

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ TUĞLALARLA ÖRÜLEN YIĞMA KOLONLARIN HARÇ
TAKVİYELİ BAZALT LİFLİ KUMAŞLAR İLE SARGILANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İrem Ayşe YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ TUĞLALARLA ÖRÜLEN YIĞMA KOLONLARIN HARÇ
TAKVİYELİ BAZALT LİFLİ KUMAŞLAR İLE SARGILANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İrem Ayşe YILMAZ
(501101081)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Alper İLKİ

HAZİRAN 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101081 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **İrem Ayşe YILMAZ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TARİHİ TUĞLALARLA ÖRÜLEN YIĞMA KOLONLARIN HARÇ TAKVİYELİ BAZALT LİFLİ KUMAŞLAR İLE SARGILANMASI** ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Alper İLKİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Vail KARAKALE
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **03 Haziran 2014**

Tüm aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin her aşamasında ilminden faydalandığım, bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen Sayın Danışman Hocam Prof. Dr. Alper İLKİ'ye,
Tüm deneysel çalışmalarım boyunca bana her konuda yardımcı olan ve değerli tecrübelerini benimle paylaşan Dr. Medine İSPİR'e,
Değerli katkıları için Doç. Dr. Engin İhsan BAL'a ve yüksek lisans çalışmamı destekleyen Fyfe Europe Company ve Tekstar Yalıtım ve Yapı Kimyasalları Müh. Tic. Ve San. Ltd. Şti'ye,
Birlikte çalışmaktan zevk aldığım, en önemli destekçim ve çalışma arkadaşım Pelin Elif MEZREA'ya ve deneysel çalışmalarım boyunca her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Cem DEMİR ve değerli arkadaşlarım Ergün BİNBİR, Korhan Deniz DALGIÇ ve Ali Osman ATEŞ'e,
Başta Ahmet ŞAHİN ve diğer tüm Laboratuvar çalışanlarına,
Son olarak bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan aileme ve kıymetli arkadaşım Yusuf Bahadır BALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2014

İrem Ayşe YILMAZ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	9
3.1 Giriş.....	9
3.2 Yığma Kolonlarda Kullanılan Tuğla ve Harcın Malzeme Özellikleri	11
3.2.1 Tuğla fiziksel özellikleri	11
3.2.2 Tuğlanın mekanik özellikleri	14
3.2.2.1 Tuğla eğilme deneyi.....	14
3.2.2.2 Tuğla basınç deneyi.....	16
3.2.3 Harcın mekanik özellikleri.....	20
3.2.3.1 Harç eğilme deneyi	22
3.2.3.2 Harç basınç deneyi	24
3.2.4 Bazalt tekstil mekanik özellikleri.....	25
4. NUMUNE ÜRETİMİ VE TRM UYGULAMASI	27
4.1 Numune Üretimi.....	27
4.2 Güçlendirme İşlemi	29
5. EKSENEL BASINÇ DENEYLERİ	33
5.1 Deney Düzeneği	33
5.2 Görsel Yerdeğiştirme Ölçüm Sistemi	34
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	37
6.1 Giriş.....	37
6.2 Numunelerde Görülen Hasar Gelişimi ve Göçme Modu	37
6.2.1 Seri-1'e ait numuneler.....	37
6.2.2 Seri-2'ye ait numuneler.....	43
6.3 Genel Sonuçlar	49
6.3.1 Sayısal sonuçların değerlendirilmesi	50
6.3.2 Seri-1'e ait gerilme-şekil değiştirme diyagramları ve sayısal sonuçlar	51
6.3.3 Seri-2'ye ait gerilme-şekil değiştirme diyagramları ve sayısal sonuçlar ..	54
6.4 Fotogrametrik Ölçüm Sistemi ile Elde Edilen Yerdeğiştirme Sonuçlarının Değerlendirilmesi	60
7. ANALİTİK MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	65
8. SONUÇLAR	73
KAYNAKLAR	75

EKLER.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	91

KISALTMALAR

FRP	: Fiber Reinforced Polymers
TRM	: Textile Reinforced Mortar
GFRP	: Cam lifli polimer
CFRP	: Karbon lifli polimer
HT	: Yüksek çekme dayanımına sahip
VHM	: Çok yüksek elastisite modülü değerine sahip
BFRP	: Bazalt lifli polimer
LVDT	: Yerdeğiştirme ölçer
S	: Kare enkesitli kolon numuneleri
R	: Dikdörtgen enkesitli kolon numuneleri
n	: Ringde okunan devir sayısı
W_d	: Tuğla kuru ağırlık değeri
W_s	: Tuğla suya doymuş ağırlık değeri
b_b	: Tuğla genişliği
h_b	: Tuğla yüksekliği
L_b	: Tuğla eğilme deneyi mesnetler arası mesafe
P_{ft,m}	: Ringde okunan maksimum yük değeri
f_{bft}	: Tuğla eğilme dayanımı
f_{tb}	: Tuğla basınç dayanımı
δ	: Tuğla basınç dayanımı dönüşüm faktörü
E_f	: Bazalt lifli malzeme çekme modülü
ε_{fu}	: Bazalt lifli malzeme çekme uzaması
r_c	: Pah (yarıçap)
f_{mo}	: Güçlendirilmemiş numune dayanımı
f_{mc}	: Güçlendirilmiş numune dayanımı
ε_{mo}	: Güçlendirilmemiş numune eksenel şekildeğiştirme değeri
ε_{mc}	: Güçlendirilmiş numune eksenel şekildeğiştirme değeri
E	: Elastisite modülü
A	: Enerji yutma kapasitesi
K	: Yığmayı oluşturan tuğla blokların ve harcın cinsine bağlı katsayı
α	: Yığma kolon içerisindeki derz harcının yoğunluğuna bağlı katsayı
β	: Yığma kolon içerisindeki derz kalınlığına bağlı katsayı
f_{mo,c}	: Yığma karakteristik basınç dayanımı
f_{uc,n}	: Tuğla normalize edilmiş basınç dayanımı
f_m	: Derz harcı 28 günlük basınç dayanımı
f_{leff}	: Etkili yanal basınç
g_m	: Yığma kütle yoğunluğu
k_e	: Etkili sargı alanı katsayısı
f_l	: Sargı basıncı
A_g	: Yığma kolon enkesit alanı
ρ_f	: FRP donatı oranı
f_{fe}	: FRP donatı oranı Sargılanmış numunede basınç yüklemesi altında oluşan etkili çevrimsel çekme mukavemeti

n_f	: FRP sargı sayısı
t_f	: FRP kalınlığı
E_f	: Çekme modülü
ϵ_{fu}	: Nihai çekme uzaması
ϵ_{fe}	: Nihai çevrimsel çekme uzaması

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Yığma kolon numune özellikleri.....	10
Çizelge 3.2 : Tuğla numune özellikleri.....	12
Çizelge 3.3 : Yığma tuğla kuru ağırlık ölçümleri	12
Çizelge 3.4 : Yığma tuğla boyutları ve su emme ölçümleri	13
Çizelge 3.5 : Eğilme deneyi tuğla boyutları	14
Çizelge 3.6 : Tuğla eğilme dayanım sonuçları	16
Çizelge 3.7 : Tuğla eğilme dayanım istatistiksel sonuçları	16
Çizelge 3.8 : Basınç deneyi tuğla boyutları	17
Çizelge 3.9 : Tuğla basınç deneyi sonuçları	18
Çizelge 3.10 : Tuğla basınç dayanım dönüşüm faktörü	19
Çizelge 3.11 : Tuğla normalize edilmiş basınç dayanım değerleri.....	19
Çizelge 3.12 : Harç eğilme deneyi sonuçları	24
Çizelge 3.13 : Harç basınç deneyi sonuçları.....	25
Çizelge 3.14 : Harç takviyeli bazalt lifli malzeme mekanik özellikleri	25
Çizelge 4.1 : Yığma kolon numune boyutları.....	28
Çizelge 5.1 : Görsel yerdeğiştirme ölçüm sistemi bileşenleri	35
Çizelge 6.1 : S-0B-0 (1), S-0B-L (1), S-0B-L (2), S-2B-L (1) ve S-2B-L (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları	51
Çizelge 6.2 : S-0B-0 (1), S-0B-F (1), S-0B-F (2), S-2B-F (1) ve S-2B-F (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları	53
Çizelge 6.3 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-L (1), R-0B-L (2), R-2B-L (1) ve R-2B- L (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları	55
Çizelge 6.4 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-F (1), R-0B-F (2), R-2B-F (1) ve R-2B-F (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları.....	57
Çizelge 6.5 : TRM sargılı kare ve dikdörtgen enkesitli kolonların basınç deneyi sonuçları	58
Çizelge 6.6 : Çatlak genişliklerinin karşılaştırılması.....	63
Çizelge 7.1 : Eksenel basınç dayanımına ilişkin analitik tahminler	70
Çizelge 7.2 : Eksenel şekildeğiştirmeye ilişkin analitik tahminler.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tuğla numunelerinin alındığı yığma yapı	7
Şekil 3.1 : Kare ve dikdörtgen enkesitli numune modelleri	9
Şekil 3.2 : Tuğla numune modeli ve boyutları	11
Şekil 3.3 : Etüvde kurutma, su emme ve ağırlık ölçümleri.....	13
Şekil 3.4 : Tuğla eğilme deneyi düzeneği.....	15
Şekil 3.5 : Eğilme deney sonu	16
Şekil 3.6 : Tuğla basınç deney düzeneği	17
Şekil 3.7 : Tuğla basınç deneyi hasar görünüşü	18
Şekil 3.8 : Tuğla basınç deneyi gerilme-şekil değiştirme grafikleri	20
Şekil 3.9 : Harç karışımında kullanılan malzemeler.....	21
Şekil 3.10 : Düşük dayanımlı derz harcı ve sıva harcı hazırlama aşamaları	22
Şekil 3.11 : Orta dayanımlı sıva harcı hazırlama aşamaları	22
Şekil 3.12 : Harç numunesi hazırlama aşamaları.....	23
Şekil 3.13 : Harç eğilme deneyi ve hasar durumu	23
Şekil 3.14 : Harç basınç deneyi ve hasar durumu.....	24
Şekil 3.15 : Bazalt lifli tekstil malzeme.....	25
Şekil 4.1 : Yığma kolon numune üretimi	41
Şekil 4.2 : Kolon numuneleri başlık imalatı	28
Şekil 4.3 : Güçlendirme aşamaları.....	30
Şekil 4.4 : Güçlendirme sistemi.....	30
Şekil 4.5 : Kolon numunelerine sıva uygulanması	31
Şekil 5.1 : Eksenel basınç deneyi yükleme düzeneği	33
Şekil 5.2 : Görsel yer değiştirme ölçüm sistemi	35
Şekil 5.3 : Kalibrasyon levhası	35
Şekil 6.1 : Referans numuneleri (S-0B-0 (1) ve S-0B-0 (2)) göçme modu	38
Şekil 6.2 : Düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerin (S-0B-L (1) ve S-0B-L (2)) göçme modu	39
Şekil 6.3 : Orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (S-0B-F (1) ve S-0B-F (2)) göçme modu	40
Şekil 6.4 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiş düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı numunelerin (S-2B-L (1) ve S-2B-L (2)) göçme modu	41
Şekil 6.5 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiş orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (S-2B-F (1) ve S-2B-F (2)) göçme modu	43
Şekil 6.6 : Referans numuneleri (R-0B-0 (1) ve R-0B-0 (2)) göçme modu	44
Şekil 6.7 : Düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerin (R-0B-L (1) ve R-0B-L (2)) göçme modu	45
Şekil 6.8 : Orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (R-0B-F (1) ve R-0B-F (2)) göçme modu	46
Şekil 6.9 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiş düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı numunelerin (R-2B-L (1) ve R-2B-L (2)) göçme modu	47

Şekil 6.10 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiş orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (R-2B-F (1) ve R-2B-F (2)) göçme modu.....	48
Şekil 6.11 : Deney sonu hasar görünüşü.....	49
Şekil 6.12 : Elastisite modülü (a), enerji yutma kapasitesi (b) ve süneklik (c)	51
Şekil 6.13 : S-0B-0 (1), S-0B-L (1) ve S-0B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	52
Şekil 6.14 : S-0B-0 (1), S-0B-L (1), S-0B-L (2), S-2B-L (1) ve S-2B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği	52
Şekil 6.15 : S-0B-0 (1), S-0B-F (1) ve S-0B-F (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	54
Şekil 6.16 : S-0B-0 (1), S-0B-F (1), S-0B-F (2), S-2B-F (1) ve S-2B-F (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği	54
Şekil 6.17 : R-0B-0 (1), R-0B-L (2), R-0B-L (1) ve S-0B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	55
Şekil 6.18 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-L (1), R-0B-L (2), R-2B-L (1) ve R-2B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği	56
Şekil 6.19 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-F (1) ve R-0B-F (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.....	57
Şekil 6.20 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-F (1), R-0B-F (2), R-2B-F (1) ve R-2B-F (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği	57
Şekil 6.21 : TRM sargılı kare ve dikdörtgen enkesitli numunelerin gerilme-şekildeğiştirme grafik karşılaştırmaları	58
Şekil 6.22 : 0.00 ve 0.0068 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.....	61
Şekil 6.23 : 0.0088 ve 0.0210 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.....	61
Şekil 6.24 : 0.0249 ve 0.0370 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.....	62
Şekil 6.25 : S-2B-L (1) için gerilme-düşey şekildeğiştirme grafik karşılaştırması ve fotogrametrik sistem ölçüm boyu.....	62

TARİHİ TUĞLALARLA ÖRÜLEN YIĞMA KOLONLARIN HARÇ TAKVİYELİ BAZALT LİFLİ KUMAŞLAR İLE SARGILANMASI

ÖZET

Kültürel değerleri korumak ve finansal kayıpları önlemek amacıyla tarihsel ve anıtsal değer taşıyan yığma yapıların bulunduğu özellikle deprem kuşağındaki ülkelerde bu yapıların deprem ve diğer çevresel etkilere karşı güçlendirilmesi gerekmektedir. Çoğu tarihi ve mimari açıdan öneme sahip yığma yapıların; yetersiz yapılm teknikleri, yetersiz malzeme kullanımı, sismik etkiler, rüzgâr yükleri, temel oturması ve çevresel yıpranmadan dolayı zarar görmesi, yapıların mekanik özelliklerini olumsuz şekilde etkilemekte ve bu durum bahsedilen yapıların taşıyıcı duvarlarının aksel yüklerle karşı gösterdikleri davranışları iyileştirmeye yönelik özel bir güçlendirme yönteminin konu edildiği bu çalışmanın gerekçelerini oluşturmaktadır. Literatürde lifli polimer malzemelerin (FRP) özellikle betonarme yapılar üzerindeki etkinliğinin araştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, FRP sargılama ile uygulanan güçlendirme yönteminin statik ve sismik etkilere maruz kalan taşıyıcı elemanların mekanik özelliklerinde önemli ölçüde iyileştirmeler sağladığını göstermiştir. Ancak lif takviyeli harç (TRM) malzemelerin kullanımıyla uygulanan benzer güçlendirme yönteminin etkinliğinin araştırılmasına yönelik literatürde yeterli çalışma bulunmamaktadır. Tez çalışmasında, tarihi tuğlalar ile örülen ve TRM ile güçlendirilmiş yığma kolonların basınç yükleri altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiş ve uygulanan güçlendirme tekniğinin etkinliği araştırılmıştır.

Tez çalışması toplam sekiz bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1 ve Bölüm 2’de sırasıyla çalışmanın amacı ve konu ile ilgili literatür araştırması özetlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında toplam 20 adet yığma kolon numunesi imal edilmiştir. Numune üretiminde malzeme olarak tarihi bir yapıdan temin edilen harman kil tuğlaları ve mekanik özellikleri tarihi harca benzetilmiş özel karışım oranlarına sahip düşük dayanımlı harç karışımı kullanılmıştır. Tuğlalarının temin edildiği 1930’lu yıllarda inşa edilen ve yerleşkesi İstanbul’un Beyoğlu semti olan yapı, şunda tamamen yıkılmış durumdadır. Yığma kolonların yapısal özelliğini belirlemek için üretimde kullanılan tuğla ve harç malzemelerinin mekanik özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla Bölüm 3’de bahsedilen malzemeler üzerinde uygulanan eğilme ve basınç deneyleri anlatılmıştır. Yığma kolon numuneleri yaklaşık boyutları 360 x 360 x 900 mm ve 360 x 630 x 900 mm ölçülerinde, kare ve dikdörtgen enkesitlere sahip olmak üzere 2 seri olarak üretilmiştir. Kolonlar dış yüzeyinden 2.5x2.5 cm boşluklara sahip bazalt lifli sıva ile sargılanarak güçlendirilmiştir. Uygulanan güçlendirme sisteminde bazalt tekstillerinin kolon yüzeyine yapışması hususunda düşük dayanımlı tarihi harca benzeştirilmiş harç karışımı ve daha iyi mekanik özelliklere sahip ticari nitelikli (Tyfo-C matrix) harç karışımı kullanılmıştır. Güçlendirme işlemi yapılırken üretilen 2 tip sıva harcından numuneler alınmış ve alınan numunelerin karakteristik özelliklerini belirlemek amacıyla numunelere uygulanan eğilme ve basınç deneyleri yine Bölüm 3’de anlatılmıştır.

Bölüm 4’de numune üretimi ve uygulanan güçlendirme yöntemine detaylı olarak yer verilmiştir. İki farklı geometriye sahip olmak üzere 2 seri olarak üretilen kolon numunelerinin her bir sırası tuğlaların şaşırtmalı olarak yerleştirilmesi ile inşa edilmiştir. Üretilen numunelerin bir kısmı herhangi bir güçlendirme işlemi uygulanmadan referans numunesi olarak bırakılmış, bir kısmı sadece tarihi harca benzeştirilmiş harç ve özel karışıma sahip ticari harç ile sıvanmıştır. Kalan numuneler ise bazalt tekstil donatılı sıva ile güçlendirilmiş, sıva olarak da 2 tip harç karışımı kullanılmıştır. Deney parametreleri değişen numune enkesiti ve farklı sıva harcı karışımları olarak belirlenmiştir. Daha önce belirtildiği gibi numune üretimi ve güçlendirilmesi sırasında imal edilen her harç karışımından belirli sayıda örnekler alınmıştır. Laboratuvar deneyleri; yığma tuğla ve alınan derz ve sıva harcı örnekleri üzerinde gerçekleştirilen mekanik ve fiziksel deneyler ile üretilen yığma kolonlar üzerinde gerçekleştirilen basınç deneylerini kapsamaktadır. Her bir kolon numunesi konsantrik basınç yüklemesi altında test edilmiştir. Söz konusu deneyler, kullanılan deney düzeneği ve ölçüm sistemi detaylı olarak Bölüm 5’de verilmiştir.

Deney süresince numunelerde oluşan hasar gelişimi, ve elde edilen sonuçlara göre güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş numunelerin basınç dayanımı, şekildeğiştirebilme kapasitesi ve göçme davranışı Bölüm 6’da anlatılmıştır.

Bölüm 7’de, çalışma sonucunda referans ve güçlendirilmiş numunelerin basınç dayanımları ve şekildeğiştirebilme özellikleri literatürde ortaya konulmuş analitik yaklaşımlardan elde edilen değerler ile karşılaştırılmış ve bu modellerin TRM sargılı yığma kolonların mekanik özelliklerinin tespit edilmesinde ne derece güvenilir olduğu değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, bazalt lifli tekstil takviyeli sıva ile güçlendirme tekniği yığma kolonların sünekliği ve enerji yutma kapasitelerini oldukça arttırmış, basınç dayanımlarında ise az miktarda artış sağlamıştır. Tez çalışması sonucu elde edilen detaylı sonuçlara Bölüm 8’de yer verilmiştir.

EXTERNAL JACKETING OF HISTORICAL WALLS WITH BASALT FIBER MESH REINFORCED MORTAR

SUMMARY

There are many historical structures which are the remains of Byzantium and Ottoman periods in İstanbul. In order to provide their existence in the future, these structures need to be analysed and if required, strengthened. Many of masonry buildings of considerable historical and architectural importance, have suffered from the accumulated effects of insufficient quality of construction and materials, seismic and wind loads, foundation settlements, and environmental deterioration. This causes a degradation in mechanical performance of load bearing elements of the structures. This situation has constituted a reason of the presented study, which aims to improve mechanical characteristics of the masonry piers by confining with basalt mesh reinforced mortar (TRM). In recent years, number of studies on application of fiber-reinforced polymer (FRP) wrapping to reinforced concrete members has increased. These researches show that the confinement of structural members with FRP provides significant improvements in terms of strength and ductility. However, the number of studies about usage of TRM technique in the field of masonry has been less relatively. So, in the frame of the studies of MSc thesis, it is aimed to research effectiveness of TRM confinement on historical brick masonry piers.

For this purpose a total of 20 masonry pier specimens were produced with solid clay bricks laid in mortar joints. Clay bricks have been collected from a late historical building remaining from beginning of the 20th century. The historical building has been ruined currently and large number of clay brick samples could be taken from the ruins for laboratory tests. Two series of piers with square and rectangular cross-section with average dimensions of 360 mm x 360 mm x 900 mm and 360 mm x 630 mm x 900 mm (length x width x height) were constructed. Construction schemes of the series comprised nine rows bonded with eight bed and several head mortar joints. The nominal thickness of mortar was 18.5 mm for bed joints and 13 mm for head joints. Also, the masonry piers were constructed in running bond using a local mortar for the joints. The joint local mortar was prepared with sub-standard mechanical characteristics to simulate mortar properties in existing heritage buildings. The mortar contained cement and lime as binder, (cement: lime: sand: water 1: 2: 15: 2.9 by weight).

The confinement system is consisted of a combination of open-grid basalt textile and two types of mortar. For bonding basalt grids on the specimens, local mortar and a commercially available cement-based mortar (Tyfo-C matrix) were used as matrix for confinement with TRM. Open-grid basalt fibers were embedded in the plaster. Local plaster mortar used in the form of matrix for TRM contained cement: lime: sand: water with ratios of 1: 2: 15: 3.72 by weight. Commercial plaster mortar was prepared mixing the ready dry mix with water. This mortar contained 25 kg dry mortar powder and water between 3.5 and 4.15 liters. Two main parameters of the experimental study are the type of mortar used for plastering the open-grid basalt

mesh reinforcement and cross-sectional aspect ratio of the masonry piers (1 and 1.75).

Before presenting the explanation on compression tests, rehabilitation process of masonry elements were introduced. Eight of the specimens were strengthened with 2 layers of basalt mesh reinforced mortar system. Four of these specimens were plastered with local mortar, and the remaining four specimens were plastered with commercial mortar. Eight other masonry columns were only plastered without any basalt grid. Four of these were plastered with local mortar and other four with commercial mortar. The remaining four specimens were the reference specimens without plaster and open-grid material. In order to apply compression load to the piers uniformly, top and bottom surfaces of the specimens were capped with a repair mortar with 60 MPa compressive strength. The compression tests of the masonry piers were started after three months from the application of TRM.

In the first part of the experimental study, in order to determine the material characterizations of the historical masonry components, the laboratory tests including mechanical and physical experiments were conducted on bricks and mortar. Flexural and compression tests were conducted on joint and plaster mortar specimens with dimensions of 160x40x40 mm at especially 28th and 90th days after production. According to this study the average flexural and compressive strengths of local plaster mortar at 28 and 90 days may be taken as 10 % of commercial plaster mortar, respectively.

In the second part, all masonry column specimens were tested under concentric compressive loads and the outcomes of the column tests were evaluated in terms of strength, deformability and failure characteristics. For test setup a hydraulic jack with the load capacity of 500 kN and a load cell with 1000 kN capacity were used. Also in order to measure deformations, five linear variable differential transducers (LVDTs) with 25 mm capacity and four other LVDTs with 1000 mm capacity were installed on the specimen surfaces. A newly developed visual deformation measurement system was also used in order to gauge displacement over one of the sides of the specimens. At every single loading step, vertical and horizontal displacements on the monitoring area could be gauged by getting images with the measurement system. This system does not cause any damage on the specimens during tests, and may replace many strain gauges and LVDTs.

After axial compression loading, it was seen that the reference specimens and the specimens plastered with only mortar behaved similarly and they both failed in a brittle manner with vertical cracks through the head joints firstly, which then penetrated to the bricks. The failure modes of the specimens plastered with the commercial mortar and local mortar were identical in terms of strength. All specimens wrapped with TRM showed firstly vertical cracks on the plaster mortar, especially at the corners of the piers in the early stages of loading process and these cracks spreaded on the bricks and joint mortar. As load increased vertical cracks started to widen and this process was followed by crushing of mortar at corners and spalling of cover mortar. Afterwards significant shell separation was observed maximum strength level. Finally, the specimens exhibited strength degradation after the partial rupture of the basalt fibers at the corners. It should be noted that, specimens confined with TRM exhibited formation of micro cracks in a more spread fashion on confinement surface and so; this system provided a significant gain in deformability of the masonry.

According to the test results, under axial loading behaviour of the reference and plastered specimens are similar. So, the contribution of plaster to the axial bearing capacity is rather negligible. The differences between strength and strain values of these specimens are due to highly-scattering characteristics of historical bricks. As expected, the TRM system was effective in confining the brick masonry piers. In general, it was found that external jacketing with TRM improved the ductility and energy dissipation capacity of the masonry piers significantly even in case of extended rectangular cross-section and low quality plastering mortar. On the other hand, this reinforcement technique provided a fairly small compressive strength gain of the historical brick masonry column with respect to the reference specimens. It should be noted that, as expected confinement system exhibited more effective behavior on masonry columns with square cross-section with respect according to rectangular ones.

In addition, vertical stress – strain diagrams obtained using LVDTs with 1000 mm gage length and the visual deformation measurement system were compared. Test results showed that the vertical displacement of confinement layer (the TRM jacket) and overall system behaviour did not exactly coincide with each other. This result stemmed from different behavior of brick and joint mortar remained within confinement layer and different gage lengths of two measurement systems. The behavior of the overall system showed that even if brick and mortar within pier was destroyed, the TRM jacket prevented the collapse and sustained the load carrying capacity of the pier. This is due much higher strength and stiffness of the TRM jacket with respect to masonry piers. It can be concluded that the confinement with TRM jacket increased energy dissipation capacity of load bearing masonry members by converting the mostly uniaxial stress state to a nearly-triaxial stress state.

Furthermore, strength and deformability characteristics of the reference and jacketed piers are compared with the theoretical findings making use of various available approaches. The main objective is to obtain the compressive stress-compressive strain relationships was for comparing with the related relations obtained from the tests. A comparison between experimental results and analytical predictions about compressive strength and corresponding axial strain from the literature was conducted. Although the presented models have been suggested for FRP confined masonry, test results obtained from experimental study show that the models of Krevaiakas & Triantafillou (2005), and second and third model of Faella et al. (2011b) could be expedient to describing the strength of TRM jacketed masonry columns with square and rectangular cross-section. Also, a comparison between experimental results of ultimate axial strain and the predictions of the model proposed by Krevaiakas & Triantafillou was conducted. This comparisons show that the model is sufficiently good for predicting the ultimate axial strain. Therefore, based on limited data, it can be concluded that the model proposed by Krevaiakas and Triantafillou (2005) can be considered as a promising tool for estimating the axial behavior of TRM jacketed masonry. Nevertheless, it is clear that more work is required to further generalized the findings.

1. GİRİŞ

Mimari ve kültürel değere sahip yapıların çoğu yığma tekniğiyle inşaa edilmiştir. Tarihi yapılarda sık tercih edilen yığma tekniği ile inşa edilmiş bu binaların sismik etkiler, rüzgâr yükleri ve çevresel etkilerden dolayı zarar görmesine karşın çeşitli güçlendirme teknikleri geliştirilmektedir. Bu tür yapılarda duvar ve kolon gibi taşıyıcı elemanlar üzerinde uygulanan güçlendirme yöntemleri için en optimum çözümler aranmaktadır.

Lifli malzemeler ile güçlendirme, mevcut yapıların tarihi dokusuna ve özgün mimari özelliklerine zarar vermeden istenilen iyileştirme seviyesine ulaşmak için klasik güçlendirme tekniklerine alternatif olmaktadır. Lifli malzemelerin betonarme yapılar üzerinde etkinliğinin araştırılmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Tez çalışması ise lifli tekstil malzeme donatılı sıva (TRM) ile güçlendirme yönteminin yığma kolonlar üzerindeki etkinliğinin araştırılmasına yönelik deneysel çalışmaları içermektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar, lifli malzemeler ile güçlendirme tekniğinin taşıyıcı elemanlarda yük taşıma ve şekildeğiştirme kapasitesini dikkate değer bir şekilde artırdığını göstermektedir. Bu tür yapılarda sık uygulanan lifli polimerler ile güçlendirme tekniğinin (FRP) organik bağlayıcı kullanılmasına dayanan birtakım dezavantajları bulunmaktadır. Bu dezavantajlardan bazıları; polimer malzemelerin ekonomik olarak elverişsiz olması, sağlığa zararlı olması, yüksek veya düşük sıcaklıklarda ve nemli yüzeylerde zayıf davranış göstermesidir. Ayrıca yapının yüzeyi ile epoksi bağlayıcılar arasında çıkabilecek uyumsuzluk ve uygulanan lifli polimer kumaşların içerisinde kalan yığma yapı üzerinde depremsel veya çevresel etkilere karşı oluşan hasarların bu tür güçlendirme uygulamasından sonra tespitin zor olması FRP uygulamasına alternatif farklı bir güçlendirme tekniği ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır [Papanicolaou ve diğ., 2006]. Yapılan çalışmada dıştan sargılanarak uygulanan TRM ile güçlendirme tekniği lifli polimerler ile güçlendirme (FRP) yöntemine alternatif bir metot olmuştur.

Yapılar üzerindeki uygulama kolaylığı, sağlığa zararlı etkide bulunmaması, tarihi yapılar üzerinde uygulandığı için yapının mimari özelliklerini ve tarihi dokusunu

bozmaması, yığma malzeme yüzeyi ile uyumlu etkin bir aderans sağlayabilmesi, gerektiğinde yüzeyden kolayca sökülebilmesi ve ekonomik olması TRM uygulamasının FRP uygulamasına göre daha tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.

Numunelere uygulanan güçlendirme sisteminde bazalt tekstil takviyeli sıva kullanılmıştır. Toplam 20 adet kolon numunesi kare ve dikdörtgen enkesitli olacak şekilde üretilmiş ve güçlendirme uygulaması yapıldıktan sonra aksenal basınç yükleri altında test edilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Tez çalışması tarihi yığma yapıların geleceğe güvenle aktarılması için güçlendirme yöntemi olarak, yapının taşıyıcı sistemlerinden biri olan kolonların düşey yüklere karşı davranışını iyileştirebilecek lif takviyeli harç (TRM) ile kolonların dıştan sargılanmasının etkinliğini araştırmaktır. Ayrıca yapılan çalışmanın temel amaçları;

- 1930 lu dönemlerden kalan tarihi yığma yapıdan alınmış tuğla, kullanılan tarihi nitelikli harç ve üretilen yığma numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen karakteristik verilere dayanarak o dönemlerdeki yığma yapılara ait referans bilgi edinmek.
- Güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş yığma kolonların mekanik özelliklerini elde ederek TRM tekniğinin etkinliğini mukayese edebilmek.
- Aksenal basınç yükleme altında artan her yükleme anında numunelerin göçme modunu ve numunelerde oluşan hasarları aşama aşama gözlemleyebilmek, bunun sonucunda numunelerin yükleme-şekildeğiştirme ve gerilme-şekildeğiştirme davranışını elde edebilmek.
- Deney sonuçları ile daha önce yapılan benzer çalışmalarda ortaya çıkan analitik modellerden elde edilen teorik tahminleri karşılaştırabilmektir.

Bu amaçlar doğrultusunda basınç deneylerine tabii tutulan kolon numuneleri, 1930 lu yıllarda Beyoğlu semtinde inşaa edilmiş yığma bir yapıdan alınan tuğlalar ve yapıdaki harcı temsil eden karışım oranlarına sahip tarihi harç karışımı ile üretilmiştir. Tarihi bina tamamen yıkılmış bir vaziyette olduğu için binanın taşıyıcı sistemi ve proje özelliklerine dair bir bilgi elde edilememiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Son yıllarda lifli polimer kumaşlar (FRP) ve tekstil donatılı harç malzemeleri (TRM) ile uygulanan güçlendirme yönteminin yük taşıyıcı betonarme veya yığma elemanlar üzerindeki etkinliği araştırılmaktadır. Bu tür güçlendirme yöntemi, yapıların anıtsal ve mimari özelliklerine zarar vermemekle beraber, kullanılan lifli malzemelerin hafif ve yüksek mekanik özelliklere sahip olmaları tarihi binaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde iyi bir çözüm oluşturmaktadır. Yığma yapılar üzerinde TRM uygulamasının etkinliğinden çok FRP malzemelerinin etkinliğine yönelik araştırmalar yapılmıştır. Krevaiakas ve Triantafillou (2005), Corradi ve diğ. (2006), Aiello ve diğ. (2007), Balsamo ve diğ. (2009), Aiello ve diğ. (2009), Ludovico ve diğ. (2010) ve Faella ve diğ. (2011b) FRP sargılı yığma yapılar ile ilgili deneysel çalışmalar ve basınç dayanımları ile ilgili analitik model analizleri yapmışlardır. Yapılan çalışmalar taşıyıcı elemanların FRP ile sargılanmasının yapının yük taşıma kapasitesi ve süneklik davranışını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir. Diğer yandan, FRP ile güçlendirme sisteminde bağlayıcı olarak yapı yüzeyine uygulanan epoksi reçinesinin uygulama zorluğu ve yığma yüzeyi ile zaman zaman uyumsuz olabilmesi bu noktada çimento bazlı harç gibi inorganik bağlayıcıların tercih edilmesine sebep olabilmektedir. Ancak inorganik bağlayıcılar da boşluksuz sürekli kumaşlar ile kullanıldığında elverişsiz olabilmektedir.

Krevaiakas ve diğ. (2005), harman tuğlası ile örülen 42 adet yığma kolon numunesi üzerinde tek eksenli basınç testleri yapmışlardır. Çalışmalarında, lifli polimer malzemelerle sargılamanın etkinliği araştırılmıştır. Sargı tabakalarının katman sayısı, pah miktarı, kesit oranı ve lifli polimer malzemenin türü (cam GFRP ve karbon CFRP lifli polimer) deney değişkenleri olarak seçilmiştir. Deneylerde numunelere monoton olarak eksenel yükleme uygulanmış (yerdeğiştirme kontrol modu altında) ve tüm numunelerin göçme durumu ve gerilme şekildeğiştirme eğrisinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Deneysel verilere göre FRP sargılı yığmanın, FRP sargılı beton gibi davrandığı tespit edilmiştir. FRP sargı tabakalarının sayısı, eksenel yükleme altındaki yığmanın hem dayanımını hem de şekildeğiştirebilme yeteneğini

artırmıştır. Pah miktarının artışı ise dayanımı %25-40 oranında arttırmıştır. Numune kesit oranı 1,5'den 2'ye çıkarıldığında dayanımda %20-25, uzamada (şekildeğiştirmede) %10-20 azalma meydana gelmiştir.

Kare ve sekizgen kesitli iki farklı geometriye sahip yığma kolonlar deneysel olarak Corradi ve diğ. (2006) tarafından incelenmiştir. Yığma kolonlar, karbon lifli polimer (CFRP) [yüksek çekme dayanımına sahip fiber (HT: high tensile fibre) ve çok yüksek elastisite modüllü fiber (VHM:very high modulus fibre)] kullanılarak sargılanmıştır. Yazarlar çalışmaları sonucunda, analitik bir model önermiştir. Çift kat CFRP ile sargılanmış kare kesitli kolonlarda, dayanım ve şekildeğiştirebilme kapasitesinde önemli bir artış olduğu görülmüştür.

Aiello ve diğ. (2007) çalışmalarında, Avrupa'nın genelinde ve özellikle de İtalya'daki tarihi binalarda bulunan kalkerli taşlarla örülmüş kolon numunelerin lifli polimer malzemelerle sargılanmasını konu edinmişlerdir. Çalışmada, CFRP ile sargılanmış yığma dairesel kesitli kolonların, eksenel basınç etkileri altındaki davranışı gözlemlenmiştir. Mevcut yığma yapılarda en sık kullanılan örgü şekilleri dikkate alınarak, farklı örgü tiplerine sahip kolonlar imal edilmiştir. FRP malzemesinin sürekli veya şerit olarak sargılanması ve FRP tabakalarını ankrajla birleştirmesi, deney değişkenleri olarak dikkate alınmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda basınç dayanımının tahkiki ile ilgili analitik model önerilmiştir. Dayanım ve eksenel şekildeğiştirmede önemli miktarda artış olduğu görülmüş, ayrıca; FRP'yi sürekli sargılamanın şeritli duruma göre daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır (dayanımda ortalama %93 artış). Son olarak, FRP ankrajlarının, dört bloktan oluşan kolon kesiti için etkili bir sargılama sistemi gibi davranmadığı tespit edilmiştir.

Genellikle İtalya'nın güneyinde bulunan ve tarihi binalarda kullanılmış kil ve kalker bloklar kullanılarak üretilen kolonların eksenel yükleme altındaki davranışı, Aiello ve diğ. (2009) tarafından incelenmiştir. Numuneler, cam lifli polimer malzemeler ile sargılanmıştır. Çalışmada; pah oranı, lifli polimer malzemenin uygulandığı katman sayısı, kolon geometrisi, kesit oranı ve yığma blokların cinsi gibi değişkenlerin etkisi araştırılmıştır. Güçlendirme sistemi ile dayanım ve nihai eksenel şekildeğiştirmede önemli bir artış olduğu görülmüştür. Bu araştırmanın sonuçları kullanılarak bir analitik model önerilmiştir.

Ludovico ve diğ. (2010) çalışmalarında; tek eksenli basınç yüklemesi altında test edilen 18 adet kare kesitli (süngertaşı veya harman tuğlası kullanarak) yığma kolon numunelerinin test sonuçlarını ve bu sonuçları kullanarak önerilen analitik modeli sunmuşlardır. Numunelerin güçlendirilmesinde karbon (CFRP), bazalt (BFRP) ve cam (GFRP) lifli polimer malzemeler kullanılmıştır. Her durumda, lifli malzemelerin yırtılması ile göçme gerçekleşmiştir. Bu tarzdaki göçme, genellikle yerel gerilme yoğunluğundan dolayı kesitin köşe bölgelerinde gerçekleşmektedir. Deneysel sonuçlar şunları göstermiştir: GFRP ve CFRP ile güçlendirme, süngertaşı kullanılan yığma kolonların basınç dayanımında benzer artış sağlamıştır (yaklaşık %13). CFRP kullanımı nihai eksenel şekildeğiştirme değerini %64 arttırırken; GFRP ile sargılanmış numunelerde gerçekleşen erken göçme, bu malzeme ile yapılan güçlendirmenin etkinliğinin belirlenmesine izin vermemiştir. GFRP ve BFRP ile sargılanan harman tuğlalı yığma kolonların basınç dayanım değerlerinde yine benzer derecede artış sağlanmıştır (yaklaşık %57). BFRP ile sargılama, mekanik olarak dışsal güçlendirme oranı GFRP'ye göre daha düşük olmasına rağmen, nihai eksenel uzamada daha etkili bir davranış göstermiştir (GFRP için %259'a karşı BFRP için %413). Süngertaşı ve harman tuğlası kullanılan numunelerin performansı karşılaştırıldığında, FRP ile uygulanan güçlendirme harman tuğlalı numuneler üzerinde daha çok etkili olmuştur.

Diğer yandan, güçlendirme yöntemi olarak lifli polimer malzemelerin (FRP) kullanımının birtakım dezavantajları bulunmaktadır. Bu yüzden çimento bazlı harç bileşimi gibi inorganik bağlayıcılar polimer bağlayıcılara karşı alternatif bir metot oluşturmaktadır. Ancak bağlayıcı olarak bu tür malzemelerin boşluksuz lifli kumaşlarla kullanılması zordur. Bu yüzden Papanicolaou (2006) çalışmasında bu davranışı iyileştirmek ve inorganik bağlayıcılar ile lifli malzemeler arasındaki koordinasyonu sağlamak için, güçlendirme sisteminde ağ şeklinde boşluklu kumaşlar ile harçtan meydana gelen lif donatılı tekstil (TRM) kullanılabileceğini önermiş ve bu şekilde fibermatriks etkileşimlerin daha sıkı olabileceğini öne sürmüştür. Betonarme ve yığma yapıların depreme karşı güçlendirilmesi ile ilgili tekstil donatılı harcın (TRM) kullanımının etkinliğini araştırmaya yönelik birtakım çalışmalar yapılmıştır. Betonarme elemanların TRM ile sargılanması üzerine yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Tekstil donatılı harç (TRM) uygulamasının betonarme yapının eksenel dayanımını arttırmaya yönelik gerçekleştirilen deneysel çalışma Triantafillou diğ. (2006) tarafından yapılmıştır. Bournas ve diğ. (2007) kolon içerisindeki boyuna donatıların burkulmasıyla sınırlı kapasiteye sahip donatılı betonarme kolonların sargılanmasıyla TRM gömleklerinin etkinliğini araştırmıştır. Salloum ve diğ. (2012) donatılı betonarme kirişlerin tekstil donatılı harcın (TRM) kullanımıyla artan kayma dayanımını konu alan bir çalışma üzerine odaklanmıştır.

Yığma yapılar üzerinde güçlendirme malzemesi olarak tekstil donatılı harcın (TRM) kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bağlayıcı olarak çimento bazlı harcın kullanıldığı cam ve bazalt lifli tekstil (GFRP ve BFRP) ürünleri ile sargılanan yığma kolonlar eksenel basınç yüklemesi altında Balsamo ve diğ. (2009) tarafından test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, BFRP (bazalt lifli polimer) ile sargılamanın basınç dayanımını %56 arttırdığını ve deformasyon yapabilme kapasitesinde önemli artışlar sağladığını göstermiştir. Cam lifli malzeme ve çimento bazlı harç kullanımına dayanan sargılama sisteminin ise yapının rijitliğini belirgin bir şekilde arttırdığı; ancak sistemin sünekliğini azalttığı bildirilmiştir.

Papanicolaou ve diğ. (2006) çevrimsel düzlem içi yüklemeye maruz kalan 3 farklı boyutta (perdeler, kiriş-kolon tipi duvarlar ve kiriş tipi duvarlar) yığma perdeler için lifli polimer (FRP) uygulamasının yerine alternatif olarak numuneyi dıştan sargılayan tekstil donatılı harç uygulaması ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada deney değişkenleri kullanılan inorganik bağlayıcı ve karbon lifli tekstilin katman sayısıdır. Çalışmada TRM ile sargılanan numunelerde dayanımın azaldığı; fakat şekildeğiştirebilme davranışı açısından TRM sisteminin reçine bazlı sistemlere karşı çok daha fazla etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Harajli ve diğ. (2010) tekstil hasır ve harç kullanarak tarihi duvar numuneler üzerinde farklı güçlendirme sistemlerini değerlendirmiş ve statik ve çevrimsel yükleme altında numunelerin düzlem dışı eğilme davranışlarını test etmiştir. Yığma duvarların güçlendirilmesi için kireç içerikli harç ile bağlanan bazalt tekstil; taşıyıcı elemanın enerji yutma kapasitesini oldukça arttırmıştır. Ayrıca, yazarlar cam yerine bazalt malzeme seçmelerinin ana sebebi olarak bazaltın çimentolu harç ile kullanıldığında alkalilere karşı dayanıklı olması ve güçlendirme sisteminin devamlılığı için zorunlu bir gereksinim olan neme karşı iyi bir direnç sağladığını belirtmişlerdir.

Mevcut çalışmada bazalt tekstil takviyeli sıva ile dıştan sargılanmış yığma kolonların basınç dayanımı altındaki davranışı ve sargılama sisteminin numuneler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmayı önemli ve ayırıcı kılan özelliklerinden biri yığma kolonların üretiminde mevcut tarihi yığma yapılarda kullanılmış harç özelliklerine ve karışım oranlarına sahip derz harcının ve tarihi yığma bir yapıdan alınmış tuğla numunelerinin kullanılmış olmasıdır. Yine numunelerin güçlendirilmesinde inorganik bağlayıcı olarak; etkili aderans, düşük maliyet ve lifli malzeme ile iyi bir koordinasyona sahip olan tarihi nitelikli harç karışımının kullanıldığı vurgulanmalıdır. Bu amaçla, 1930 lu yıllarda inşaa edilmiş tarihi yığma bir binadan alınan tuğlalar (Şekil 2.1) ve dönemin yığma yapılarında kullanılmış harcın mekanik özelliklerini temsil eden tarihi harç karışımı ile kare ve dikdörtgen enkesitli 20 adet yığma kolon numunesi inşaa edilmiştir. Kolonlara uygulanan güçlendirme işleminden ortalama 90 gün geçtikten sonra basınç deneyleri başlamıştır. Basınç deneylerinden elde edilen sonuçlara göre kullanılan güçlendirme sisteminin etkinliği değerlendirilmiştir. Ayrıca literatürde yığma kolonlarda basınç dayanımı ve şekildeğiştirebilme kapasitesinin tahkikine yönelik ortaya konulmuş olan analitik modeller ile deney sonuçları arasında karşılaştırma yapılmış, bazalt tekstil takviyeli sıva ile sargılanmış yığma kolonlar için analitik modellerin güvenilirliği incelenmiştir.

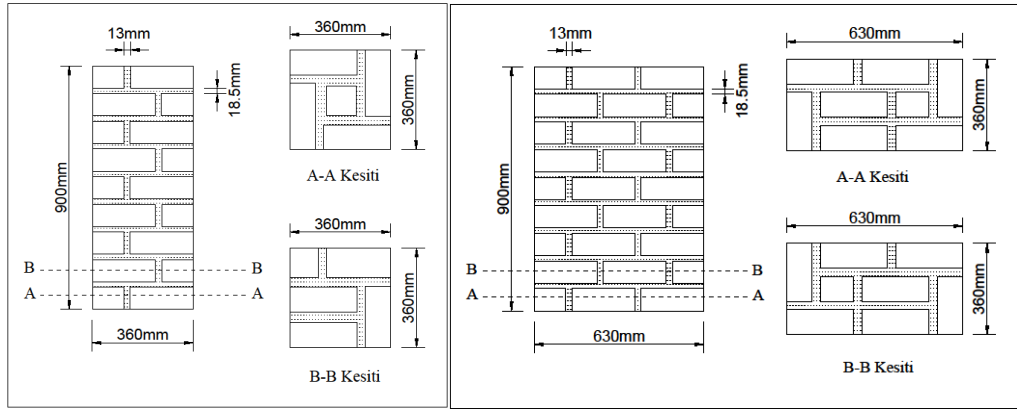


Şekil 2.1 : Tuğla numunelerinin alındığı yığma yapı.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Giriş

Deneysel çalışma için yirmi adet kolon numunesi, dikdörtgen ve kare enkesitli, iki seri şeklinde üretilmiştir. Yığma kolonlar Şekil 3.1’de gösterildiği gibi tarihi kil tuğlaları ile her sırası şaşırtmalı olarak örülmüştür. Numunelerde 13 mm kalınlığında düşey derz ve 18,5 mm kalınlığında sekiz sıra yatay derz bulunmaktadır. Kolon boyutları ise Seri 1 için nominal olarak 360x360x900 mm, Seri 2 için 360x630x900 mm’dir (en x boy x yükseklik). Numune imalatında yığma tuğlalar arasında kullanılan derz harcı daha önce İspir (2010) tarafından, doktora tezi çalışmasında yapılan deneyler sonucu elde edilmiş tarihi yapılarda uygulanmış harç karışımlarının mekanik özelliklerine oldukça yakın oranlara sahip karışım oranlarıyla üretilmiş tarihi nitelikli bir harçtır.



Şekil 3.1 : Kare ve dikdörtgen enkesitli numune modelleri.

Çizelge 3.1’de deney değişkenleri ile ilgili bilgiler sunulmaktadır. Kare enkesitli numuneler “S” ile dikdörtgen enkesitli numuneler “R” ile ifade edilmektedir. Ortalama 900x360x360 mm boyutlarında 10 adet kare, ortalama 900x630x360 mm boyutlarında 10 adet dikdörtgen enkesitli kolon numunesi üretilmiştir. Dört adet kare ve dört dikdörtgen enkesitli toplam sekiz kolon numunesi bazalt tekstilleri ile güçlendirilmiştir. Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi bazalt tekstillerini kolon yüzeyine yapıştırmak için iki farklı bağlayıcı kullanılmıştır; düşük dayanımlı tarihi harç ve orta dayanımlı ticari harç (Tyfo-C matrix; Fyfe Europe tarafından temin edilen

bağlayıcının ticari ismi). Diğer ikişer adet kare ve dikdörtgen enkesitli kolonlar bazalt tekstil kullanılmadan sadece kalınlığı nominal 15 mm olacak şekilde tarihi harç ile, ikişer adedi ise ticari harç ile sıvanmıştır. Kalan numunelerde hiçbir güçlendirme işlemi uygulanmamış, bu numunelere referans numunesi olarak test edilmiştir.

Bazalt tekstilleri ile sıva harcı arasındaki bağlantının tam olabilmesi için uygulama esnasında bazalt tekstillerinin yüzeye uygulanan 15 mm kalınlığındaki bağlayıcı malzeme içine iyice gömülmesi gerekmektedir.

Bu bölümde anlatılan; kolon, tuğla ve harç numunelerine uygulanan testler İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemeleri ve Yapı & Deprem Laboratuvarlarında yapılmıştır.

Çizelge 3.1 : Numune özellikleri.

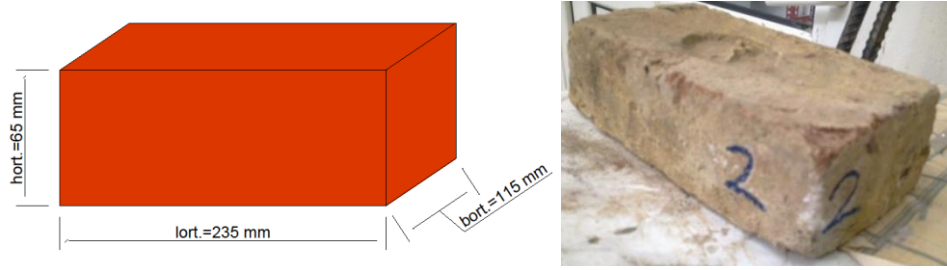
Numune İsmi	Bağlayıcı	Güçlendirme Sistemi
Seri 1		
S-0B-0 (1)	X	x
S-0B-0 (2)	X	x
S-0B-L (1)	Tarihi harç	x
S-0B-L (2)	Tarihi harç	x
S-0B-F (1)	Ticari harç	x
S-0B-F (2)	Ticari harç	x
S-2B-L (1)	Tarihi harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil
S-2B-L (2)	Tarihi harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil
S-2B-F (1)	Ticari harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil
S-2B-F (2)	Ticari harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil
Seri 2		
R-0B-0 (1)	X	x
R-0B-0 (2)	X	x
R-0B-L (1)	Tarihi harç	x
R-0B-L (2)	Tarihi harç	x
R-0B-F (1)	Ticari harç	x
R-0B-F (2)	Ticari harç	x
R-2B-L (1)	Tarihi harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil
R-2B-L (2)	Tarihi harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil
R-2B-F (1)	Ticari harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil
R-2B-F (2)	Ticari harç	2 kat boşluklu bazalt tekstil

3.2 Yığma Kolonlarda Kullanılan Tuğla ve Harcın Malzeme Özellikleri

Numune üretiminde ve güçlendirilmesinde kullanılan harman tuğlası ve derz ve sıva harçlarından alınan numuneler üzerinde kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin elde edilmesi için fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır.

3.2.1 Tuğla fiziksel özellikleri

Kolon numuneleri 1930’lu yıllarda Beyoğlu semtinde inşaa edilmiş yığma bir yapıdan temin edilen kil tuğlaları ile üretilmiştir. Kullanılan tuğlalar herhangi bir standartta üretilmemiş harman tuğlalarıdır. Elde edilen tuğlaların nominal boyutları Şekil 3.2’de görüldüğü gibi en x boy x yükseklik olarak 115x235x65 mm’dir.



Şekil 3.2 : Tuğla numune modeli ve boyutları.

Gelişigüzel seçilmiş 15 adet harman tuğlasının özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Verilen çizelgede l, b ve h değerleri sırasıyla tuğlanın uzunluk, genişlik ve yükseklik değerlerine karşılık gelmektedir. Tuğla numunelerinin ASTM C 67/11 (2011) standardına göre su emme kapasiteleri tayin edilmiş ve numunelere kurutma ve soğutma işlemleri uygulanmıştır. Her numune öncelikle yüzeyinde olabilecek toz, çamur ve harç gibi yabancı maddelerden arındırılmıştır. Eğilme deneylerinde kullanılacak 6 adet tuğla numunesi seçilmiş ve kuru ağırlık değerlerinin belirlenmesi için bu numuneler 110 ila 115 °C sıcaklıkta en az 24 saat süreyle etüvde bekletilmiştir. Etüvde bekleyen numunelerin ağırlıkları, elde edilen ağırlık farkları son ölçümün % 0.2’sinden az olana dek 3000 g kapasitesine sahip ve 0.5 g hassaslığındaki tartı ile ikişer saat aralıklarla ölçülmüştür. Kurutma işlemini takiben numunelere soğutma işlemi uygulanmış ve numuneler % 30–70 arası bağıl nemi bulunan 16–32 °C sıcaklığındaki bir odada yaklaşık 4 saat bekletilmiştir. Yüzey sıcaklığı ölçümünde 2.8°C görülene dek uygun sıcaklık ve bağıl nem koşulları altında bekletilmiş numuneler mekanik deneyler uygulanana dek soğutma odasında depolanmıştır. Soğutma işlemi sonucunda numunelerin ağırlık ölçümleri yapılmış ve

kuru ağırlık değerleri belirlenmiştir “W_d”. Eğilme deneyinde kullanılan numunelerin ağırlık tayinleri Çizelge 3.3’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.2: Tuğla numune özellikleri.

Numune	l (cm)	b (cm)	h (cm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Birim hacim ağırlık (gr/cm ³)
T1	23.75	11.00	7.50	1959.38	2845.20	1.45
T2	23.00	11.30	6.70	1741.33	2686.90	1.54
T3	22.35	10.90	6.25	1522.59	2609.70	1.71
T4	22.75	11.25	7.05	1804.36	2603.40	1.44
T5	23.50	11.35	7.00	1867.08	2956.80	1.58
T6	23.25	10.75	6.75	1687.08	2622.60	1.55
T7	23.50	11.15	6.70	1755.57	2766.30	1.58
T8	23.75	11.20	6.85	1822.10	2803.60	1.54
T9	23.35	11.15	6.45	1679.27	2607.40	1.55
T10	23.20	11.25	6.45	1683.45	2540.90	1.51
T11	23.00	11.00	6.50	1644.50	2637.20	1.60
T12	22.60	10.75	6.50	1579.18	2538.70	1.61
T13	22.85	11.40	7.00	1823.43	2764.70	1.52
T14	23.35	11.15	7.25	1887.56	2673.80	1.42
T15	22.80	10.80	6.60	1625.18	2535.90	1.56
Ortalama					2679.54	1.545
Standart sapma					123.98	0.074
Varyasyon katsayısı					0.046	0.048

Çizelge 3.3 : Yığma tuğla kuru ağırlık ölçümleri.

Numune ismi	Etüv öncesi ağırlık(g)	Etüv sonrası 1.ölçüm(g)	Etüv sonrası 2.ölçüm(g)	W _d (g)	Fark <%0.2
1E	2488.60	2457.60	2457.50	2457.50	0.00407
2E	2814.50	2811.10	2811.00	2811.00	0.00356
3E	2697.30	2690.30	2690.20	2690.20	0.00372
4E	2923.00	2920.20	2920.20	2920.20	0.00000
5E	2724.40	2722.10	2722.10	2722.10	0.00000
6E	2752.60	2737.10	2737.10	2737.10	0.00000

Devamında su emme kapasitelerinin belirlenmesi için toplam 8 adet numune seçilmiş ve 16 adet yarım tuğla olacak şekilde orta bölgesinden kesilmiştir. Daha önce bahsedildiği gibi kurutma ve soğutma işlemi uygulanan numuneler devamında 5 ila 24 saat arasında damıtılmış su veya yağmur suyu olmak kaydıyla 22.1 °C’deki (15.5-30 °C arasında olmalı) soğuk ve temiz bir suda bekletilerek suya doymun hale

getirilmişlerdir. Bu işlemin sonucunda sudan çıkarılan numunelerin üzerindeki nem alınarak ağırlık ölçümü tekrarlanmıştır “Ws”, Şekil 3.3. Su emme deneyinde kullanılan numunelerin boyutları ve suya doygun ağırlık değerleri Çizelge 3.4’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4 : Yığma tuğla boyutları ve su emme ölçümleri.

Numune İsmi	l (cm)	b (cm)	h (cm)	Kurutma öncesi ağırlık (g)	Etüv 1. ölçüm W _d (g)	Etüv 2. ölçüm W _d (g)	Fark < %0.2	Ws	Su emme (%)
1-A	11.80	11.75	7.33	1581	1552	1552	-	1742	12.23
1-B	11.25	11.75	7.33	1470	1430	1430	0.014	1607	12.42
2-A	11.35	11.20	6.93	1305	1273	1273	-	1356	6.52
2-B	11.30	11.20	6.93	1339	1293	1293	-	1545	19.49
3-A	11.05	11.75	6.68	1432	1412	1412	0.014	1438	1.83
3-B	11.95	11.75	6.68	1502	1475	1475	-	1707	15.7
4-A	11.20	11.25	7.03	1455	1359	1359	-	1624	19.55
4-B	11.75	11.25	7.03	1529	1423	1423	-	1703	19.7
5-A	10.90	11.30	7.08	1324	1294	1294	-	1312	1.38
5-B	11.85	11.30	7.08	1498	1439	1439	-	1662	15.46
6-A	10.50	11.40	6.68	1245	1219	1219	-	1228	0.77
6-B	11.30	11.40	6.68	1350	1312	1312	0.008	1521	15.92
7-A	11.85	11.40	7.3	1511	1468	1468	-	1569	6.91
7-B	11.75	11.40	7.3	1505	1469	1469	-	1786	21.61
8-A	11.25	11.45	7.08	1357	1321	1321	0.008	1403	6.19
8-B	11.85	11.45	7.08	1448	1398	1399	-	1680	20.19
Ortalama (%)									12.24
Varyasyon katsayısı									0.598



Şekil 3.3 : Etüvde kurutma, su emme ve ağırlık ölçümleri.

3.2.2 Tuğlanın mekanik özellikleri

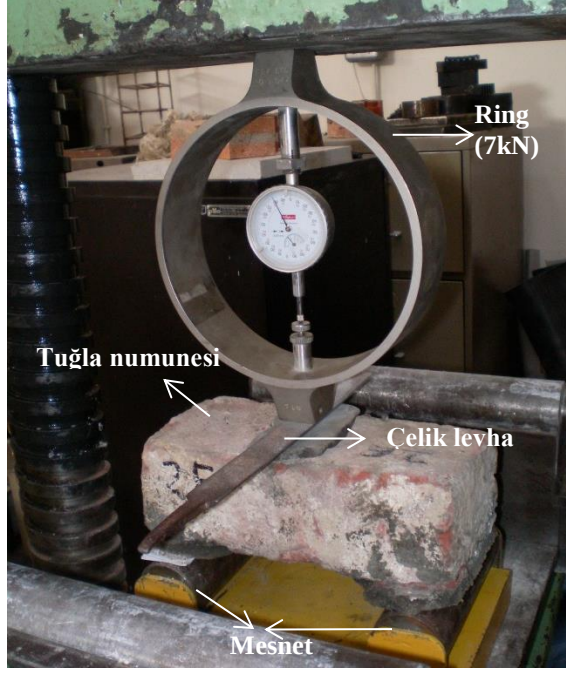
3.2.2.1 Tuğla eğilme deneyi

ASTM C 67/11 (2011) standardına göre kurutma ve soğutma işlemi uygulanan numuneler eğilme deneyi için hazır hale getirilmiştir. Deneyde kullanılan numune boyutları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 : Eğilme deneyi tuğla boyutları.

Numune ismi	b _{ön} (cm) b _{arka} (cm)	l _{ön} (cm) l _{arka} (cm)	b _{ort} (cm)	l _{ort} (cm)	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	h _{ort} (cm)
1E	10.90	22.60	10.95	22.70	6.80	6.60	6.80
	11.00	22.80			6.90	6.90	
2E	10.90	23.10	11.05	23.25	7.30	6.40	6.93
	11.20	23.40			7.10	6.90	
3E	10.70	22.70	11.10	22.70	6.70	7.20	6.73
	11.50	22.70			6.70	6.30	
4E	10.80	23.30	10.95	23.65	6.90	7.20	7.08
	11.10	24.00			7.20	7.00	
5E	11.00	23.40	11.10	23.20	7.00	7.00	6.85
	11.20	23.00			6.50	6.90	
6E	10.80	23.00	10.90	23.00	6.80	6.80	6.85
	11.00	23.00			6.80	7.00	

Eğilme deneyi için hazırlanan 6 adet tuğla numunesi Şekil 3.4’de gösterilen deney düzeneğinde test edilmiştir. Eğilme deneyi için yine ASTM C 67/11 (2011) standartının talimatları takip edilmiştir. Yükleme numunenin üst yüzeyinden uygulanacağı için numune üst yüzeyi yükün homojen dağılmasına engel olacak pürüzlerden arındırılmış ve düzleştirilmiştir. Bu amaçla yüklemenin etkitildiği numune üst orta yüzeyi ve numunenin mesnetlere oturduğu alt yüzey kenar bölgeleri tamir harcı ile düz bir yüzey oluşturacak şekilde sıvanmıştır. Deney düzeneğinde numunenin üzerine yerleştiği mesnetlerin uzunluğu en az numune genişliği kadar, mesnet noktalarının çapı ise tercihen yaklaşık 1 inch (25.4 mm) olmalıdır. Numune üst yüzeyinde uygulanan yüklemeyi iletecek olan çelik levha yaklaşık 6.4 mm kalınlığında, 38.1 mm genişliğinde ve uzunluğu en az numune genişliği kadar olmalıdır.



Şekil 3.4 : Tuğla eğilme deney düzeneği.

Tuğla eğilme deneyi için 5000 kN kapasitesine sahip Amsler cihazı ve 7 kN’luk ring kullanılmıştır. Numunelere yükleme hızı 8896 N/dk’yı, Amsler cihazının başlık hareketi ise 1.27 mm/dk’yı aşmayacak şekilde yük uygulanmıştır. Çizelge 3.4’de özetlenen eğilme testi sonuçlarında 7 kN’luk ring için tuğlaya etkitilen eğilme kuvveti ve eğilme dayanımı sırasıyla Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’ye göre hesaplanmıştır. Verilen denklemlerde “n” ring devir sayısını, $P_{ft,m}$ ringden okunan maksimum yükü, b_b ve h_b sırasıyla tuğla numunesinin genişliği ve yüksekliğini, L_b ise mesnetler arası mesafeyi belirtmektedir. Tuğla numunelerinin eğilme dayanım değerleri Çizelge 3.6’de verilmiştir. Deney sonucunda tuğla numunelerden elde edilen ortalama eğilme dayanımı 1.68 MPa, standart sapma 0.71 ve varyasyon katsayısı 0.42’dir, Çizelge 3.7. Tuğla numuneleri genel olarak orta bölgelerinden gevrek olarak kırılmıştır. Eğilme deneyleri sonucunda elde edilen tuğla görüntüleri Şekil 3.5’de verilmiştir.

$$P_{ft,m} = 2,303. n \quad (3.1)$$

$$f_{bft} = \frac{1.5P_{ft,m}L_b}{b_b h_b^2} \quad (3.2)$$

Çizelge 3.6 : Tuğla eğilme dayanım sonuçları.

Numune ismi	$P_{ft,m}$ (N)	Eğilme Dayanımı f_{bft} (MPa)
1E	2245.43	1.20
2E	2026.64	1.05
3E	4357.28	2.36
4E	4087.83	2.02
5E	1761.80	0.92
6E	4774.12	2.53

Çizelge 3.7 : Tuğla eğilme dayanımı istatistiksel sonuçları.

İstatistiksel Parametreler	f_{bft}
Maksimum (MPa)	2.53
Minimum (MPa)	0.92
Ortalama (MPa)	1.68
S. Sapma (MPa)	0.71
V. Katsayısı	0.42



Şekil 3.5 : Eğilme deney sonu.

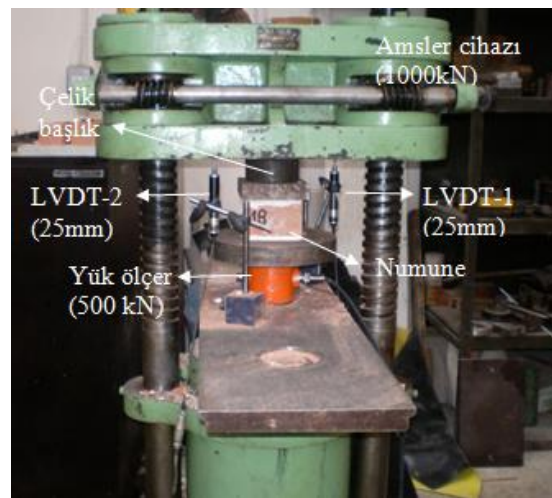
3.2.2.2 Tuğla basınç deneyi

Tuğla basınç deneyleri ASTM C 67/11 standartının talimatlarına göre uygulanmıştır. Deneylere başlamadan önce ilk olarak numune yüzeyleri harç ve toz kalıntılarından arındırılmıştır. Daha sonra 7 adet tam boy tuğlalar orta kısımlarından düzgün bir biçimde iki parçaya bölünmüştür. Düzgün ve paralel bir yükleme yüzeyi elde edebilmek için kurutma ve soğutma işlemi uygulanan 14 adet yarım numunenin üst ve alt yüzeylerine alçı ile başlık yapılmıştır. Basınç deneyleri için kullanılan yarım tuğla boyutları Çizelge 3.8’de verilmektedir.

Çizelge 3.8 : Basınç deneyi tuğla boyutları.

Numune ismi	b(cm)	h(cm)	lort (cm)
1-A	11	7.5	11.4
1-B	11	7.5	11.5
2-A	11.3	6.7	10.9
2-B	11.3	6.7	11.35
3-A	11.25	7.05	11.35
3-B	11.25	7.05	10.9
4-A	10.75	6.75	10.85
4-B	10.75	6.75	11.9
5-A	10.75	6.5	11.2
5-B	10.75	6.5	10.95
6-A	11.4	7	11.05
6-B	11.4	7	11.1
7-A	11.15	7.25	11.65
7-B	11.15	7.25	11.55

14 adet tuğla numunesine 5000 kN kapasiteli Amsler cihazında basınç testi uygulanmıştır. Deney düzeneğinde yükü ve düşey yerdeğiştirmeleri ölçmek için 500 kN kapasiteli yükölçer ve 2 adet 25 mm'lik kapasiteye sahip (TML CDP-25) yerdeğiştirme ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Yük ölçer ve LVDT'lerden gelen yük ve yerdeğiştirme dataları TML TDS 303 ile toplanıp GP-IB kablosu ile Visual Log. Ver2.21.4 programı kullanılarak bilgisayara aktarılmıştır. Numune deney düzeneğinde yük ölçer ve çelik levhaların tam ortasına, LVDT'ler ise numunenin karşılıklı çapraz köşelerine yerleştirilmiştir. Deney sistemi ve deney sonrası numune görünüşleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de sırasıyla gösterilmektedir



Şekil 3.6 : Tuğla basınç deney düzeneği.



Şekil 3.7 : Tuğla basınç deneyi hasar görünüşü.

Tuğla numunelerine uygulanan basınç deneyi sonunda elde edilen deney sonuçları Çizelge 3.9’da özetlenmektedir.

Çizelge 3.9 : Tuğla basınç deney sonuçları.

Numune ismi	Yük (ilk çatlak)	Basınç dayanımı (f_{tb})(MPa)	Elastisite modülü (MPa)
1-A	5.8	8.88	277
1-B	11.0	9.44	505
2-A	10.0	9.95	625
2-B	11.3	11.77	547
3-A	5.5	11.96	675
3-B	7.5	9.10	568
4-A	4.5	7.79	249
4-B	3.0	7.60	156
5-A	6.8	6.88	460
5-B	5.6	6.32	282
6-A	6.5	11.90	653
6-B	7.0	12.67	914
7-A	8.0	6.55	425
7-B	4.0	5.86	243
Ortalama		9.05	470
Standart sapma (Mpa)		2.33	213
Varyasyon katsayısı		0.26	0.45

Ayrıca deney sonuçlarından elde edilen tuğla basınç dayanımları üzerindeki numune boyutunun etkisini elimine etmek için, TS EN 772-1 (2002) basınç dayanımının 100 mm küp numunesinin basınç dayanımına denk gelen normalize edilmiş basınç dayanımına çevrilmesini önermektedir. Bu değer basınç deneyinden elde edilen tuğla basınç dayanım değerlerinin dönüşüm katsayısı (δ) ile çarpılmasıyla elde edilir.

TS EN 772-1 (2002)'den alınan dönüşüm faktörü tablosu Çizelge 3.10'da verilmiştir. Dönüşüm katsayısı tuğla boyutlarına göre Çizelge 3.10'da verilen değerler arasında enterpolasyon yapılarak belirlenmiş ve her bir tuğla numunesi için Çizelge 3.11'de verilen normalize edilmiş basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Sonuç olarak normalize edilmiş ortalama tuğla basınç dayanımı 7.8 MPa olarak hesap edilmiştir.

Çizelge 3.10 : Tuğla basınç dayanımı dönüşüm faktörü.

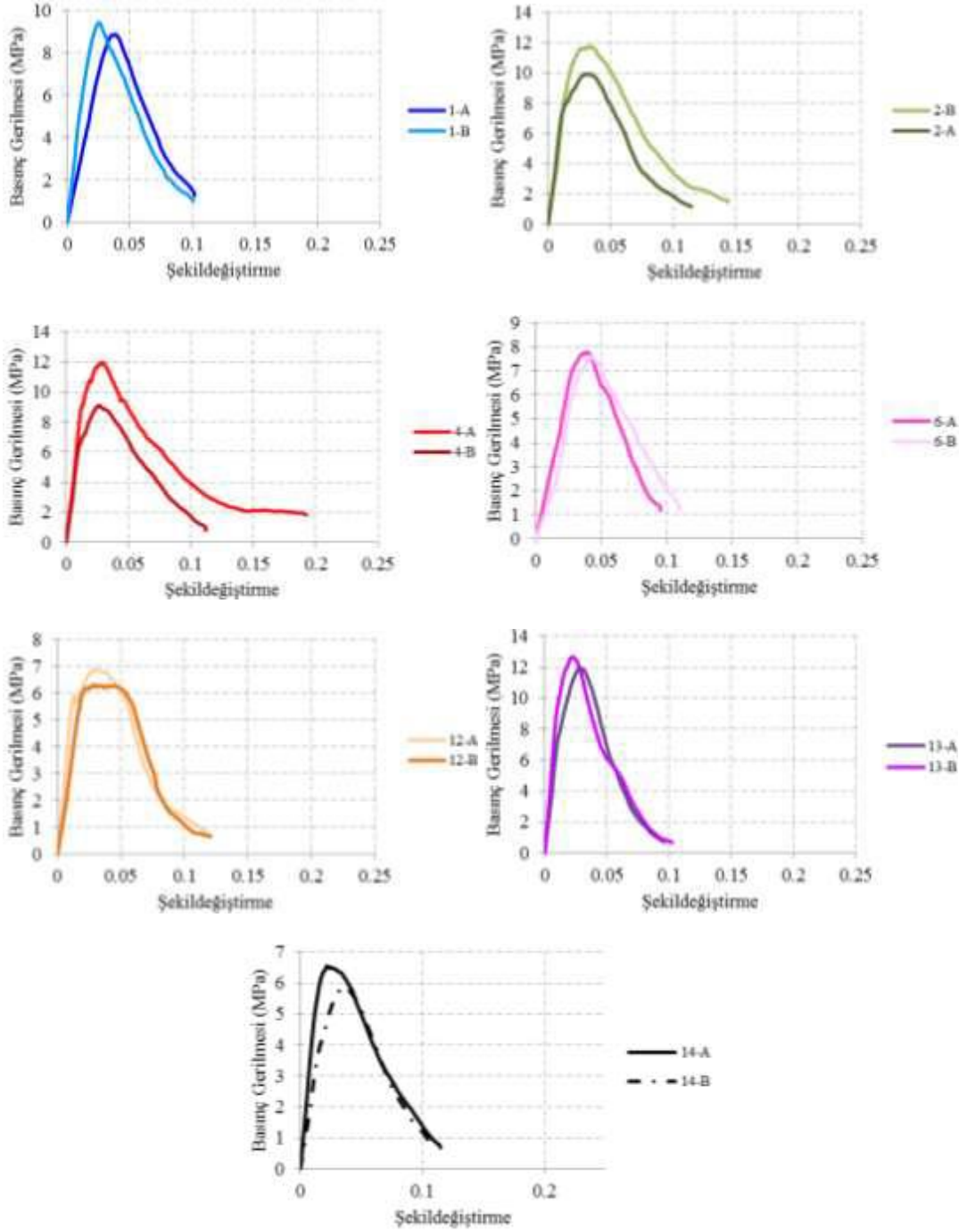
Yükseklik (mm)	Minimum (en, boy) (mm)				
	50	100	150	200	≥250
40	0.80	0.70			
50	0.85	0.75	0.70		
65	0.95	0.85	0.75	0.70	0.65
100	1.15	1.00	0.90	0.80	0.75
150	1.30	1.20	1.10	1.00	0.95
200	1.45	1.35	1.25	1.15	1.10
≥250	1.55	1.45	1.35	1.25	1.15

Çizelge 3.11 : Tuğla normalize edilmiş basınç dayanım değerleri.

Numune	$\min(l_t, b_t)$ (mm)	H_t (mm)	δ	$\delta \times f_{tb}$ (MPa)
1-A	11.00	7.50	0.890	7.9
1-B	11.00	7.50	0.890	8.4
2-A	10.90	6.70	0.844	8.4
2-B	11.30	6.70	0.836	9.8
3-A	11.25	7.05	0.858	10.3
3-B	10.90	7.05	0.865	7.9
4-A	10.75	6.75	0.850	6.6
4-B	10.75	6.75	0.850	6.5
5-A	10.75	6.50	0.835	5.7
5-B	10.75	6.50	0.835	5.3
6-A	11.05	7.00	0.859	10.2
6-B	11.10	7.00	0.858	10.9
7-A	11.15	7.25	0.872	5.7
7-B	11.55	7.25	0.864	5.1
ortalama =				7.8

Basınç deneyi sonucunda elde edilen grafikler Şekil 3.8'de sunulmuştur. Çizelge 3.9'da yer alan elastisite modülü değerleri aşağıda verilen gerilme-şekildeğiştirme grafiklerinde maksimum basınç dayanımının %30 ila %60'ı arasındaki gerilme

değerleri ve bu değerlere karşılık gelen şekildegıştırme değerleri arasındaki lineer doğrunun eğimidir.



Şekil 3.8 : Tuğla basınç deneyi gerilme-şekildegıştırme grafikleri.

3.2.3 Harcın mekanik özellikleri

Tez çalışması kapsamında farklı karışım oranlarına ve farklı karışım bileşenlerine sahip üç çeşit harç karışımı üretilmiştir. Bunlardan ilki numune üretiminde derz harcı olarak kullanılan düşük dayanımlı ve tarihi nitelikli harçtır. Bahsedilen düşük

dayanımlı derz harcı mevcut tarihi yığma yapıların üretiminde kullanılmış olan harç malzemelerinin mekanik özelliklerini temsil etmektedir. Bu kapsamda bağlayıcı olarak çimento ve kireç kullanılan derz harcının ağırlıkça karışım oranı; 1:2:15:2.9 (çimento:kireç:kum:su)'dur. Belirtilen ağırlık oranları İspir'in (2010) tez çalışmasında farklı harç karışımlarını inceleyerek tarihi yığma yapılarda bulunan derz harcının mekanik özelliklerini en yakın şekilde temsil ettiği tarihi nitelikli harç karışım oranlarıdır.

Kolon numunelerine sargılama yöntemi ile güçlendirme uygulamak için ise iki çeşit sıva harcı kullanılmıştır. Bunlardan biri yine tarihi harcı temsil eden düşük dayanımlı sıva harcıdır. Çimento, kireç, kum ve su bileşenlerini içeren düşük dayanımlı sıva harcının sırasıyla ağırlıkça karışım oranları; 1:2:15:3.72'dir. Daha plastik bir karışım elde etmek ve tekstil malzemenin kolon yüzeyine daha kolay yerleşmesini ve yapışmasını sağlamak için derz harcından farklı olarak karışım içindeki su miktarı artırılmıştır. Bu noktada harcın mekanik özelliklerini iyileştirmemek adına çimento bileşeninin miktarında artış yapılmamıştır.

Çimento, kireç, kum ve su bileşenleri ile hazırlanan derz harcında ve düşük dayanımlı sıva harcında Akçansa tarafından üretilen PÇ 42.5 çimento, Paksan tarafından üretilen södürülmüş toz kireç (CL 80 S) ve dere kumu (Nur Ticaret) kullanılmıştır, Şekil 3.9. Şekil 3.10'da ise sırasıyla dere kumu, kireç, çimento ve bu bileşenlere belirli oranlarda su ilave edilerek oluşturulan harç karışımı verilmiştir. Diğer sıva harcı ise hazır toz karışıma sahip sadece su takviyesi yapılan orta dayanımlı ticari sıva harcıdır (Tyfo-C matrix). Üretici firma tarafından toz karışımın ve suyun ağırlıkça karışım oranı; 15:2.5 olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.9 : Harç karışımında kullanılan malzemeler.



Şekil 3.10 : Düşük dayanımlı derz harcı ve sıva harcı hazırlama aşamaları.

Ticari sıva harcın birim hacim ağırlığı 2200 kg/m^3 olup, sıva harcı kolon yüzeyine lifli malzemenin iyice yerleşmesini sağlamak için 2 ila 5 mm arasındaki kalınlıkta uygulanmalıdır. Orta dayanımlı ticari sıva harcının üretimi için kuru karışıma belirli miktarda su ilave edilmiştir. Elektrikli karıştırıcı yardımıyla hazırlanan sıva harcının üretim aşamaları Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.11 : Orta dayanımlı sıva harcı hazırlama aşamaları.

3.2.3.1 Harç eğilme deneyi

Önceki bölümde bahsedildiği gibi yığma kolonların üretimi esnasında derz aralıklarında kullanılan düşük dayanımlı derz harcı, kolon numunelere güçlendirme işlemi uygulanırken tekstil malzemeyi yüzeye yapıştırmak amacıyla üretilen düşük dayanımlı ve orta dayanımlı sıva harcından harç mekanik deneylerinde kullanılmak üzere harç numuneleri alınmıştır. Numuneler $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}$ iç boyutlara sahip kalıpların içine dökülmüştür. Öncelikle kullanılacak olan kalıplar temizlenmiş ve kalıpların iç yüzeyi tamamen pürüzsüz bir yüzey oluşturacak şekilde yağlanmıştır. Hazırlanan kalıplara harç örnekleri aralarında boşluk kalmamasına dikkat edilerek

yerleştirilmiştir. Harç yerleştirilmiş kalıplar sarsma tablasında birkaç saniye bekletilmiş ve malzemenin kalıbın içine iyice yerleşmesi sağlanmıştır. Bahsedilen işlemler aşama aşama Şekil 3.12’de gösterilmektedir. Alınan harç numuneleri 7 gün sonunda kalıplardan çıkarılmıştır.



Şekil 3.12 : Harç numunesi hazırlama aşamaları.

Düşük dayanımlı derz harcı numuneleri alındıkları tarihten itibaren 7., 14., 28. 90. günlerinde ve kolon basınç deneylerine başlanılan tarihte (326. gün) öncelikle eğilme, daha sonra basınç deneylerine tabi tutulmuşlardır. Düşük ve orta dayanımlı sıva harç numuneleri ise 28. ve 90. günlerinde test edilmiştir.

Üç noktalı eğilme deneyi tuğla eğilme deneyine benzer olarak 5000 kN kapasiteli Amsler markalı cihazda uygulanmıştır. Uygulanan yükü belirlemek için 7 kN kapasiteli ring kullanılmıştır. Deney sonunda ring içerisindeki saatin devir sayısı Denklem 3.1’de yerine konularak eğilme deneyinde maksimum yük değeri ve buna bağlı olarak Denklem 3.2’den eğilme dayanımı belirlenmiştir. Deney düzeneği ve deney sonrası harç numunesinin hasar durumu Şekil 3.13’de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere harç numuneleri orta bölgelerinden gevrek bir şekilde kırılmışlardır. Düşük dayanımlı derz harcı (L1), düşük dayanımlı sıva harcı (L2) ve orta dayanımlı ticari sıva harcı (CM) eğilme deney sonuçları ve istatistiksel bilgiler Çizelge 3.12’de verilmektedir. Deney sonuçlarına bakıldığında sıva olarak kullanılan ticari nitelikli harç karışımının eğilme dayanım sonuçları tarihi harca benzeştirilmiş harç karışımına göre daha yüksek değerler vermiştir.



Şekil 3.13 : Harç eğilme deneyi ve hasar durumu.

Çizelge 3.12 : Harç eğilme deneyi sonuçları.

Numune no	Deney günü	Ortalama eğilme dayanımı (MPa)	Standart sapma (MPa)	Varyasyon katsayısı
L1	7. gün	0.48	0.03	0.05
	14. gün	0.52	0.03	0.06
	28. gün	0.46	0.02	0.04
	90. gün	0.56	0.03	0.06
	326. gün	0.61	0.03	0.05
L2	28. gün	0.34	0.06	0.04
	90. gün	0.41	0.02	0.05
CM	28. gün	2.75	0.02	0.06
	90. gün	4.77	0.05	0.08

3.2.3.2 Harç basınç deneyi

Basınç deneylerinde, eğilme deneylerinden elde edilen yarım harç numuneleri kullanılmıştır. Deney 5000 kN kapasiteli Amsler cihazında, 500 kN kapasiteli yükölçer ve iki adet 25 mm kapasiteli yerdeğiştirme ölçerler (LVDT) kullanılarak uygulanmıştır. Yarım harç numunelerine etkitilen yükün numune yüzeylerinde uniform dağılmasını sağlamak amacıyla numune alt ve üst yüzeylerine çelik plakalar yerleştirilmiştir. Deney verileri TML-TDS 303 ile toplanmış, GP-IB kablo bağlantısı ile bilgisayar içerisindeki Visual Log. Ver 2.21.4 programına aktarılmıştır. Deney düzeneği ve deney sonundaki hasar durumu sırasıyla Şekil 3.14’de gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Harç basınç deneyi ve hasar durumu.

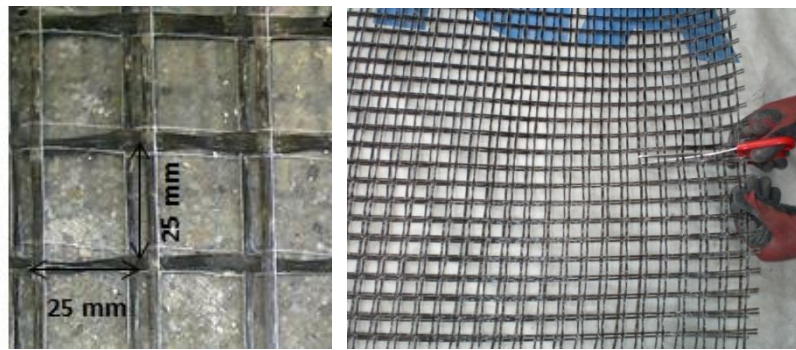
Numunelere ait deney sonuçları ve istatistiksel bilgiler Çizelge 3.13’de verilmektedir. Yine eğilme deneylerine benzer olarak orta dayanımlı ticari harca ait ortalama basınç dayanım değeri tarihi harca benzeştirilmiş harç karışımının basınç dayanım değerinden oldukça yüksek ölçülmüştür.

Çizelge 3.13 : Harç basınç deneyi sonuçları.

Numune no	Deney günü	Ortalama basınç dayanımı (MPa)	Standart sapma (MPa)	Varyasyon katsayısı
L1	7. gün	0.71	0.02	0.02
	14. gün	1.09	0.18	0.17
	28. gün	1.40	0.30	0.21
	90. gün	1.56	0.19	0.12
	326. gün	2.03	0.09	0.04
L2	28. gün	0.87	0.08	0.03
	90. gün	1.09	0.03	0.05
CM	28. gün	9.83	0.03	0.05
	90. gün	10.37	0.04	0.06

3.2.4 Bazalt tekstil mekanik özellikleri

Yığma kolon numunelerinin mekanik özelliklerini arttırmak amacıyla kolonlara uygulanan güçlendirme işlemi için ortalama ağırlığı 170 gr/m^2 olan bazalt lifli tekstil malzeme kullanılmıştır. Her iki yönde çalışan ve $25 \times 25 \text{ mm}$ göz boyutlarına sahip ızgara şeklindeki bazalt lifli tekstil malzeme Fyfe Co. LLC. tarafından üretilmiştir, Şekil 3.15. Bazalt lifli malzeme numune yüzeyine orta veya düşük dayanımlı harç ile uygulandığında bir kat için lifli malzeme ve sıva harcının toplam kalınlığının 5 mm olmasına dikkat edilmiştir. Orta dayanımlı ticari harç ile güçlendirilmiş bazalt lifli kompozit malzemenin mekanik özellikleri Çizelge 3.14’de özetlenmektedir.



Şekil 3.15 : Bazalt lifli tekstil malzeme.

Çizelge 3.14 : Harç takviyeli bazalt lifli malzemenin mekanik özellikleri.

Maksimum çekme dayanımı (Mpa)	Çekme Modülü (E_f) (MPa)	Nihai çekme uzaması (ϵ_{fu}) % (MPa)
6	370	0.0162

4. NUMUNE ÜRETİMİ VE TRM UYGULAMASI

4.1 Numune Üretimi

Tez çalışması kapsamında, 1930 lu yıllarda Beyoğlu semtinde inşaa edilmiş tarihi nitelikli yığma bir binadan alınan ve ortalama basınç dayanımı 9.0 MPa olan hasarsız tuğlalar ile 10 adet kare ve 10 adet dikdörtgen enkesitli toplam 20 adet kolon numunesi üretilmiştir. Numune boyutları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bölüm 3.2.3.2’de bahsedildiği üzere derz aralıklarında 28 günlük basınç dayanımı 1.40 MPa olan ve tarihi yığma binalarda kullanılmış derz harcının mekanik özelliklerini yansıtan harç karışımı kullanılmıştır.

Numunelerin deney düzeneğine taşınmalarını kolaylaştırmak adına temizlenmiş ve yağlanmış paletler üzerinde üretim yapılmıştır. Ayrıca, numune yanal yüzeylerinin dik olması için üretim esnasında yüzeyler sürekli düzeçler ile kontrol edilmiştir. Kullanılan tuğlalar öncelikle, derz harcının içeriğindeki suyu çekmemesi için ıslatılmıştır. Kolon numuneleri 18.5 mm kalınlığında sekiz sıra yatay derz ve 13 mm kalınlığında düşey derzlerden oluşacak şekilde dokuz sıra olarak örülmüştür. Yatay ve düşey derz aralıklarının dengesi üretim aşamasında tuğlalar arasında bahsedilen derz kalınlıklarında çıtalar kullanılarak sağlanmıştır. Numune üretim aşamaları Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Yığma kolon numune üretimi.

Çizelge 4.1 : Yığma kolon numune boyutları.

Numune ismi	lort (mm)	bort (mm)	hort (mm)
Seri-1			
S-0B-0 (1)	360	361	874
S-0B-0 (2)	363	351	882
S-0B-L (1)	365	365	877
S-0B-L (2)	369	362	870
S-0B-F (1)	361	358	872
S-0B-F (2)	363	369	875
S-2B-L (1)	363	365	877
S-2B-L (2)	355	362	854
S-2B-F (1)	365	350	913
S-2B-F (2)	365	350	913
Seri-2			
R-0B-0 (1)	605	360	855
R-0B-0 (2)	590	353	850
R-0B-L (1)	604	359	865
R-0B-L (2)	608	367	858
R-0B-F (1)	618	361	875
R-0B-F (2)	611	360	863
R-2B-L (1)	606	361	855
R-2B-L (2)	601	361	924
R-2B-F (1)	617	362	874
R-2B-F (2)	650	365	905

Ayrıca kolon numunelerine basınç yükünü üniform olarak etkitebilmek amacıyla numunelerin alt ve üst yüzeylerine 60 MPa basınç dayanımına sahip tamir harcı ile başlık yapılmıştır, Şekil 4.2.



Şekil 4.2 : Kolon numuneleri başlık imalatı.

4.2 Güçlendirme İşlemi

Tekstil donatılı sıva ile güçlendirme (TRM) uygulaması, epoksi reçineli lifli polimerler (FRP) ile güçlendirme uygulamasının olumsuz etkilerine karşı yığma ve betonarme yapıların güçlendirilmesine dair iyi bir alternatif olmaktadır. TRM, 25x25 mm göz boyutlarına sahip ızgara şeklindeki tekstil malzeme ve bağlayıcı olarak harç karışımının kullanıldığı bir sistemdir. Bernakos (2012) kendi tez çalışmasında TRM ızgaralarının güçlendirilmiş elemanlarda çekme direncine olumlu etkide bulunduğunu belirtmiştir. Ayrıca bağlayıcı olarak kullanılan harç karışımının, gevrek bir davranış gösteren organik reçineler ile karşılaştırıldığında sünekliliği arttırdığından ve tekstil malzemeyi çevresel etkilerden koruyup gelen yükün tekstil malzeme arasına eşit bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olduğundan bahsetmiştir.

Bölüm 3.1’de anlatıldığı üzere toplam 20 adet kare ve dikdörtgen enkesitli yığma kolon numunelerinin 4 adedi bazalt lif takviyeli tarihi harç ile sargılanarak güçlendirilmiş, 4 adedi bazalt lif takviyeli ticari harç karışımı ile sargılanarak güçlendirilmiş, 4 adedi sadece düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvanmış, 4 adedi orta dayanımlı ticari harç karışımı ile sıvanmış ve 4 adedi referans numunesi olarak bırakılmıştır.

Yığma kolon elemanlarının bazalt lif donatılı kompozitler kullanılarak uygulanan güçlendirme aşamaları şu şekilde sıralanmaktadır: (1) ortalama yarıçapı (r_c) 12 mm olacak şekilde kolon numunelerinin her bir köşesinde taşlama makinesi yardımıyla pah yapılmıştır, Şekil 4.3.a, (2) kolon yanal yüzeyleri temiz bir fırça ile temizlenmiş ve hafifçe ıslatılarak nemlenmesi sağlanmıştır, Şekil 4.3.b, (3) yaklaşık 2-3 mm kalınlığındaki harç karışımı (düşük dayanımlı tarihi harç veya orta dayanımlı ticari harç) numunelerin yanal yüzeylerine uygulanmıştır, Şekil 4.3.c, (4) daha sonra bazalt tekstil malzeme uygun ölçeklerde kesilerek hazırlanmış ve ilk katı malzemeye zarar vermemeye özen göstererek el yordamıyla numune çevresine yerleştirilmiştir, Şekil 4.3.d, (5) devamında kolonlar 2-3 mm kalınlıktaki harç karışımı ile bazalt tekstilinin üzerini tamamen kaplayacak şekilde tekrar sıvanmış ve tekstil malzemenin yüzeye iyice bağlanması sağlanmıştır, Şekil 4.3.e, (6) 2. Kat bazalt tekstilin sargılanmasında aşama 4’deki işlemler tekrar edilmiştir, ve (7) tarihi harç veya ticari harç karışımının son katı bir sünger yardımıyla 2. kat bazalt tekstil malzeme üzerine düzgün bir yüzey oluşturacak şekilde uygulanmıştır, Şekil 4.3.f.



(a)



(b)



(c)



(d)



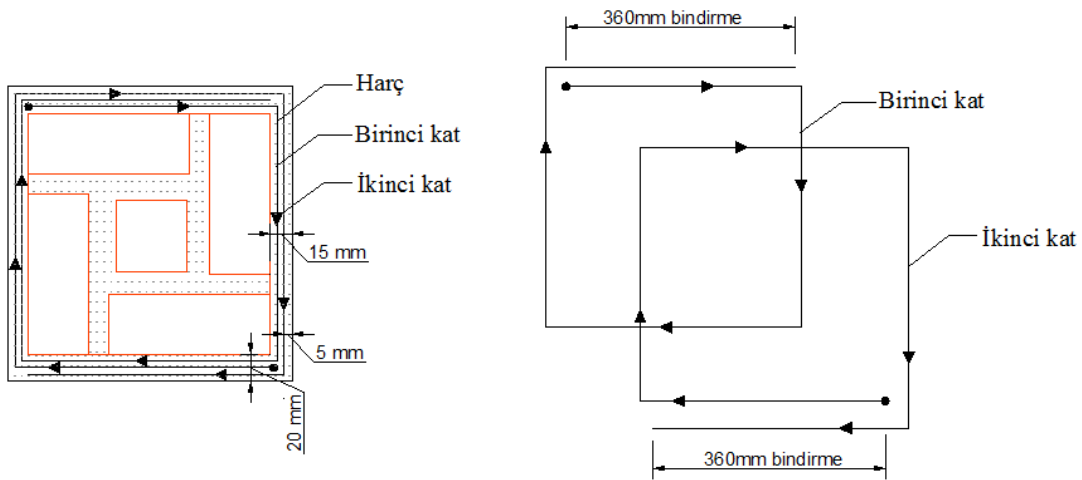
(e)



(f)

Şekil 4.3 : Güçlendirme aşamaları.

Bazalt lifli kompozit malzemenin kalınlığı her bir kat için ortalama 5 mm, toplam 15 mm olacak şekilde uygulanmıştır. Sargılama ile güçlendirme işleminin tam olarak çalışabilmesi için bazalt tekstilinin her bir katının 360 mm uzunluğunda bindirme yapılması sağlanmıştır, Şekil 4.4.



Şekil 4.4 : Güçlendirme sistemi.

Ayrıca uygulanan 2 kat bazalt tekstil malzemesinin bindirmelerinin aynı yüzeye denk gelmesini önlemek amacıyla uygulanan 2. kat malzeme ilk katın başladığı köşenin çapraz köşesinden başlatılmıştır. Güçlendirme işlemi tamamlandıktan sonra numune yüzeyindeki sıva tabakası üzerinde kuruma esnasında oluşabilecek çatlakları önlemek amacıyla, yüzey hafifçe ıslatılmıştır. Sadece düşük dayanımlı (tarihi harç) veya orta dayanımlı (ticari harç) harç karışımları ile sıvanan yığma kolonlar için, kolon yüzeylerine yukarıda 1. ve 2. aşamalarda bahsedilen işlemlerin aynısı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kolon yanıl yüzeyleri toplam kalınlığı ortalama 5 mm olacak şekilde sadece düşük veya orta dayanımlı harç karışımlarından biri ile sıvanmıştır, Şekil 4.5.



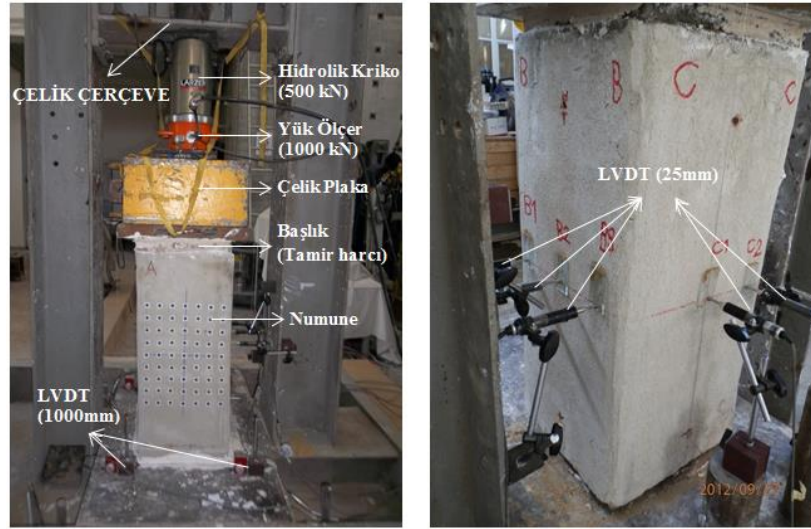
Şekil 4.5 : Kolon numunelerine sıva uygulanması.

Daha önceden numune üst ve alt yüzeyine yapılan başlıklar tamamen kuruyup dayanımını kazandıktan sonra güçlendirilmiş numunelerin üzerindeki sargı tabakasının numune başlıklarına yakın kısımları kesilmiştir. Bu işlem, numune yüzeyine sargılanan sıva harcı ve bazalt lifli malzemenin deney esnasında basınç yükü uygulanan çelik plakalar ile temasını engelleyerek zarar görmesini ve deney sonucunu etkilemesini engellemek amacıyla yapılmıştır.

5. EKSENEL BASINÇ DENEYLERİ

5.1 Deney Düzeneği

Eksenel basınç deneyleri 20 adet yığma kolon numunesi üzerinde uygulanmıştır. Numunelere uygulanan basınç yükü 500 kN yük kapasitesine sahip hidrolik kriko ile sağlanmıştır. Deney süresince kolona verilen yük verileri aşama aşama 1000 kN kapasiteli yük ölçer aracılığıyla kaydedilmiştir. Ayrıca hidrolik kriko ile uygulanan yükün numune başlığına eşit bir şekilde dağıtılabilmesi için başlık ile yük ölçerin ara yüzeyinde numune enkesitinden daha büyük kesite sahip çelik plakalar yerleştirilmiştir. Basınç deneylerinin uygulandığı çelik çerçeve ve deney düzeneği Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : Eksenel basınç deneyi yükleme düzeneği.

Kolon numunelerinin basınç yükü altında düzlem dışı deformasyonlarını ölçmek amacıyla numune sağ yüzüne 3 adet, arka yüzüne 2 adet olacak şekilde toplam 5 adet 25 mm kapasiteli yerdeğiştirme ölçer LVDT (linear variable displacement transducer) yerleştirilmiştir. Numunelerin karşılıklı yüzeylerinin düzlem dışı hareketlerinin simetrik olacağı düşünülerek bu aletler numunelerin sadece 2 yüzünde kullanılmıştır. Buna ek olarak numune tüm boyunda oluşabilecek eksenel deformasyonları ölçmek amacıyla 1000 mm kapasiteli 4 adet LVDT numunelerin 4

köşe noktalarına yerleştirilmiştir. Kullanılan yerdeğiştirme ölçerler çelik çerçeveye mıknatıslı ayakları yardımıyla sabitlenmiştir.

Referans numunelerinin deney düzeneğine taşınırken zarar görmesini engellemek için cam elyaf esaslı çift yönlü esnek dokuma malzemesi “LifeTex” ve özel yapıştırıcısı ile referans numuneleri 30 cm bindirme yapacak şekilde sargılanmıştır. Numuneler düzeneğe yerleştirildikten sonra bu ileri teknoloji malzeme yüzeyden sökülüştür.

5.2 Görsel Yerdeğiştirme Ölçüm Sistemi

Kolon sargı yüzeyindeki düzlemsel yerdeğiştirmeleri belirlemek amacıyla fotogrametrik bir ölçüm sistemi kullanılmıştır, Şekil 5.2. Bu sistem, tek kamera kullanılması halinde ölçümün sadece düzlemsel yapılabilmesine imkan verdiği için kolonun sadece bir yüzeyine uygulanabilmektedir. Görsel ölçüm sisteminin özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

-Bir adet kameradan oluşan ölçüm sistemi ile tek bir yüzeyde oluşan düzlem içi yerdeğiştirmeler saptanabilmektedir. 3 boyutlu yerdeğiştirmeleri takip edebilmek için ise birden fazla kamera sistemini kullanmak gerekmektedir.

-Kamera sistemi deney numuneleri ile temas halinde olmadığı için deney süresince numunelere zarar vermemektedir,

- Birçok yerdeğiştirme ve şekildeğiştirme ölçerlerin yerine kullanılabilir,

- Diğer yandan bu sistem aynı görevi gören LVDT ve şekildeğiştirme ölçerlere göre yüksek maliyetlidir ve numunede aşırı hasar oluşması ile sonuçlanan deneylerde hatalı sonuçlar verebilmektedir.

- Ölçüm sistemi 0.1 mm’lik şekildeğiştirmeyi algılayacak hassasiyet ile görüntü almakta ve 0.50 x 0.50 m boyutlarındaki bir alanı görüntüleyebilmektedir.

Sistem bileşenleri ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Sistemin kurulumunda öncelikle kameranın görüntüleyebildiği kolon yüzeyinin tam orta noktası belirlenip, bu noktadan başlayarak kolon yüzeyine yatay ve düşey doğrultuda 5’er cm aralıklarla işaretler yapıştırılmıştır. Kamera numune yüzeyinde belirlenen orta noktaya göre odaklanmış ve netlik ayarının yapıldığı 2.5 m mesafeye konumlandırılmıştır.

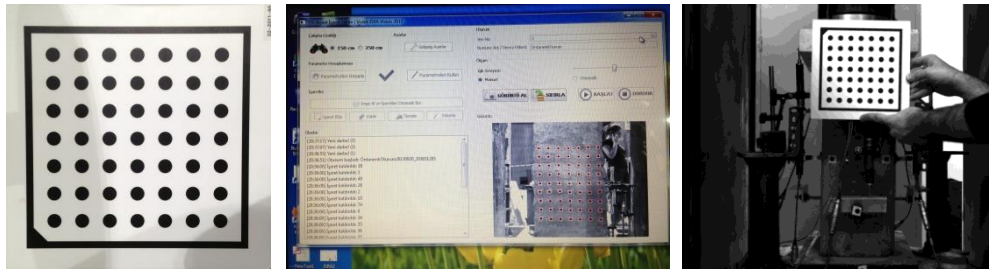


Şekil 5.2 : Görsel yerdeğiştirme ölçüm sistemi.

Çizelge 5.1 : Görsel yerdeğiştirme ölçüm sistemi bileşenleri (5 Megapiksel kamera).

Marka	Basler
Model Kodu	piA2400-17gm/gc
Renk Tipi	Renk / Tek renkli
Çip Inch Boyutu	2/3 (CCD)
Mercek Yuvası	C
Piksel HxV	2456 x 2058
Ağ Özellikleri	Görüntü Alma Hızı: 17 fps, Arayüz: Gigabit
Senkronizasyon	Ethernet
Electriksel	Harici
Özellikler	Enerji Tüketimi: <5.5 W, Voltaj: 12 ~ 24 V DC

Deneye başlamadan önce numune yüzeyine yerleştirilen işaretler kameraya tanıtılmıştır. Bu tanıma işlemi için, Şekil 5.3’de gösterilen kalibrasyon levhası kullanılmış ve görsel ölçüm sistemi ile ilk görüntü kalibrasyon levhasından alınmıştır. Optik ölçüm sistemi her görüntü alınışında yüzeydeki takip işaretlerini otomatik olarak saptayabilmekte ve bu işaretleri bir fotoğrafa dönüştürebilmektedir. Bu şekilde her bir fotoğraf bir sonraki fotoğrafın referansı olarak kabul edilmekte ve ölçüm sistemi her işareti birbirinden bağımsız olarak değerlendirmektedir. Böylece kolona artarak uygulanan her yükleme anında yüzeyde tanıtılan noktaların yatay ve düşey doğrultuda yaptığı yerdeğiştirmeler ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ile saptanabilmektedir. Son olarak, sistem alınan doneleri dönüştürmekte ve CSV dosyası olarak raporlayabilmektedir.



Şekil 5.3 : Kalibrasyon levhası.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Giriş

Tez çalışmasında 20 adet yığma kolon numunesi üzerinde eksenel basınç deneyleri uygulanmıştır. Kolon numuneleri nominal olarak 360x360x900 mm ve 360x630x900 mm boyutlarında kare ve dikdörtgen enkesitli olmak üzere 2 grup olarak üretilmiş ve test edilmiştir. Numune isimleri ve karakteristikleri Bölüm 3.1’de, numunelerin güçlendirme işlemi uygulanmadan önceki gerçek boyutları ise Bölüm 4.1’de verilmiştir. Her numuneye deney düzeneğinde numune ile başlık plakaları arasında kalabilecek boşlukları kapatmak amacıyla numunelerin taşıyabileceği maksimum yükün yaklaşık % 7 – 8’i mertebesinde ön yükleme yapılmış ve devamında yük boşaltılmıştır. Uygulanan eksenel basınç yükleri altında deney süresince Seri-1 ve Seri-2’ye ait numunelerin göçme davranışı ile ilgili bilgiler aşağıda kısaca açıklanmıştır.

6.2 Numunelerde Görülen Hasar Gelişimi ve Göçme Modu

6.2.1 Seri-1’e ait numuneler

S-0B-0 (1)

Yığma kolonlara uygulanan güçlendirme işleminin etkinliğini ölçebilmek için 2 adet kare enkesitli numuneye güçlendirme işlemi yapılmamıştır. Kare enkesitli referans numunelerinden ilkinde öncelikle ön yükleme yapılmış ve yük boşaltılmıştır. Tekrar basınç yükleme uygulandığında yük değeri maksimum yükün % 33’ü mertebesine (69 kN) ulaştığında numune üzerinde ilk düşey çatlak gözlemlenmiştir. Referans numunesine uygulanan yük maksimum 209 kN’a ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0102 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Bu noktadan sonra yük düşmeye başlamış ve yük değeri maksimum değer % 21’ine (44 kN) düştüğünde ve nihai şekildeğiştirme ise 0.0158 değerine ulaştığında deney sonlandırılmıştır.

Deney sonunda tuğla ve harç tabakaları birbirinden ayrılmış ve numune tamamen dağılmıştır.

S-0B-0 (2)

Diğer referans numunesinde oluşan ilk çatlak uygulanan yük değeri maksimum yükün % 59'una (65 kN) ulaştığında 0.1 mm genişliğinde oluşmuştur. Referans numunesine uygulanan yük maksimum 110 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0078 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deney, yük seviyesi maksimum değere göre % 45'lere (50 kN) düştüğünde ve numunede ortalama 0.0186 değerinde düşey şekildeğiştirme meydana geldiğinde sonlandırılmıştır. Deney sonucunda numune yüzeyinde oluşan maksimum çatlak genişliği 3.5 mm'ye kadar ulaşmıştır.

Referans numunelerinde öncelikle başlık harçlarında ezilme başlamış ve daha sonra derz harçlarında ilk çatlak gözlemlenmiştir. Artan yükler etkisi altında derz harcı üzerinde oluşan çatlaklar tuğla üzerinden devam ederek uzamış ve genişlemiştir. Sonuç olarak oluşan çatlakların genişlemesiyle tuğla ve harç tabakası birbirinden ayrılmış ve referans numuneleri gevrek olarak göçmüştür, Şekil 6.1.



Şekil 6.1 : Referans numuneleri (S-0B-0 (1) ve S-0B-0 (2)) göçme modu.

S-0B-L (1)

Yığma kolon numunelerinin dış yüzeyinin sadece sıvanmasının basınç yükü altında numune davranışını ne şekilde değiştireceğini belirlemek amacıyla 2 adet numunenin dış yüzeyi sadece düşük dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Tarihi harç ile sıvalı numunenin ilkinde basınç yükü maksimum yük değerinin % 28'ine (52 kN)

ulaştığında ilk düşey çatlak gözlemlenmiştir. Uygulanan yük 186 kN değerine ulaşmış ve daha sonra düşmeye başlamıştır. Bu yük seviyesinde ortalama 0.0099 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir. Yük değeri maksimum yükü % 72'sine (134 kN) düştüğünde ortalama düşey şekil değiştirme değeri 0.012 olmuş ve deney sonlandırılmıştır.

S-0B-L (2)

Düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı bir diğer numunede basınç yükü maksimum yükün %23'üne (53 kN) ulaştığında numune köşesinde ilk düşey çatlak oluşmuştur. Uygulanan yük maksimum 226 kN değerine ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0091 düşey şekil değiştirme meydana gelmiştir. Yük değeri maksimum yükün %23'üne (52 kN) düştüğünde deney sonlandırılmıştır. Numunenin nihai ortalama düşey şekil değiştirme değeri ise 0.0154 olarak hesaplanmıştır.

Tarihi harç ile sıvalı numunelerde referans numunelerine benzer olarak öncelikle başlık harçlarında ezilme meydana gelmiştir. Basınç yükü ortalama 0.4 MPa değerine geldiğinde ilk çatlaklar numunelerin alt köşe noktalarında sıva harcı üzerinde oluşmuştur. Artan yükler altında numune dört yüzeyinde de çatlaklar ilerlemiş ve basınç gerilmesi yaklaşık olarak 1.4-1.5 MPa seviyesine ulaştığında sıva tabakasının numune yüzeyinden ayrıldığı gözlemlenmiştir. Numune tam olarak göçmeden önce yüzeyindeki sıva tabakası tamamen dökülmüştür. Sıvanın yüzeyden ayrılmasıyla derz harcında ve tuğla üzerinde de çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir, Şekil 6.2.



Şekil 6.2 : Düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerin (S-0B-L (1) ve S-0B-L (2)) göçme modu.

S-0B-F (1)

Sadece orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerden ilkinde ilk düşey çatlak basınç yükü maksimum yük değerinin % 32'sine (56 kN) ulaştığında gözlemlenmiştir. Oluşan çatlaklar öncelikle numune alt köşe noktalarından başlamış ve dallanarak numune yüzeyine ilerlemiştir. Yükleme % 93 (163 kN) mertebelerinde iken numunenin bir yüzeyinde sıva tabakası ile numunenin ayrıldığı gözlemlenmiştir. Uygulanan yük değeri maksimum 175 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde numune toplam boyunda, ortalama 0.0081 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deney yük değeri % 25'lere (43 kN) düştüğünde sonlandırılmıştır. Bu noktada ortalama düşey şekildeğiştirme değeri 0.0156 olarak hesaplanmıştır.

S-0B-F (2)

Ticari harç ile sıvalı bir diğer numunede ilk düşey çatlak basınç yükü maksimum yükün % 26'sına (55 kN) ulaştığında numune alt köşe noktasında 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur. Yükleme % 62 (129 kN) mertebesine ulaştığında alt köşe noktalarda ve numune yüzeyindeki sıva tabakası dökülmeye başlamıştır. Basınç yükü maksimum yüke yaklaştığında (% 99 - 205 kN) yüzeydeki sıva tabakası ile numunenin ayrıldığı gözlemlenmiştir. Maksimum yük 207 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde numune toplam boyunda ortalama 0.0074'lük düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Yük değeri % 17'lere (35 kN) düştüğünde ortalama düşey şekildeğiştirme değeri 0.0154 olarak elde edilmiş ve deney sonlandırılmıştır. Çatlak gelişimi ve göçme modu Şekil 6.3'den takip edilebilir.



Şekil 6.3 : Orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (S-0B-F (1) ve S-0B-F (2)) göçme modu.

S-2B-L (1)

TRM ile güçlendirilmiş numunelerden ilkinde oluşan ilk çatlak uygulanan yük maksimum değerinin % 30'una (75 kN) ulaştığında 0.1 mm genişliğinde oluşmuştur. Artan yükler altında basınç yükü % 98'lere (240 kN) ulaştığında numune yüzeyinde sıva tabakası kabarmış ve devamında harç tabakası dökülmüştür. Güçlendirilmiş numuneye uygulanan yük maksimum 245 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0159 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deney, uygulanan yük seviyesi maksimum yük değerinin % 27'sine (65 kN) düştüğünde ve numunede ortalama 0.0370 değerinde düşey şekildeğiştirme olduğunda sonlandırılmıştır.

S-2B-L (2)

TRM sargılı diğer numunede uygulanan yük değeri maksimum yükün % 29'una (64 kN) ulaştığında numune alt köşe noktasında 0.3 mm genişliğinde ilk çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Artan yükler altında çatlak genişlikleri artmış ve numune köşe noktalarında harç tabakasında şişmeler ve yüzeyden ayrılmalar meydana gelmiştir. Basınç yükü % 98'lere (214 kN) ulaştığında numune yüzeyinde sıva tabakası kabarmış ve devamında harç tabakası dökülmeye başlamıştır. Basınç yükü maksimum 219 kN'a ulaşmış ve yük altında 0.0204'lük bir şekildeğiştirme oluşmuş ve bazalt lifli tekstil malzemesinde kopmalar başlamıştır. Deney sonuna doğru numune orta bölgesinde harç tabakası dökülmüş ve lifli malzemenin bir kısmı koparak birbirinden ayrılmıştır. Numune çatlak gelişimi ve göçme modu Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiş düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı numunelerin (S-2B-L (1) ve S-2B-F (2)) göçme modu.

S-2B-F (1)

Farklı mekanik özelliklere sahip sıva harcının basınç yükü altında numune davranışına etkisini gözlemlemek amacıyla 2 adet yığma kolon numunesi bazalt tekstil malzemesi ile sargılanmış ve orta dayanımlı ticari harç ile sıvanmıştır. Numunelerden ilkinde basınç yükü maksimum yük değerinin % 14'üne (33 kN) ulaştığında numune alt köşe noktasında 0.3 mm genişliğinde ilk çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Yük değeri % 60 (137 kN) mertebesinde iken bazalt liflerinde kopmalar başlamıştır. Yüklemin giderek artmasıyla beraber çatlak genişlikleri artmış ve numune köşe noktalarında harç tabakasında şişmeler ve yüzeyden ayrılmalar meydana gelmiştir. Basınç yükü maksimum 230 kN'a ulaşmış ve bu yük altında 0.025'lük bir şekildeğiştirme oluşmuştur. Deney sonuna doğru numune köşe noktalarındaki sıvalar dökülmüş ve bu noktalarda bazalt liflerinin büyük bir kısmı birbirinden ayrılmıştır. Deney basınç yükü maksimum yük değerinin % 17'sine (40 kN) düştüğünde düşey şekildeğiştirme 0.885 değerine ulaşmış ve deney sonlandırılmıştır.

S-2B-F (2)

Orta dayanımlı ticari bazalt lif donatılı sıva ile sargılanmış 2. kolon numunesine uygulanan yük maksimum yük değerinin % 32'sine (65 kN) ulaştığında ilk kılcal çatlak meydana gelmiştir. Oluşan çatlak numune alt köşe noktasında 0.1 mm genişliğinde oluşmuştur. Yük değeri % 69 (140 kN) mertebelerinde iken bazalt liflerinde kopmalar başlamıştır. Diğer güçlendirilmiş numuneye benzer olarak artan yükler altında çatlak genişlikleri artmış ve harç tabakasında şişmeler ve yüzeyden ayrılmalar meydana gelmiştir. Köşe noktalarındaki çatlak genişliklerinin artmasıyla sıva tabakası şişmiş ve dökülmeye başlamıştır. 182 kN'luk (% 90) yükleme altında lifli malzemeden kopma sesleri duyulmuştur. Maksimum yük 203 kN'a çıktıktan sonra düşmeye başlamış ve bu yük altında numunede 0.0305'lük bir şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deney basınç yükü maksimum değerin % 37'sine (76 kN) düştüğünde düşey şekildeğiştirme 0.055 değerine ulaşmış ve deney sonlandırılmıştır. TRM uygulamasında sıva malzemesi olarak tarihi harca benzeştirilmiş düşük dayanımlı harca göre orta dayanımlı ticari harç kullanılan kolon numunelerinde deney süresince daha çok kılcal çatlak meydana gelmiş ve sıva tabakası üzerinde daha homojen bir şekilde çatlak dağılımı oluşmuştur. Numune çatlak gelişimi ve göçme modu Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiş orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (S-2B-F (1) ve S-2B-F (2)) göçme modu.

6.2.2 Seri-2'ye ait numuneler

R-0B-0 (1)

Kolon numunelerine uygulanan güçlendirme işleminin değişen enkesit alanı ile yığma davranışını ne derecede etkileyebileceğini ölçebilmek için dikdörtgen enkesitli 10 adet kolon numunesi üretilmiştir. 2 adet numune referans olarak bırakılmıştır. Dikdörtgen enkesitli numunelere yine deneylere başlamadan önce numunelerin taşıyabileceği maksimum yükün ortalama %7 – 8'i kadar ön yükleme yapılmıştır. Uygulanan yükleme maksimum değer % 16'sına (45 kN) ulaştığında numune üzerinde 0.4 mm genişliğinde ilk düşey çatlak meydana gelmiştir. Yüklemenin artmasıyla çatlak bölgelerindeki derz harcında dökülmeler gözlemlenmiştir. Referans numunesine uygulanan yük maksimum 284 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0148 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deney yük değeri %24 (69 kN) mertebesine düştüğünde ve şekildeğiştirme 0.0241 değerine ulaştığında deney sonlandırılmıştır.

R-0B-0 (2)

Diğer referans numunesinde oluşan ilk çatlak uygulanan yük değeri maksimum yük değerinin % 13'üne (42 kN) ulaştığında 0.3 mm genişliğinde oluşmuştur. Referans numunesine uygulanan yük maksimum 332 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0152 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deney, uygulanan yük seviyesi % 26'ya (87 kN) düştüğünde ve numunede ortalama 0.0254 değerinde düşey

şekildeğiştirme meydana geldiğinde sonlandırılmıştır. Referans numunelerine ait çatlak gelişimi ve göçme modu Şekil 6.6’da verilmiştir.



Şekil 6.6 : Referans numuneleri (R-0B-0 (1) ve R-0B-0 (2)) göçme modu.

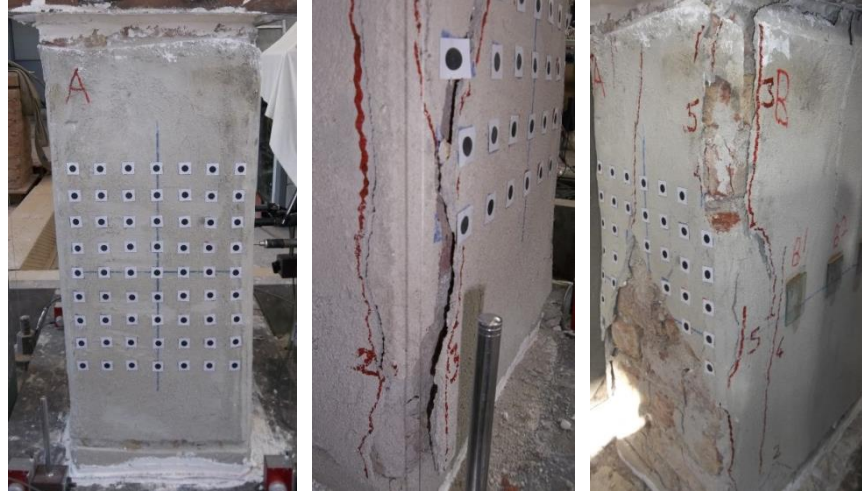
R-0B-L (1)

Yığma kolon numunelerinin dış yüzeyinin sadece sıvanmasının basınç yükü altında numune davranışını ne şekilde değiştireceğini belirlemek amacıyla dikdörtgen enkesitli 2 adet kolon numunesinin dış yüzeyi sadece düşük dayanımlı harç ile sıvanmıştır. Numunelerden ilkinde ön yükleme yapıldıktan sonra uygulanan basınç yükü % 23 (69 kN) mertebesine ulaştığında 0.3 mm genişliğinde ilk düşey çatlak gözlemlenmiştir. Yük değeri arttıkça numune alt köşe noktalarında çatlaklar artmış ve sıva tabakası dökülmeye başlamıştır. 271 kN’da (% 89) sıva tabakasının bir kısmı yüzeyden ayrılmıştır. Uygulanan yük değeri maksimum 306 kN’a ulaşmış ve bu noktada 0.0082 değerinde düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Yük değeri %47 (143 kN) mertebesine düştüğünde, 0.890 değerinde şekildeğiştirme meydana gelmiş ve deney sonlandırılmıştır.

R-0B-L (2)

Düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı diğer numuneye maksimum yük değerinin % 10’u (25 kN) kadar basınç yükü etkilendiğinde 0.1 mm genişliğindeki ilk düşey çatlak meydana gelmiştir. Deney süresince özellikle numune alt köşe bölgelerinde çatlak genişlikleri artarak sıva tabakasında dökülmeler başlamış ve buradaki çatlaklar numune yüzeyine doğru ilerlemiştir. % 83’lük (216 kN) yükleme anında numune alt kısmında sıva harcı yüzeyden tamamen ayrılmıştır. Uygulanan yük maksimum 261 kN değerine ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0092 düşey şekildeğiştirme

meydana gelmiştir. Yük değeri %59 (155 kN) mertebesine düştüğünde deney sonlandırılmıştır. Numunenin nihai ortalama düşey şekildeğiştirme değeri ise 0.0150 olarak hesaplanmıştır. Düşük dayanımlı harç ile sıvalı dikdörtgen kesitli numunelerde çatlak gelişimi ve göçme modu Şekil 6.7’den takip edilebilir.



Şekil 6.7 : Düşük dayanımlı harç ile sıvalı numunelerin (R-0B-L (1) ve R-0B-L (2)) göçme modu.

R-0B-F (1)

Kare enkesitli numunelere benzer olarak sıva harcının mekanik özelliklere etkisini araştırmak amacıyla 2 adet dikdörtgen enkesitli yığma numunenin dış yüzeyi orta dayanımlı harç (ticari harç) ile sıvanmıştır. Sıvalı numunelerin ilkinde oluşan 0.1 mm genişliğindeki ilk düşey çatlak basınç yükü maksimum yük değerinin % 12’sine (40 kN) ulaştığında gözlemlenmiştir. Yükleme arttıkça numune alt köşe bölgelerinde geniş çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Çatlak genişlikleri arttıkça tuğla üzerinde oluşan çatlaklar da gözlemlenebilmiş, yükleme % 93 (314 kN) mertebesinde iken numune yüzeyinde sıva tabakasında ve sargıladığı tuğlalarda dökülme meydana gelmiştir. Uygulanan yük değeri maksimum 338 kN’a ulaşmış ve bu yük seviyesinde numune toplam boyunda ortalama 0.0076 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Harç tabakasının büyük bir kısmının yüzeyden ayrılmasıyla ve basınç yükü 75 kN’a (maksimum yükün % 22’si) düştüğünde deney sonlandırılmıştır. Bu noktada ortalama düşey şekildeğiştirme değeri 0.0135 olarak hesaplanmıştır.

R-0B-F (2)

Ticari harç ile sıvalı diğer dikdörtgen enkesitli numunede 0.1 mm genişliğindeki ilk düşey çatlak basınç yükü maksimum yük değerinin % 15’ine (44 kN) ulaştığında

gözlemlenmiştir. Yükleme % 71 (203 kN) mertebesinde iken alt köşe noktalarda ve numune yüzeyinde oluşan çatlaklar sıva tabakasının şişmesine ve dökülmesine sebep olmuştur. Basınç yükü maksimum yükün % 86'sına (245 kN) ulaştığında yüzeydeki sıva tabakası ile numunenin ayrıldığı köşe bölgelerdeki çatlakların tüm numune boyunca devam ettiği gözlemlenmiştir. Maksimum yük 285 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde numune toplam boyunda ortalama 0.0111 mertebesinde düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Yük değeri % 57 (163 kN) mertebesine düştüğünde ortalama düşey şekildeğiştirme değeri 0.0182 olarak elde edilmiş ve deney sonlandırılmıştır. Orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerde çatlak gelişimi ve göçme modu Şekil 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.8 : Orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (R-0B-F (1) ve R-0B-F (2)) göçme modu.

R-2B-L (1)

2 adet dikdörtgen enkesitli kolon numunesi sıva malzemesi olarak düşük dayanımlı harç kullanılarak bazalt tekstil malzeme ile sargılanmıştır. Numunelerden ilkinde yükleme değeri maksimum yükün % 50'sine (150 kN) ulaştığında numunede 0.1 mm genişliğinde ilk düşey çatlak meydana gelmiştir. Yükleme 300 kN (% 99) civarında iken numune alt köşe bölgelerinde ezilmeler gözlemlenmiştir. Numuneye uygulanan yük maksimum 303 kN'a ulaşmış ve bu yük seviyesinde ortalama 0.0168 düşey şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Bu noktadan sonra yük azalmaya başlamış 290 kN (% 96) civarında sıva harcında dökülme ve sargı tabakası ile tuğla yüzeyi arasında ayrılmalar gözlemlenmiştir. Basınç yükü % 89'lara (270 kN) düştüğünde numune köşe bölgelerinde bazalt tekstil malzemesini koparak birbirinden ayrılmaya başlamıştır. Uygulanan yük seviyesi maksimum yükün % 8'ine (25 kN) düştüğünde

ortalama 0.0250 değerinde dūşey Őekildeęiřtirme meydana gelmiştir ve deney sonlandırılmıştır.

R-2B-L (2)

Güçlendirilmiř diğer numuneye ön yükleme uygulandıktan sonra uygulanan yük değeri maksimum yük değerinin % 23'üne (71 kN) ulaştığında 0.3 mm genişliğinde ilk çatlak oluşmuştur. Yüklemeyle beraber çatlak genişlikleri artmış ve numune köře noktalarındaki harç tabakasında şişmeler ve yüzeyden ayrılmalar meydana gelmiştir. Basınç yükü % 50 (160 kN) mertebelerinde iken numune köře tuğlalarında ezilme meydana gelmiştir. Basınç yükü maksimum 314 kN'a ulaşmış ve bu yükleme altında 0.0215'lik bir Őekildeęiřtirme hesaplanmıştır. Yükleme 310 kN (% 99) değerine dūřtüęünde bazalt lifli tekstil malzemesinde kopmalar başlamıştır. Uygulanan yük seviyesi maksimum değerin % 22'sine (70 kN) dūřtüęünde 0.046 dūşey Őekildeęiřtirme oluşmuş ve deney sonlandırılmıştır. Numune çatlak gelişimi ve göçme modu Őekil 6.9'de verilmiştir.



Őekil 6.9 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiř dūřük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı numunelerin (R-2B-L (1) ve R-2B-L (2)) göçme modu.

R-2B-F (1)

Farklı mekanik özelliklere sahip sıva harcının basınç yükü altında numune davranışına etkisini gözlemlemek amacıyla kare enkesitli numunelere benzer olarak, dikdörtgen enkesitli 2 adet yığma kolon numunesi bazalt tekstil malzemesi ile sargılanmış ve orta dayanımlı ticari harç ile sıvanmıştır. Numunelerden ilkinde uygulanan basınç yükü maksimum yük değerinin % 14'üne (49 kN) ulaştığında

numune alt köşe noktasında 0.1 mm genişliğinde ilk çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Yük % 46 (156 kN) mertebesinde iken başlıkta ezilmeler meydana gelmiştir. Yüklemin giderek artmasıyla beraber çatlak genişlikleri artmış ve harç tabakası yüzeyden ayrılmaya başlamıştır. Basınç yükü maksimum 338 kN değerine ulaşmış ve bu yük altında 0.0169'luk bir şekildeğiştirme oluşmuştur. Deney sonuna doğru numune köşe noktalarındaki sıvalar dökülmüş ve bu noktalarda bazalt liflerinin büyük bir kısmı birbirinden ayrılmıştır. Basınç yükü % 14 lere (47 kN) düştüğünde düşey şekildeğiştirme 0.0374 değerine ulaşmış ve deney sonlandırılmıştır.

R-2B-F (2)

Aynı şekilde güçlendirilmiş 2. kolon numunesine uygulanan yük maksimum yük değerinin % 15'ine (50 kN) ulaştığında numunede 0.1 mm genişliğine sahip ilk kılcal çatlak oluşmuştur. Yük değeri % 97 (322 kN) mertebesinde iken harç tabakasında şişmeler ve sargı yüzeyi ile numune yüzeyinde ayrılmalar gözlemlenmiştir. Maksimum yük değeri 331 kN'a çıktıktan sonra düşmeye başlamış ve bu yükleme altında numunede 0.0115 değerinde şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Deneyin ilerleyen safhalarında yaklaşık 290 kN'luk (% 88) yük uygulandığında çatlaklar oldukça genişlemiş ve bazalt lifleri kopmaya başlamıştır. Deney basınç yükü %21 lere (71 kN) düştüğünde düşey şekildeğiştirme 0.0386 değerine ulaşmış ve deney sonlandırılmıştır. Numune çatlak gelişimi ve göçme modu Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10 : Bazalt tekstil ile güçlendirilmiş orta dayanımlı ticari harç ile sıvalı numunelerin (R-2B-F (1) ve R-2B-F (2)) göçme modu.

6.3 Genel Sonuçlar

Bölüm 6.2’de detaylıca bahsedildiği gibi bazalt lifli malzeme ile güçlendirilmiş ve sadece düşük veya orta dayanımlı harç karışımı ile sıvanmış tüm numunelerde eksenel basınç etkisi altında düşey doğrultuda çatlaklar meydana gelmiştir. İlerleyen safhalarda sargı tabakasında oluşan çatlakların genişlemesiyle özellikle numune köşelerinde harç tabakası tamamen hasar görmüş ve bu bölgelerde güçlendirilmiş numunelerde lifli malzemenin kopmasıyla sargı tabakası birbirinden ve numune yüzeyinden ayrılmıştır. Sargı tabakası yüzeyden ayrıldıktan sonra, deney sonunda alınan ve Şekil 6.11’de verilen görüntülerde yüzeyden ayrılan parçaların tuğlanın üst parçasını da beraberinde alması sargı tabakasının numune yüzeyi ile iyi bir aderans sağladığını kanıtlanmaktadır.



Şekil 6.11 : Deney sonu hasar görünüşü.

Bazalt lif donatılı sıva ile güçlendirilmiş numunelerde sıva harcı için orta dayanımlı ticari harç ile düşük dayanımlı tarihi harç kullanılan numunelerin göçme modları benzer şekilde gerçekleşmiştir. Sadece orta dayanımlı harç ile sıvanmış numunelerde deney süresince daha çok kılcal çatlak oluşumu gözlemlenmiştir.

Referans numuneleri derz harcından başlayarak tuğla üzerinde devam eden düşey çatlakların genişlemesi ve tuğlaların düşey doğrultuda birbirlerinden ayrılmasıyla gevrek olarak göçmüştür. Sadece orta dayanımlı ve düşük dayanımlı harç ile sıvanan numuneler referans numunelerine benzer olarak gevrek davranış göstermişlerdir.

Kare ve dikdörtgen enkesitli kolon davranışları karşılaştırıldığında ise numune yüzeylerinde oluşan ilk düşey çatlaklar ortalama olarak aynı yükleme mertebelerinde oluşmuştur. Farklı geometrideki numunelerde yine benzer olarak göçme numunelerin köşe bölgelerinde sıvanın dökülmesi ve TRM’nin yırtılmasıyla gerçekleşmiştir. Farklı olarak özellikle TRM ile güçlendirilmiş kare enkesitli numuneler yük taşıma

ve şekildeğiştirebilme kapasitesi bakımından dikdörtgen enkesitli numunelere göre daha iyi davranış göstermişlerdir.

Basınç yükleri altındaki yığma kolonların davranışını belirlemek amacıyla gerilme şekildeğiştirme diyagramları çizilmiştir. Belirli yükleme anlarında elde edilen basınç gerilme değerlerine karşılık gelen numune tüm boyunda oluşan düşey şekildeğiştirme değerlerini elde edebilmek için Bölüm 5.1’de anlatıldığı gibi numune köşelerine 1000 mm kapasiteye sahip 4 adet yerdeğiştirme ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. Dört adet LVDT’den elde edilen yerdeğiştirme değerleri ilgili ölçüm boyuna bölünüp ortalamaları alınarak her bir numune için ortalama şekildeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Numune 2 yüzeyine düzlem dışı oluşan şekildeğiştirmeleri ölçmek amacıyla yerleştirilen 5 adet 25 mm kapasiteye sahip LVDT’den sağlıklı veriler alınmadığı için ilgili grafikler verilmemiştir. Ayrıca kare kesitli referans numunelerinin biri (S-0B-0 (2)) için deney sonunda elde edilen verilerin hatalı olduğu gerekçesiyle deney sonuçları ve grafikleri verilmemiştir.

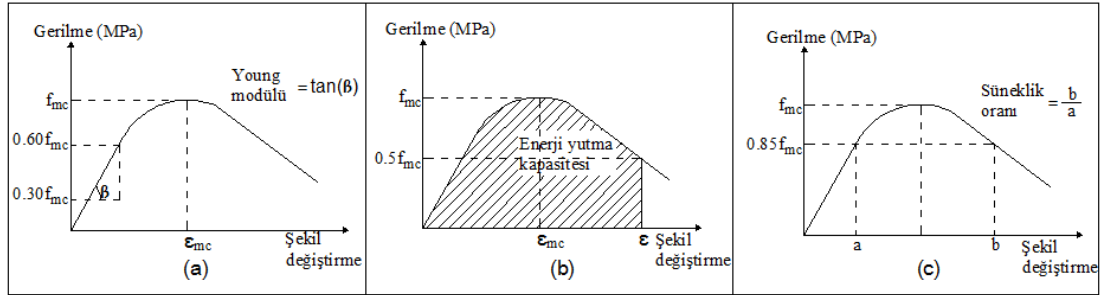
6.3.1 Sayısal sonuçların değerlendirilmesi

Basınç deneylerinden elde edilen; sargılanmamış numune dayanımı (f_{mo}), sargılanmış numune dayanımı (f_{mc}), maksimum gerilme noktasında oluşan aksinel şekildeğiştirme değerleri (nihai şekil değıştirme değęerleri; sargılanmamış numuneler için (ϵ_{mo}), sargılanmış numuneler için (ϵ_{mc})), elastisite modülü (E), enerji yutma kapasitesi (A) ve süneklik (μ) değęerleri Seri 1’e ait numuneler için Çizelge 6.1 ve 6.2’de, Seri 2’ye ait numuneler için Çizelge 6.3 ve 6.4’de verilmiştir.

Çizelgelerde verilmiş olan Young modülü (E), deney numunelerine ait gerilme şekildeğiştirme diyagramlarında orantılılık sınırı altında kalan lineer doğrunun eğimidir. Her bir numune için çizilen gerilme şekildeğiştirme diyagramlarında, maksimum gerilmenin %5-40’ı, %30-60’ı ve %5-60 değęerleri arasında kalan, ölçüm sonucu elde edilmiş veri noktalarına mümkün olduğu kadar yakın geçecek fonksiyon eğrileri ASTM E 111-04 (2004)’de tanımlanan en küçük kareler yöntemi kullanılarak çizdirilmiştir. Çizdirilen eğrilerden elde edilen en lineer küçük kareler gerilme katsayısının hangi aralıkta olduğu tespit edilmiş ve yönetmelikte belirtildiğı gibi elastisite modülü, bu katsayıya bağılı olarak en uygun sonuçlar verdiğı gözlemlenen maksimum gerilme değęerinin %30’u ve %60’ı arasında kalan eğrinin eğimi alınarak hesaplanmıştır, Şekil 6.12a.

Enerji yutma kapasitesi, gerilme şekildeğiştirme grafiğinin altında kalan ve grafiğin azalan kolunda maksimum gerilme değerinin %50'si ile sınırlandırılan alan olarak tanımlanmış ve hesap edilmiştir, Şekil 6.12b.

Süneklik değeri ise gerilme şekildeğiştirme diyagramında maksimum gerilmenin azalan kolunda % 85'ine karşılık gelen şekildeğiştirme değerinin artan kolunda maksimum gerilmenin % 85'ine karşılık gelen şekildeğiştirme değerlerine oranı olarak hesap edilmiştir, Şekil 6.12c.



Şekil 6.12 : Elastisite modülü (a), enerji yutma kapasitesi (b) ve süneklik (c).

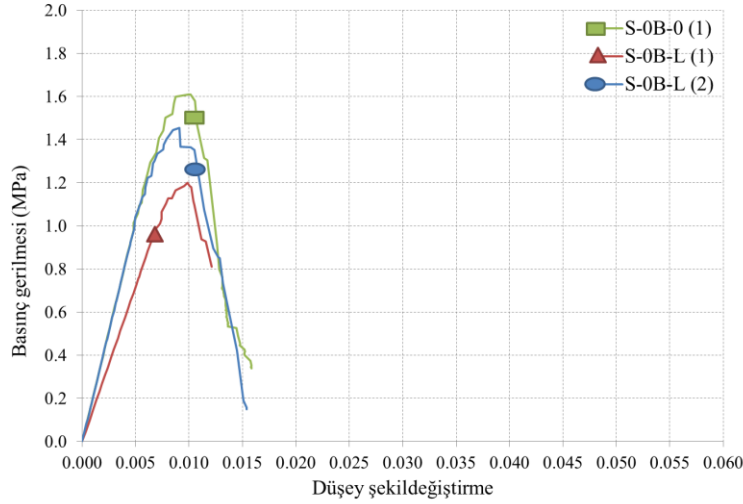
6.3.2 Seri-1'e ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramları ve sayısal sonuçlar

Seri 1 numunelerinin güçlendirilmesinde sıva malzemesi ve bağlayıcı olarak düşük dayanımlı tarihi harcin kullanıldığı numunelerden basınç deneyleri sonucunda elde edilen sayısal veriler Çizelge 6.1'de, numunelerin 4 köşesine tam boy yerleştirilen 1000 mm'lik LVDT'lerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme şekildeğiştirme grafikleri ise sırasıyla Şekil 6.13 ve Şekil 6.14'de verilmektedir.

Çizelge 6.1 : S-0B-0 (1), S-0B-L (1), S-0B-L (2), S-2B-L (1) ve S-2B-L (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları.

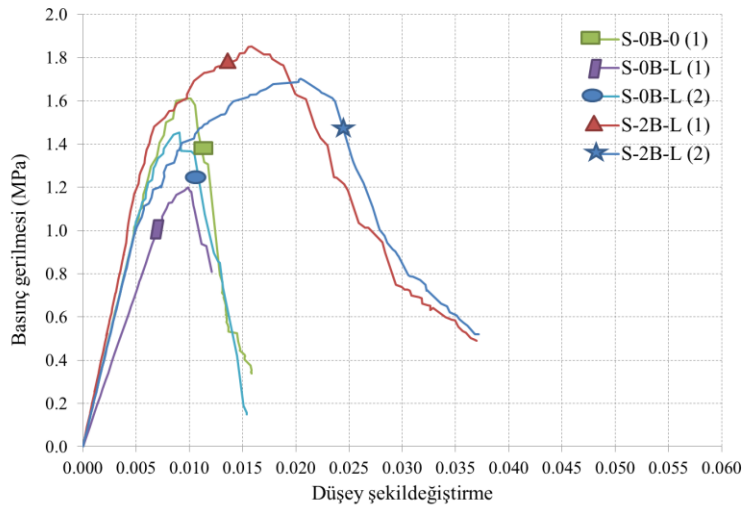
Numune ismi	$f_{mo}-f_{mc}$ (MPa)	f_{mc}/f_{mo}	$\epsilon_{mo}-\epsilon_{mc}$	E (MPa)	μ	A ($\times 10^{-2}$) (MPa)
S-0B-0	1.61	-	0.0102	204	1.57	1.32
S-0B-L (1)	1.20	-	0.0099	144	1.47	0.86
S-0B-L (2)	1.45	-	0.0091	204	1.69	1.26
Referans*	1.42	1.00	0.0097	184	1.58	1.15
S-2B-L (1)	1.85	1.30	0.0159	231	2.43	3.80
S-2B-L (2)	1.70	1.20	0.0200	202	2.32	3.80
S-2B-L*	1.78	1.25	0.0180	217	2.38	3.80

*Aynı tip numunelerin ortalama değerlerinin ifade etmektedir.



Şekil 6.13 : S-0B-0 (1), S-0B-L (1) ve S-0B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 6.13’de verilen gerilme şekildeğiştirme grafiğine ve sayısal sonuçlara bakıldığında referans numuneler ile düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı numuneler basınç yüklemesi altında tamamen benzer davranış göstermişlerdir. Bu yüzden sayısal sonuçların değerlendirilmesinde sıvalı numuneler de referans numunesi gibi varsayılmıştır.



Şekil 6.14 : S-0B-0 (1), S-0B-L (1), S-0B-L (2), S-2B-L (1) ve S-2B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 6.14’de görüldüğü gibi yığma kil tuğlaları ile örülmüş kolonların harç takviyeli bazalt lifli malzeme ile sargılanması yöntemi, kolon numunelerinin basınç dayanımlarını dikkate değer bir biçimde iyileştirmemiştir; ancak diğer mekanik özellikleri üzerinde arttırıcı bir etkisi olmuştur. Çizelge 6.1’den yararlanılarak deney

sonuçları karşılaştırıldığında, düşük dayanımlı tarihi harç ve bazalt tekstilleri ile güçlendirilen kare enkesitli yığma numunelerin (S-2B-L (1) ve S-2B-L (2)) basınç dayanımı, eksenel uzaması, süneklik değeri ve enerji yutma kapasitesi referans ve tarihi harç ile sıvalı numunelerin (S-0B-0, S-0B-L(1) ve S-0B-L(2)) ortalama değerlerine göre sırasıyla %21, %83, %51 ve %219 oranında artmıştır.

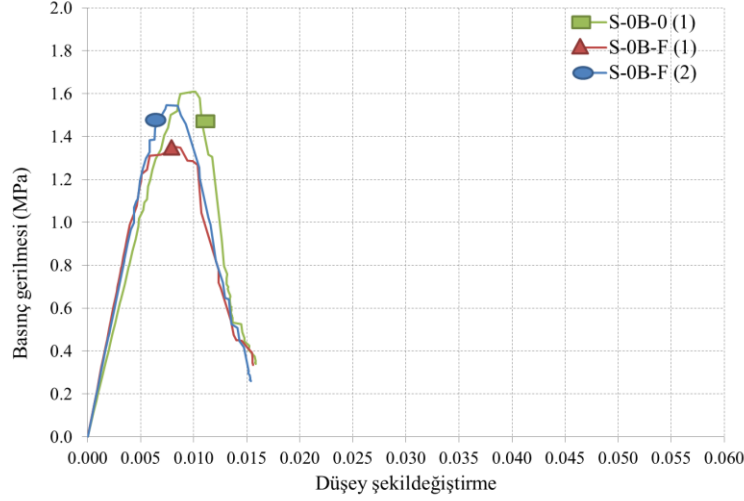
Seri 1 numuneleri içinde sıva malzemesi ve bağlayıcı olarak orta dayanımlı ticari harcın kullanıldığı numunelerden basınç deneyleri sonucunda elde edilen sayısal veriler Çizelge 6.2’de, numune köşelerine yerleştirilen LVDT’lerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme şekildeğiştirme grafikleri ise sırasıyla Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’da verilmektedir.

Çizelge 6.2 : S-0B-0 (1), S-0B-F (1), S-0B-F (2), S-2B-F (1) ve S-2B-F (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları.

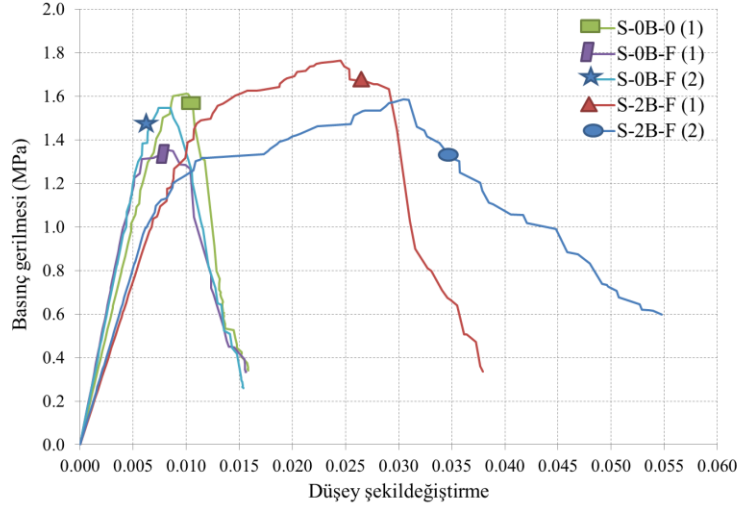
Numune ismi	$f_{mo}-f_{mc}$ (MPa)	f_{mc}/f_{mo}	$\epsilon_{mo}-\epsilon_{mc}$	E (MPa)	μ	A ($\times 10^{-2}$) (MPa)
S-0B-0	1.61	-	0.0102	204	1.57	1.32
S-0B-F (1)	1.35	-	0.0081	248	2.15	1.89
S-0B-F (2)	1.55	-	0.0088	238	1.70	1.24
<i>Referans*</i>	<i>1.55</i>	<i>1.00</i>	<i>0.0090</i>	<i>230</i>	<i>1.81</i>	<i>1.48</i>
S-2B-F (1)	1.76	1.14	0.0245	151	2.42	4.13
S-2B-F (2)	1.59	1.03	0.0305	162	1.95	5.64
<i>S-2B-F*</i>	<i>1.68</i>	<i>1.08</i>	<i>0.0275</i>	<i>157</i>	<i>2.19</i>	<i>4.89</i>

*Aynı tip numunelerin ortalama değerlerini ifade etmektedir.

Şekil 6.15’de verilen gerilme şekildeğiştirme grafiğine ve sayısal sonuçlara bakıldığında basınç yüklemesi altında ticari harç ile sıvalı numuneler de referans numuneler ile oldukça benzer davranış göstermişlerdir. Bu yüzden, sayısal sonuçların değerlendirilmesinde sıvalı numuneler de referans numunesi gibi varsayılmıştır. Şekil 6.16, Şekil 6.14 ile kıyaslandığında güçlendirilmiş numunelerin basınç dayanımlarında gözle görülür bir fark olmamakla beraber, bağlayıcı olarak ticari harç kullanılan kare enkesitli numunelerde tarihi harçlı numunelere göre deney boyunca oluşan toplam şekildeğiştirme daha fazladır. Yine numunelerin taşıyabileceği maksimum yükleme altında bazalt lif donatılı ticari harç ile güçlendirilmiş numunelerde meydana gelen nihai şekildeğiştirme tarihi harçlı numunelere göre % 53 daha fazladır.



Şekil 6.15 : S-0B-0 (1), S-0B-F (1) ve S-0B-F (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.



Şekil 6.16 : S-0B-0 (1), S-0B-F (1), S-0B-F (2), S-2B-F (1) ve S-2B-F (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Çizelge 6.2’de verilen sayısal sonuçlar karşılaştırıldığında ise, referans ve ticari harç ile sıvalı numunelerin (S-0B-0, S-0B-F(1) ve S-0B-F(2)) ortalama değerlerine göre, orta dayanımlı ticari harç ve bazalt tekstilleri ile güçlendirilmiş kare enkesitli yığma kolonların (S-2B-F (1) ve S-2B-F (2)) basınç dayanımı %10, eksenel uzaması %194, sünekliği %25 ve enerji yutma kapasitesi %238 oranında artmıştır.

6.3.3 Seri-2’ye ait gerilme-şekildeğiştirme diyagramları ve sayısal sonuçlar

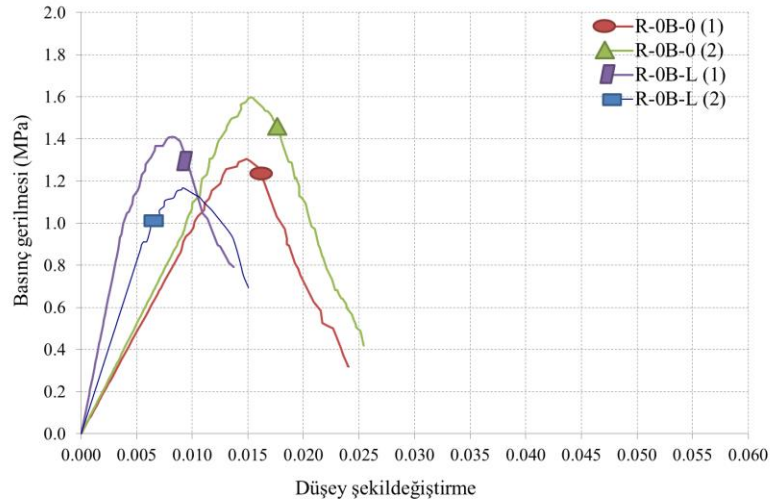
Seri 2 numuneleri içinde sıva malzemesi ve bağlayıcı olarak düşük dayanımlı tarihi harcın kullanıldığı numunelerden basınç deneyleri sonucunda elde edilen sayısal

veriler Çizelge 6.3’de, numunelerin 4 köşesine tam boy yerleştirilen 1000 mm’lik LVDT’lerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme şekildeğiştirme grafikleri ise sırasıyla Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de verilmektedir.

Çizelge 6.3 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-L (1), R-0B-L (2), R-2B-L (1) ve R-2B-L (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları.

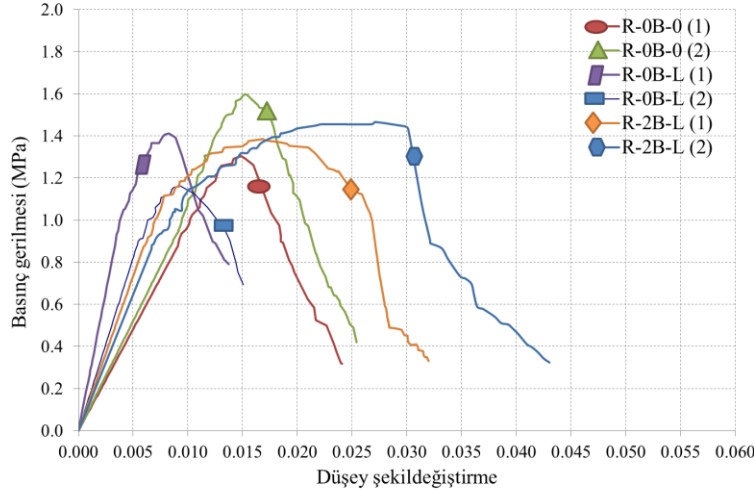
Numune ismi	$f_{mo}-f_{mc}$ (MPa)	f_{mc}/f_{mo}	$\varepsilon_{mo}-\varepsilon_{mc}$	E (MPa)	μ	A ($\times 10^{-2}$) (MPa)
R-0B-0 (1)	1.30	-	0.0149	97	1.53	1.60
R-0B-0 (2)	1.60	-	0.0150	104	1.49	2.00
R-0B-L (1)	1.41	-	0.0082	263	1.91	1.36
R-0B-L (2)	1.17	-	0.0092	164	2.01	1.24
<i>Referans*</i>	<i>1.37</i>	<i>1.00</i>	<i>0.0118</i>	<i>157</i>	<i>1.74</i>	<i>1.55</i>
R-2B-L (1)	1.39	1.01	0.0168	147	2.62	2.95
R-2B-L (2)	1.47	1.07	0.0271	129	2.38	3.50
<i>R-2B-L*</i>	<i>1.43</i>	<i>1.04</i>	<i>0.0220</i>	<i>138</i>	<i>2.50</i>	<i>3.23</i>

*Aynı tip numunelerin ortalama değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 6.17 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-L (1) ve R-0B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

Şekil 6.17’de verilen gerilme şekildeğiştirme grafiğine ve sayısal sonuçlara bakıldığında kare enkesitli numunelere benzer olarak yine basınç yüklemesi altında tarihi harç ile sıvalı numuneler de referans numuneler ile oldukça benzer davranış göstermişlerdir. Bu yüzden, sayısal sonuçların değerlendirilmesinde sıvalı numuneler de referans numunesi gibi varsayılmıştır.



Şekil 6.18 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-L(1), R-0B-L (2), R-2B-L (1) ve R-2B-L (2) numuneleri gerilme-şekildeğiştirme grafiği.

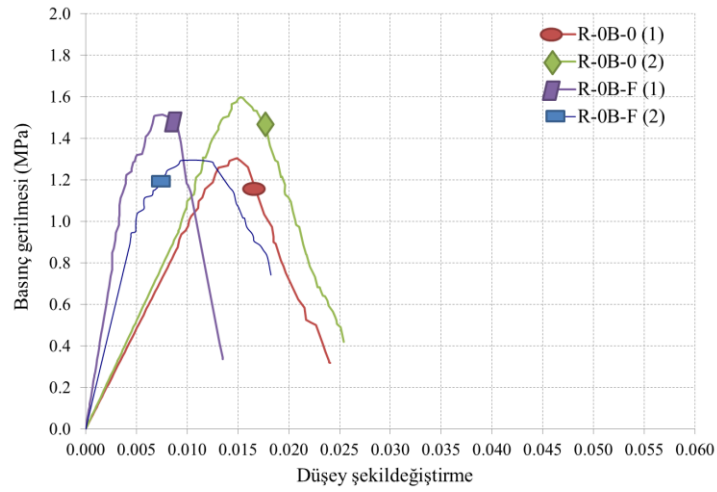
Düşük dayanımlı tarihi harç ile sıvalı TRM ile güçlendirilmiş dikdörtgen enkesitli kolon numunelerinin (R-2B-L (1) ve R-2B-L (2)) mekanik özellikleri, referans ve sadece tarihi harç ile sıvalı (R-0B-0(1), R-0B-0(2), R-0B-L(1) ve R-0B-L(2)) numunelerin ortalama değerleri ile karşılaştırıldığında; basınç dayanımı %4.4, eksenel uzama %86, süneklik %44 ve enerji yutma kapasitesi %108 oranında artmıştır.

Seri 2 numuneleri içinde sıva malzemesi ve bağlayıcı olarak orta dayanımlı ticari harcın kullanıldığı numunelerden basınç deneyleri sonucunda elde edilen sayısal veriler Çizelge 6.4’de, numune köşelerine yerleştirilen LVDT’lerden elde edilen karşılaştırmalı gerilme şekildeğiştirme grafikleri ise sırasıyla Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de verilmektedir. Şekil 6.19’da verilen gerilme şekildeğiştirme grafiğine göre yine ticari harç ile sıvanmış numuneler basınç yüklemesi altında referans numuneler ile benzer davranış göstermişlerdir. Bu yüzden, sayısal sonuçların değerlendirilmesinde sıvalı numuneler de referans numunesi gibi varsayılmıştır. Çizelge 6.4 ve Şekil 6.20’de sunulan verilere göre TRM sargılı ve sıva harcı için orta dayanımlı ticari harç kullanılan dikdörtgen enkesitli numunelerin (R-2B-F (1) ve R-2B-F (2)) basınç dayanımı, eksenel uzama değeri, süneklik ve enerji yutma kapasitesi, referans ve ticari harç ile sıvalı (R-0B-0(1), R-0B-0(2), R-0B-F(1) ve R-0B-F(2)) numunelerin ortalama değerleri ile karşılaştırıldığında numune mekanik özelliklerinde gözlemlenen artış sırasıyla %2.1, %16.4, %33 ve %86’dir.

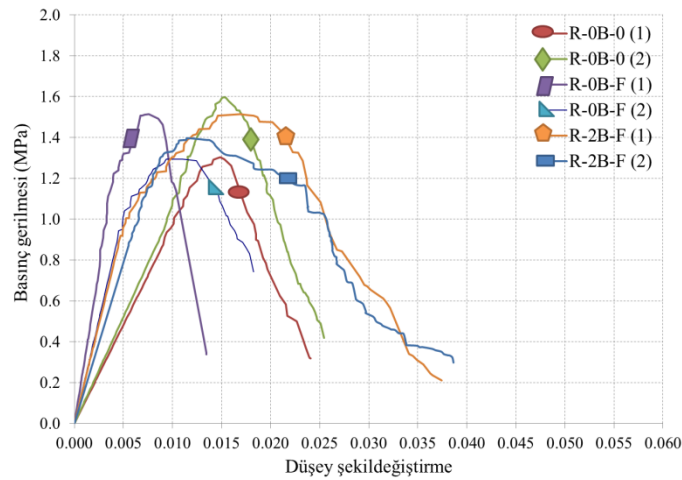
Çizelge 6.4 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-F (1), R-0B-F (2), R-2B-F (1) ve R-2B-F (2) numuneleri basınç deneyi sonuçları.

Numune ismi	$f_{mo}-f_{mc}$ (MPa)	f_{mc}/f_{mo}	$\epsilon_{mo}-\epsilon_{mc}$	E (MPa)	μ	A ($\times 10^{-2}$) (MPa)
R-0B-0 (1)	1.30	-	0.0149	97	1.53	1.60
R-0B-0 (2)	1.60	-	0.0150	104	1.49	2.00
R-0B-F (1)	1.52	-	0.0076	297	1.99	1.30
R-0B-F (2)	1.29	-	0.0111	205	2.55	1.76
<i>Referans*</i>	<i>1.43</i>	<i>1.00</i>	<i>0.0122</i>	<i>176</i>	<i>1.89</i>	<i>1.67</i>
R-2B-F (1)	1.51	1.06	0.0169	194	2.37	3.29
R-2B-F (2)	1.40	0.98	0.0115	158	2.67	2.90
<i>R-2B-F*</i>	<i>1.46</i>	<i>1.02</i>	<i>0.0142</i>	<i>176</i>	<i>2.52</i>	<i>3.10</i>

*Aynı tip numunelerin ortalama değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 6.19 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-F (1) ve R-0B-F (2) numuneleri gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 6.20 : R-0B-0 (1), R-0B-0 (2), R-0B-F (1), R-0B-F (2), R-2B-F (1) ve R-2B-F (2) numuneleri gerilme-şekil değiştirme grafiği.

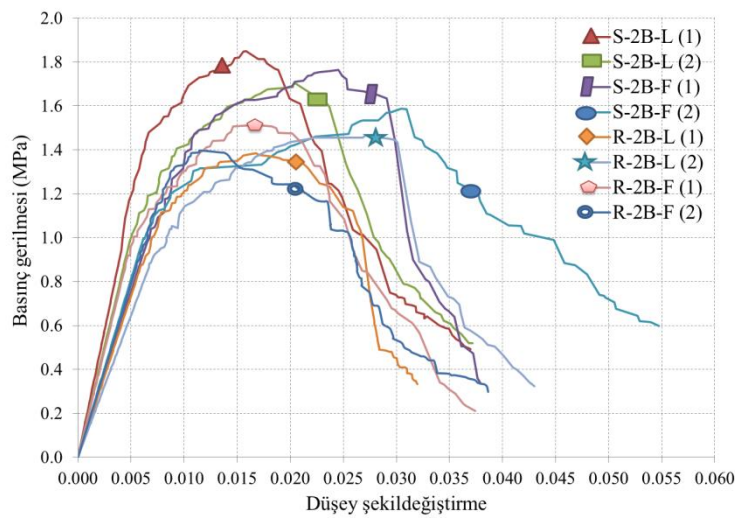
Şekil 6.19 ve Şekil 6.20 karşılaştırıldığında ise dikdörtgen enkesitli numuneler için bağlayıcı olarak tarihi ve ticari harç karışımının kullanıldığı numuneler benzer davranış göstermişlerdir.

TRM ile güçlendirilmiş kare ve dikdörtgen enkesitli kolonların sayısal deney sonuçları Çizelge 6.5’de, gerilme şekil değiştirme karşılaştırmalı grafikleri Şekil 6.21’de verilmektedir.

Çizelge 6.5 : TRM sargılı kare ve dikdörtgen enkesitli yığma kolonların basınç deneyi sonuçları.

Numune ismi	$f_{mo}-f_{mc}$ (MPa)	$\epsilon_{mo}-\epsilon_{mc}$	E (MPa)	μ	A ($\times 10^{-2}$) (MPa)
S-2B-L (1)	1.85	0.0159	231	2.43	3.80
S-2B-L (2)	1.70	0.0200	202	2.32	3.80
<i>S-2B-L*</i>	<i>1.78</i>	<i>0.0180</i>	<i>217</i>	<i>2.38</i>	<i>3.80</i>
S-2B-F (1)	1.76	0.0245	151	2.42	4.13
S-2B-F (2)	1.59	0.0305	162	1.95	5.64
<i>S-2B-F*</i>	<i>1.68</i>	<i>0.0275</i>	<i>157</i>	<i>2.19</i>	<i>4.89</i>
R-2B-L (1)	1.39	0.0168	147	2.62	2.95
R-2B-L (2)	1.47	0.0271	129	2.38	3.50
<i>R-2B-L*</i>	<i>1.43</i>	<i>0.0220</i>	<i>138</i>	<i>2.50</i>	<i>3.23</i>
R-2B-F (1)	1.51	0.0169	194	2.37	3.29
R-2B-F (2)	1.40	0.0115	158	2.67	2.90
<i>R-2B-F*</i>	<i>1.46</i>	<i>0.0142</i>	<i>176</i>	<i>2.52</i>	<i>3.10</i>

*Aynı tip numunelerin ortalama değerlerini ifade etmektedir.



Şekil 6.21 : TRM sargılı kare ve dikdörtgen enkesitli numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafik karşılaştırmaları.

Çizelge 6.5 ve Şekil 6.21’de verilen sonuçlara göre tarihi harç takviyeli bazalt tekstilleri ile sargılanmış kare enkesitli numunelerin basınç dayanımı aynı şekilde güçlendirilmiş dikdörtgen enkesitli numunelerin basınç dayanım değerlerinden %25, yine ticari harç takviyeli TRM sargılı kare enkesitli numunelerin basınç dayanımı aynı özellikte dikdörtgen enkesitli numunelere göre %15 daha fazladır. Farklı geometrideki numuneler için ayrıca maksimum yükleme altında ticari harç kullanılmış TRM sargılı kare enkesitli numunelerde aynı şekilde güçlendirilmiş dikdörtgen enkesitli numunelere göre %94 daha fazla şekildeğiştirme meydana gelmiştir. Süneklik değerleri farklı geometrideki numuneler için benzer sonuçlar verirken, kare enkesitli tarihi harç ile sıvalı TRM ile güçlendirilmiş numunelerin referans numunelerine göre enerji yutma kapasitelerindeki artış aynı özellikteki dikdörtgen enkesitli numunelerde görülen artıştan %111, TRM ile güçlendirilmiş ve sıva olarak ticari harcın kullanıldığı kare enkesitli numunelerin referans numunelerine göre enerji yutma kapasitelerindeki artış ise aynı özellikteki dikdörtgen enkesitli numunelerde görülen artıştan %152 daha fazladır.

Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi, basınç yüklemesi altında bazalt lif takviyeli sıva ile güçlendirme yöntemi dikdörtgen enkesitli numuneler ile karşılaştırıldığında kare enkesitli numuneler üzerinde daha etkili olmuştur.

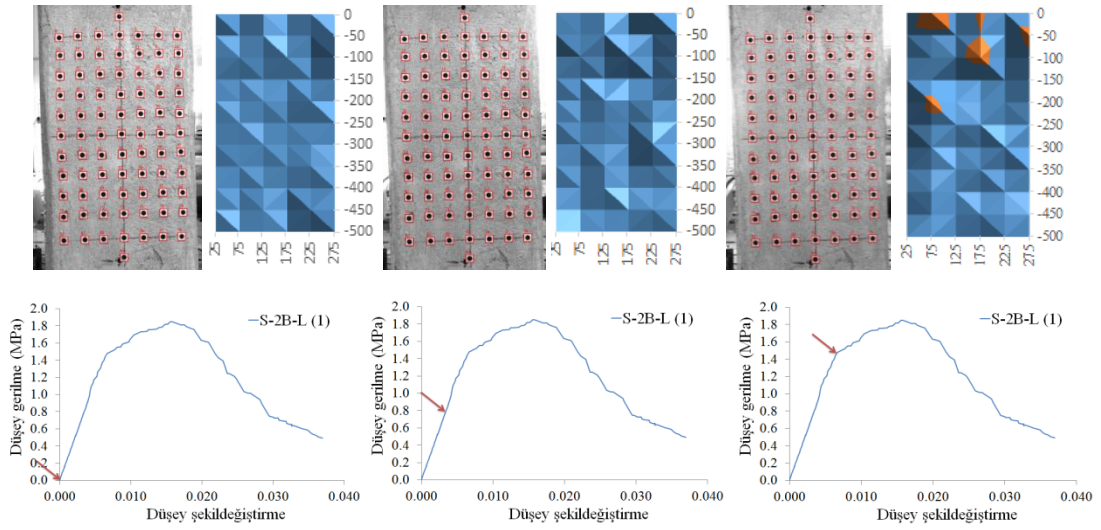
Güçlendirilmiş betonarme kolonlara benzer olarak, yığma kolonlarda da referans numuneler ile güçlendirilmiş numunelerin elastisite modülü değerleri arasında oluşan fark ihmal edilebilir değerdedir. Genel olarak elastisite modülü basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Tez çalışmasında elde edilen deney sonuçlarına göre elastisite modülü değerleri eksenel basınç dayanımı değerlerinin 65-195 katı arasında değişmektedir. Bu değerler, EN 1996-1- (Eurocode 6) (2005)’de verilen elastisite modülü katsayısından “1000” görece olarak azdır. Diğer yandan sonuçlar TSDC (2007)’de elastisite modülünün yığma duvarların eksenel basınç dayanımına oranı olarak verilen “200” katsayısı ile oldukça uyumludur. İstanbul ilinde bulunan farklı tarihi yapılardan elde edilmiş taşıyıcı duvar numuneleri üzerinde uygulanan başka bir deneysel çalışmada ise, bahsedilen katsayı değeri uygulanan basınç deneyleri sonrasında yine “200” olarak elde edilmiştir, İspir ve İlki (2013).

6.4 Fotogrametrik Ölçüm Sistemi ile Elde Edilen Yerdeğiştirme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

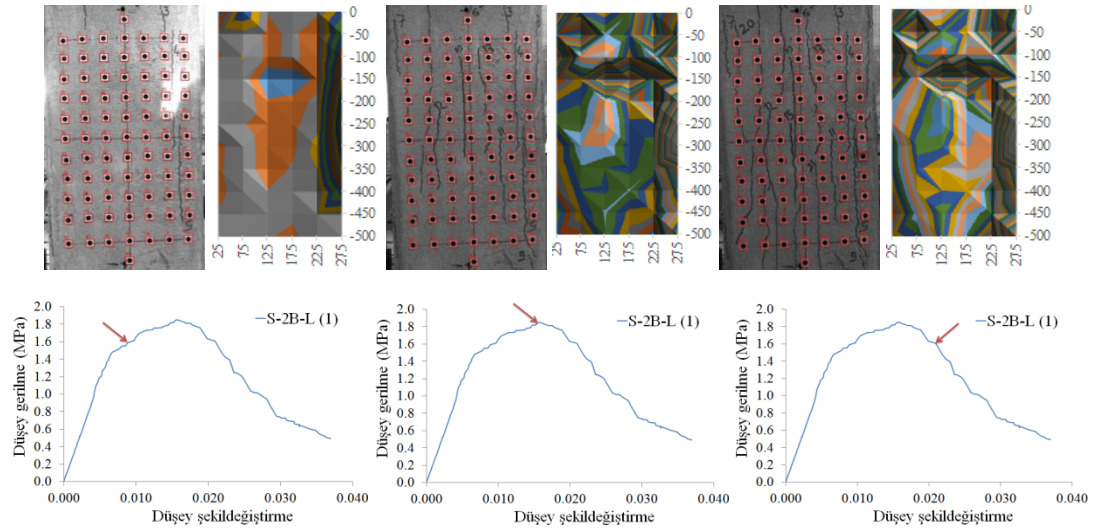
Numunede düzlemsel yüzeyde meydana gelen yerdeğiştirmeleri ölçebilmek için kullanılan kamera kolon ön yüzeyinden 250 cm uzaklıkta olacak şekilde konumlandırılmıştır. Bu şekilde, görsel ölçüm sistemi LVDT'ye dayalı ölçüm sistemine paralel olarak her yükleme anında güçlendirilmiş numune yüzeyinde yatay ve düşey doğrultuda meydana gelen deformasyonları ölçebilmektedir. Bu ölçüm numune yüzeylerine yatay ve düşey doğrultuda 5'er cm aralıklarla yerleştirilen işaretler yardımıyla olmaktadır. Her numunede belirli yükleme anlarında fotogrametrik sistem ile görüntü alınmıştır. (Belirli yükleme anları numunenin taşıyabileceği maksimum yüke kadar numuneye uygulanan basınç 0.1 MPa arttıkça, maksimum yükten sonra numunede oluşan şekildeğiştirme 0.001 arttığındaki anlardır.) Alınan görüntüler ile sistem numune üzerindeki işaretlerin bir önce alınan görüntüden bağımsız olarak yatay ve düşey konumunu kaydetmektedir. Bu şekilde numune yüzeyinde oluşan deformasyonlar ölçülebilmektedir.

Numune yüzeyindeki işaretlerin belirli yükleme anlarında yatay doğrultudaki (x yönü) konumları kullanılarak numune ön yüzeyinde oluşan düşey çatlakların kademe kademe nasıl oluştuğu ve yatay doğrultuda nasıl genişlediği ölçülmüştür. S-2B-L (1) numunesinden alınan görüntüler ve numune köşelerine yerleştirilmiş LVDT'lerden alınan veriler ile çizdirilmiş gerilme-şekildeğiştirme diyagramlarında işaret edilen yükleme anlarında, numune ön yüzeyinde oluşan dikey çatlakların yatay doğrultuda kademeli olarak genişlemesini gösteren çatlak grafikleri Şekil 6.22, Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'de verilmiştir. Verilen bu çatlak grafikleri numune yüzeyindeki her bir işaretin artan yükler altında sağ ve solundaki işaretlere göre ne kadar şekildeğiştirdiğini göstermektedir. Şekillerde verilen görseller sırasıyla numunenin kamera ile kayda alınan görüntüsü, çatlak kontür grafikleri ve hangi yükleme anlarında olduğunu belirtmek için LVDT ile düşey doğrultuda ölçülen gerilme-şekildeğiştirme diyagramlarıdır. Çatlak kontür grafikleri belirli yükleme anlarında fotogrametrik sistemin numune yüzeyindeki takip noktalarının yatay doğrultuda yaptığı yerdeğiştirme değerleri kullanılarak çizdirilmiştir. Diğer numuneler için elde edilen benzer görüntüler ve grafikler eklerde sunulmuştur. Elde edilen görüntüler ve grafikler görsel sistemin görüntüleyebildiği numune yüzeyinde ilk çatlağın hangi yükleme anında oluştuğu, çatlakların artan yükler altında nasıl ilerlediği hakkında

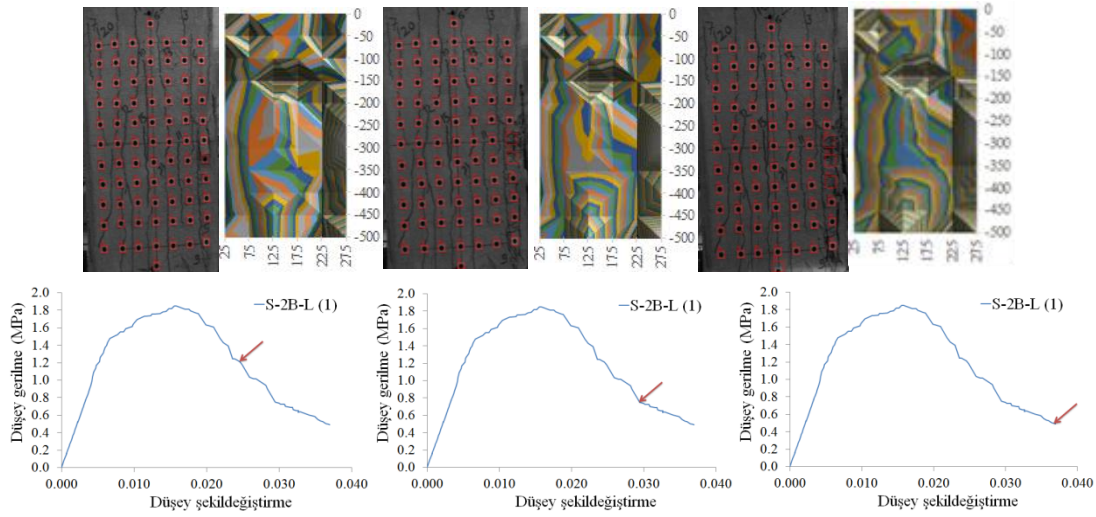
fikir vermektedir. Kolon numunesine (S-2B-L (1)) uygulanan basınç testi sonucunda 1000 mm'lik LVDT'ler kullanılarak elde edilen düşey gerilme-düşey şekil değiştirme grafikleri ile fotogrametrik ölçüm sisteminin kolon yüzeyinde atadığı en alt ve en üstteki orta noktaları baz alınarak çizdirilen düşey gerilme-düşey şekil değiştirme grafiği Şekil 6.25'de verilmektedir. Ayrıca verilen şekilde fotogrametrik sistem ölçüm boyu da gösterilmiştir. Deney süresince numune sargı yüzeyinde oluşan şekil değiştirme davranışını veren fotogrametrik ölçüm sistemi ile oldukça verimli sonuçlar elde edilmiştir.



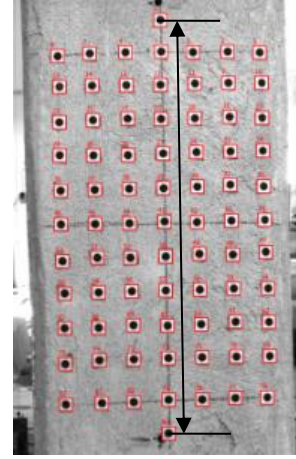
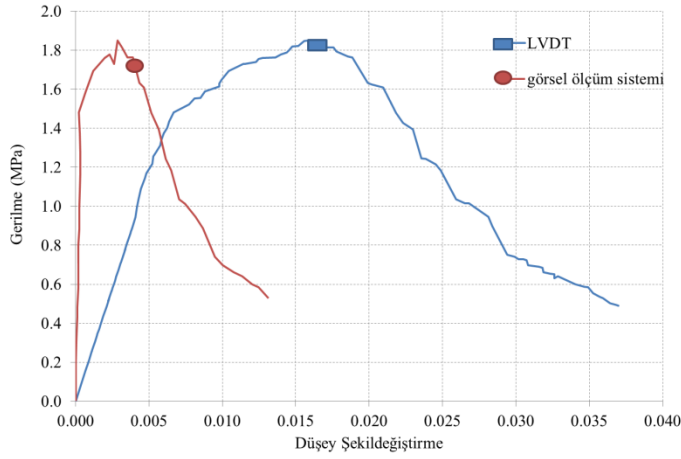
Şekil 6.22 : 0.00 ve 0.0068 düşey şekil değiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekil değiştirme kontur grafikleri.



Şekil 6.23 : 0.0088 ve 0.0210 düşey şekil değiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekil değiştirme kontur grafikleri.



Şekil 6.24 : 0.0249 ve 0.0370 düşey şekil değiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekil değiştirme kontur grafikleri.



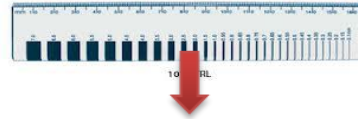
Şekil 6.25 : S-2B-L(1) için gerilme-düşey şekil değiştirme grafik karşılaştırması ve fotogrametrik sistem ölçüm boyu.

Diğer yandan numune üzerinde bulunan sargı tabakasının düşey hareketi ile tüm sistemin gösterdiği düşey hareket özellikle maksimum yüke kadar farklılık göstermektedir. LVDT ve fotogrametrik ölçüm sisteminin sahip olduğu farklı ölçüm boyları bu durumun sebebini açıklamaktadır. LVDT ile alınan ölçümlerde numunenin başlıklar ile beraber tüm boyundaki şekil değiştirme ölçülebilmiş ve basınç yükü aktarılmaya başlandığı ilk anlardan itibaren özellikle başlıklarda ve başlıklara yakın numune alt ve üst kısımlarında oluşan çatlaklar ve ezilmeler numunenin toplam boyunda daha çok şekil değiştirmenin gerçekleşmesine sebep olmuştur. Maksimum yüke ulaştıktan sonra yavaş yavaş sargı tabakası ve numune yüzeyinin birbirinden ayrılmasıyla, sargı tabakası içinde kalan tuğla ve derz harcının

yüzeydeki sargı tabakası ile farklı davranış göstermesi de bu durumun sebeplerinden biridir. Tüm sistemin davranışı, kolon içerisinde bulunan tuğla ve derz harcının yıkılıp dağılsa bile sargı bölgesinin bu yığılı ayakta tutup yinede yük taşımaya devam edebildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, bu noktada yapılan güçlendirme yük taşıyan yapıların tek eksenli gerilme halini neredeyse 3 eksenli gerilme haline çevirerek enerji yutma kapasitelerini arttırmaktadır.

Deney boyunca belirli yükleme anlarında numune yüzeyinde oluşan çatlaklar çatlak kartı kullanılarak el ile ölçülmüştür. Çatlak genişlikleri ayrıca görsel sistemin verdiği dataların kullanılmasıyla da belirlenebilmiştir. Çizelge 6.6'da S-2B-L (1) kolonu için deney boyunca çatlak kartı ile ölçülen ve görsel sistem ile elde edilen çatlak genişlikleri karşılaştırılmıştır. Çizelgeden görüldüğü gibi görsel sistem ile manuel ölçümler birbirlerine benzer veriler ortaya çıkarmışlardır.

Çizelge 6.6 : Çatlak genişliklerinin karşılaştırılması.



Numune ismi	Çatlak ismi	Çatlak genişliği manuel ölçüm (mm)	Çatlak genişliği görsel sistemle ölçüm (mm)	Eksenel şekil değiştirme (LVDT)
S-2B-L (1)	A-4	0.5	0.564	0.0088
	A-5	0.9	0.865	0.0127
	A-12	0.3	0.34	0.0127
	A-10	0.3	0.358	0.0127
	A-12	0.3	0.395	0.0127
	A-20	0.5	0.503	0.0159
	A-21	0.5	0.59	0.0136

7. ANALİTİK MODELLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yönetmeliklerde güçlendirilmemiş yığma numunelerin basınç dayanımlarının tahkiki ile ilgili birtakım bağıntılar verilmiştir. Eurocode 6 (2005) and Turkish Seismic Design Code (TSDC) (2007)'de verilen bağıntılar yardımıyla güçlendirilmemiş yığma kolonun tahmini basınç dayanım değeri belirlenebilmektedir.

Güçlendirilmemiş yığma kolonun karakteristik basınç dayanımı Eurocode 6 (2005)'da verilmiş olan denklem (7.1)'deki bağıntıya göre hesap edilebilir. Verilen bağıntıya göre yığma dayanımı, kolonu oluşturan blokların ve derz harcının dayanımına ve K , α ve β katsayılarına bağlıdır. Denklemden bulunan katsayılar sırasıyla, yığma kolonu oluşturan tuğla blokların ve harcın cinsine, derz harcının yoğunluğuna ve derz harcının kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Eğer yığma yapı içerisinde boyuna derzler bulunuyorsa “ K ” katsayısı 0.8 ile çarpılmalıdır.

$$f_{mo,c} = K f_{uc,n}^{\alpha} f_m^{\beta} \quad (7.1)$$

Verilen denklemde, “ $f_{mo,c}$ ” yığmanın karakteristik basınç dayanımını (N/mm^2), “ $f_{uc,n}$ ” tuğlanın normalize edilmiş basınç dayanımını (N/mm^2) ve “ f_m ” ise harç basınç dayanımını (N/mm^2) ifade etmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta şudur: Eurocode (2006) karakteristik basınç dayanımını ortalama basınç dayanımına çevirmek için karakteristik dayanımın “1.2” ile çarpılmasını önermektedir. Ayrıca yığma yapının üretiminde kil tuğlası ve özel bir karışıma sahip olmayan genel amaca uygun bir derz harcı kullanılmışsa “ K ” katsayısı “0.55” değerini almalıdır. Yine yoğunluk ve kalınlık açısından bir ayrıcalığa sahip olmayan derz harcı kullanılmışsa α ve β katsayıları sırasıyla “0.7” ve “0.3” değerlerini almalıdır. Normalize edilmiş ortalama tuğla basınç dayanımı ve harç basınç dayanımı ise daha önceki bölümlerde sırasıyla 7.8 MPa ve 1.40 MPa olarak hesap edilmiştir. Tüm bu sayısal verileri denklem (7.1)'de yerine yazdığımızda güçlendirilmemiş yığma numunenin karakteristik basınç dayanımı 2.5 MPa, ortalama basınç dayanımı 3.0 MPa olarak belirlenmiştir.

TSDC (2007)'ye göre ise basınç deneyleri yapılamadığı durumlarda güçlendirilmemiş yığmanın ortalama basınç değeri yapı içinde kullanılan tuğla malzemesinin basınç dayanımının %50'si olarak alınabilir. Bu durumda, TSDC (2007)'ye göre güçlendirilmemiş yığmanın ortalama basınç dayanımı 4.5 MPa olarak belirlenmiştir.

Yapılan deneyler göz önüne alındığı zaman Eurocode 6 (2005) ve TSDC (2007)'den elde edilen analitik tahminlerin deneysel sonuçlar ile uyumsuz olduğu gözlemlenmektedir. Tarihi yığma bir binadan alınmış olan yığma tuğlaların günümüz yığma standartlarında yapılmamış olması ve düşük dayanımlı derz harcının kullanılmış olması yönetmeliklerde verilen tahmini değerlerin deney sonucunda elde edilen kare enkesitli numuneler için “1.61 MPa”, dikdörtgen enkesitli numuneler için “1.45 MPa” değerlerinin üzerinde olmasının açıklaması olabilir.

Literatürde, lifli polimer malzemeler (FRP) ile güçlendirilmiş yığma kolon numuneleri üzerinde basınç deneyleri yapılmış ve çalışmalar sonucunda güçlendirilmiş yığmanın basınç dayanım değerinin tahkiki ile ilgili analitik modeller ortaya konmuştur. Bu bölümde, TRM ile güçlendirilmiş numunelerin basınç dayanımları, CNR-DT200 (Italian Guideline) (2004), Krevaiakas ve Triantafillou (2005), Ludovico ve diğ. (2010) and Faella ve diğ. (2011b) tarafından FRP sargılı kolonlar için önerilmiş analitik modeller kullanılarak tekrar hesaplanmış ve bu değerler toplam 8 adet güçlendirilmiş kare ve dikdörtgen enkesitli yığma kolonun deneysel çalışma sonucu elde edilen basınç dayanım değerleri (f_{mc}) ile karşılaştırılmıştır. Literatürde verilen modeller aşağıda özetlenmektedir.

FRP ile sargılanmış yığma numunelerin basınç dayanımı ile ilgili Italian Guideline (2004) denklem (7.2)'deki bağıntıyı vermiştir. Verilen denklem güçlendirilmemiş yığma basınç dayanımına “ f_{mo} ” ve etkili yanal basınç değerine “ f_{leff} ” bağlıdır. Eşitlikte bulunan “ k ” katsayısı denklem (7.3)'de, etkili yanal basınç değeri ise denklem (7.4)'de verilmiştir. Denklem (7.3)'deki “ g_m ” ifadesi yığma kütle yoğunluğunu (kg/m^3), denklem (7.5)'deki “ k_e ” ifadesi etkili sargı alanı katsayısını ve denklem (7.6)'da verilen “ f_l ” ifadesi sargı basıncını belirtmektedir. Denklem (7.5) ve (7.6)'da verilen “ A_g ” ifadesi yığma kolonun enkesit alanını, denklem (7.7)'de verilen “ ρ_f ” ifadesi FRP donatı oranını ve “ r_c ” numune köşelerindeki yarıçap miktarını (pah) belirtmektedir. Ayrıca, Italian Guideline (2004)'de kısmi ve çevresel faktörler ile ilgili katsayılar verilmiştir; ancak test sonuçları ile analitik modeller arasında

karşılaştırma yapabilmek için Italian Guideline (2004)'da verilen faktörler modelde hesaba katılmamıştır.

$$f_{mc} = f_{mo} + k f_{leff} \quad (7.2)$$

$$k = \frac{g_m}{1000} \quad (7.3)$$

$$f_{leff} = k f_l \quad (7.4)$$

$$k_e = 1 - \frac{(b - 2r_c)^2 + (d - 2r_c)^2}{3A_g} \quad (7.5)$$

$$f_l = \frac{1}{2} \rho_f E_f \varepsilon_{fu} \quad (7.6)$$

$$\rho_f = \frac{4n_f t_f}{\max(b, d)} \quad (7.7)$$

Krevaikas ve Triantafillou (2005) kil tuğlaları ile üretilmiş ve karbon ve cam lifli polimerler (CFRP ve GFRP) ile sargılanmış 42 adet prizmatik yığma numuneye basınç deneyleri uygulamıştır. Deney sonuçlarına göre yazarlar sargılanmış beton numuneler için verilen modele benzer olarak yeni bir model önermişlerdir. Basınç dayanımına ilişkin bu model ilişkin denklem (7.8)'de verilmiştir. Italian Guideline (2004)'da verilen bağıntıdan farklı olarak, bu model “ $E_f \varepsilon_{fu}$ ” yerine “ f_{fe} ” parametresine bağlıdır. “ f_{fe} ” sargılanmış numunede basınç yüklemesi altında oluşan çevrimsel etkili çekme mukavemeti değeridir. Diğer yandan, Krevaikas ve Triantafillou (2005) modelde verilenin aksine sayısal hesaplarında yine Italian Guideline (2004)'a benzer olarak FRP'nin nihai çekme mukavemetini kullanmışlardır. Dolayısıyla tez çalışmasında da yığma kolonların basınç dayanımlarının tahmini için imalatçı firma tarafından sağlanan harç takviyeli bazalt tekstilinin çekme dayanım değeri hesaba katılmıştır.

$$\frac{f_{leff}}{f_{mo}} \leq 0.24 \rightarrow f_{mc} = f_{mo} \quad (7.8a)$$

$$\frac{f_{leff}}{f_{mo}} \geq 0.24 \rightarrow f_{mc} = f_{mo} \left[0.6 + 1.65 \frac{f_{leff}}{f_{mo}} \right] \quad (7.8b)$$

Krevaikas ve Triantafillou (2005)'nin modelinde verilen “ p_f ” ifadesi, Italian Guideline (2004)'da denklem (7.7)'de verilen ifadeden farklı olarak denklem (7.9)'da tanımlanmıştır. Kare enkesitli numuneler için denklem (7.7) ve (7.9) aynı

sayısal değeri vermektedir; ancak dikdörtgen enkesitli numuneler için bu denklemler farklı sonuçlar vermektedir.

$$\rho_f = \frac{2(b + d)n_f t_f}{bd} \quad (7.9)$$

Ayrıca Krevaiakas ve Triantafillou (2005), nihai şekildeğiştirme değerinin tahkikine yönelik denklem (7.10)'da verilen modeli sunmuşlardır. Bu modelde “ ϵ_{muc} ” sargılanmış yığmanın nihai şekildeğiştirme değerini, “ ϵ_{mo} ” referans numunenin nihai şekildeğiştirme değerini ifade etmektedir. “ f_{leff} ” ise yine denklem (7.4)'den hesaplanabilmektedir.

$$\epsilon_{mc} = \epsilon_{mo} + 0.034 \left(\frac{f_{leff}}{f_{mo}} \right) \quad (7.10)$$

Ludovico ve diğ. (2010) karbon lifli, cam lifli ve bazalt lifli polimerler (CFRP, GFRP ve BFRP) ile sargılanmış 18 adet süngertaşı ve kil tuğlaları ile örülmüş kare enkesitli yığma kolonları test etmişler ve sonucunda basınç dayanımı ile ilgili analitik bir model önermişlerdir. Tez çalışmasında kil tuğla kullanılarak örülmüş yığma için verilen bağıntı dikkate alınmıştır. Eksenel dayanımı veren model tanımı Italian Guideline (2004)'de verilen model ile aynıdır; ancak “ ρ_f ” ve “ k ” katsayılarının tanımları farklıdır, denklem (7.9) ve (7.11). Buna ek olarak önerilen model nihai çekme uzaması “ ϵ_{fu} ” yerine çevrimsel etkili çekme uzaması “ ϵ_{fe} ” değerine bağlıdır. Diğer yandan, Ludovico ve diğ. (2010)'nin çalışmasında verilen sayısal tahminlerin hesabında FRP'nin nihai çekme uzaması değeri kullanılmıştır. Bu nedenle, tez çalışmasında güçlendirilmiş yığma kolonların dayanım tahminlerinde üretici firma tarafından sağlanan bazalt lif donatılı sıva malzemesinin nihai çekme uzaması kullanılmıştır.

$$k = 1.53 \left(\frac{f_{leff}}{f_{mo}} \right)^{-0.10} \quad (7.11)$$

Faella ve diğ. (2011b) FRP ile güçlendirilmiş dikdörtgen enkesitli yığma kolonların nihai mukavemetinin tahkiki için daha genel ve doğru bir bağıntı ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Bunun için Italian Guideline (2004)'da verilen denklemlerden elde edilen sonuçların gerçeğe yakınlık derecelerini arttırmak için basınç gerilmesi tahkikine yönelik bağıntıyı 3 farklı şekilde kalibre etmişlerdir.

Basınç mukavemet değerinin “ f_{mc} ” tahkiki için Italian Guideline (2004)’de önerilmiş modelden türetilen genel ifade denklem (7.12)’de sunulmuştur.

$$f_{mc} = f_{mo} \left[K_1 + K_2 \left(\frac{g_m}{1000} \right)^{K_3} \left(\frac{f_{leff}}{f_m} \right)^{K_4} \right] \quad (7.12)$$

Verilen denklemde “ K_i ” değerleri mevcut deney sonuçlarını kullanarak en küçük kareler yöntemine göre kalibre edilmiştir. Denklem (7.13)’de önerilen ilk model “ K_1 ” sabitlerinin kalibre edilmesinden elde edilmiş ve sargılanmış numunenin genel bağıntısı olarak varsayılmıştır.

$$f_{mc} = f_{mo} \left[1.618 + 0.013 \left(\frac{g_m}{1000} \right)^{6.324} \left(\frac{f_{leff}}{f_m} \right)^{2.119} \right] \quad (7.13)$$

Denklem (7.14)’deki bağıntı önerilen ikinci modeli vermektedir. Bu ifadede “ K_1 ” değeri “1” olarak alınmış, diğer “ K_i ” değerleri ise en küçük kareler kalibrasyon yönteminden elde edilmiştir.

$$f_{mc} = f_{mo} \left[1 + 0.416 \left(\frac{g_m}{1000} \right)^{2.064} \left(\frac{f_{leff}}{f_m} \right)^{0.507} \right] \quad (7.14)$$

Faella ve diğ. (2011b)’ne göre denklem (7.15), dört adet “ K_i ” parametresinden sadece birini kalibre edip diğer üç parametreyi “1” alarak gerçeğe en yakın bağıntıyı sunmaktadır.

$$f_{mc} = f_{mo} \left[1 + \left(\frac{g_m}{1000} \right) \left(\frac{f_{leff}}{f_m} \right)^{0.662} \right] \quad (7.15)$$

Çizelge 7.1 güçlendirilmiş yığma numunelere dair tez çalışması kapsamında, yapılan deneyler sonucu ölçülen (D) ve analitik modellerden elde edilen tahmini sayısal sonuçları (M) oranlarıyla beraber vermektedir. Çizelge 7.1’e verilen ve öncelikle kare enkesitli kolonlardan elde edilen deney ve analitik verileri karşılaştırmak gerekirse Krevaiakas & Triantafillou (2005) ve Faella ve diğ. (2011b) tarafından önerilen model 2 ve model 3’den elde edilen analitik veriler güvenilir tarafta kalmıştır. Italian Guideline (2004) ve Ludovico ve diğ. (2007) tarafından sunulan model tanımlarından elde edilen analitik sonuçlar deney sonuçlarına yakın değerler verse de deneylerden elde edilen basınç dayanım değerlerinden büyük sonuçlar verdikleri için bazalt TRM sargılı kare enkesitli yığma kolonlar için uygun değildir.

Çizelge 7.1 : Eksenel basınç dayanımına ilişkin analitik tahminler.

Numune ismi	Model	$f_{mc} (D)$ (MPa)	$f_{mc} (M)$ (MPa)	$f_{mc} (M) / f_{mc} (D)$
S-2B-L	Italian Guideline (2004)	1.78	1.84	1.04
	Krevaikas & Triantafillou (2005)		1.61	0.91
	Ludovico ve diğ. (2007)		1.89	1.07
	Faella ve diğ. (2011b) model 1		2.60	1.47
	Faella ve diğ. (2011b) model 2		1.61	0.91
	Faella ve diğ. (2011b) model 3		1.61	0.91
S-2B-F	Italian Guideline (2004)	1.68	1.84	1.10
	Krevaikas & Triantafillou (2005)		1.61	0.96
	Ludovico ve diğ. (2007)		1.89	1.13
	Faella ve diğ. (2011b) model 1		2.60	1.56
	Faella ve diğ. (2011b) model 2		1.61	0.96
	Faella ve diğ. (2011b) model 3		1.61	0.96
R-2B-L	Italian Guideline (2004)	1.43	1.55	1.09
	Krevaikas & Triantafillou (2005)		1.45	1.01
	Ludovico ve diğ. (2007)		1.63	1.14
	Faella ve diğ. (2011b) model 1		2.35	1.64
	Faella ve diğ. (2011b) model 2		1.45	1.01
	Faella ve diğ. (2011b) model 3		1.45	1.01
R-2B-F	Italian Guideline (2004)	1.46	1.55	1.07
	Krevaikas & Triantafillou (2005)		1.45	1.00
	Ludovico ve diğ. (2007)		1.63	1.12
	Faella ve diğ. (2011b) model 1		2.35	1.61
	Faella ve diğ. (2011b) model 2		1.45	1.00
	Faella ve diğ. (2011b) model 3		1.45	1.00

Dikdörtgen enkesitli kolonlar içinde benzer şekilde Krevaikas & Triantafillou (2005) ve Faella ve diğ. (2011b) tarafından önerilen model 2 ve model 3 uygun sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak Krevaikas ve Triantafillou (2005), ve Faella ve diğ. (2011b) tarafından önerilen ikinci ve üçüncü modeller yapılan çalışmalarda bazalt tekstil donatılı sıva kullanılmamış olsa bile kare ve dikdörtgen enkesitli numunelerin basınç mukavemetinin tayininde kullanılabilir.

Yığılma kolonların bazalt lifli tekstil takviyeli sıva (TRM) ile sargılanması epoksi reçine bazlı sistemler (FRP) ile karşılaştırıldığında benzer olarak numunenin eksenel şekildeğiştirmesini, sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini iyileştirdiği; ancak

numunelerin eksenel dayanım değerlerinde gözle görülür bir artış sağlamadığı görülmüştür. Maksimum basınç mukavemetine karşılık numunelerde meydana gelen nihai şekildeğiştirme tahkikine ilişkin Krevaiakas ve Triantafillou (2005) tarafından önerilen model taminleri ve deney sonuçları Çizelge 7.2’de değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.2 : Eksenel şekildeğiştirmeye ilişkin analitik tahminler.

Numune ismi	Model	ε_{mc} (D) (MPa)	ε_{mc} (M) (MPa)	ε_{mc} (M) / ε_{mc} (D)
S-2B-L	Krevaiakas & Triantafillou (2005)	0.0180	0.0133	0.74
S-2B-F		0.0275	0.0133	0.48
R-2B-L		0.0220	0.0171	0.78
R-2B-F		0.0142	0.0171	1.20

Çizelgede 7.2’de görüldüğü üzere Krevaiakas ve Triantafillou (2005)’nun modeli kullanılarak elde edilen şekildeğiştirme değerleri kare ve dikdörtgen enkesitli kolonlar için tarihi harç kullanılan TRM ile sargılanmış numunelerin deney sonuçları ile uyumlu sonuç vermiştir.

8. SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında, iki farklı geometriye sahip kare ve dikdörtgen enkesitli tarihi yığma kolonlar imal edilmiş ve eksenel basınç yüklemesi altında test edilmiştir. Kolon numunelerinin üretiminde 1930 lu yıllarda inşaa edilmiş ve şu anda tamamen yıkılmış durumda olan yığma bir binadan temin edilen harman kil tuğlaları ve tarihi yapılarda kullanılan harcı temsil eden ve özel karışım oranlarına sahip harç karışımı kullanılmıştır.

Güçlendirme işlemi uygulanmamış referans numunelerinde numune üst ve alt yüzeyine uygulanan başlık harçlarının (60 MPa) ezilmesiyle beraber yatay derz harçları üzerinde ilk düşey çatlaklar gözlemlenmiş ve bu çatlakların numune boyunca ilerlemesi ve genişlemesi sonucu tuğla ve derz harcı belirli bölgelerde birbirinden ayrılmış ve numune gevrek olarak göçmüştür. Referans numuneleri ile iki farklı enkesitte ve iki farklı harç karışımı ile sıvalı yığma tuğla kolon numuneleri basınç yüklemesi altında benzer davranış göstermişlerdir. Diğer yandan TRM ile güçlendirilmiş numunelere eksenel basınç yüklemesi uygulandığında, öncelikle sıva tabakası üzerinde düşey yönde kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Deney süresince çatlaklar genişlemiş ve artan yükler ile beraber çatlaklar ve kırılmalar derz harcı ve yığma kil tuğlaları üzerinde de devam etmiştir. TRM ile güçlendirilmiş yığma kolonlarda özellikle numunelerin köşe bölgelerinde sıva harcı üzerinde oluşan çatlaklar genişleyerek sıvanın dökülmesine sebep olmuş ve bazalt tekstilleri birbirlerinden ayrılarak kopmaya başlamıştır. Sıvanın dökülmesiyle sargı tabakasının iç kısmında yığma kolonu oluşturan harç ve kil tuğlaların da kırılıp dağıldığı gözlemlenebilmiş ve numunelerde göçme meydana gelmiştir. TRM ile güçlendirme yöntemi yığma kolonların sünekliğini, göçmeden şekildeğiştirebilme ve enerji yutma kapasitesi arttırmıştır; ancak numunelerin taşıyabileceği basınç dayanım değerlerini dikkate değer bir biçimde iyileştirmemiştir. Referans ve sadece sıvalı numuneler ile kıyaslandığında TRM sargılı numunelerde çatlak genişliklerinin daha sınırlı olması, yine numune yüzeyindeki çatlak dağılımının daha homojen olması numunelerin daha sünek davranmasını sağlamış ve güçlendirme sisteminin numune davranışını iyi yönde geliştirdiğini göstermiştir. Özellikle kare enkesitli numunelerde meydana

gelen toplam ve nihai şekildeğiştirme davranışı ve enerji yutma kapasitesi üzerinde sıva olarak kullanılan ticari harç, tarihi harca benzeştirilmiş harca göre daha etkili davranış göstermiştir. Dikdörtgen enkesitli numuneler için ise sıva olarak tarihi harca benzeştirilmiş harç ve ticari harç karışımının kullanıldığı numuneler benzer davranış göstermişlerdir. Beklenildiği gibi bazalt lif takviyeli tarihi harca benzeştirilmiş harç veya ticari harç ile sıvanarak güçlendirilmiş kare enkesitli numuneler aynı şekilde güçlendirilmiş dikdörtgen enkesitli numunelerden daha fazla basınç yükü taşıyabilmişlerdir. Yine farklı geometrideki numuneler için enerji yutma kapasitesi kıyaslandığında, kare enkesitli TRM ile güçlendirilmiş numuneler dikdörtgen enkesitli TRM ile güçlendirilmiş numunelere göre daha etkin davranış göstermiştir. Burada altı çizilmesi gereken nokta, basınç yüklemesi altında bazalt tekstil donatılı sıva ile güçlendirme yöntemi beklenildiği gibi dikdörtgen enkesitli numuneler ile karşılaştırıldığında kare enkesitli numuneler üzerinde daha küçük enkesit alanına sahip olduğu için daha etkili olmuştur.

Yığılma kolon numunelerinin basınç dayanımı ve nihai eksenel şekildeğiştirme değerlerinin tahminine yönelik literatür çalışmalarında sunulmuş olan analitik modeller ve deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Teorik hesaplarda da deneysel sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Literatürdeki modeller FRP sargılı yığılma için önerilmiş olmasına rağmen Krevaiakas & Triantafillou (2005) ve Faella ve diğ. (2011b)'nin 2. ve 3. modelleri, güçlendirilmiş kare ve dikdörtgen enkesitli yığılma kolon basınç dayanımlarının belirlenmesinde deney sonuçlarına yakın ve uygun değerler vermiştir. Ayrıca Krevaiakas & Triantafillou (2005)'nin maksimum dayanıma karşı gelen nihai eksenel şekildeğiştirme değerinin tahmini ile ilgili önerdiği analitik model deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma ile analitik tahminin bazalt TRM ile sargılanmış numunelerin deney sonucundan elde edilen değerlere göre güvenli tarafta kaldığı görülmüştür. Bu durum TRM sargılı yığılmanın eksenel kısalma davranışının tanımlanmasında verilen bağıntıların yığılma kolonlar için bu çalışmada incelenen güçlendirme sistemi için uygun olabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- Al-Salloum, Y. A., ELsanadedy, H. M., Alsayed, S.H. ve Iqbal, R. A.** (2012). Experimental and Numerical Study for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Textile-Reinforced Mortar, *Journal of Composites for Construction*, 16(1), Sf. 74-90.
- Aiello, M. A., Micelli, F. ve Valente, L.** (2007). Structural Upgrading of Masonry Columns by Using Composite Reinforcements, *Journal of Composites for Construction*, Cilt 11, No: 6.
- Aiello, M. A., Micelli, F. ve Valente, L.** (2009). FRP Confinement of Square Masonry Columns, *Journal of Composites for Construction*, Cilt 13, No: 2.
- ASTM E 111-04** (2004). Standard Test Method for Young's Modulus, Targent Modulus and Chord Modulus, *American Society for Testing Materials*, USA.
- ASTM C 67-11** (2011). Standard Test Method for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, *American Society for Testing Materials*, USA.
- Balsamo, A., Di Ludovico, M., Prota, A. ve Manfredi, G.** (2009). Confinement of Brick Masonry Columns with Advanced Materials, *The Proceedings of 9th International Symposium on Fiber Reinforced Polymer Reinforcement for Concrete Structures (FRPRCS)*, 13-15 Temmuz 2009, Sydney, Australia.
- Berkanos, A., Bal, İ. E. and Pinho, R.** (2012). Strengthening of Masonry Structures with Tyfo RM System: A Newly-Developed Advanced Composite System, *A Dissertation Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Master Degree in Earthquake Engineering*.
- Bournas, D.A., Lontou, P. V., Papanicolaou, C.G. ve Triantafillou, T. C.** (2007). Textile-Reinforced Mortar Versus Fiber-Reinforced Polymer Confinement in Reinforced Concrete Columns, *Structural Journal*, Cilt 104.
- Corradi, M., Grazini, A. ve Borri, A.** (2007). Confinement of Brick Masonry Columns with CFRP Materials, *Composite Science and Technology for Construction*, Cilt 67, No: 14.
- CNR-DT200 (Italian Guideline)** (2004). Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening of Existing Structures, Technical Document No: 200/2004, *Italian National Research Council, Rome*.
- EN 1996-1-1 (Eurocode 6)** (2005). Eurocode 6: Design of Masonry Structures – Part 1-1: General Rules for Reinforced and Unreinforced Masonry Structures, *European Committee for Standardization*, Brussels, Belgium.

- Faella, C. Martinelli, E., Paciello, S., Camorani, G., Aiello, M. A., Micelli, F. and Nigro, E.** (2011b). Masonry Columns Confined by Composite Materials: Design Formulae, *Composites: Part B* (42), Sf. 705-716.
- Harajli, M., ElKhatib, H. ve Tomas San-Jose, J.** (2010). Static and Cyclic Out-Of-Plane Response of Masonry Walls Strengthened Using Textile-Mortar System. *Journal of Materials in Civil Engineering*, DOI:10.1061/_ASCE_MT.1943-5533.0000128.
- İspir, M. ve İlki, A.,** (2013). Behavior of Historical Unreinforced Brick Masonry Walls under Monotonic and Cyclic Compression, *The Arabian Journal for Science and Engineering (AJSE)*.
- Krevaikas. T. D. ve Triantafillou, T.D.** (2005). Masonry Confinement of Fiber Reinforced Polymers, *Journal of Composites for Construction*, Cilt **9**, No: 2.
- Ludovico, M. D., Ambra, C., Prota, A. ve Manfredi, G.** (2010). FRP Confinement of Tuff and Clay Brick Columns: Experimental Study and Assessment Analytical Models, *Journal of Composites for Construction*, Cilt **14**, No: 5.
- Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K. ve Papathanasiou, M.** (2006). Textile-Reinforced Mortar (TRM) Versus FRP as Strengthening Material of URM Walls: In-Plane Cyclic Loading, *Materials and Structures* (2007) 40:1081-1097.
- TSDC** (2007). Turkish Seismic Design Code, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 772-1** (2002). Kagit Birimler - Deney Metotları – Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P. ve Laourdekis, T.** (2006). Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets. *Structural Journal*, Cilt **103**.

EKLER

EK A: S-0B-0 numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

EK B: S-0B-L (1) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

EK C: S-0B-F (1) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

EK D: S-2B-F (2) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

EK E: R-0B-0 (1) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

EK F: R-0B-L (2) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

EK G: R-0B-F (2) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

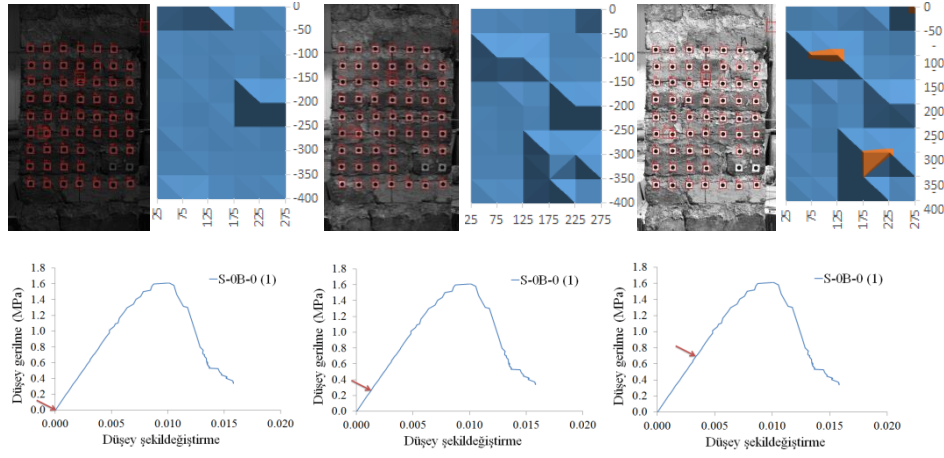
EK H: R-2B-L (2) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

EK I: R-2B-F (1) numunesine ait fotogrametrik ölçüm sistemi ile alınan görüntüler ve grafikler

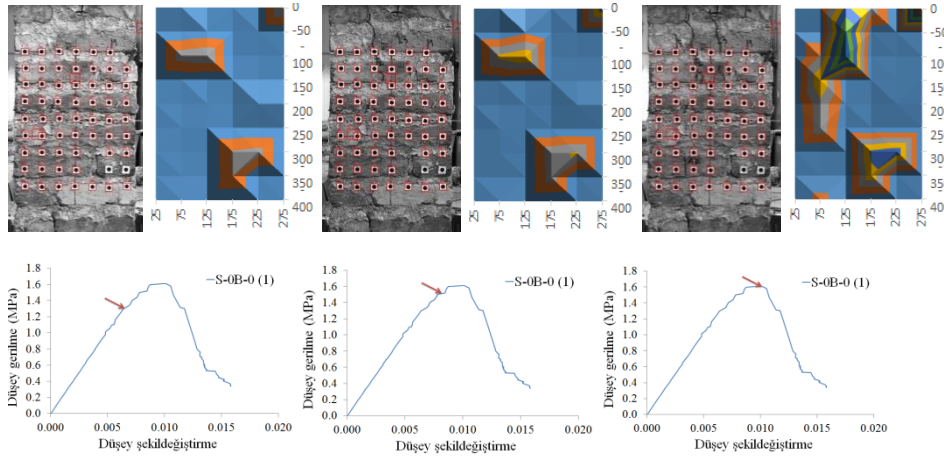
EK J: Fotogrametrik ölçüm sistemi sonucu elde edilen şekildeğiştirme aralıklarını gösteren lejant

EK K: Kare ve dikdörtgen enkesitli numunelerin gerilme – düzlem dışı şekildeğiştirme grafikleri

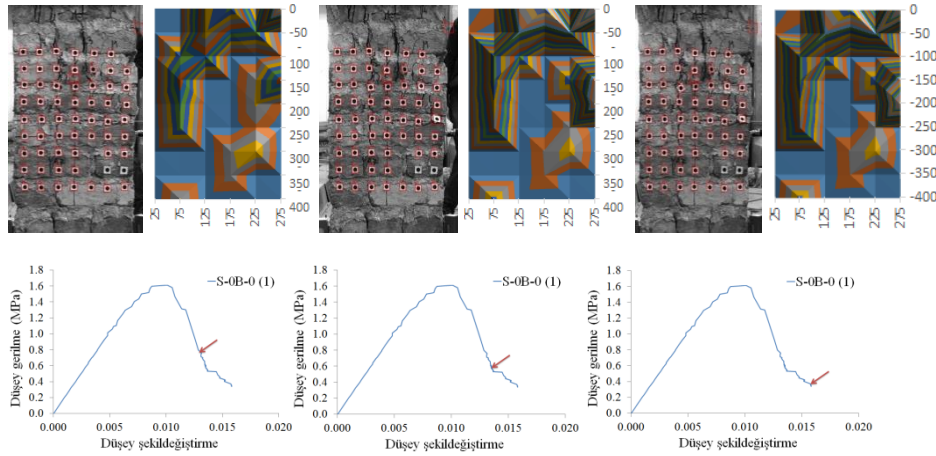
EK A



Şekil A.1 : 0.00 ve 0.0034 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.

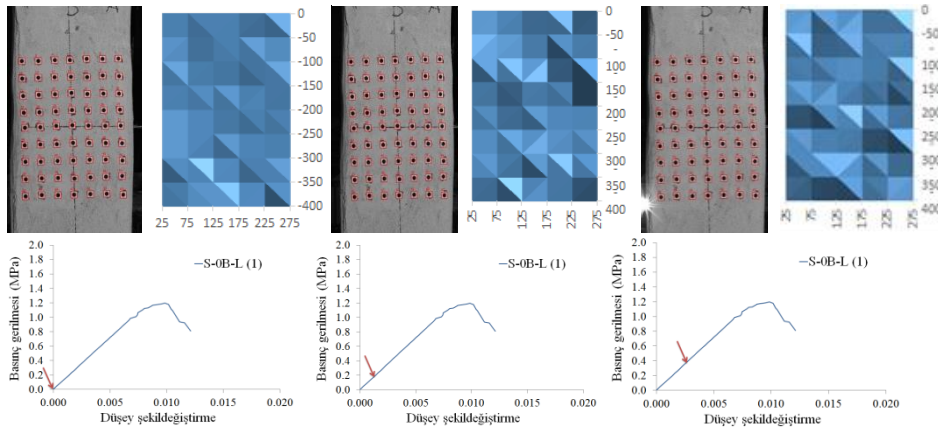


Şekil A.2 : 0.0068 ve 0.0088 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.

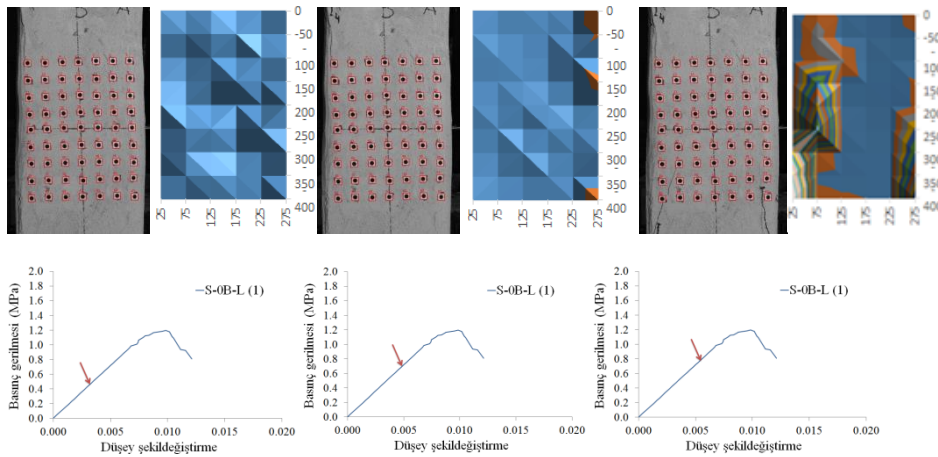


Şekil A.3 : 0.0134 ve 0.0158 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.

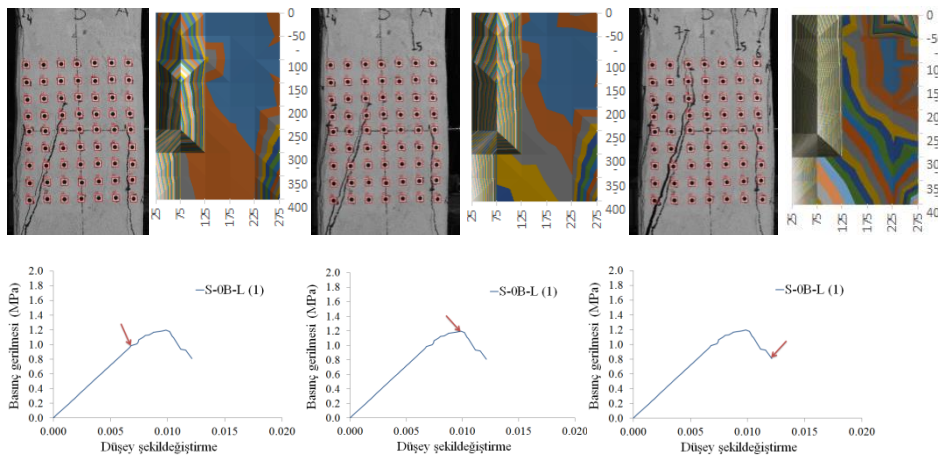
EK B



Şekil B.1 : 0.00 ve 0.0027 düşey şekildegıştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştirme kontur grafikleri.

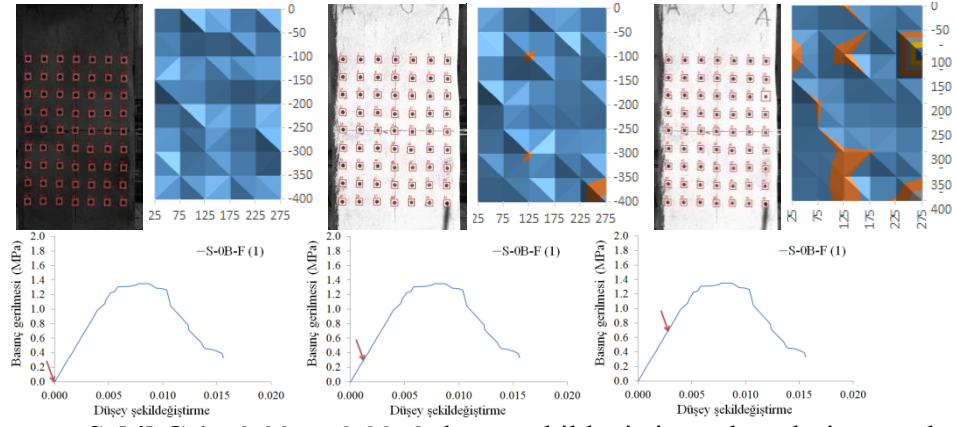


Şekil B.2 : 0.0033 ve 0.0054 şekildegıştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştirme kontur grafikleri.

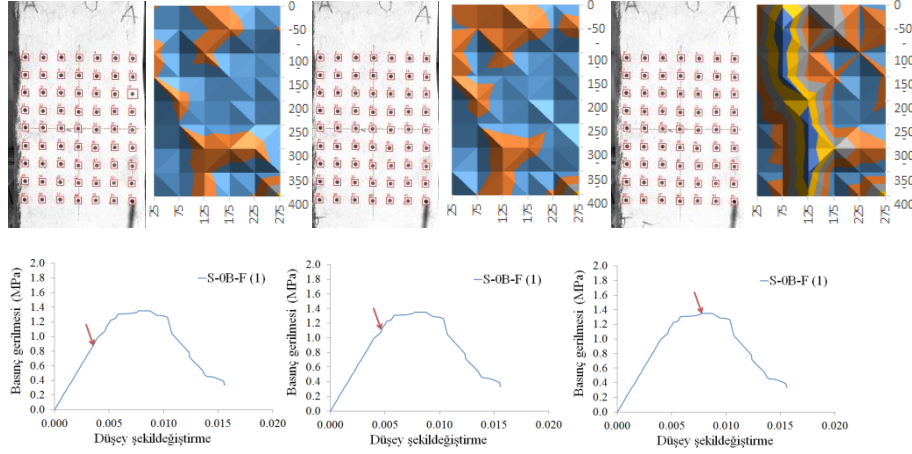


Şekil B.3 : 0.0068 ve 0.0121 şekildegıştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştirme kontur grafikleri.

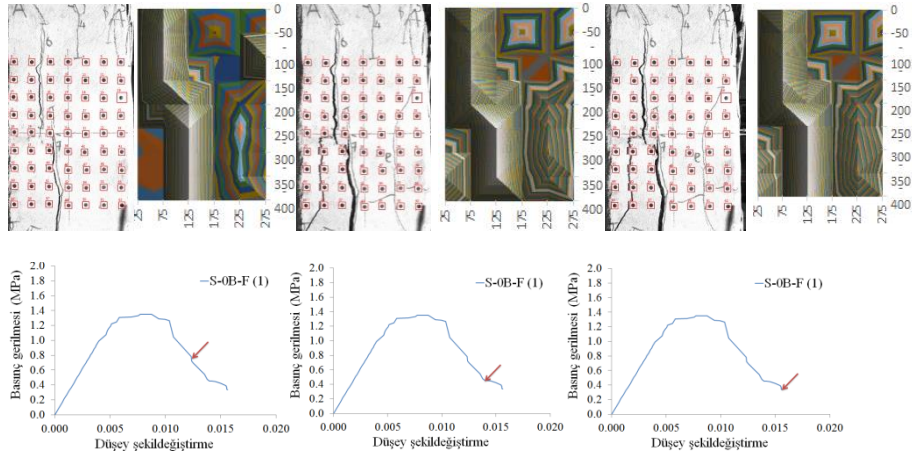
EK C



Şekil C.1 : 0.00 ve 0.0028 düşey şekil değiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekil değiştirme kontur grafikleri.

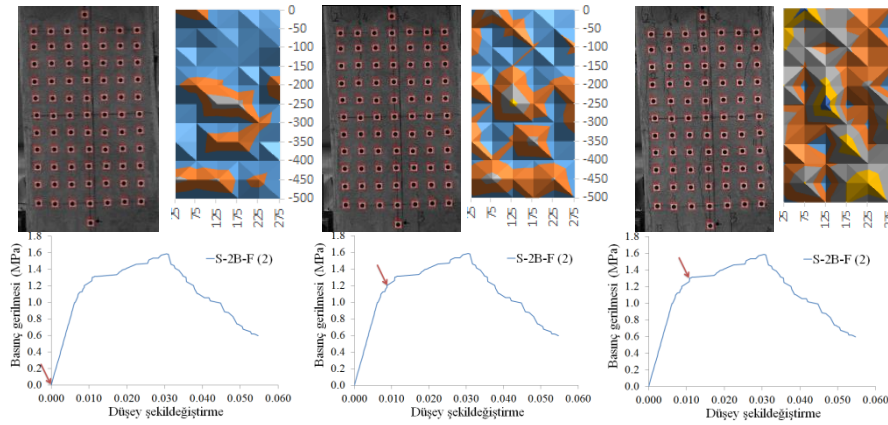


Şekil C.2 : 0.0037 ve 0.0058 şekil değiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekil değiştirme kontur grafikleri.

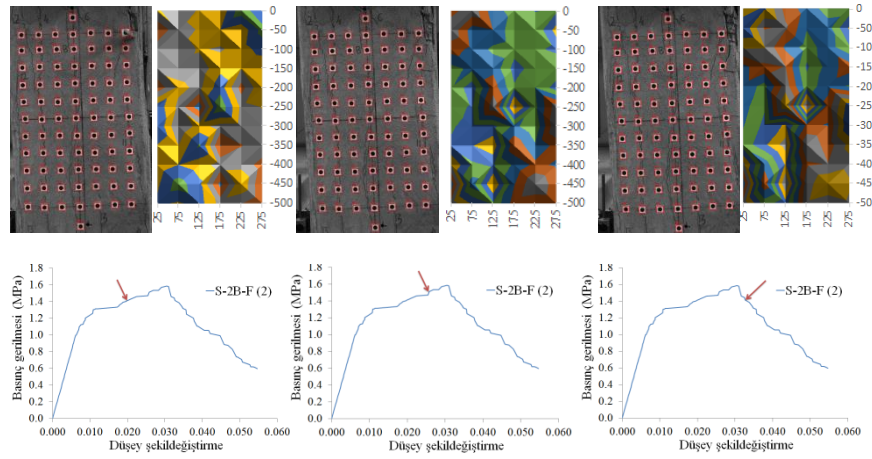


Şekil C.3 : 0.0123 ve 0.0156 şekil değiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekil değiştirme kontur grafikleri.

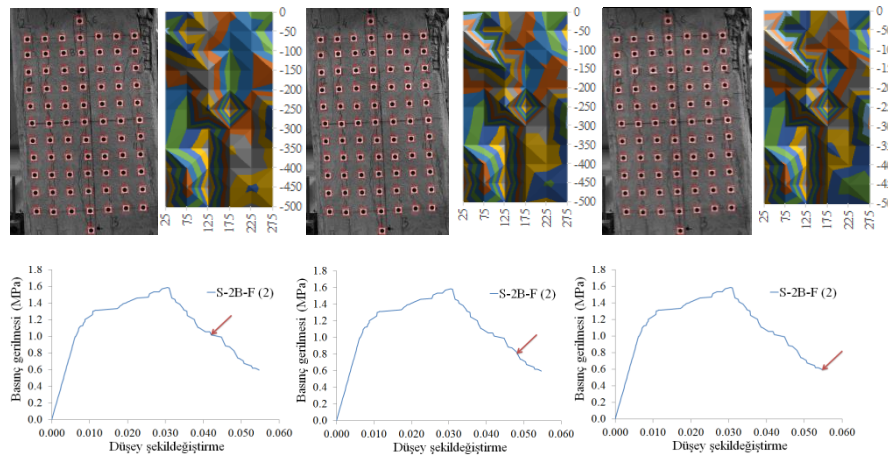
EK D



Şekil D.1 : 0.00 ve 0.0108 düşey şekildegıştırme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştırme kontur grafikleri.

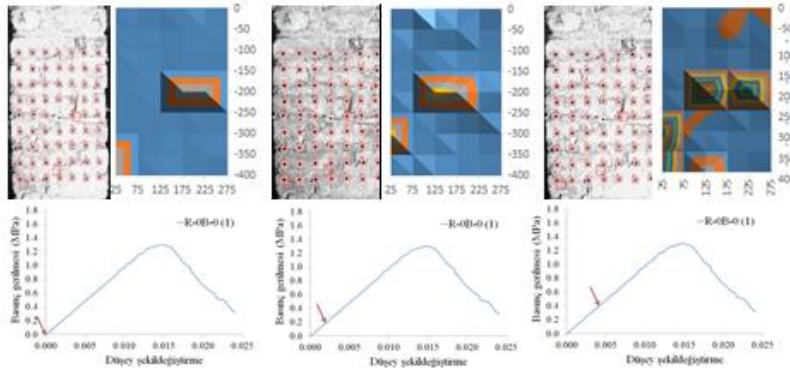


Şekil D.2 : 0.0199 ve 0.0358 şekildegıştırme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştırme kontur grafikleri.

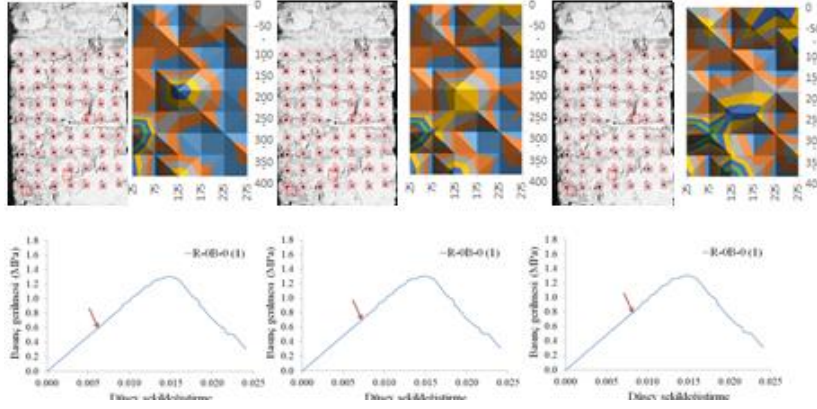


Şekil D.3 : 0.0448 ve 0.0547 şekildegıştırme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştırme kontur grafikleri.

EK E

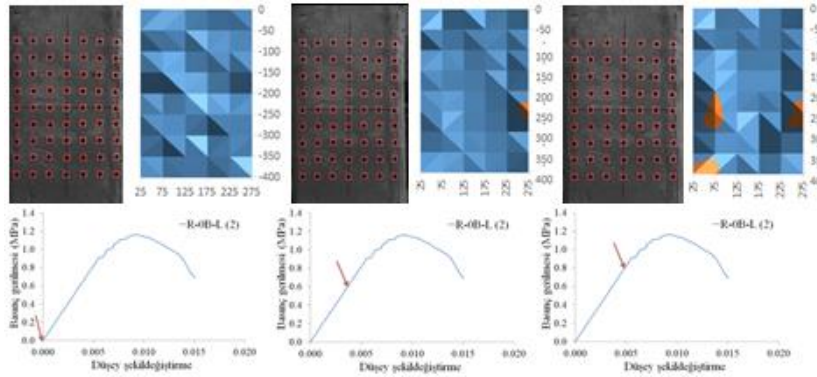


Şekil E.1 : 0.00 ve 0.0042 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.

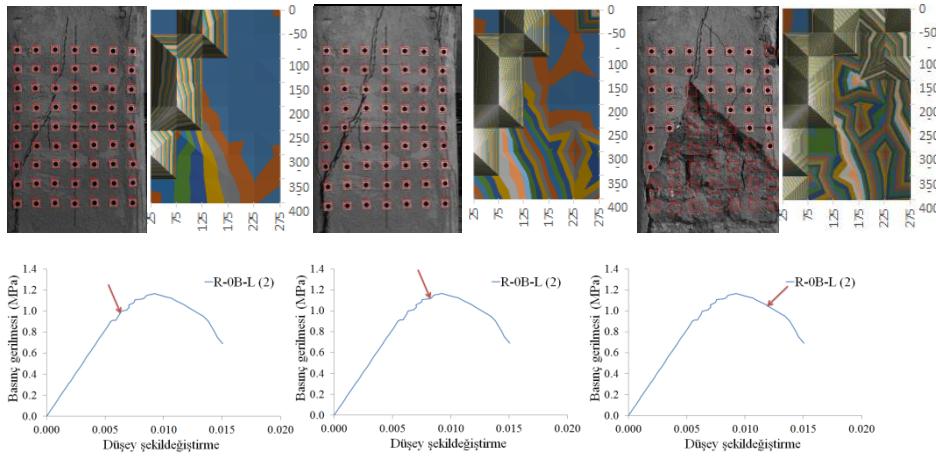


Şekil E.2 : 0.0618 ve 0.0848 şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.

EK F

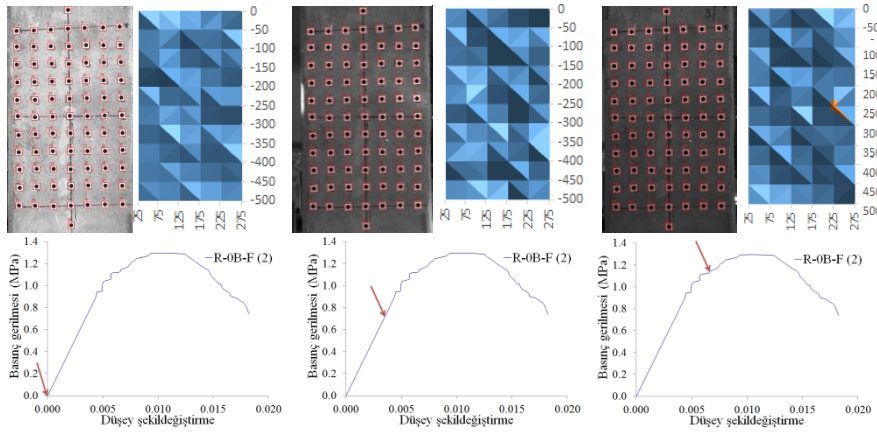


Şekil F.1 : 0.00 ve 0.0049 düşey şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.

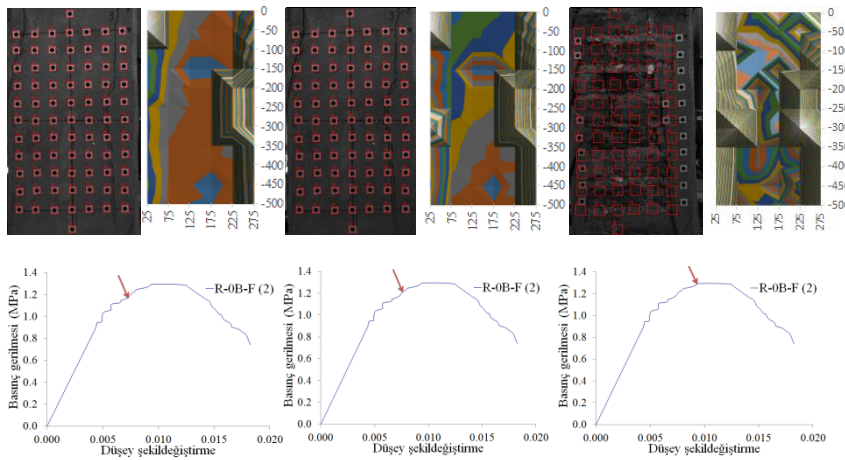


Şekil F.2 : 0.0062 ve 0.0134 şekildegistirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegistirme kontur grafikleri.

EK G

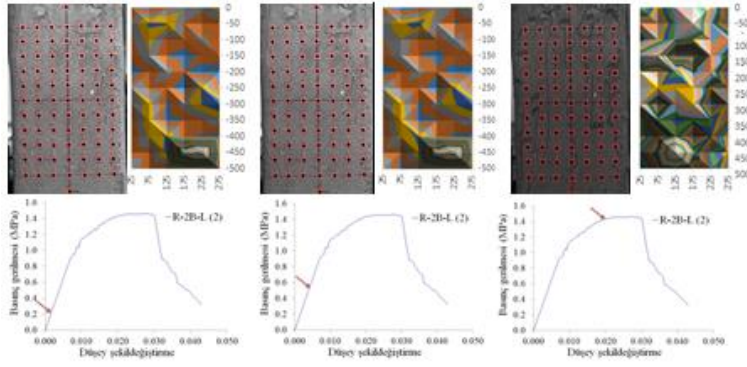


Şekil G.1 : 0.00 ve 0.0068 düşey şekildegistirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegistirme kontur grafikleri.

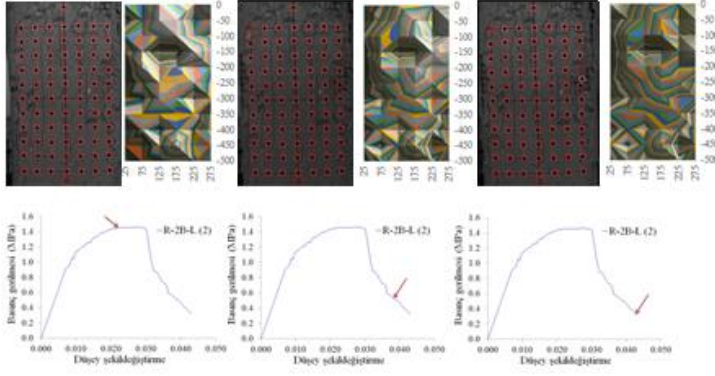


Şekil G.2 : 0.0076 ve 0.0092 düşey şekildegistirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildegistirme kontur grafikleri.

EK H

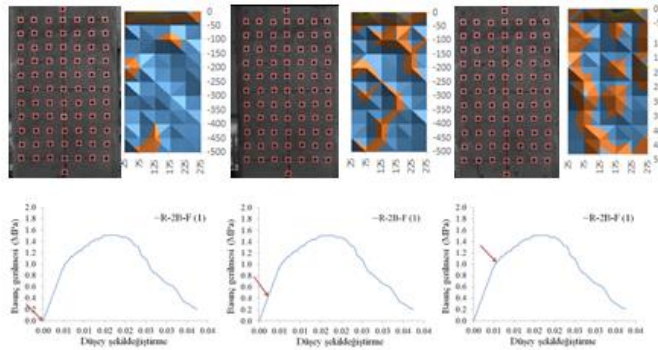


Şekil H.1 : 0.0008 ve 0.0197 düsey şekildegıştırme değeri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştırme kontur grafikleri.

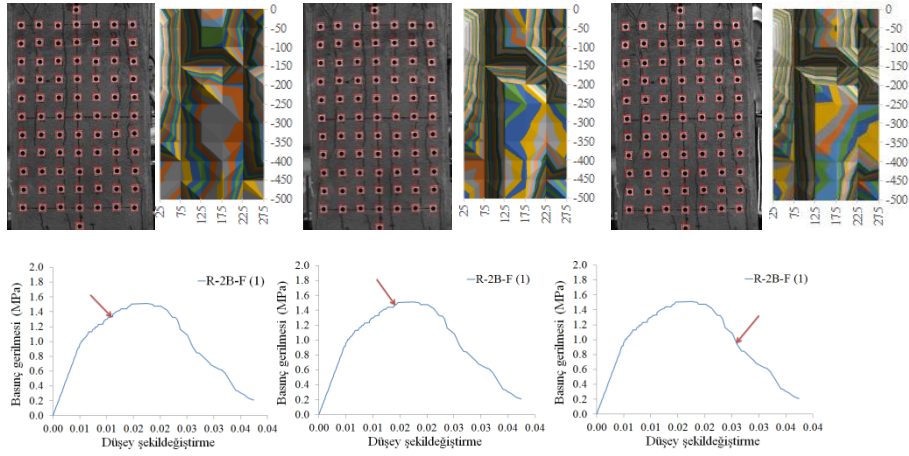


Şekil H.2 : 0.0215 ve 0.0456 şekildegıştırme değeri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştırme kontur grafikleri.

EK I

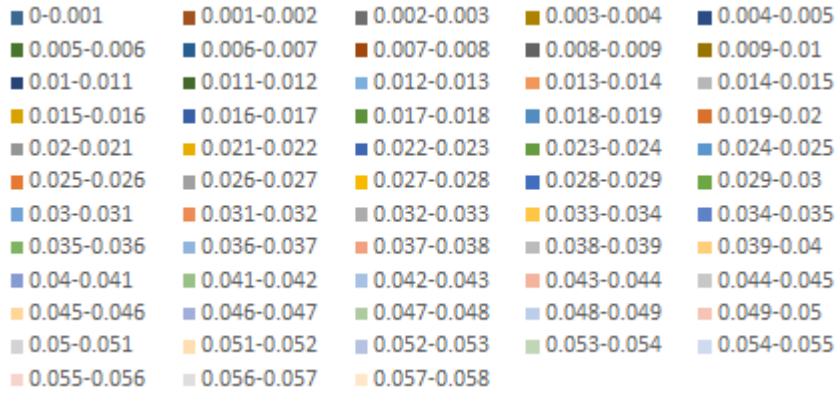


Şekil I.1 : 0.00 ve 0.0056 şekildegıştırme değeri arasında yatay doğrultudaki şekildegıştırme kontur grafikleri.



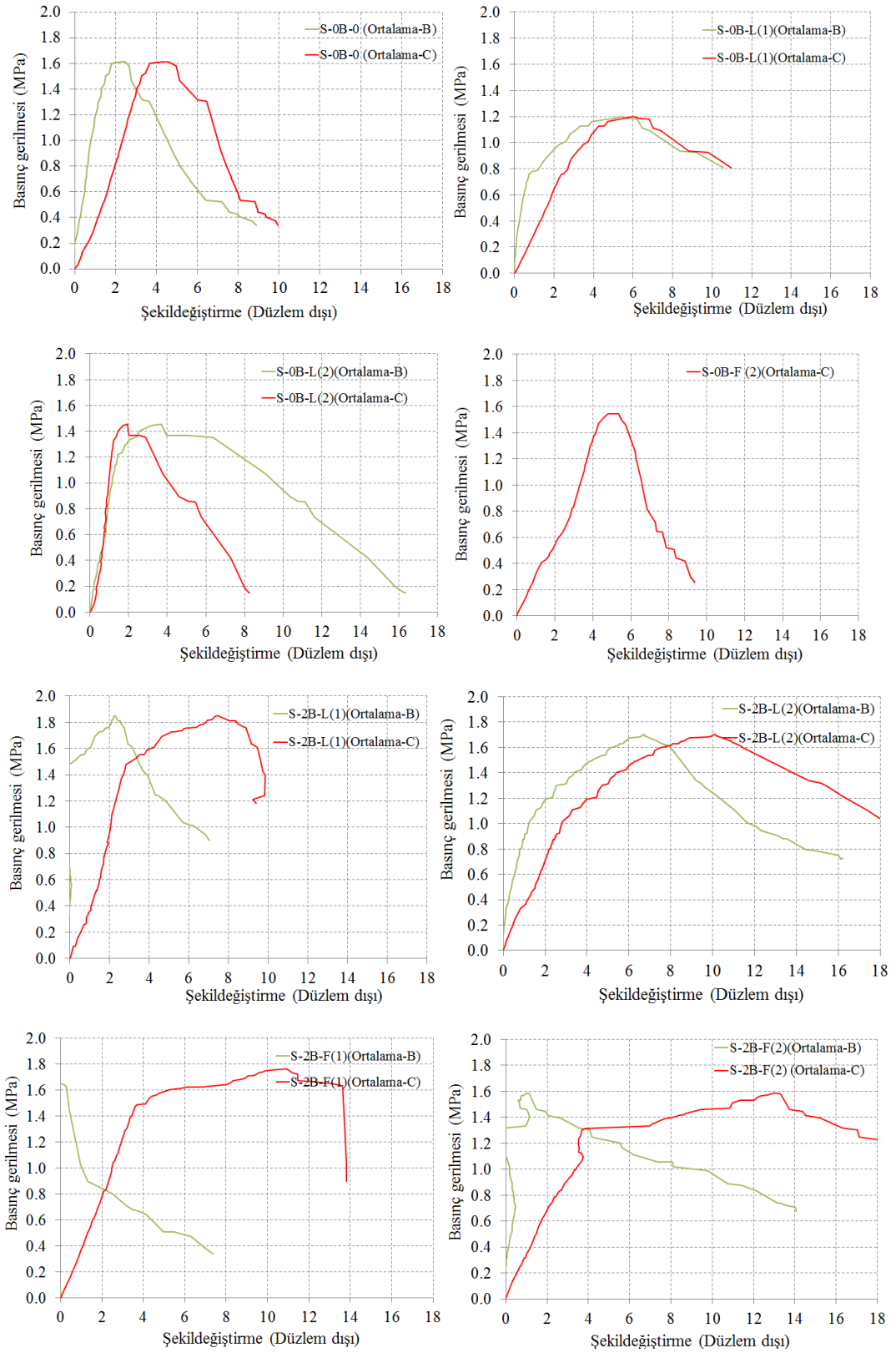
Şekil I.2 : 0.0103 ve 0.0261 şekildeğiştirme değerleri arasında yatay doğrultudaki şekildeğiştirme kontur grafikleri.

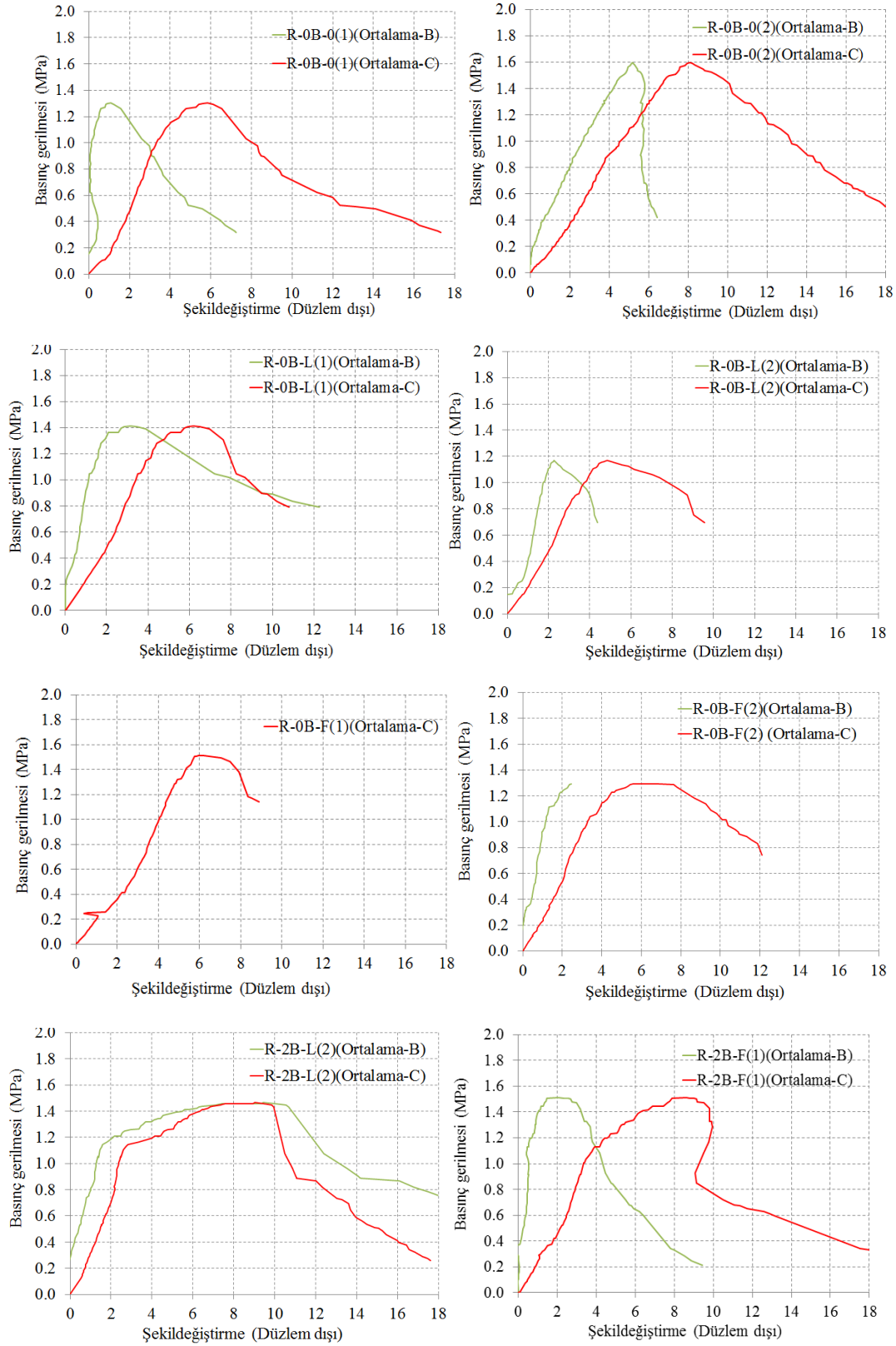
EK J

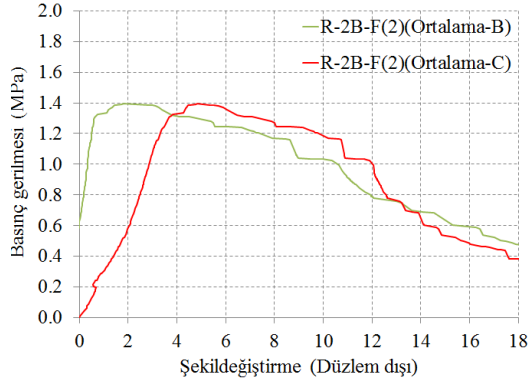


Şekil J.1 : Numune üzerine yerleştirilmiş her bir takip noktası arasında oluşan yatay doğrultudaki şekildeğiştirme değerlerini veren lejant.

EK K







Şekil K.1 : Kare ve dikdörtgen enkesitli numunelerin düzlem dışı yerleştirilen LVDT lerden (25 mm) elde edilen gerilme-şekildeğiştirme grafikleri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İrem Ayşe Yılmaz

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar / 27.12.1988

Adres: Anadoluhisarı Beykoz / İSTANBUL

E-Posta: iremayseyilmaz@gmail.com

Lisans: İnşaat Mühendisi

Yüksek Lisans :

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

Geocon Zemin Uzmanları Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.

İller Bankası Anonim Şirketi

Yayın ve Patent Listesi:

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Mezrea P. E., **Yılmaz İ. A.**, İspir M., Binbir E., Bal İ. E., ve İlki A., 2013: Ulusal Yapı Mekanik Laboratuvarları Toplantısı – *Tarihi Tuğla Duvarların Güçlendirilmesine Yönelik Deneyler*, Mayıs 03-04, 2013 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- **Yılmaz İ. A.**, Mezrea P. E., İspir M., Bal İ. E., ve İlki A., 2013: Asia-Pacific Conference on FRP in Structures. *International Congress – External Confinement of Brick Masonry Columns with Open-Grid Basalt Reinforced Mortar*, December 11-13, 2013 Melbourne, Australia.
- **Yılmaz İ. A.**, Mezrea P. E., İspir M., Bal İ. E., ve İlki A., 2014: 2nd International Conference on Protection of Historical Constructions. *International Congress – Confinement of Historical Brick Masonry Piers with Basalt TRM*, May 07-09, 2014 Antalya, Turkey.