6 katlı kompozit plakalarla güçlendirilmiş olan G-6-A-2 numunesi ile referans numunelerinin deneysel parametrelerinin oransal ifadeleri ve bu numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkileri aşağıda verilmiştir (Şekil 3.68 ve Çizelge 3.18).



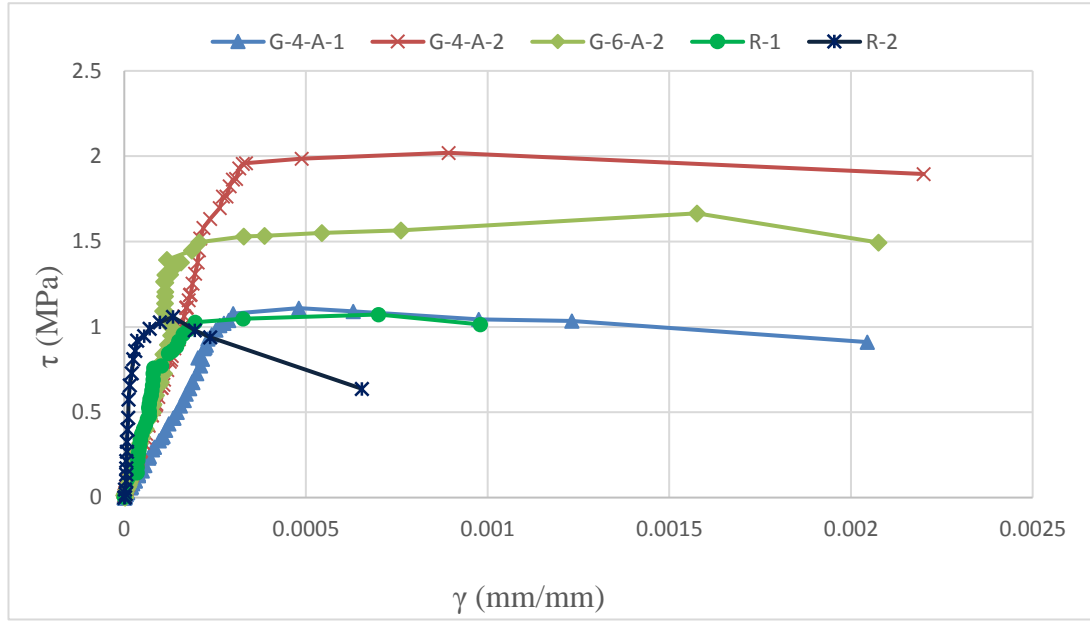
Şekil 3.68: G-6-A-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.

Çizelge 3.18: G-6-A-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması.

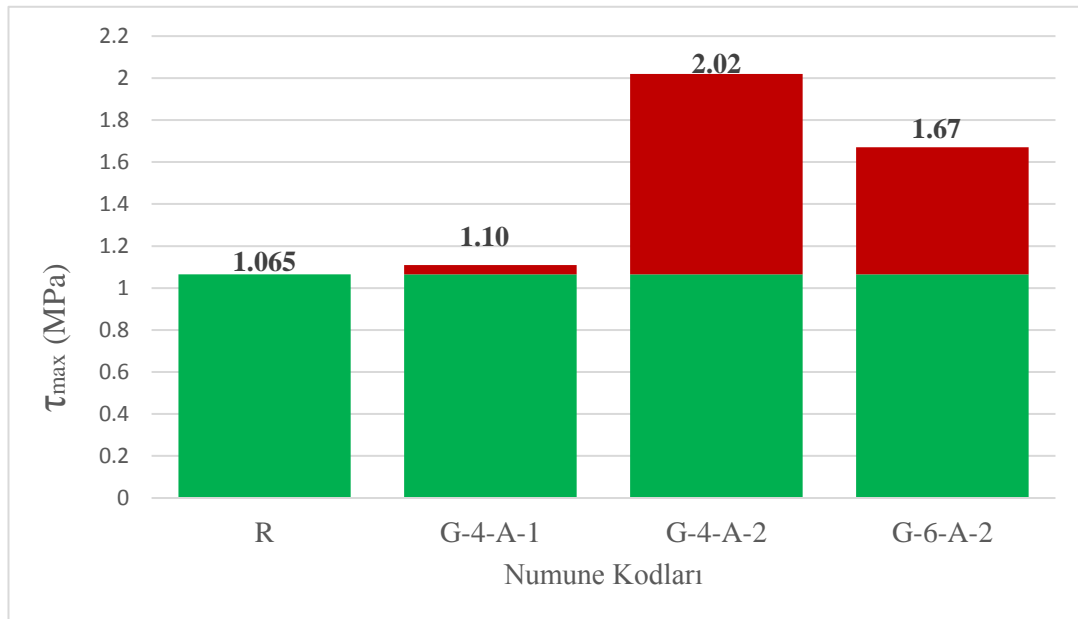
| Deneysel parametreler | G-6-A-2/R Oranı | Artış veya azalış miktarı (%) |
|------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| P _{max} (kN) | 1.96 | 96 artış |
| τ _{max} (MPa) | 1.57 | 57 artış |
| γ _{τmax} (mm/mm)(%) | 3.78 | 278 artış |
| G (MPa) | 1.59 | 59 artış |

3.6.3.4 R numuneleri ile tüm ARG numunelerin karşılaştırılması

Tüm AR Glass içerikli güçlendirilmiş numunelerin kayma dayanımı-kayma şekil değiştirmesi eğrileri referans numunelerin grafikleri ile birlikte Şekil 3.69’da ve referans numunelerinin ortalama değerine göre maksimum kayma dayanımlarındaki artış ve azalış miktarları Şekil 3.70’de verilmiştir. Çizelge 3.19’da ise AR Glass içerikli numuneler ile referans numunelerinin tüm deneysel parametreleri bir arada verilmiştir.



Şekil 3.69: ARG numuneleri ile R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.



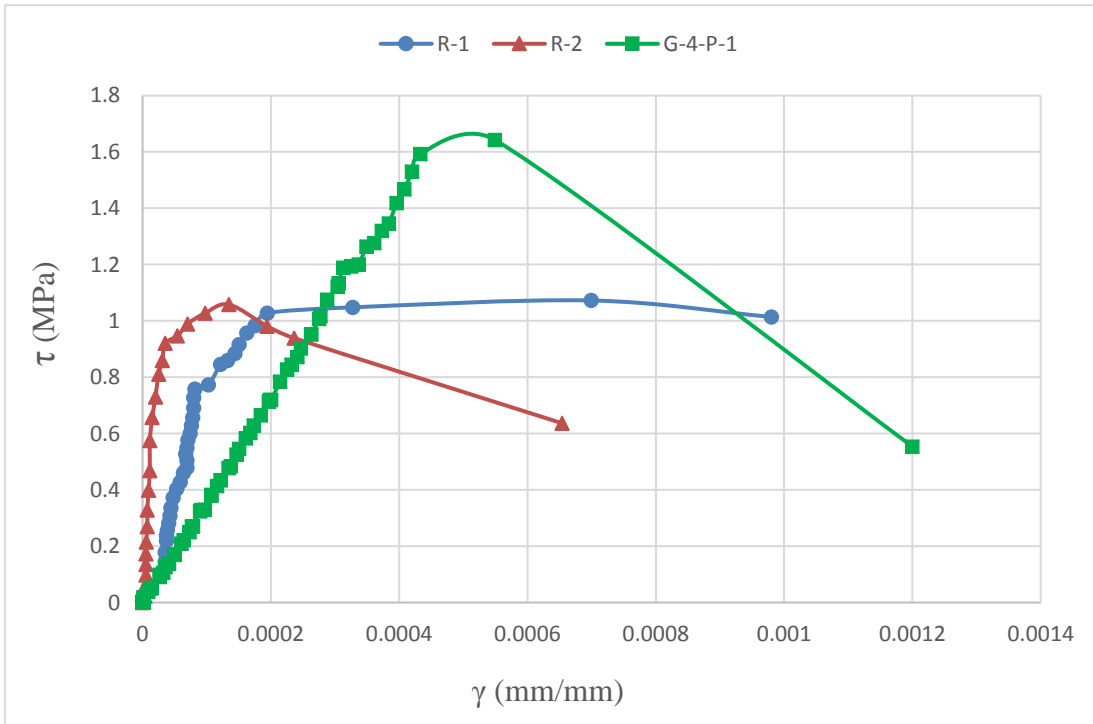
Şekil 3.70: ARG numuneleri ile R numuneleri maksimum kayma dayanımı ilişkisi.

Çizelge 3.19: ARG ve R numuneleri tüm deneysel parametreleri.

| Numune No | R-1 | R-2 | G-4-A-1 | G-4-A-2 | G-6-A-2 |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| P_{max} (kN) | 173.0 | 170.6 | 195.8 | 396.5 | 337.0 |
| τ_{max} (MPa) | 1.07 | 1.06 | 1.11 | 2.02 | 1.67 |
| $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm) (%) | 0.06997 | 0.01345 | 0.0481 | 0.0893 | 0.1576 |
| G (MPa) | 3830 | 4714.3 | 3571.5 | 6290 | 6785.8 |

3.6.3.5 R numuneleri ile G-4-P-1 numunesinin karşılaştırılması

PVA tekstil içerikli güçlendirilmiş numune olan G-4-P-1 ile referans numunelerinin deneysel parametrelerinin oransal ifadesi Çizelge 3.20’de verilmiştir. Bu numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri Şekil 3.71’de verilmiştir.



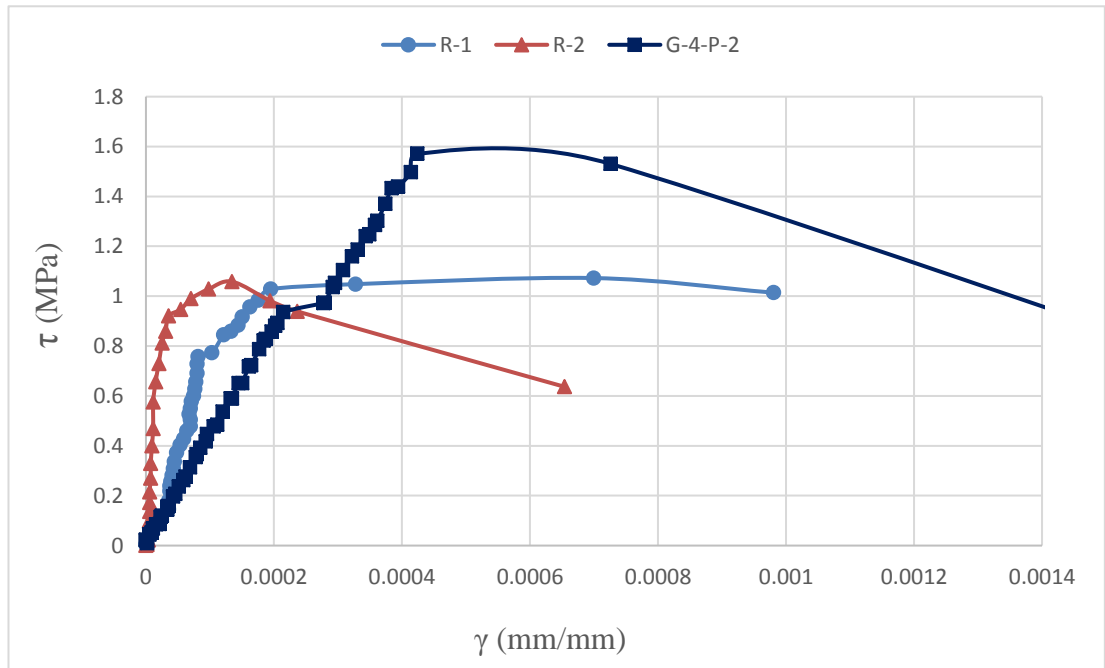
Şekil 3.71: G-4-P-1 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.

Çizelge 3.20: G-4-P-1 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması.

| DeneySEL parametreler | G-4-P-1/R Oranı | Artış veya azalış miktarı (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| P_{max} (kN) | 1.68 | 68 artış |
| τ_{max} (MPa) | 1.54 | 54 artış |
| $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%) | 1.32 | 32 artış |
| G (MPa) | 0.84 | 16 azalış |

3.6.3.6 R numuneleri ile G-4-P-2 numunesinin karşılaştırılması

PVA tekstil içerikli güçlendirilmiş numuneler arasında G-4-P-2 numunesi basınç yükü ile kayma modülü değeri en yüksek çıkan numunedir. Buna rağmen kayma dayanımı G-4-P-1 numunesine göre daha azdır. Bunun nedeni numunenin iki yüzünde de güçlendirme olması ve kesit alanının daha büyük olmasıdır. G-4-P-2 ile referans numunelerinin deneysel parametrelerinin oransal ifadesi Çizelge 3.21’de verilmiştir. Bu numunelere ait kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi eğrileri Şekil 3.72’de verilmiştir.



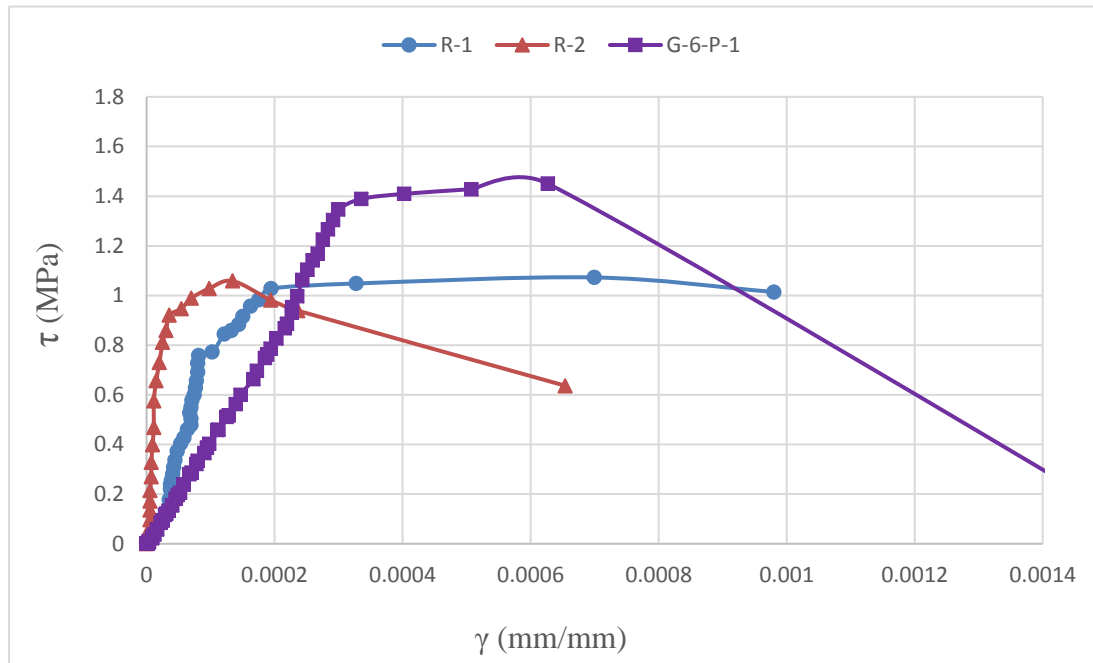
Şekil 3.72: G-4-P-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değıştirmesi ilişkisi.

Çizelge 3.21: G-4-P-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması.

| Deneysel parametreler | G-4-P-2/R Oranı | Artış veya azalış miktarı (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| P_{max} (kN) | 1.87 | 87 artış |
| τ_{max} (MPa) | 1.47 | 47 artış |
| $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%) | 1.02 | 2 artış |
| G (MPa) | 1.05 | 5 artış |

3.6.3.7 R numuneleri ile G-6-P-1 numunesinin karşılaştırılması

G-6-P-1 numunesi, PVA tekstil içerikli ve tek yüzeyi güçlendirilmiş duvar numunesidir. G-6-P-1 ile referans numunelerinin deneysel parametrelerinin oransal ifadesi Çizelge 3.22’de verilmiştir. Bu duvar numunelerine ait kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri Şekil 3.73’de verilmiştir.



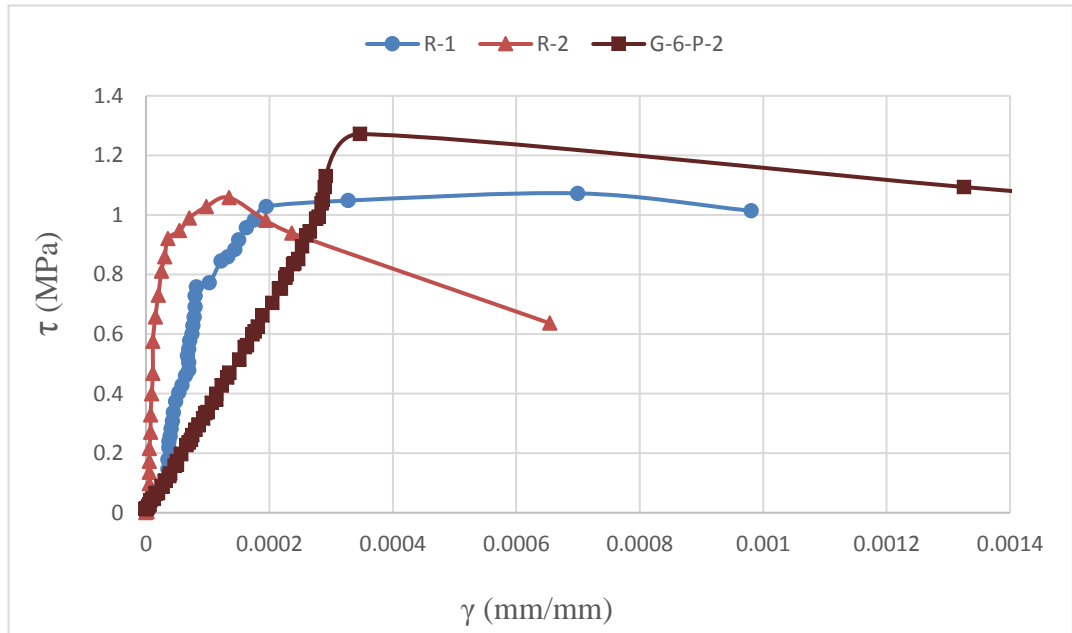
Şekil 3.73: G-6-P-1 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.

Çizelge 3.22: G-6-P-1 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması.

| Deneysel parametreler | G-6-P-1/R Oranı | Artış veya azalış miktarı (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| P_{max} (kN) | 1.62 | 62 artış |
| τ_{max} (MPa) | 1.36 | 36 artış |
| $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%) | 1.50 | 50 artış |
| G (MPa) | 0.99 | 1 azalış |

3.6.3.8 R numuneleri ile G-6-P-2 numunesinin karşılaştırılması

PVA tekstil içerikli güçlendirilmiş numuneler ve diğer güçlendirilmiş numuneler içerisinde G-6-P-2 numunesi, kayma modülü ve kayma şekil değiştirmesi en düşük çıkan duvar numunesidir. Buna sebep olarak duvarın kesit alanının büyük olması ve meydana gelen rötre çatlakları gösterilebilir. G-6-P-2 ile referans numunelerinin deneysel parametrelerinin oransal ifadesi Çizelge 3.23’de ve kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri Şekil 3.74’de verilmiştir.



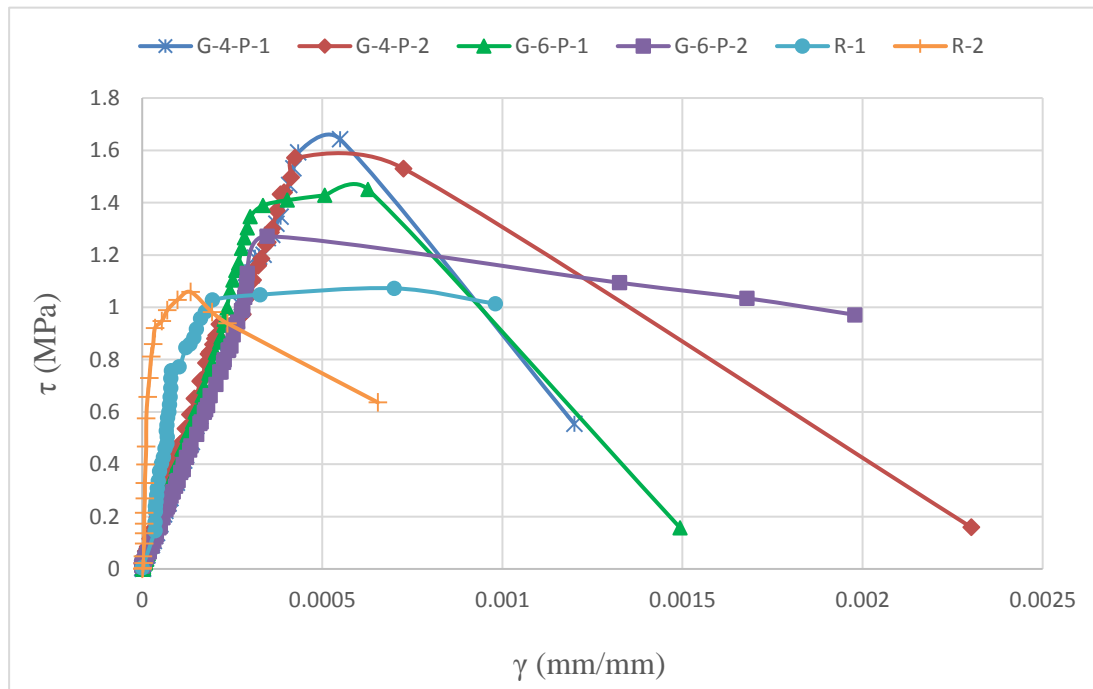
Şekil 3.74: G-6-P-2 numunesi ve R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.

Çizelge 3.23: G-6-P-2 ve R numunelerinin deney verilerinin kıyaslanması.

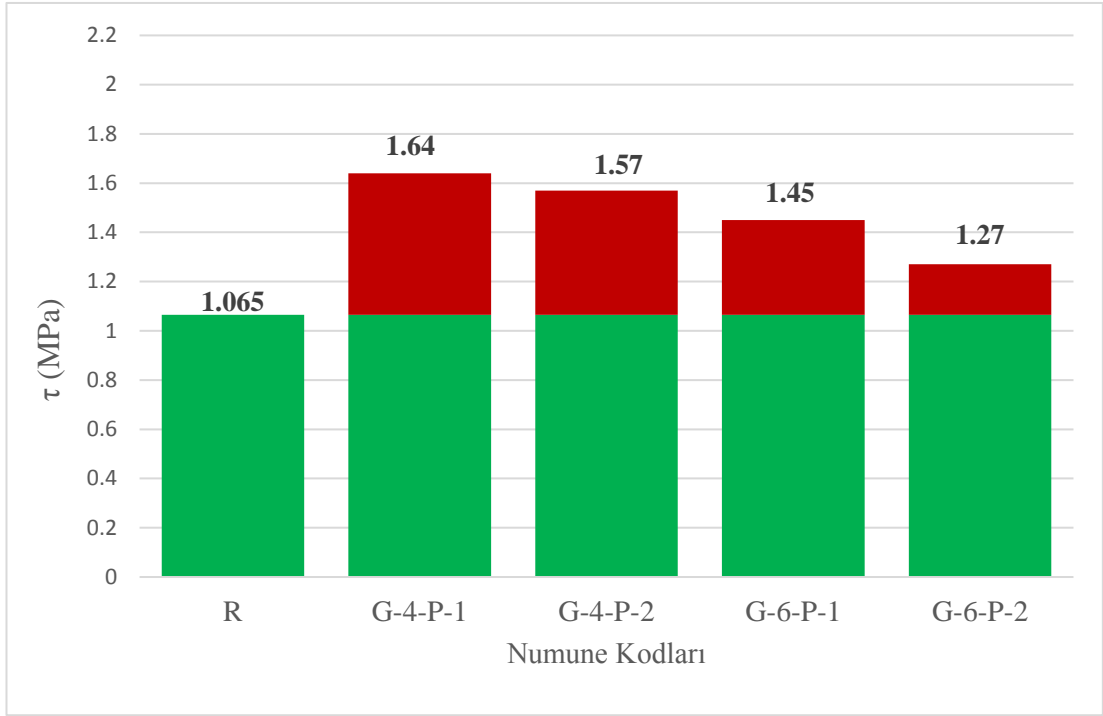
| Deneysel parametreler | G-6-P-2/R Oranı | Artış veya azalış miktarı (%) |
|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| P_{max} (kN) | 1.53 | 53 artış |
| τ_{max} (MPa) | 1.19 | 19 artış |
| $\gamma_{\tau_{max}}$ (mm/mm)(%) | 0.83 | 17 azalış |
| G (MPa) | 0.81 | 19 azalış |

3.6.3.9 R numuneleri ile tüm PVA numunelerin karşılaştırılması

Tüm PVA tekstil içerikli güçlendirilmiş numuneler ile referans numunelerinin kayma dayanımı-kayma şekil değiştirmesi eğrileri Şekil 3.75’de verilmiştir. PVA içerikli numunelerin maksimum kayma dayanımı değerlerinin referans numunelerinin ortalama değerine göre artış ve azalış miktarları Şekil 3.76’da ve bu numunelere ait tüm deneysel ifadeler Çizelge 3.24’de verilmiştir.



Şekil 3.75: PVA numuneleri ile R numuneleri kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi ilişkisi.



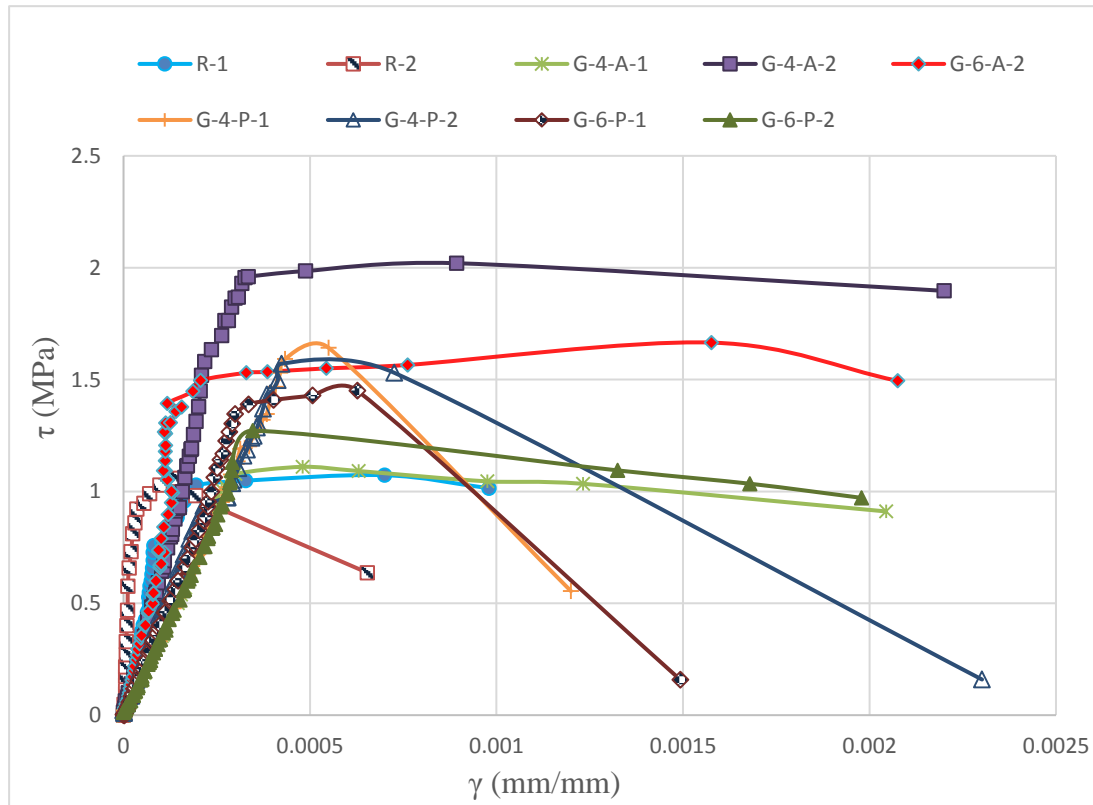
Şekil 3.76: PVA numuneleri ile R numuneleri maksimum kayma dayanımı ilişkisi.

Çizelge 3.24: PVA ve R numuneleri tüm deneysel parametreleri.

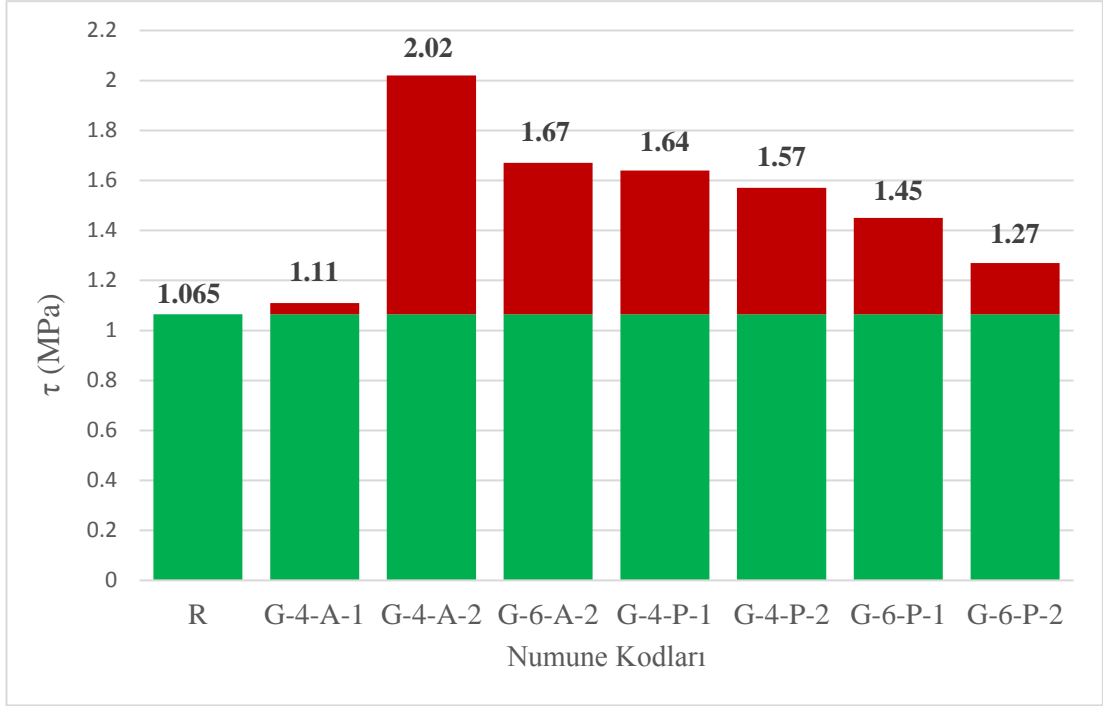
| Numune No | R-1 | R-2 | G-4-P-1 | G-4-P-2 | G-6-P-1 | G-6-P-2 |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| P_{max} (kN) | 173.0 | 170.6 | 288.0 | 321.7 | 277.5 | 263.0 |
| τ_{max} (MPa) | 1.07 | 1.06 | 1.64 | 1.57 | 1.45 | 1.27 |
| γ_{τ_{max}} (mm/mm) (%) | 0.06997 | 0.01345 | 0.05495 | 0.04239 | 0.06268 | 0.03465 |
| G (MPa) | 3830 | 4714.3 | 3596.9 | 4480.8 | 4240.7 | 3474.4 |

3.6.3.10 Tüm numunelerin birbirleriyle karşılaştırılması

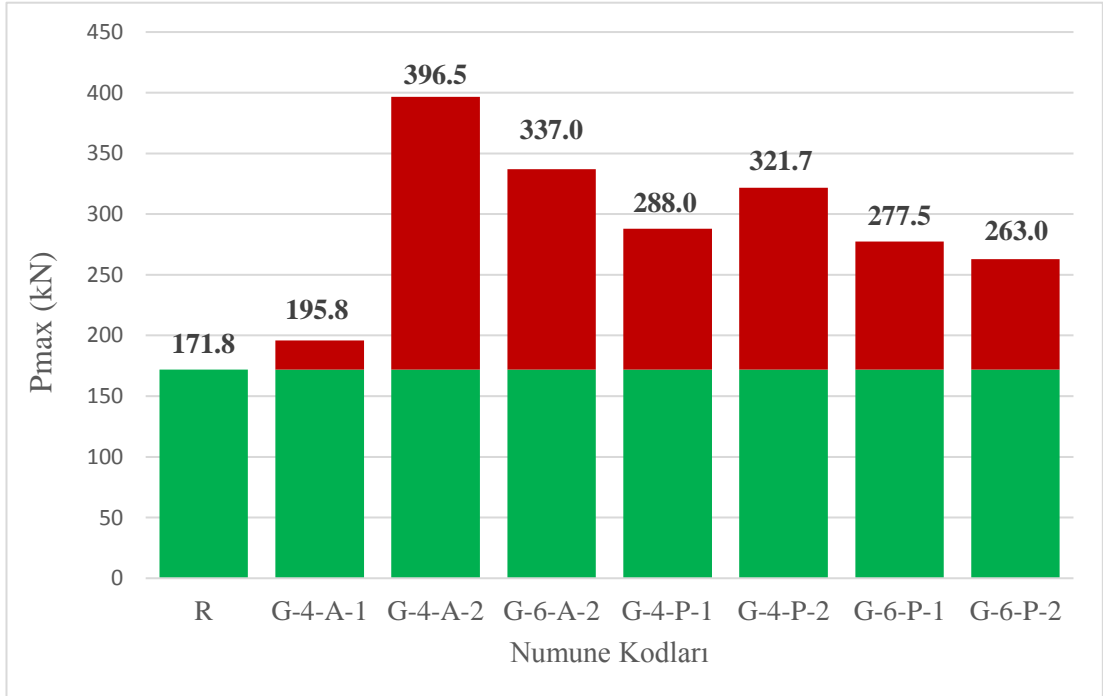
Deneyleri tamamlanan tüm duvar numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri bir arada incelendiğinde G-4-A-2 numunesinin kayma dayanımında belirgin bir artış olduğu görülmektedir (Şekil 3.77 ve Şekil 3.78). Nitekim imalat hatalarının en az olduğu numune G-4-A-2 numunesidir. Bununla birlikte numunelerin tamamının aniden göçmeleri ve gevrek davranış sergilemeleri gibi benzer özelliklere sahip oldukları söylenebilir. Öyle ki hemen hemen tüm numunelerin kayma modülü değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Deney parametreleri incelendiğinde numunelerin istikrarlı bir grafiğe sahip olmadığı görülmektedir. Şöyle ki bu deney numuneleri geliştirilme aşamasında olduğu için üretimde hesaba katılmayan bazı aksaklıklar olmuştur ve bu da numunelerin homojen davranmasını engellemiştir. Şekil 3.79’da numunelerin göçme noktasındaki maksimum diyagonal basınç yükleri sütun grafik olarak gösterilmiştir. Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş duvar numunelerinin tamamına ait deneysel parametreler Çizelge 3.25’de ve güçlendirilmiş numunelerin referans numunelere oranla parametrelerindeki artış ve azalış yüzdeleri Çizelge 3.26’da verilmiştir.



Şekil 3.77: Tüm duvar numunelerinin kayma gerilmesi-kayma şekil değiştirmesi eğrileri.



Şekil 3.78: Tüm deney numunelerinin maksimum kayma dayanımları.



Şekil 3.79: Tüm deney numunelerinin maksimum basınç yükleri.

Çizelge 3.25: Tüm duvar numunelerinin deneysel parametreleri.

| Numune No | P _{max} (kN) | τ_{max} (MPa) | γ (mm/mm) (%) | G (MPa) |
|-----------|-----------------------|--------------------|----------------------|---------|
| R-1 | 173.0 | 1.07 | 0.06997 | 3830.0 |
| R-2 | 170.6 | 1.06 | 0.01345 | 4714.3 |
| G-4-A-1 | 195.8 | 1.11 | 0.0481 | 3571.5 |
| G-4-A-2 | 396.5 | 2.02 | 0.0893 | 6290.0 |
| G-6-A-2 | 337.0 | 1.67 | 0.1576 | 6785.8 |
| G-4-P-1 | 288.0 | 1.64 | 0.05495 | 3596.9 |
| G-4-P-2 | 321.7 | 1.57 | 0.04239 | 4480.8 |
| G-6-P-1 | 277.5 | 1.45 | 0.06268 | 4240.7 |
| G-6-P-2 | 263.0 | 1.27 | 0.03465 | 3474.4 |

Çizelge 3.26: Güçlendirilmiş bölme duvar numunelerinin referans numunelere oranla parametrelerindeki artış ve azalış miktarları.

| Artış ve azalış yüzdeleri | P _{max} (kN) | τ_{max} (MPa) | γ (mm/mm) | G (MPa) |
|---------------------------|-----------------------|--------------------|------------------|---------|
| G-4-A-1/R (%) | 14 | 4 | 15 | -16 |
| G-4-A-2/R (%) | 131 | 90 | 114 | 47 |
| G-6-A-2/R (%) | 96 | 57 | 278 | 59 |
| G-4-P-1/R (%) | 68 | 54 | 32 | -16 |
| G-4-P-2/R (%) | 87 | 47 | 2 | 5 |
| G-6-P-1/R (%) | 62 | 36 | 50 | -1 |
| G-6-P-2/R (%) | 53 | 19 | -17 | -19 |

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

4.1 Değerlendirmeler

Bu tez çalışması, toplam 9 adet bölme duvar numunesinin diyagonal basınç yükü altında deneye tabi tutulması ve kayma dayanımlarının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışmadır. 9 adet duvar numunesi içerisinde 2 tanesi şahit (referans) numune olarak test edilmiş, 7 tanesi ise yeni bir yöntem olan PPR yöntemiyle üretilen kompozit plakalarla farklı şekillerde güçlendirilmesi yapılan duvar numuneleridir. 760x760 mm ebatlarında üretilen bu duvar numuneleri için yapılan deneyler sonucunda numunelere ait diyagonal basınç yükü, kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü parametreleri elde edilmiştir. Bu veriler ışığında, güçlendirilmiş numuneler referans numuneleri ile karşılaştırılmış, kompozit plakaların güçlendirme çalışmalarındaki verimliliği ve referans numunelerine oranla söz konusu deneysel parametrelerdeki artış ve azalış miktarları belirlenmiştir (Çizelge 3.26). Referans numuneleri, tuğla duvar üzerinde sıva harcı olmak üzere yalın bırakılmıştır. Güçlendirilmiş numuneler ise duvarın tek veya iki yüzeyinde, 4 katlı veya 6 katlı, PVA veya AR Glass tekstil içerikli kompozit plakalarla farklı kombinasyonlarda güçlendirilerek üretilmiştir (Çizelge 3.1). Üretilen bu güçlendirilmiş numunelerdeki tekstil cinsinin ve kat sayısının maksimum basınç yükü ve maksimum kayma dayanımına katkısı araştırılmıştır. Duvarların göçme yükünde meydana gelen hasar durumu ve göçme modları incelenmiştir.

Tüm bu deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ve gözlemler dikkate alındığında ve değerlendirildiğinde öne çıkan önemli sonuçlar şunlardır;

- Tüm deney numuneleri ele alındığında, deneysel parametrelerdeki artış ve azalış miktarlarında beklenilmeyen durumların olması, numunelerin istenilen verimde çalışacak şekilde üretilmemesine ve imalattan kaynaklanan kusurların bazı numunelerde daha çok olmasına bağlanabilir.
- Deney esnasında ve sonrasında güçlendirme için kullanılan bazı plakaların duvar ile tam kenetlenmediği, duvar ile aralarında boşlukların olduğu ve aderansın zayıf kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.52).

- Üretimden kaynaklanan kusurlar, güçlendirilmiş numunelerin istenildiği gibi yük taşımamasına ve ideal kapasitesine ulaşamamasına neden olmuştur.
- Muhtemel düzlem dışı hareket, tüm numunelerde önlenmiş ve deneyler istenildiği gibi düzlem dışı deformasyonlar olmadan tamamlanmıştır.
- Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş tüm numunelerde nihai göçme ani ve gevrek bir şekilde meydana gelmiştir.
- Duvar numunelerinin üretiminde kullanılan tuğlalar için yapılan basınç deneylerinde dikey olarak denenen tuğlaların ortalama maksimum basınç yükü kapasitelerinin 216.3 kN olduğu gözlenmiştir. Diğer taraftan diyagonal basınç yükü altında deneye tabi tutulan referans numunelerinin ortalama maksimum yük değeri ise 171.8 kN olarak belirlenmiştir.
- Referans numunelerinin parametreleri ile G-4-A-1 numunesinin parametreleri kıyaslandığında değerlerin birbirine yakın olduğu, çok az farkla güçlendirilmiş numunenin parametrelerinde artış olduğu dikkat çekmiştir. Artış miktarının az olması duvar ile plakalar arasında boşlukların olmasına ve aderansın zayıf olmasına bağlanabilir. Nitekim G-4-A-1 numunesinin, güçlendirilmiş numuneler içerisinde en düşük değerlere sahip olan numune olduğu söylenebilir.
- Deney numuneleri içerisinde G-4-A-2 numunesi, en çok dikkat çeken ve en yüksek parametrelere sahip olan duvar numunesidir. Bu numunenin deney parametreleri açısından daha verimli sonuçlar vermesi, duvar ile plakalar arasındaki aderansın güçlü olması ve plakaların yüksek verimde çalışarak yük taşımalarına bağlanabilir.
- Numunelerin deney sonrası göçme modları incelendiğinde, şahit numunelerin boylu boyunca oluşan büyük düşey çatlaklar sonucu göçtüğü gözlenmiştir. Güçlendirilmiş numunelerde göçme ise plakaların olduğu yüzeylerde yüzeyin en zayıf noktası olan derz bölgelerinden olmuştur ve göçme sonrası numunelerde dağılma meydana gelmemiştir. Bunun sebebi plakaların duvar numunesini tutması ve dağılmasını engellemesidir.
- G-4-A-1 numunesi referans numuneleri ile kıyaslandığında maksimum diyagonal basınç yükü değerinde % 14 artış, maksimum kayma dayanımı değerinde % 4 artış ve maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi değerinde % 15 artış olmuştur. Kayma modülü değerinde ise % 16 azalma meydana gelmiştir. Kayma modülü değerindeki bu azalmaya sebep

olarak, plakalar ile duvar arasında tam bir kenetlenmenin olmamasından dolayı duvar numunesinin erken göçmesi ve maksimum yük kapasitesinin düşük çıkması gösterilebilir.

- G-4-A-2 numunesi ile referans numuneleri karşılaştırıldığında maksimum basınç yükü değerinde % 131 artış, maksimum kayma dayanımı değerinde % 90 artış, maksimum kayma dayanımındaki kayma şekil değiştirmesi değerinde % 114 artış ve kayma modülü değerinde % 47 artış meydana gelmiştir. Güçlendirilmiş numuneler arasında maksimum kayma dayanımı en yüksek olan ve en verimli çalışan numune G-4-A-2 numunesidir (Şekil 3.77).
- G-6-A-2 numunesi şahit numunelerle mukayese edildiğinde, maksimum yük değerinde % 96, maksimum kayma dayanımı değerinde % 57 artış olmuştur. Diğer parametrelerde de yine ciddi bir artış gözlenmiştir.
- G-4-P-1, G-4-P-2, G-6-P-1 ve G-6-P-2 numuneleri ise şahit numunelerle karşılaştırıldığında, maksimum basınç yükü değerlerinde sırasıyla % 68, 87, 62, 53 artış ve maksimum kayma dayanımı değerlerinde sırasıyla % 54, 47, 36, 19 artış gözlenmiştir.
- Tüm deney sonuçları ele alındığında, ARG tekstil içerikli kompozit plakaların PVA tekstil içerikli plakalara göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Buna sebep olarak;
 - PVA tekstillerdeki filamentlerin çok sık dokunması ve harcın içerisine nüfuz etmemesi ve güçlendirmede plakanın ilk katmanı hariç diğer katmanların yük almaması,
 - ARG tekstillerde ise tekstili oluşturan ağısı bir yapının olması ve harcın bu boşluklu yapıdan içeriye iyi nüfuz etmesi ve plakanın daha homojen bir yapıya sahip olarak yükü ilk katmandan sonrakilere de aktarabilmesi gösterilebilir (Şekil 2.2 ve 2.3).
- Benzer yöntemlerle daha önce gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalara bakıldığında;
 - CFRC ile güçlendirilmiş bölme duvar numunelerine kıyasla kompozit plakalarla güçlendirilen numunelerin maksimum kayma dayanımı değeri yaklaşık % 23 daha fazla olmuştur.
 - Benzer şekilde CMG ile güçlendirilen numunelere kıyasla kompozit plakalarla güçlendirilmiş numunelerin maksimum kayma dayanımı değerinde ise yaklaşık olarak % 14' lük bir artış olmuştur.

- Yine deney sonuçlarına bakıldığında, iki yüzeyi güçlendirilen numuneler tek yüzeyi güçlendirilen numunelere göre daha iyi sonuç vermiştir (Çizelge 3.25).
- Plakaların duvar yüzeyine yapıştırılması için kullanılan bağlayıcı harcın, plakaların üretiminde kullanılan özel içerikli harçların yaklaşık yarısı kadar basınç dayanımına sahip olduğu yapılan deneylerde belirlenmiştir (Çizelge 2.3, 2.4 ve Çizelge 3.5).

4.2 Sonuç

Tüm bu yapılan deneyler ve gözlemlerden yola çıkarak, yeni bir güçlendirme metodu olan kompozit plakaların üretiminde ve duvar numuneleri üzerine uygulamalarında ortaya çıkan kusurlara rağmen istenilen sonuçlara ulaşılmıştır. Kompozit plakalar ile güçlendirilen bölme duvar numunelerinin kayma dayanımı değerleri 2.02 MPa mertebelerine kadar ulaşmış, şahit numunelere kıyasla % 19 ila 90 artış göstermiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında, betonarme taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve kirişler tarafından sınırlandırılan bölme duvarları üzerinde bu tür bir güçlendirme uygulaması yapıldığı takdirde mevcut yapının rijitliğinin ve yatay yük taşıma kapasitesinin önemli derecede artacağı söylenebilir. Yeni bir güçlendirme yöntemi olan kompozit plakalar ve uygulamada kullanılan bağlayıcı harç henüz geliştirilme aşamasında olduğu için yapılan diyagonal kayma deneyleri söz konusu eksiklerin tespiti ve telafi edilmesi açısından da büyük öneme sahiptir. Depremin etkili olduğu ülkemizde gelişen sanayii ile birlikte kompozit plakalarla güçlendirme yönteminin geliştirilmesi yönünde yapılan çalışmalara verilen destekler artırılırsa, söz konusu yöntemin çok daha ekonomik ve kolay uygulanabilir olacağını söyleyebiliriz.

Sonuç olarak, tüm bu gözlemler ve deneysel sonuçlar değerlendirmeye alındığında kompozit güçlendirme plakalarının beklenen seviyelerde çalışarak yük taşıdığı ve sargı etkisiyle bölme duvar numunelerinin göçme sonrası dağılmasını engellediği görülmüştür. Bölme duvar numuneleri üzerine güçlendirme plakalarının uygulanması aşamasında meydana gelen işçilik ve imalat kusurları minimize edilirse bu kompozit plakaların çok daha iyi sonuçlar vereceği ve maksimum performanslarına ulaşacağı açık bir gerçektir.

KAYNAKLAR

- Arya, C., Clarke, J. L., Kay, E. A., O'Regan, P. D.** (2002). TR 55: Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials: a review, *Engineering Structures*, Vol. 24, July 2002.
- ASTM -E519-15** (2015). Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages, *Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.*
- Aydınay, M.B.** (2002). Donatılı ve donatısız alker duvarların kayma dayanımı üzerine deneysel bir araştırma, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Binici, B., Özcebe, G., Özçelik R.** (2007). Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames, *Composites Part B: Engineering*, Vol. 38, September 2007.
- Boğazkesen, K.K.** (2011). PVA lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, (yüksek lisans tezi), Yapı Mühendisliği Programı, İ.T.Ü., İstanbul.
- Brameshuber, W.** (2006). Textile Reinforced Concrete – State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC.
- Brandt, A.M.** (1993). Cement-Based Composites, Materials, Mechanical Properties and Performance, *Institute of Fundamental Technological Research Polish Academy of Sciences, Poland.*
- Coza, H.** (2009). Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi, (doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, *Projem İstanbul-2009.*
- Cuypers, H., Wastiels, J., Orlowsky, J., Raupach, M.** (2003). Measurement of the Durability of Glass Fibre Reinforced Concrete and Influence of Matrix Alkalinity, Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2003.
- Çılı, F., Karadoğan, H. F., Geçili, G. E.** (2007). Karbon Liflerle Güçlendirilmiş Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Tübitak Mag Proje 104M562, İstanbul.
- DBYBHY,** (2007). Deprem bölgelerinde yapılan binalar hakkında yönetmelik, *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.*
- Ehsani, M.R., Saadatmanesh, H., Al-Saidy, A.** (1997). Shear behavior of URM retrofitted with FRP overlays, *JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION / FEBRUARY 1997.*

- El-Dakhakhni, W.W., Hamid, A.A., Hakam, Z.H.R., Elgaaly, M.** (2005). Behavior of Composite Unreinforced Masonry-Fiber-Reinforced Polymer Wall Assemblages Under In-Plane Loading, *JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION* © ASCE / JANUARY/FEBRUARY 2005.
- ElGawady, M.A., Lestuzzi, P., Badoux, M.** (2007). Static Cyclic Response of Masonry Walls Retrofitted with Fiber-Reinforced Polymers, *JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION* © ASCE / JANUARY/FEBRUARY 2007.
- Hartig, J., Häußler -Combe, U., Schicktanz, K.** (2008). Influence of bond properties on the tensile behaviour of Textile Reinforced Concrete, *Cement & Concrete Composites* 30 (2008) 898-906.
- Hegger, J., Voss, S.** (2008). Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete, Vol. 30, July 2008.
- Kaplan, S.A.** (2008). Dolgu duvarların betonarme taşıyıcı sistem performansına etkisi, *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı-452, Haziran 2008.
- Karadeniz, A.C.** (2012). PVA tekstillerin çimento esaslı kompozitlerde kullanılması, (yüksek lisans tezi), Yapı Mühendisliği Programı, İ.T.Ü., İstanbul.
- Katz, A., Tsesarsky, M., Peled, A., Anteby, I.** (2012). Textile Reinforced Cementitious Composites (TRCC) for Retrofit and Strengthening of Concrete Structures under Impact Loading, *G.J. Parra-Montesinos, H.W. Reinhardt, and A.E. Naaman (Eds.): HPFRCC 6, pp. 503-510* © RILEM 2012.
- Khalil, A., Ghobarah, A.** (2005). Behaviour of rehabilitated structural walls, *Journal of Earthquake Engineering* 09, 371.
- Kolsch, H.** (1998). Carbon fiber cement matrix (CFCM) overlay system for masonry strengthening, *JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION* / MAY 1998.
- Lee, H.S., Kage, T., Noguchi, T., Tomosawa, F.** (2003). An experimental study on the retrofitting effects of reinforced concrete columns damaged by rebar corrosion strengthened with carbon fiber sheets (CFS), Vol. 33, April 2003.
- Lignola, G.P., Prota, A., Manfredi, G.** (2009). Nonlinear analyses of tuff masonry walls strengthened with cementitious matrix-grid composites, *JOURNAL OF COMPOSITES FOR CONSTRUCTION* © ASCE / JULY/AUGUST 2009 / 243.
- Mezrea, P.E.** (2014). Tarihi tuğla duvarların tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirilmesi, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Mosalam, K.M., Hashemi, A.** (2006). Shake-table experiment on reinforced concrete structure containing masonry infill wall, *Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, U.S.A.*
- Ombres, L.** (2014). Analysis of the bond between Fabric Reinforced Cementitious Mortar (FRCM) strengthening systems and concrete, *Department of*

Civil Engineering, University of Calabria, 87036 Arcavacata di Rende, Cosenza, Italy.

- Ombres, L.** (2014). Structural performances of reinforced concrete beams strengthened in shear with a cement based fiber composite material, *Civil Engineering Department, University of Calabria, Arcavacata di Rende, Cosenza, Italy.*
- Ökten, M.S.** (2013). Lifli çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilmiş dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin deneysel incelenmesi, (doktora tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Özkan, C.** (2012). Çimento esaslı kompozitlerle güçlendirilen dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin tersinir tekrarlı yükler altında davranışı, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Özkaynak, H.** (2010). Dolgu duvarları lifli polimerler ile sargılanmış betonarme çerçeve sistemlerin deprem davranışı ve yapısal sönüm özellikleri, (doktora tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Özsayın, B.** (2010). Boşluklu tuğla duvarların lifli polimer ile güçlendirilmesi ve davranışta harç etkisi, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü., İstanbul.
- Peled, A., Bentur, A., Mobasher, B.** (2016). Textile Reinforced Concrete, January 2016.
- Si Larbi, A., Contamine, R., Ferrier, E., Hamelin, P.** (2010). Shear strengthening of RC beams with textile reinforced concrete (TRC) plate, Vol. 24, October 2010.
- Taghdi, M., Bruneau, M., Saatçioğlu, M.** (2000). Seismic Retrofitting of Low-Rise Masonry and Concrete Walls Using Steel Strips, *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING/SEPTEMBER 2000.*
- Triantafillou, T.C., Papanicolaou, C.G.** (2006). Shear strengthening of reinforced concrete members with textile reinforced mortar (TRM) jackets, *Materials and Structures (2006) 39:93-103.*
- TS 500,** (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.*
- Yüksel, E., İlki, A., Erol, G., Demir, C., Karadoğan, H.F.** (2006). Seismic retrofit of infilled reinforced concrete frames with CFRP composites, *NATO SfP977231 Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings.*



ÖZGEÇMİŞ

| | |
|-----------------------------|------------------------------|
| Ad Soyad | Mustafa GÜR |
| Doğum Yeri ve Tarihi | Tokat/1990 |
| E-posta | mustafakr60@gmail.com |
| Alternatif e-posta | kor@itu.edu.tr |
| Lisans | İstanbul Teknik Üniversitesi |

