

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ YAPILARDA TUĞLA DUVARLARIN ÇELİK HASIR VE TEKSTİL  
DONATILI HORASAN HARCİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elif Tuba ALHAN ŞİMŞEK**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**HAZİRAN 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TARİHİ YAPILARDA TUĞLA DUVARLARIN ÇELİK HASIR VE TEKSTİL  
DONATILI HORASAN HARCİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elif Tuba ALHAN ŞİMŞEK  
(502141508)**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Necdet TORUNBALCI**

**HAZİRAN 2018**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502141508 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Elif Tuba ALHAN ŞİMŞEK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TARİHİ YAPILARDA TUĞLA DUVARLARIN ÇELİK HASIR VE TEKSTİL DONATILI HORASAN HARCİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Necdet TORUNBALCI** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Doç. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Fevzi DANSIK** .....

Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      :   **04 Mayıs 2018**

**Savunma Tarihi**    :   **06 Haziran 2018**





*Eşime ve aileme,*



## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda benimle yakından ilgilen ve her daim desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Necdet TORUNBALCI'ya, bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Sayın Doç. Dr. Seden ACUN ÖZGÜNLER'e, yapmış olduğu tüm katkı ve yardımlarından dolayı Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvar Teknisyeni İbrahim ÖZTÜRK'e, çalışmalarım için malzeme temini sağlayan TEKNO Yapı Kimyasalları'na ve çalışmamı destekleyen İTÜ BAP birimine;

Her fırsatta beni destekleyen değerli eşime ve aileme,

Teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2018

Elif Tuba ALHAN ŞİMŞEK  
(Mimar)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xiii
SEMBOLLER .....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY .....	xxv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı .....	2
1.2 Çalışmanın Yöntemi.....	2
1.3 Çalışmanın Kapsamı .....	3
<b>2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Horasan Harçlarının Özellikleri .....	5
2.2 Tarihi Yapıların Orjinal Harç Özelliklerinin Araştırılması .....	7
2.3 Tarihi Yapılara Uygulanan Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri.....	12
2.3.1 Derz onarımı .....	13
2.3.2 Çatlak onarımı .....	13
2.3.3 Püskürtme beton ile yığma duvarların güçlendirilmesi .....	14
2.3.4 Kendiliğinden yerleşen beton ile yığma duvarların güçlendirilmesi .....	14
2.3.5 FRP malzemeler ile yığma duvarların güçlendirilmesi.....	15
2.4 Donatılı Harç İle Güçlendirme Çalışmaları.....	16
<b>3. ÖN DENEYLER .....</b>	<b>25</b>
3.1 Araştırmada Kullanılan Tuğlaların Özellikleri .....	25
3.1.1 Fiziksel Deneyler .....	25
3.1.1.1 Kılcal etkiye bağlı su emme deneyi .....	25
3.1.1.2 Atmosfer basıncında su emme deneyi.....	27
3.1.2 Mekanik deneyler.....	28
3.1.2.1 Basınç dayanımı tayini .....	28
3.2 Harç Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	29
3.2.1 Araştırmada Kullanılan Agregaların Özellikleri.....	30
3.2.1.1 Birim hacim ağırlık (görünür yoğunluk) tayini.....	30
3.2.1.2 Özgül ağırlık tayini .....	30
3.2.1.3 Elek analizi .....	31
3.2.2 Doğal hidrolik kireç .....	33
3.2.3 Araştırmada Kullanılan Puzolanın Özellikleri .....	34
3.2.3.1 Puzolanik aktivite deneyi .....	35
<b>4. HARÇ ÜRETİMİ .....</b>	<b>37</b>
4.1 Harçların Karışım Oranlarının Belirlenmesi .....	37
4.2 Harçların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi .....	43

4.2.1 Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini.....	43
4.2.2 Atmosfer basıncı altında su emme deneyi.....	44
4.2.3 Birim hacim ağırlık deneyi.....	45
4.3 Harçların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi .....	45
4.3.1 Eğilme dayanımı deneyi.....	46
4.3.2 Basınç dayanımı deneyi .....	47
4.3.3 Aderans deneyi.....	48
4.4 Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi .....	49
4.4.1 Harçların fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi.....	49
4.4.1.1 Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı deneyinin sonuçları.....	49
4.4.1.2 Atmosfer basıncı altında su emme deneyinin sonuçları.....	50
4.4.1.3 Birim hacim ağırlık deneyinin sonuçları .....	50
4.4.2 Harçların mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi.....	50
4.4.2.1 Harç karışımlarında agrega tane boyut dağılımının etkisi .....	50
4.4.2.2 Harç karışımlarında bağlayıcı oranlarının etkisi .....	51
4.4.2.3 Harç karışımlarında kür koğullarının etkisi .....	52
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>53</b>
5.1 Deney Programı.....	53
5.2 Model Tuğla Duvarların Hazırlanması ve Kodlanması.....	55
5.3 Deney Düzeneneğinin Hazırlanması ve Kullanılan Cihazlar .....	57
5.4 Yalın Model Tuğla Duvarların Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler .....	58
5.4.1 Yalın model duvar numunelerinin kayma gerilmelerinin belirlenmesi ....	58
5.4.2 Hasarlı numunelerinin onarılması .....	64
5.5 Model Tuğla Duvar Numunelerin Güçlendirilmesi .....	64
5.5.1 Numunelerinin donatısız harç ile güçlendirilmesi (Seri 1) .....	64
5.5.2 Numunelerin çelik hasır donatılı harç ile güçlendirilmesi (Seri 2) .....	65
5.5.3 Numunelerin cam lifi tekstil donatılı harç ile güçlendirilmesi (Seri 3).....	66
5.5.4 Numunelerin bazalt mesh donatılı harç ile güçlendirilmesi (Seri 4).....	67
5.6 Güçlendirilen Numunelere Uygulanan Deneyler .....	67
5.6.1 Donatısız harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler .....	68
5.6.2 Çelik hasır donatılı harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler .....	70
5.6.3 Cam lifi tekstil donatılı harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler .....	73
5.6.4 Bazalt donatılı harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler ....	76
<b>6. DEğERLENDİRME.....</b>	<b>79</b>
6.1 Numunelerin Kırılma Yüklerinin Değerlendirilmesi .....	81
6.1.1 Hasarsız numunelerinin kırılma yüklerinin değerlendirilmesi.....	81
6.1.2 Hasarlı numunelerin kırılma yüklerinin değerlendirilmesi .....	82
6.2 Numunelerin Kayma Gerilmelerinin Değerlendirilmesi .....	84
6.2.1 Hasarsız numunelerin kayma gerilmelerinin değerlendirilmesi.....	84
6.2.2 Hasarlı numunelerin kayma gerilmelerinin değerlendirilmesi.....	85
6.3 Numunelerin Düşey Şekil Değiştirmelerinin Değerlendirilmesi .....	87
6.3.1 Hasarsız numunelerin düşey şekil değiştirmelerinin değerlendirilmesi....	87
6.3.2 Hasarlı numunelerin düşey şekil değiştirmelerinin değerlendirilmesi .....	89
6.4 Numunelerin Göçme Biçimlerinin değerlendirilmesi .....	91
6.4.1 Yalın numunelerin göçme biçimleri.....	91
6.4.2 Donatısız harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri .....	91
6.4.3 Çelik hasır donatılı harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri.....	92

6.4.4 Cam lifi tekstil donatılı harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri.....	94
6.4.5 Bazalt mesh tekstil donatılı harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri.....	96
<b>7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>99</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>103</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>107</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>113</b>





## **KISALTMALAR**

<b>ASTM</b>	: The American Society for Testing and Materials
<b>FRP</b>	: Fibre Reinforced Polymer
<b>GFRP</b>	: Glass Fiber Reinforced Polymer
<b>KYB</b>	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
<b>NHL</b>	: Doğal hidrolik kireç
<b>TRM</b>	: Textile Reinforced Mortars
<b>TS</b>	: Türk Standartları Enstitüsü



## SEMBOLLER

$Ab$	: Atmosfer basıncı altında kütlege su emme değeri
$Ah$	: Atmosfer basıncı altında hacimce su emme değeri
$A_n$	: Net kesit alanı
$b$	: Prizmatik numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu
$F$	: Uygulanan maksimum yük miktarı
$h$	: Dikey uzunluk
$l$	: Uzunluk
$m$	: Ağırlık
$N$	: Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı
$P$	: Uygulanan yük miktarı
$\rho_b$	: Birim hacim ağırlık değeri
$\rho_r$	: Özgül ağırlık değeri
$R_c$	: Basınç dayanım değeri
$R_f$	: Eğilme dayanım değeri
$S_s$	: Kayma gerilmesi
$t$	: Zaman
$V$	: Hacim
$w$	: Yatay uzunluk
$\varepsilon$	: Şekil değiştirme



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> : Tarihi örgü ve sıva harçları literatür tablosu. ....	<b>11</b>
<b>Çizelge 3.1</b> : Doğal hidrolik kireçlerin (NHL) standart basınç dayanım değerleri. ..	<b>34</b>
<b>Çizelge 3.2</b> : Puzolanik aktivite deneyi malzeme miktarları (TS 25, 2008). ....	<b>35</b>
<b>Çizelge 3.3</b> : Puzolanik aktivite deneyi için hesaplanan malzeme miktarları. ....	<b>35</b>
<b>Çizelge 4.1</b> : Tasarlanan harç serileri. ....	<b>38</b>
<b>Çizelge 4.2</b> : Farklı harçlar için belirlenen yayılma değerleri (TS EN 1015-2, 2000) .....	<b>39</b>
<b>Çizelge 4.3</b> : Harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı değerleri. ....	<b>41</b>
<b>Çizelge 4.4</b> : Örgü ve güçlendirme harcının hesaplanan basınç ve eğilme dayanımı değerleri. ....	<b>47</b>
<b>Çizelge 4.5</b> : Harçların kopma yükleri. ....	<b>48</b>
<b>Çizelge 5.1</b> : Model tuğla duvarların kodları. ....	<b>56</b>
<b>Çizelge 5.2</b> : Yalın model tuğla duvarların mekanik özellikleri. ....	<b>60</b>
<b>Çizelge 5.3</b> : Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri. ....	<b>68</b>
<b>Çizelge 5.4</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri. ....	<b>70</b>
<b>Çizelge 5.5</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri. ....	<b>73</b>
<b>Çizelge 5.6</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri. ....	<b>76</b>
<b>Çizelge 6.1</b> : Güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri. ....	<b>80</b>
<b>Çizelge 6.2</b> : Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kırılma yükleri. ....	<b>81</b>
<b>Çizelge 6.3</b> : Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri. ....	<b>82</b>
<b>Çizelge 6.4</b> : Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kayma gerilmeleri. ....	<b>84</b>
<b>Çizelge 6.5</b> : Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kayma gerilmeleri. ....	<b>86</b>
<b>Çizelge 6.6</b> : Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri. ....	<b>87</b>
<b>Çizelge 6.7</b> : Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri. ....	<b>89</b>
<b>Çizelge A.1</b> : Harman tuğlasının kılcal etkiye bağlı su emme tablosu. ....	<b>107</b>
<b>Çizelge A.2</b> : Tuğla numunelerin atmosfer basıncında su emme tablosu. ....	<b>107</b>
<b>Çizelge A.3</b> : Tuğla numunelerin basınç dayanımı tablosu. ....	<b>107</b>
<b>Çizelge A.4</b> : Tuğla kırığı agrega tane boyut dağılımı. ....	<b>108</b>
<b>Çizelge A.5</b> : Dere kumu agrega tane boyut dağılımı. ....	<b>108</b>
<b>Çizelge A.6</b> : Örgü harcı agrega tane boyut dağılımı. ....	<b>108</b>
<b>Çizelge A.7</b> : Güçlendirme harcı agrega tane boyut dağılımı. ....	<b>108</b>
<b>Çizelge A.8</b> : Puzolnik aktivite deney sonuçları. ....	<b>108</b>
<b>Çizelge A.9</b> : Harçların 7 günlük basınç ve eğilme dayanımı tablosu. ....	<b>109</b>

<b>Çizelge A.10</b> : Harçların 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı tablosu.....	<b>110</b>
<b>Çizelge A.11</b> : Örgü harcı numunelerinin kılcal etkiye bağlı su emme tablosu. ....	<b>111</b>
<b>Çizelge A.12</b> : Güçlendirme harcı numunelerinin kılcal etkiye bağlı su emme tablosu. ....	<b>111</b>
<b>Çizelge A.13</b> : Örgü harcı numunelerin atmosfer basıncı altında su emme tablosu .....	<b>112</b>
<b>Çizelge A.14</b> : Güçlendirme harcı numunelerin atmosfer basıncı altında su emme tablosu. ....	<b>112</b>
<b>Çizelge A.15</b> : Örgü ve güçlendirme harçlarının basınç ve eğilme dayanımı tablosu. ....	<b>112</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Diyagonal basınç deneyi uygulaması (Shabdin ve diğ, 2018). .....	16
Şekil 2.2 : Diyagonal basınç deneyi uygulanmış yalın duvar numuneleri (Mustafaraj ve Yardım, 2017). .....	17
Şekil 2.3 : Diyagonal basınç deneyi uygulanan güçlendirilmiş tuğla duvar numuneleri (Mustafaraj ve Yardım, 2017). .....	18
Şekil 2.4 : Yalın tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulaması (Yardım ve Lalaj, 2016).....	19
Şekil 2.5 : TRM ile çift taraflı güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması(Yardım ve Lalaj, 2016). .....	19
Şekil 2.6 : TRM ile tek taraflı güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardım ve Lalaj, 2016). .....	20
Şekil 2.7 : Ferrocement harç ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardım ve Lalaj, 2016). .....	20
Şekil 2.8 : Polipropilen katkı harç ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardım ve Lalaj, 2016). .....	20
Şekil 3.1 : Harman tuğlasına kılcal etkiye bağlı su emme deneyinin uygulanması. .	26
Şekil 3.2 : Harman tuğlasının kılcal etkiye bağlı su emme grafiği.....	26
Şekil 3.3 : Atmosfer basıncında su emme deneyinin uygulanması. ....	27
Şekil 3.4 : Basınç dayanım deneyi uygulanması. ....	29
Şekil 3.5 : Tuğla kırığı granülometri eğrisi. ....	32
Şekil 3.6 : Dere kumu granülometri eğrisi.....	32
Şekil 3.7 : Örgü harcı granülometri eğrisi .....	33
Şekil 3.8 : Güçlendirme harcı granülometri eğrisi .....	33
Şekil 4.1 : Örgü harcına yayılma deneyi uygulanması. ....	39
Şekil 4.2 : Güçlendirme harcına yayılma deneyi uygulanması. ....	39
Şekil 4.3 : Örgü ve Güçlendirme harçlarının kalıplanması. ....	40
Şekil 4.4 : Eğilme ve basınç dayanım deneyi uygulaması.....	40
Şekil 4.5 : Üretilen harç numunelerinin kesitleri.....	42
Şekil 4.6 : Harçlara kılcal etkiye bağlı su emme deneyinin uygulanması. ....	43
Şekil 4.7 : Örgü harcının kılcal etkiye bağlı su emme grafiği. ....	44
Şekil 4.8 : Güçlendirme harcının kılcal etkiye bağlı su emme grafiği. ....	44
Şekil 4.9 : Harç numunelerine atmosfer basıncı altında su emme deneyinin uygulanması. ....	45
Şekil 4.10 : Eğilme deneyinin uygulanması. ....	46
Şekil 4.11 : Basınç dayanım deneyinin uygulanması. ....	47
Şekil 4.12 : Harçlara çekme deneyi uygulanması.....	48
Şekil 4.13 : Aderans deneyi uygulanan harçlarda meydana gelen kopma biçimleri. ....	49
Şekil 5.1 : Deney programı. ....	54
Şekil 5.2 : Elmas testere ile kesilen model tuğlalar .....	55
Şekil 5.3 : Üretilen model tuğla duvarlar.....	55

<b>Şekil 5.4</b> : Deneilerin gerçekleştirildiği cihaz. ....	<b>57</b>
<b>Şekil 5.5</b> : Ekstansometre.....	<b>57</b>
<b>Şekil 5.6</b> : Yalın model tuğla duvarlara diyagonal basınç deneyi uygulanması. ....	<b>58</b>
<b>Şekil 5.7</b> : Numunelerin net kesit alanı kesabında kullanılan ölçüler.....	<b>59</b>
<b>Şekil 5.8</b> : Numunelerin yer değiştirme ölçümünün yapıldığı dikey uzunluk. ....	<b>59</b>
<b>Şekil 5.9</b> : Yalın model tuğla duvarların (Seri 2) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ..	<b>61</b>
<b>Şekil 5.10</b> : Yalın model tuğla duvarların (Seri 2) kırılma şekilleri. ....	<b>61</b>
<b>Şekil 5.11</b> : Yalın model tuğla duvarların (Seri 3) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>62</b>
<b>Şekil 5.12</b> : Yalın model tuğla duvarların (Seri 3) kırılma şekilleri. ....	<b>62</b>
<b>Şekil 5.13</b> : Yalın model tuğla duvarların (Seri 4) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>63</b>
<b>Şekil 5.14</b> : Yalın model tuğla duvarların (Seri 4) kırılma şekilleri. ....	<b>63</b>
<b>Şekil 5.15</b> : Diyagonal basınç deneyi sonucunda hasar gören yalın tuğla duvar.....	<b>64</b>
<b>Şekil 5.16</b> : Hasarlı model tuğla duvarların enjeksiyon harcı ile onarılması. ....	<b>64</b>
<b>Şekil 5.17</b> : Model tuğla duvarların kalıplanması.....	<b>65</b>
<b>Şekil 5.18</b> : Model tuğla duvarların donatısız horasan harcı ile güçlendirilmesi. ....	<b>65</b>
<b>Şekil 5.19</b> : Çelik hasır donatıların model tuğla duvarlara ankrajlanması. ....	<b>66</b>
<b>Şekil 5.20</b> : Model tuğla duvarların cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesi. ....	<b>66</b>
<b>Şekil 5.21</b> : Model tuğla duvarların bazalt mesh donatılı harç ile güçlendirilmesi. ..	<b>67</b>
<b>Şekil 5.22</b> : Donatısız harç ile tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara diyagonal basınç deneyi uygulanması. ....	<b>68</b>
<b>Şekil 5.23</b> : Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarın (Seri 1) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>69</b>
<b>Şekil 5.24</b> : Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların (Seri 1) kırılma şekilleri. ....	<b>69</b>
<b>Şekil 5.25</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlara diyagonal basınç deneyi uygulanması. ....	<b>70</b>
<b>Şekil 5.26</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 2) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>71</b>
<b>Şekil 5.27</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 2) kırılma şekilleri. ....	<b>71</b>
<b>Şekil 5.28</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 2) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>72</b>
<b>Şekil 5.29</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 2) kırılma şekilleri. ....	<b>72</b>
<b>Şekil 5.30</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlara diyagonal basınç deneyi uygulanması. ....	<b>73</b>
<b>Şekil 5.31</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model duvarların (Seri 3) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>74</b>
<b>Şekil 5.32</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 3) kırılma şekilleri.....	<b>74</b>
<b>Şekil 5.33</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 3) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>75</b>
<b>Şekil 5.34</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 3) kırılma şekilleri.....	<b>75</b>
<b>Şekil 5.35</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarlara (Seri 4) diyagonal basınç deneyi uygulanması. ....	<b>76</b>

<b>Şekil 5.36</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 4) gerilme-şekil değiştirme eğrisi. ....	<b>77</b>
<b>Şekil 5.37</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların ( Seri 4) kırılma şekli. ....	<b>77</b>
<b>Şekil 5.38</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 4) gerilme-şekil değiştirme grafiği. ....	<b>78</b>
<b>Şekil 5.39</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 4) kırılma şekilleri. ....	<b>78</b>
<b>Şekil 6.1</b> : Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kırılma yüklerinin karşılaştırılması. ....	<b>82</b>
<b>Şekil 6.2</b> : Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yüklerinin karşılaştırılması. ....	<b>83</b>
<b>Şekil 6.3</b> : Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kayma gerilmelerinin karşılaştırılması. ....	<b>85</b>
<b>Şekil 6.4</b> : Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kayma gerilmelerinin karşılaştırılması. ....	<b>86</b>
<b>Şekil 6.5</b> : Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>88</b>
<b>Şekil 6.6</b> : Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması.....	<b>90</b>
<b>Şekil 6.7</b> : Yalın model tuğla duvarın göçme şekli.....	<b>91</b>
<b>Şekil 6.8</b> : Donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.....	<b>91</b>
<b>Şekil 6.9</b> : Donatısız horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.....	<b>92</b>
<b>Şekil 6.10</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.....	<b>92</b>
<b>Şekil 6.11</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.....	<b>93</b>
<b>Şekil 6.12</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.....	<b>93</b>
<b>Şekil 6.13</b> : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.....	<b>94</b>
<b>Şekil 6.14</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>94</b>
<b>Şekil 6.15</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>95</b>
<b>Şekil 6.16</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>95</b>
<b>Şekil 6.17</b> : Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>96</b>
<b>Şekil 6.18</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>96</b>
<b>Şekil 6.19</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>97</b>
<b>Şekil 6.20</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>97</b>
<b>Şekil 6.21</b> : Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların göçme şekli.....	<b>98</b>



## **TARİHİ YAPILARDA TUĞLA DUVARLARIN ÇELİK HASIR VE TEKSTİL DONATILI HORASAN HARCİ İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Tarihi yapıların özgün malzeme özelliklerinin korunması ve orijinal özellikleri ile gelecek nesillere aktarılması oldukça önemlidir. Tarihi yapıların onarımı ve güçlendirilmesinde yanlış malzeme ve tekniklerin kullanılması yapılara geri dönüşü olmayan zararlar verebilmektedir. Bu nedenle tarihi yapıların onarım ve güçlendirme uygulamalarında yapıların özgün malzemeleri ile fiziksel, kimyasal, mekanik ve estetik açılardan uyumlu malzemeler kullanılmalı ve doğru güçlendirme teknikleri tercih edilmelidir.

Tarihi yapıların tuğla duvarlarında genellikle örgü ve sıva harcı olarak horasan harcı ve sıvası kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada tarihi yapıların tuğla duvarlarına benzer özellikte üretilen model tuğla duvarların tekstil ve çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneysel çalışmada ilk olarak model tuğla duvarların üretiminde kullanılacak örgü harcının ve üretilen numunelerin güçlendirilmesinde kullanılacak sıva harcının karışım oranlarını belirlemek için 4 seri harç numunesi üretilmiştir. Harçların üretiminde agrega olarak tuğla kırığı ve dere kumu, bağlayıcı olarak hidrolik kireç ve tras (doğal puzolan) kullanılmıştır. Örgü harcının bağlayıcı:agrega oranları belirlenirken üretilen harç numuneleri, tarihi yapıların harç özelliklerini yansıtacak ve düşük basınç dayanımına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Güçlendirme harcının bağlayıcı:agrega oranları belirlenirken tarihi yapıların orijinal malzemeleri ile uyumlu, örgü harcına göre yüksek basınç dayanımına sahip olacak şekilde harç serileri tasarlanmıştır.

Tasarlanan harç serilerinde harçların agrega tane boyut dağılımları, bağlayıcı:agrega oranları ve kür koşulları farklılaştırılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre:

- Üretilen harç karışımlarında kullanılan agregaların tane boyut dağılımlarının harçların mekanik dayanımlarını etkilediği görülmüştür.
- Üretilen harç karışımlarının bağlayıcı:agrega oranlarının farklılaştırılmasıyla harçların mekanik dayanımlarının değiştiği belirlenmiştir.
- Üretilen harçların zaman içerisinde mekanik dayanımlarının arttığı belirlenmiştir.
- Yüksek bağıl nem ve yüksek sıcaklığın üretilen harçların mekanik dayanımlarını önemli oranda artırdığı görülmüştür.
- Harçların üretildikten sonraki ilk günlerde su ile nemlendirilmesinin mekanik dayanımlarına olumlu katkıda bulunduğu görülmüştür.

Deneyisel çalışmada kullanılan harç karışım oranlarının belirlenmesinin ardından, 20 cm x 20 cm ebatlarında model tuğla duvarlar üretilmiştir. Üretilen model tuğla duvarlar tekstil ve çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilmiştir. Çalışma kapsamında tuğla duvarların güçlendirilmesinde incelenen değişkenler: Hasarlı ve hasarsız duvarların güçlendirilmesi, duvarların tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilmesi ile güçlendirmede kullanılan donatı türüdür.

Araştırmada yalın ve güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri diyagonal basınç deneyi ile belirlenmiş ve güçlendirme uygulamalarının etkinliği karşılaştırılmıştır. Model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi ile duvarların kırılma yükleri, kayma gerilmeleri, düşey şekil değiştirmeleri ve göçme biçimi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre:

- Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların kırılma yüklerinin, kayma gerilmelerinin ve düşey şekil değiştirmelerinin yalın ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarların kırılma yüklerinin, kayma gerilmelerinin ve düşey şekil değiştirmelerinin tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numunelerden çelik hasır donatı ile güçlendirilen numunelerin kırılma yüklerinin ve kayma gerilmelerinin en yüksek, bazalt mesh donatı ile güçlendirilen numunelerin ise kayma gerilmelerinin ve kırılma yüklerinin en az olduğu belirlenmiştir.
- Cam lifi ve bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numunelerin çelik hasır ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilen numunelere göre düşey şekil değiştirmelerinin daha fazla olduğu ve daha sünek bir davranış gösterdikleri belirlenmiştir.
- Yalın ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvar numuneleri ani bir şekilde göçmeye uğramışlardır.
- Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların göçme şekilleri donatısız horasan harcı ile güçlendirilen ve yalın haldeki model duvarlara göre daha sünek bir şekilde gerçekleşmiştir.
- Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimlerinde donatı türü oldukça etkili olmuştur. Çelik hasır donatılı ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlarda kırılmaların ani bir şekilde, cam lifi veya bazalt donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlardaki kırılmaların daha sünek bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür.
- Bazalt donatı kullanılarak güçlendirilen model tuğla duvarlarda bazalt mesh ile güçlendirme harcı arasındaki aderansın diğer numunelere göre daha zayıf olduğu ve donatı ile harcın yüklemenin erken evrelerinde ayrılmaya başladığı görülmüştür.

# **AN EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF TEXTILE AND WIRE REINFORCED HORASAN MORTAR STRENGTHENING OF BRICK WALLS IN HISTORICAL BUILDINGS**

## **SUMMARY**

It is quite important that original material properties of historical buildings are protected and passed to the next generations. Original material properties of historical buildings can be harmed irreversibly by wrong material choices in interventions aiming at strengthening of these buildings. Therefore, proper strengthening techniques should be preferred and the materials used in interventions to historical buildings need to be in harmony with the original materials of the building with respect to physical, chemical, mechanical and aesthetical aspects.

It is known that horasan plaster and horasan mortar are used as binder and plaster in brick walls of historical buildings. In this study, we first built model brick walls similar to the brick walls of historical buildings by using materials compatible with the original materials of those historical brick walls. Then, we conducted experiments investigating the reinforcement of these model brick walls with textile and wire reinforced Horasan mortar

First of all, an investigation to determine the mortars which will be used in the study was made. In the production of the mortars, brick ballast and river sand were used as aggregate, hydraulic lime and trass (natural puzzolana) were used as binder. Four series of mortar samples were constructed to determine the joint mortar which would be used in the construction of the model brick walls and the plaster mortar which would be used in the strengthening of the model brick walls constructed. While determining the binder:aggregate ratios of the joint mortar, the sample mortars produced were designed to represent the mortar properties of the historical buildings and to have low compression strength. While determining the binder:aggregate ratios of the plaster mortar which would be used to strengthen the model brick walls produced, mortar series were designed to be compatible with the original materials of historical buildings and to have high pressure endurance.

In the mortar series designed, different binder:aggregate ratios by volume were tried. As to the mortars within the same series, binder: aggregate ratios by volume and water amount by mass were kept fixed. The aggregate particle size distributions and hydraulic lime:trass ratios of the mortars within the same series were made different. Compression and bending tests were conducted on the constructed mortar samples after the samples had awaited for either 7 days in a curing oven at high relative humidity, or 28 days or 90 days in ambient conditions. Unlike joint mortar samples, plaster mortar samples had awaited for 7 days in ambient conditions in closed polyethylene bags and cured with the samples own humidity. Later, these plaster mortar samples were taken out of the bags and had awaited in ambient conditions for 21 days. Then, compression and bending strength of these samples were determined.

Furthermore, the samples which were humidified for 7 days in ambient conditions had, then, awaited in ambient conditions for 28 or 90 days. Then, compression and bending tests were applied to these samples. According to the results of these tests:

- It was seen that determined that the grain size distribution of the aggregates used in mortar admixtures is an important factor in mechanical strength of the mortar.
- It was determined that the mechanical strength of mortars changes as the binder: aggregate ratios of the admixture differ.
- All of the natural puzzolana which were used as binders had binder effects. Some of these had thin aggregate impact.
- It was determined that the mechanical strength of the mortars increases with the increase in awaiting time with time
- It was seen that high relative humidity and high temperature significantly increases the mechanical strength of the mortars.
- It was seen that humidifying the mortar with water in the first days of its application contributes to the mechanical strength of the mortar.

In the experimental study, 42 model brick walls were constructed. The bricks used in the construction of these model brick walls were clay bricks. These bricks were cut in 9.5 cm x 4.5 cm x 2.5 cm dimensions, out of bricks the dimensions of which were 19 cm x 9 cm x 5 cm. The mortar used in the construction was horasan mortar with 1 cm thickness. The size of the model brick walls were determined to be 20 cm x 20 cm so that they fit into the machine into which the model brick walls would be loaded. While the plaster mortar used in strengthening the model brick walls was the same in all samples, the reinforcement type applied together with the mortar differed from sample to sample. Model brick walls were grouped into 4 series according to the reinforcement type used:

- Strengthening with plain mortar (Series 1)
- Strengthening with steel-mesh reinforced mortar (Series 2)
- Strengthening with glass-fiber textile reinforced mortar (Series 3)
- Strengthening with basalt mesh reinforced mortar (Series 4)

The variables investigated in the series:

- Damaged or non-damaged strengthening of the samples
- One-sided or two-sided strengthening of the samples
- Type of the reinforcement used in the samples

In series 1, the strengthening was done by using only plain plaster mortar, without adding a reinforcement. Non-damaged wall samples were investigated by strengthening them one-sidedly or two-sidedly. Series 2, Series 3, and Series 4, each of which had 12 samples, were strengthened one-sidedly or two-sidedly, and they had been damaged or non-damaged. The samples which were damaged following diagonal load application were strengthened after they were repaired by using natural-hydraulic-lime based injection mortar. 42 strengthened wall samples awaited in laboratory conditions for 90 days. Then, uniaxial compression tests were applied to these walls

after the walls were placed into the loading axis with an angle of 45 degrees. Co-evaluation of the horizontal and the vertical loads the samples were exposed to was ensured by using uniaxial compression loads applied onto the samples. For each variable investigated in the study, three model brick wall samples were tested.

With the diagonal compression test applied to the model brick walls, the ultimate loads, shear stresses, vertical deformation capacities, and failure modes of the walls were determined. Mechanical properties of the samples were evaluated in two different ways according to the results. Firstly, breaking loads of the non-damaged model brick walls which were strengthened non-damagedly were investigated. The results of these were compared with the results of the 18 model brick wall samples the plain versions of which were tested. Efficiencies of the strengthening applications were compared. Secondly, the damaged model brick walls were strengthened and the efficiencies of these strengthening applications were compared with their initial states. According to the results:

- It has been determined that the ultimate loads, shear stresses and deformation capacities of brick walls with fiber reinforced mortar are higher than other model brick walls
- It has been determined that the ultimate loads, shear stresses and deformation capacities of two sided reinforced model brick walls are higher than one sided reinforced model brick walls.
- Among the walls which were reinforced with reinforced mortar, ultimate load and shear stress were found to be the highest in the walls which were reinforced with wire mesh reinforced mortar, and lowest in specimens which were reinforced with basalt fiber reinforced mortar.
- Glass fiber and basalt fiber reinforced mortar specimens were found to be more ductile than other reinforced specimen.
- The model brick wall samples plain or reinforced with mortar failed abruptly.
- The failure in the model brick walls which were reinforced with fiber reinforced mortar was more ductile than the failure in the model brick walls which were plain or reinforced with mortar.
- The mesh type was found to be quite influential on the failure modes of the specimens which were reinforced with fiber reinforced mortar. It has been observed that in the model brick walls which were reinforced with mortar and wire fiber reinforced mortar, the failure occurred abruptly while in the model brick walls reinforced with glass fiber reinforced mortar or basalt reinforced mortar the failure occurred in more ductile ways.
- The adherence between the fiber and the mortar in the walls was found to be less in the walls which were reinforced with basalt reinforced mortar than those in the walls which were reinforced with glass fiber or wire reinforced mortar. Moreover, it has been observed that in the model brick walls reinforced with basalt reinforced mortar, the fibers and the mortar started to debond in the early phases of weight loading



## 1. GİRİŞ

Ülkemizde bulunan tarihi yığma yapı stoğunun büyük çoğunluğu taşıyıcı tuğla duvarlardan oluşmaktadır. Tarihi yığma yapıların taşıyıcı tuğla duvarlarında zaman içerisinde meydana gelen bozulmalar ve hasarlar yapısal müdahalelerin uygulanmasını zorunlu hale getirmektedir. Tarihi yapıların yıkılmasını önlemek amacıyla gerçekleştirilen acil müdahaleler dışında uygulanacak yapısal müdahalelerin fayda ve zararları dikkatlice değerlendirilmelidir. Ayrıca tarihi yapılara zorunlu olduğu kanıtlanmayan hiçbir yapısal müdahale uygulanmamalıdır.

Tarihi yapıların taşıyıcı sistemlerini sağlamlaştırmak amacıyla uygulanan müdahalelerde, yanlış malzeme kullanımı ile yapıların özgün malzeme özelliklerine geri dönüşümü olmayacak zararlar verilebilmektedir. Tarihi yapıları gelecek nesillere orijinal özellikleri ile doğru bir şekilde aktarabilmek için uygulanan müdahalelerde yapıların özgün malzemeleriyle fiziksel, kimyasal, mekanik ve estetik açılarından uyumlu malzemeler tercih edilmelidir. Tarihi yapılara uygulanacak güçlendirme teknikleri geri dönüşe uygun olmalı, yeni bilgiler edinildiğinde ve yeni teknikler geliştirildiğinde, mevcut güçlendirmenin daha uygun olan yöntemlerle değiştirilmesine olanak tanınmalıdır.

Tarihi yapılara ait taşıyıcı tuğla duvarların güçlendirilmesinde çimento enjeksiyonu, epoksi enjeksiyonu, doğal hidrolik kireç esaslı harçların enjeksiyonu, çimento harçları, kendiliğinden yerleşen beton, püskürtme beton, betonarme elemanlar, çelik elemanlar ve çelik profiller ile güçlendirme tekniklerinin yanı sıra FRP kompozit elemanlar ile çağdaş güçlendirme teknikleri uygulanmaktadır. Özellikle son dönemlerde tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılan FRP kompozitler ile birlikte kullanılan epoksi bağlayıcıların yangın etkilerine karşı dayanıksız olması, buhar geçirgenliğinin düşük olması, orijinal yapı malzemesine zarar vermesi ve maliyetinin yüksek olması gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu nedenlerden dolayı epoksi bağlayıcıların kullanıldığı FRP ile güçlendirme uygulamaları yerini tekstil donatılı harçlar ile güçlendirme (TRM) uygulamalarına bırakmaktadır. Tekstil donatılı harç ile gerçekleştirilen güçlendirme uygulamalarında yüksek mukavemetli harç elde edilmesi

amacıyla çimento ve kimyasal katkı harçlar kullanılmaktadır. Bu harçların kullanımı tarihi yapıların orijinal harç özelliklerine zarar vermektedir. Bu nedenle tekstil donatılı harç ile güçlendirme uygulamalarında tarihi yapıların özgün harçları ile uyumlu kireç harçları tercih edilmelidir.

### **1.1 Çalışmanın Amacı**

Tarihi yapıların güçlendirilmesinde yapıların orijinal özelliklerine hasar verici nitelikte malzemelerin kullanımı ve geri dönüşü olmayan güçlendirme tekniklerinin uygulanması yerine organik özellikteki harçların ve geri dönülebilir tekniklerin kullanılması amaçlanmaktadır.

Tarihi tuğla duvarların onarımı ve güçlendirilmesinde kullanılacak harçlar yapıların özgün harçları ile uyumlu olmalıdır. Tarihi yapılarda genellikle örgü ve sıva harcı olarak horasan harcı ve sıvası kullanıldığı bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada tarihi tuğla duvarların özelliklerini yansıtan model tuğla duvarların donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesi deneysel olarak araştırılmaktadır.

### **1.2 Çalışmanın Yöntemi**

Yapılan araştırma deneysel yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada uygulanan yöntemler sırasıyla şunlardır:

- Literatürde bulunan taşıyıcı tuğla duvarların donatılı harç ile güçlendirilmesine yönelik gerçekleştirilen deneysel çalışmaların incelenmesi,
- Literatürde bulunan tarihi yapılardan alınan harç örneklerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini inceleyen deneysel çalışmaların incelenmesi,
- Deneysel çalışmada kullanılacak malzemelerin özelliklerinin belirlenmesine yönelik ön deneylerin gerçekleştirilmesi,
- Deneysel çalışmada test edilen model tuğla duvarların üretiminde ve güçlendirilmesinde kullanılan örgü ve güçlendirme harçlarının belirlenmesine ve üretilmesine yönelik deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi,
- Model tuğla duvarların üretilmesi ve güçlendirilmesi,

- Model tuğla duvarların yalın ve güçlendirilmiş hallerinin mekanik özelliklerinin diyagonal basınç deneyi ile belirlenmesi.

### 1.3 Çalışmanın Kapsamı

Deneysel araştırma ağaidaki maddeler kapsamında gerçekleştirilmiştir:

- Tarihi yapıların harçları ile uyumlu örgü ve güçlendirme harçlarının üretilmesi,
- Tarihi yapıların taşıyıcı tuğla duvarlarına benzer özelliklerde model tuğla duvarların üretilmesi,
- Üretilen model tuğla duvarların yalın haldeki mekanik özelliklerinin diyagonal basınç deneyi ile belirlenmesi,
- Model tuğla duvarların donatısız harç, çelik hasır donatılı harç, cam lifi tekstil donatılı harç ve bazalt mesh donatılı harç ile güçlendirilmesi ve güçlendirilen numunelerin mekanik özelliklerinin diyagonal basınç deneyi ile belirlenerek elde edilen sonuçların kıyaslanması,
- Model tuğla duvarların tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilmesinin karşılaştırılması,
- Hasar verilen model tuğla duvarların doğal hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ile onarıldıktan sonra güçlendirilmesi ve güçlendirilmiş hallerinin mekanik özelliklerinin yalın hallerinin mekanik özellikleri ile karşılaştırılmasıdır.



## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

### 2.1 Horasan Harçlarının Özellikleri

Tuğla, kiremit, çömlek vb. kil ürünlerinin kırılması ve öğütülerek toz haline getirilmesiyle elde edilen pişmiş kile “Horasan” denilmektedir. Horasan harcı ise horasan, söndürülmüş kireç ve kimi zaman da kum eklenerek yapılan bir harçtır. Bazı horasan harcı karışımlarında nohut büyüklüğünde iri tuğla kırıkları kullanılmıştır. İri horasan kullanılarak üretilen bu harçlar “Horasan Betonu” olarak adlandırılmıştır (Akman ve diğ, 1986).

Horasan harçları kullanılan agregaların puzolanik özellikte olmaları nedeniyle hidrolik özellik gösterirler. Puzolanik agregalar doğal ve yapay agregalar olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal puzolanlar volkanik küllerden, yapay puzolanlar ise pişmiş toprak malzemelerinden elde edilen agregalardan oluşmaktadır. Tuğla kırığı yapay bir puzolan olup kireç ile karıştırılarak Bizans, Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde, hamamlarda, su sarnıçlarında, su kanallarında, duvarlar ve kubbelerde kullanılmıştır. 15.yy’dan sonra Osmanlı Dönemi’nde köprülerde, yapı temellerinde, cami inşaatlarında sıklıkla kullanıldığı belirlenmiştir (Akman ve diğ, 1986; Böke ve Toprak, 2011).

Horasan zayıf asidik özellik gösteren kimyasal aktivite kazanmış silistir ( $SiO_2$ ). Horasanın kuvvetli bazik özellik gösteren kireç ile yaptığı reaksiyon sonucunda suda çözünmeyen kalsiyum silikat tuzu oluşur. Meydana gelen bu reaksiyon puzolanik aktivite olarak adlandırılır. Ortamın nemli oluşu bu reaksiyonun hızlanmasına sebep olur. Puzolanik reaksiyonun etkili bir şekilde gerçekleşebilmesi için silisin aktif ve ince taneli olması önemlidir (Akman ve diğ, 1986). Tuğla kırığı agregaların amorf yapıları kireç ile etkileşime girerek harca dayanım kazandıran kalsiyum silikat hidratları ve kalsiyum alüminat hidratları oluştururlar. Bu reaksiyon kullanılan agregaların puzolanik özellikte olduğunu göstermektedir. Benzer mineralojik özellik gösteren agregalardan ince taneli olan agregalar iri taneli agregalara göre daha iyi puzolanik aktivite gösterirler. İnce taneli agregaların açılı ve keskin uçlu yapıları

sayesinde kireç ile daha fazla bağlanarak hidrolik ürün oluşmasını sağlarlar (Çizer ve diğ, 2004; Böke ve diğ, 2004).

Horasan harçları hidrolik özelliğe sahip olmaları nedeniyle su ve neme karşı dayanıklıdır. Ayrıca hidrolik özellik göstermeyen harçlara göre daha yüksek mekanik özellik gösterirler. Sürekli su ve yoğun nem ile temas halinde olan hamam yapılarının sıvalarında bulunan kalkerleşmiş kireç ( $\text{CaCO}_3$ ) su ile çözünerek yeniden çökmektedir. Bu esnada sıva ayrışmasına rağmen yapısındaki kalsiyum karbonatın çökmesiyle sıvada kopmalar gerçekleşmemekte ve sıvaların dağılmasını engellemektedir. Bu özellikleri sayesinde horasan harçları ıslak mekanlarda kullanım için oldukça uygun malzemeler olmuşlardır (Böke ve diğ, 2004; Çizer ve diğ, 2004).

Kireç, bağlayıcı olarak kullanılan en eski malzemelerden biridir. Kireç, kireç taşının çeşitli derecelerde ( $850-1400^\circ\text{C}$ ) pişirilmesi ile elde edilen havada ve suda katılaşabilen inorganik bir bağlayıcıdır. İçerisinde bulunan kil miktarına göre havada katılaşma özelliği gösteren hava kireci (yağlı kireç) ile hem hava hem de suda katılaşma özelliği gösteren su kireci (hidrolik kireç) olarak ikiye ayrılırlar. Eski Mısır, Babil, Finike, Hitit ve Persler hava kirecini yapılarda bağlayıcı malzeme olarak kullanmışlardır. Su kireci ise Romalılar Dönemi'nde bulunmuş ve su içi inşaatlarda kullanılmıştır (Eriç, 1978).

Kireç taşının ocaklardan çıkarılıp pişirilmesi sonucunda sönmemiş kireç elde edilir. Sönmemiş kireç şantiyede su ile söndürülerek kireç kaymağı veya toz haline getirilir. Kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) minerallerinden oluşan kalkerli taşın  $700-900^\circ\text{C}$  ısıtılmasıyla yapılarından  $\text{CO}_2$  gazı ayrılır ve kalsiyum oksite ( $\text{CaO}$ ) dönüşerek sönmemiş kireci oluştururlar. Sönmemiş kireç su ( $\text{H}_2\text{O}$ ) ile söndürülerek kalsiyum hidroksite ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) dönüşür ve sönmüş kireci oluştururlar. Kirecin duvar harcında kullanılması durumunda en az 1 hafta, sıva harcında kullanılması durumunda en az 3-6 hafta kuyuda bekletilmesi gerekir. Hava ve su kireçlerinin hacim artışlarının zararlı etkilerini azaltmak amacıyla kum ile karıştırılarak kullanılabilir. Hava kireçleri yapı içlerinde suya maruz kalmayan bölgelerde, su kireci ise yapı dışında ve su içinde kullanılabilirler (Eriç, 1978).

John Smeaton 1756 yılında İngiltere'de yaptığı deniz fenerinde killi bir kirecin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde ettiği hidrolik kireci kullanmıştır. Hidrolik kireçler  $125^\circ\text{C}$  de fırın sıcaklıklarına ulaşılabilmesiyle 18. yüzyılda üretilmeye ve kullanılmaya

başlanıldığı belirtilmiştir ancak bazı araştırmalarda 15. ve 16.yy hamamlarının kubbelerinde kullanılan kirecin hidrolik özellikte olduğu belirlenmiş ve o dönemin koşullarında düşük sıcaklıklarda diatomlu kireç taşı ile hidrolik kirecin üretilbileceği belirlenmiştir. Hidrolik kireç oluşumunda yüksek sıcaklıkta kil içerisinde bulunan silisin kireç ile birleşmesi neticesinde kalsiyum silikat ( $2CaO, SiO_2$ ) meydana gelir. Bu nedenle hidrolik kireçler suya dayanıklıdır ve su içerisinde katılma özelliği gösterirler (Böke ve Toprak, 2011; Eriç, 1978).

Böke ve arkadaşları Roma ve Osmanlı Dönemi'ne ait bazı yapılara ait horasan harçlarının fiziksel kimyasal ve minerolojik özelliklerini incelemiştir. Yapılan incelemeler sonucunda horasan harç ve sıvalarının hidrolik özelliklere sahip oldukları, puzolanik özelliğe sahip tuğla kırıkları ve saf kireç kullanılarak üretildikleri belirlenmiştir. Koruma amaçlı üretilen horasan harç ve sıvalarında kullanılacak tuğla kırığı agregaların kilce zengin olması, geleneksel yöntemlerle şekillendirilmesi ve düşük sıcaklıklarda ( $600-900^{\circ}C$ ) pişirilerek üretilmesi gerektiği belirtilmiştir. Roma Dönemi horasan harç ve sıvalarının kireç:tuğla agrega oranlarının 1:2-1:4 aralığında oldukları ve  $1.1-1.6 \text{ gr/cm}^3$  ortalama yoğunluk, %30-49 ortalama gözeneklilik değerlerine sahip oldukları; Osmanlı Dönemi horasan harç ve sıvalarının kireç:tuğla kırığı agrega oranlarının 1:2 ila 1.5:1 aralığında oldukları ve  $1.2-1.7 \text{ gr/cm}^3$  ortalama yoğunluk, %31-54 ortalama gözeneklilik özelliklerine sahip oldukları belirlenmiştir (Sağın ve Böke, 2010).

## **2.2 Tarihi Yapıların Orjinal Harç Özelliklerinin Araştırılması**

**Gürhan,** (2017), 15. ve 16.yy Osmanlı Dönemi'ne ait seçkin hamam yapılarından olan Eski Aydın Hamamı'nın sıva özelliklerini incelemiştir. Yapıdan alınan örnekler incelendiğinde sıvaların düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekli yapıya sahip oldukları belirlenmiştir. Sıva örneklerinin alındıkları mekana, konuma ve katmana göre farklılıkları görülmüştür. Sıvaların kireç:agrega oranları 1:2 ila 1:1 arasında değiştiği ve kullanılan agregaların puzolanik özellikte agregalar olduğu belirlenmiştir. Yapının alt kotlarına doğru çok katmanlı ve tek katmanlı horasan sıvaları, üst kotlarda ise horasan sıvası üzeri kireç sıvası veya sadece kireç sıvası kullanımı görülmüştür. Bu durum alt kotlarda yani su ile daha çok temas eden bölgelerde kullanılan harç türünün farklılaştığını göstermektedir.

**Akcan,** (2015), Urfa Harran Bölgesi'nde bulunan 6 adet tarihi yapıya ait harçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini incelemiştir. İncelenen tarihi yapılar: Şanlıurfa Kalesi, Harran Höyüğü, Harran Üniversitesi, Harran Şehir Surları, Harran Kalesi ve Harran Ulu Camiidir. İncelenen harçların bileşenlerinde dere agregası, tuğla kırığı, volkanik kül ve hayvan kılları bulunduğu belirlenmiştir. İncelenen harçların ortalama basınç dayanımlarının 5.0-5.9 MPa aralığında, ortalama yoğunluklarının 1.5-2.1 gr/cm<sup>3</sup> aralığında, ortalama boşluk yapılarının % 8.8-35.3 aralığında olduğu ve hidrolik özelliğe sahip oldukları belirlenmiştir.

**Solak,** (2015), Denizli ilinde Osmanlı Dönemi'ne ait İbade Mezarlığı'nda bulunan zaviye ve namazgah yapılarının örgü ve sıva harçlarının özelliklerini deneysel olarak incelemiştir. Yapılardan alınan harç numuneleri üzerinde yapılan deneysel incelemeler sonucunda incelenen harçların fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin benzer olduğu ve harç üretiminde bölgede bulunan yerel malzemelerin kullanıldığı belirlenmiştir. Taş duvar örümünde kullanılan harçların hidrolik özellik göstermedikleri ve harç üretiminde saf kireç ile puzolanik özellik göstermeyen agregaların kullanıldığı belirlenmiştir. Sıva harçlarının ise hidrolik özellikte harçlar olduğu ve üretiminde saf kireç ile puzolanik özellik gösteren yapay agregalar kullanıldığı belirlenmiştir. İncelenen sıva harçlarının mekanik özelliklerinin örgü harcına göre daha iyi olduğu görülmüştür. Namzgaç'ın örgü harcının ortalama basınç dayanımının 2.1 MPa, sıva harcının ortalama basınç dayanımının 3.3 MPa ve zaviyenin harç numunelerinin ortalama basınç dayanımlarının 1.3 MPa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca incelenen harçların bağlayıcı:agrega oranlarının 1:1.5 ile 1:1 arasında olduğu tesbit edilmiştir.

**Kozlu,** (2010), Kayseri bölgesinde bulunan Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Dönemi'ne ait az onarım geçirmiş 15 adet tarihi yapıdan alınan sıva harcı ve örgü harcı örneklerinin özelliklerini incelemiştir. İncelenen örneklerde bağlayıcı malzemesi olarak kireç, agrega olarak kum, tuğla ve taş kırığı ile puzolan olarak taş tozu kullanıldığı belirlenmiştir. Ayrıca bazı harçlarda lifli malzeme olarak saman ve kütük kullanıldığı görülmüştür. Örgü harçlarında 8 mm den büyük iri agregalar kullanıldığı ancak sıva harçlarında 8mm den küçük, yoğunlukla 4mm altı agregaların kullanıldığı görülmüştür.

- Bizans ve Roma Dönemleri'ne ait yapılardan alınan örgü harçlarının ortalama bağlayıcı:agrega oranının 1:4 ve ortalama basınç dayanımının 7.5 MPa olduğu,
- Bizans Dönemi'ne ait yapılardan alınan sıva harçlarının ortalama bağlayıcı:agrega oranının 1:1 olduğu,
- Selçuklu Dönemi'ne ait yapılardan alınan örgü harçlarının ortalama bağlayıcı:agrega oranının 1:3 ve ortalama basınç dayanımının 5.9 MPa olduğu,
- Selçuklu Dönemi'ne ait yapılardan alınan sıva harçlarının ortalama bağlayıcı:agrega oranının 2:2.5 olduğu,
- Osmanlı Dönemi'ne ait yapılardan alınan örgü harçlarının ortalama bağlayıcı:agrega oranının 1:2.5 ve ortalama basınç dayanımının 5.8 MPa olduğu,
- Osmanlı Dönemi'ne ait yapılardan alınan sıva harçlarının ortalama bağlayıcı:agrega oranının 2:2.5 olduğu görülmüştür.

**Kahraman**, (2008), İstanbul'da yer alan Erken Bizans Dönemi'ne ait 19 yapıdan alınan 65 adet harç örneğinin malzeme karakterizasyonlarını yapmıştır. Sonuçlara göre incelenen harç örneklerinin puzolanik katkılı hidrolik özelliğe sahip oldukları ve harç örneklerinin %52'sinin tuğla kırığı agregalardan %48'inin ise tuğla kırığı ve dere çakılı agregalardan oluştukları tespit edilmiştir. Saray yapılarından alınan harç örneklerinde 16 mm ve 8 mm boyutlarında iri agregalar bulunduğu ve diğer yapı türlerinden alınan harç örneklerine göre saray yapılarında iri agregaların daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Su yapılarından alınan örneklerin agrega tane boyut dağılımlarının ise diğer örneklere göre oldukça ince olduğu ve bu harçların suya dayanıklı sert yapıda oldukları tespit edilmiştir. Örneklerin bağlayıcı:agrega oranlarına bakıldığında saray yapıları ve dini yapılardan alınan örneklerinin bağlayıcı:agrega oranları 1:3-1:4 arasında, diğer yapılardan alınan örneklerin bağlayıcı:agrega oranlarının ise 1:2-1:3 aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Alınan harç örneklerinin basınç dayanımlarının 3-8 MPa aralığında değiştiği ve saray yapılarından alınan harç örneklerinin mekanik dayanımlarının diğer yapı türlerinden alınan örneklere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

**Topçu**, (2005), onarım amaçlı hazırlanan horasan harçlarının kireç:horasan ve su:bağlayıcı oranlarının farklılaştırılmasının harçların basınç dayanımına olan etkisi

incelenmiştir. Harçların üretiminde birim ağırlığı  $0.92 \text{ kg/dm}^3$ , özgül ağırlığı  $2.74 \text{ kg/dm}^3$  olan kireç ile birim ağırlığı  $1.21 \text{ kg/dm}^3$ , özgül ağırlığı  $2.63 \text{ kg/dm}^3$  olan ince taneli tuğla kırığı ve su kullanılmıştır. Hazırlanan harçlarda kireç:su oranlarının değiştirilmesi ile elde edilen sonuçlara göre kireç:su oranı artırıldığında elde edilen numunelerin mekanik dayanımlarının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca üretilen harçlarda bağlayıcı miktarı sabit tutulup tuğla kırığı miktarının artırılmasıyla da harçların basınç dayanımlarının arttığı belirlenmiştir.

**Çizer ve diğ.** (2004), İzmir çevresinde bulunan Osmanlı Dönemi'ne ait bazı hamamların kubbe ve duvarlarında kullanılan harçları incelemiştir. Kubbelerde kullanılan harçların tümü ve duvarlarda kullanılan harçların bazıları hidrolik özellik göstermektedir. İncelenen harçların bağlayıcı agrega oranları ağırlıkça 1:4 ila 2:3 arasında değişen oranlara sahiptir. Harçların ortalama yoğunlukları Hacimce  $1.4-1.8 \text{ gr/cm}^3$  gözeneklilikleri ise %27-%43 aralığındadır. Hidrolik özellik gösteren bazı duvar harçları ile kubbe harçlarının ortalama basınç dayanımları 10 MPa, ortalama çekme dayanımları 1 MPa'dır.

**Kılıç ve diğ.** (2004), tarihi ST.Jean Kilisesinde kullanılan horasan harçlarının özelliklerini incelemiştir. Harçlarda kullanılan tuğla kırığı agregaların düşük sıcaklıklarda pişirildikleri ve puzolanik özelliğe sahip oldukları belirlenmiştir. Kullanılan agregaların puzolanik özellikte olmalarından dolayı harçların hidrolik özellik gösterdiği görülmüştür. İncelenen harçların ortalama yoğunlukları  $1.4 \text{ gr/cm}^3$  ortalama gözeneklilik değerleri %44'dür. Harçların üretiminde %50 kireç %50 tuğla tozu kullanıldığı belirlenmiştir.

Yukarıda verilen ve tarihi yapıların harç özelliklerini belirlemeye yönelik gerçekleştirilen deneysel araştırmalardan elde edilen bilgilerin özeti Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1 : Tarihi örgü ve sıva harçları literatür tablosu.**

Dönemi	Yapıların Bulunduğu Bölge ve Yapı Türü	Bağlayıcı:Agrega Oranı	Basınç Dayanımı (MPa)
Osmanlı	Bazı hamam yapılarının kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçları (Çizer ve diğ, 2004).	1:4 ile 2:3 aralığında	5.3 ile 21.0 aralığında
Erken Bizans	Bazı saray yapıları ve dini yapılarda kullanılan horasan harçları (Kahraman, 2008).	1:3 ile 1:4 aralığında	3.0 ile 8.0 aralığında
Erken Bizans	Bazı surlar ve su yapılarında kullanılan horasan harçları (Kahraman, 2008)	1:2 ile 1:3 aralığında	3.0 ile 6.0 aralığında
Osmanlı	Bazı namazgah ve zaviye yapılarında kullanılan örgü ve sıva harçları (Solak, 2015).	2:3 ile 1:1 aralığında	1.3 ile 3.3 aralığında
Roma	Kayseri bölgesinde bulunan bazı yapıların örgü harçları (Kozlu, 2010).	1:4	7.5
Bizans	Kayseri bölgesinde bulunan bazı yapıların örgü harçları (Kozlu, 2010).	1:4	7.5
Bizans	Kayseri bölgesinde bulunan bazı yapıların sıva harçları (Kozlu, 2010).	1:1	-
Selçuklu	Kayseri bölgesinde bulunan bazı yapıların örgü harçları (Kozlu, 2010).	1:3	5.9
Selçuklu	Kayseri bölgesinde bulunan bazı yapıların sıva harçları (Kozlu, 2010).	2:2.5	-
Osmanlı	Kayseri bölgesinde bulunan bazı yapıların örgü harçları (Kozlu, 2010).	1:2.5	5.8
Osmanlı	Kayseri bölgesinde bulunan bazı yapıların sıva harçları (Kozlu, 2010).	2:2.5	-
Osmanlı	Eski Aydın Hamamı'nın sıva harçları (Gürhan, 2017).	1:2 ile 1:1 aralığında	-
-	Urfâ Harran Bölgesi'nde bulunan bazı yapıların örgü harçları (Akcan, 2015).	-	5.0 ile 5.9 aralığında

### 2.3 Tarihi Yapılara Uygulanan Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri

Tarihi yapıların tuğla duvarları, tuğla ve harçtan oluşan kompozit özellikte düşey taşıyıcı elemanlardır. Yığma yapıların tuğla duvarları basınca karşı dayanıklı olup çekmeye karşı zayıftırlar. Tuğla duvarlarda meydana gelen bozulmalar ve tahribatlar ciddi yapısal hasarlara, zaman içerisinde duvarların yapısal işlevlerini kaybetmelerine ve yıkılmalarına neden olmaktadır. Yapısal işlevlerini kaybeden hasarlı taşıyıcı tuğla duvarları sağlamlaştırmak ve güçlendirmek amacıyla strüktürel müdahaleler uygulanması gerekmektedir.

Tarihi yapılara uygulanacak yapısal müdahaleler yapının strüktürel ihtiyacına, yapılarda meydana gelen bozulmalara ve hasarlara göre belirlenmelidir. Tarihi yapılarda meydana gelen bozulmalara iklimsel nedenler, biyolojik nedenler (zamana bağlı malzeme bozulmaları), doğal afetler ve insan kaynaklı tahribatların (yapıların kullanımlarının değiştirilmesiyle taşıyıcı sistem süreksizliklerinin oluşması, yapıya ekler yapılması) malzeme ve yapı bileşenlerinde meydana getirdiği olumsuz değişimler neden olmaktadır. Bu nedenle öncelikle bozulmalara ve hasarlara neden olan etkenlerin belirlenmesi ve bu etkenlere karşı önlemlerin alınması gerekmektedir (Eyüpgiller ve Zakar, 2015).

Tarihi tuğla duvarlara uygulanan yapısal müdahaleler strüktürel ihtiyaçlara bağlı olarak duvarların hasar görmeden önceki taşıma kapasitelerine ulaştırmaya, mevcut taşıma kapasitelerini arttırmaya ve yeni elemanlar ile desteklemeye yönelik gerçekleştirilmektedir. Tarihi tuğla duvarlara uygulanan çatlak ve derz onarımları, taşıma kapasitesine ulaştırmaya yönelik uygulanan müdahale türlerindedir. Taşıma kapasitesini arttırmaya yönelik uygulanan müdahaleler genellikle tarihi yığma duvarların çekme dayanımını artırmak amacıyla gerçekleştirilmektedir. Çemberleme, gergilerle sağlamlaştırma, karbon fiberler ile güçlendirme, donatılı harçlar ile güçlendirme yöntemleri, duvarların taşıma kapasitelerini arttırmaya yönelik gerçekleştirilen uygulamalardır. Duvarların yeni elemanlar ile güçlendirilmesi, orijinal yapı elemanlarının farklı türden malzemeler ile yeni bir eleman oluşturularak desteklenmesidir. Bu yöntem tarihi yapıların orijinal özelliklerine zarar vermesi ve koruma ilkeleriyle bağdaşmaması nedenleriyle tarihi yapıların ayakta kalması için başka bir alternatifin olmadığı durumlarda uygulanmalıdır (Eyüpgiller ve Zakar, 2015).

### 2.3.1 Derz onarımı

Tarihi yapıların tuğla duvarlarındaki derzler dış ortam koşullarının (rüzgar, nem, sıcaklık, su, hava kirliliği vb.) neden olduğu etkilerle zaman içerisinde bozulmaya uğrayarak aşınırlar. Bu durum derzlerde boşalmalara ve duvarların taşıma kapasitelerinin zayıflamasına neden olur. Bozulan derz yapısı mevcut yapı malzemeleri ile fiziksel ve kimyasal açılardan uyumlu harç takviyesi ile sağlamlaştırılır. Kullanılan harcın mevcut yapı malzemesi ile fiziksel ve kimyasal açıdan uyumlu olması mevcut harcın özelliklerinin zarar görmemesi için oldukça önemlidir (Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2003).

### 2.3.2 Çatlak onarımı

Yığma yapıların duvarlarında meydana gelen çatlaklar dış yükler, temel oturmaları, nem, sünme ve deprem etkilerinden kaynaklanır. Yığma yapı duvarları gevrek malzemelerden üretildikleri için temel oturmalarına karşı oldukça hassastır. Meydana gelen oturmalar duvarlarda çatlaklara neden olur. Yığma yapı duvarlarında 2 mm'ye kadar olan çatlaklar hafif hasarlara, 2-25 mm arasındaki çatlaklar orta hasarlara ve 25 mm'yi aşan çatlaklar ise ağır hasarlara karşılık gelmektedir (Bayülke, 1995; Döndüren ve diğ., 2017)

Yığma tuğla duvarlarda meydana gelen çatlaklar dikiş, kenet ve enjeksiyon yöntemleriyle onarılır. Dikiş yönteminde duvarda çatlağın bulunduğu bölge yakın çevresiyle birlikte çıkarılır ve duvarın eksik kısımları duvarın özgün malzemesiyle veya uyumlu bir malzeme ile yeniden örülür. Metal kenetler kullanılarak yeni örgü ile eski örgü arasında bağlantılar yapılabilir. Kenetleme yöntemi çatlağın iki yanında bulunan yüzeylerin kenetleme elemanları ile birleştirilip yeni malzemelerle duvarların birbirlerine bağlanmasıdır. Kenetler örgünün içindeki taşların veya yüzeydeki taşların üzerine çatlak boyunca gerekli doğrultularda uygulanabilirler. Kenetleme yöntemi yığma duvarların köşe birleşimlerinin güçlendirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Enjeksiyon yöntemi yığma tuğla duvarların kılcal ve orta büyüklükte çatlaklarının enjeksiyon yöntemi ile duvar içerisine dolgu harcı enjekte edilerek doldurulması işlemidir. Enjeksiyon uygulanan yüzeyde bulunan çatlağın üzeri öncelikle sızdırma yapmayan hidrolik kireç esaslı malzeme ile kapatılmalıdır. Ardından 24 saat sonunda duvar yüzeyinde belirli aralıklarla delikler açılarak bu deliklere plastik borular yerleştirilir ve enjeksiyon pompası ile enjeksiyon malzemesi çatlak içerisine enjekte

edilir. Plastik boruların birinden pompa ile enjekte edilen malzeme diğer borudan gelene kadar enjeksiyon uygulanmaya devam edilmelidir. Enjeksiyon malzemesi olarak çimento, epoksi ve hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harçları kullanılabilir. Ancak tarihi yığma duvarların çatlaklarının onarımında enjeksiyon malzemesi olarak tarihi malzemeler ile uyumlu hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı kullanılması doğru bir uygulama olacaktır. Gergilerle güçlendirme yöntemi yığma duvarlarda bozulan ve eğilen duvarların çekme dayanımlarını artırmak amacıyla uygulanır. Zeminde meydana gelen oturmalar ve aşırı yüklemelerden dolayı düşeyden ayrılan duvarlar gergiler yardımı ile düşey düzleme getirilerek yapı gövdesine bağlanır (Eyüpgiller ve Zakar, 2015; Vakıflar Genel Müdürlüğü, 2003).

### **2.3.3 Püskürtme beton ile yığma duvarların güçlendirilmesi**

Püskürtme beton uygulaması, çimento, su ve agrega karışımından oluşan harcın basınçlı hava yardımıyla uygulanacak yüzeye püskürtülmesidir. Püskürtme beton düşük su:çimento oranı ve yüksek aderans özelliği nedeniyle yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Kalıp yapımının zor olduğu durumlarda ve uygulanan beton tabakasının ince olmasının istenildiği durumlarda kullanılır. Kuru ve yaş karışım olarak uygulanabilmektedir. Kuru karışım uygulamasında püskürtme cihazının karışım bölmesine agrega ve çimento belirlenen ölçülerde kuru olarak karıştırılır. Kuru karışım basınçlı havayla bir hortum içinde püskürtme tabancasının ucuna iletilir. Tabanca ucuna gelen karışım basınçlı su ile karışır ve elde edilen beton basınçlı hava yardımıyla yüzeye püskürtülür. Islak karışım cihazın karışım bölmesinde karıştırılan agrega, çimento ve su karışımının basınçlı hava yardımıyla yüzeye püskürtülerek uygulanır. Islak karışımın aderansı kuru karışıma göre daha yüksektir. Kuru karışımda su oranı operatör tarafından ayarlandığı için betonun kalitesi operatörün doğru uygulama yapmasına bağlıdır (İnce ve diğ, 2015).

### **2.3.4 Kendiliğinden yerleşen beton ile yığma duvarların güçlendirilmesi**

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kimyasal katkıları kullanılarak akıcı bir kıvamda üretilen özel bir betondur. KYB vibratör kullanımına gerek kalmadan kendi ağırlığı ile donatılı dar bölgelere bile yerleşebilme özelliğine sahiptir (Topçu ve diğ, 2007).

Standart betonun kullanıldığı güçlendirmelerde, içerisinde donatı bulunan dar kalıplara beton yerleştirilmesinde güçlüklerle karşılaşılabilir. Püskürtme beton ile yapılan güçlendirmelerde ise operatörden kaynaklı hatalar ve uygulama güçlükleri nedeniyle beton kalitesinde düşüşler olabilmektedir. Ayrıca yapılan yüksek basınçlı püskürtme uygulaması mevcut duvarlara zarar verebilmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton ince agregalı olması ve kendiliğinden yerleşmesi nedeniyle işçilik hatası olmadan kalıba kolayca yerleşir. Kendiliğinden yerleşen betonun aderansı diğer beton uygulamalarına göre daha yüksektir ve akışkan olduğundan dolayı kalıba kolay pompalanır. İstenilen mukavemette beton üretilebilir ve kalıp çıkarıldıktan sonra oldukça düzgün bir yüzey elde edilir (Ediz, 2015).

### **2.3.5 FRP malzemeler ile yığma duvarların güçlendirilmesi**

Fiber takviyeli polimer (FRP) kompozit malzemeler küçük kesitlerde yüksek çekme gerilmeleri taşıyabilen korozyona ve dış etkilere dayanıklı tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılan yenilikçi malzemelerdir. Bu malzemeler karbon, cam, bazalt, aramid ve organik fiberler ile takviyeli reçine karışımından oluşurlar. FRP malzemelerin çubuk, halat, şerit, ızgara ve kumaş gibi farklı şekillerde uygulamaları vardır (Degirmenci ve Saribiyik, 2015; Özserağ, 2009).

Tarihi tuğla duvarların FRP çubuklar ile güçlendirmesi uygulamalarında duvarların derzlerinde bulunan geleneksel harçlar 7-10 cm boşaltılır ve boşalan kısımlara fiber çubuklar yerleştirilir. Boş derzler güçlendirilen tarihi duvarların malzemelerine uygun bir harçla doldurularak uygulama bitirilir. Farklı bir uygulama tekniği ise 2-3 cm boşaltılan derzlerin reçineler veya kireç harçları kullanılarak FRP çubukların yerleştirilmesidir (Bayraktar, 2006).

FRP ızgaralar ile güçlendirme, tarihi tuğla duvarlara ızgara biçimindeki elyafların sıva harcı ile uygulanmasıdır. Taşıyıcı duvarın sıva ile güçlendirilmesiyle sünekliğinin ve yük taşıma kapasitesinin artırılması sağlanabilmektedir. Ayrıca geri dönüşümü olan bir uygulama olması nedeniyle tarihi yapılar için oldukça uygun bir uygulamadır (Kolyvas ve Karantzakis, 2011).

Şerit şeklinde üretilen FRP malzemeler duvara yatay, düşey veya diyagonal şekilde; kumaş FRP malzemeler duvar yüzeyi boyunca sargılanarak epoksi vb. bağlayıcılar ile uygulanırlar. Uygulamadan önce duvar yüzeyi iyice temizlenir ve duvar yüzeyindeki çatlaklar onarılır. Onarılan yüzeylere epoksi reçineleri sürülüp üzerine fiber kumaşlar

yapıştırılır. Yapıştırma işleminin ardından kumaşın üzerine tekrar epoksi sürülerek tüm liflerin yapışması sağlanır. Uygulanan kumaşların üzerine uygun kalınlıkta harç uygulanarak yangına karşı korunması gerekir. FRP şeritler ile güçlendirme uygulaması duvarların çekme dayanımını artırır ancak yeni çatlak oluşumunu önleyememektedir. Ayrıca FRP kumaş ve şeritler ile güçlendirme uygulamalarında kullanılan reçinelerin tarihi yapıların malzemeleri ile uyumsuz olmaları nedeniyle yapılardaki özgün malzeme özelliklerine zarar verebilmektedir (Değirmenci ve Sarıbiyik, 2015; Eyüpgiller ve Zakar, 2015)

## 2.4 Donatılı Harç İle Güçlendirme Çalışmaları

**Shabdin ve diğ.**, (2018), taşıyıcı tuğla duvarların tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirilmesini diyagonal basınç deneyi ile incelemiştir (Şekil 2.1). Numunelerin üretiminde dolu tuğlalar ve 8.8 MPa basınç dayanımına sahip örgü harcı (portlant çimento:kum oranı 1:5) kullanılmıştır. Araştırmada 1200 mm x 1200 mm x 110 mm ebatlarında 10 mm derz kalınlığına sahip 10 adet duvar numunesi üretilmiştir. Numunelerin güçlendirilmesinde 39.4 MPa basınç dayanımına sahip yüksek mukavemetli güçlendirme harcı ve göz açıklığı 10 mm x 10 mm olan alkali dayanımlı cam lifi kullanılmıştır. Duvar numunelerinden 1 adeti yalın halde, 2 adeti donatısız harç (1 adeti 15 mm diğeri 25 mm kalınlığında) ile tek taraflı güçlendirilerek incelenmiştir. Kalan 7 numune ise cam lifi ve iki farklı kalınlıkta harç (15 mm ve 25 mm) uygulanarak tek taraflı ve çift taraflı olarak güçlendirilmiştir.



**Şekil 2.1 :** Diyagonal basınç deneyi uygulaması (Shabdin ve diğ, 2018).

İncelenen yalın tuğla duvar numunenin göçme biçimi ani ve gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir. Donatısız harç ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin göçme biçimleri yalın numuneye benzer şekilde gerçekleşmiş; maksimum yük taşıma

kapasitelerinde tek taraflı güçlendirilen numunelerde 15 kat, çift taraflı güçlendirilen numunelerde ise 20 kat artış olduğu gözlemlenmiştir. Tekstil donatılı harç ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin yük taşıma ve deformasyon kapasitelerinde büyük oranda bir artış olduğu ve daha sünek bir davranış gösterdikleri görülmüştür. Çift taraflı güçlendirilen numunelerin tek taraflı güçlendirilen numunelere göre yük taşıma ve deformasyon kapasitelerindeki artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. TRM ile tek taraflı güçlendirilen numunelerin maksimum yük taşıma kapasitelerinin 15mm kalınlığındaki harç uygulanan numunelerde 20 kat, ve 25 mm kalınlığında harç uygulanan numunelerde 29 kat arttığı, çift taraflı güçlendirilen numunelerin ise maksimum yük taşıma kapasitelerinin 15 mm kalınlığındaki harç uygulanan numunelerde 53 kat ve 25 mm kalınlığında harç uygulanan numunelerde 61 kat arttığı belirlenmiştir.

**Mustafaraj ve Yardım, (2017),** yalın tuğla duvarların donatılı harç ile güçlendirilmesini diyagonal basınç deneyi ile incelemişlerdir. 1200 mm x 1200 mm x 250 mm ebatlarında 6 adet duvar numunesi üretilmiştir. Üretilen numunelerden 3 adeti yalın halde, 3 adeti güçlendirilerek test edilmiştir. Duvar üretiminde basınç dayanımı 24 MPa olan dolu tuğla ve 5.68 MPa basınç dayanımına sahip örgü harcı (çimento:kireç:kum oranı 1:1:6) kullanılmıştır. Numunelerin güçlendirilmesinde donatı olarak GFRP ızgara ve harç olarak 25 mm kalınlığında çimento harcı (çimento:kum oranı 1:1) kullanılmıştır. GFRP ızgara donatılar 30 cm aralıklarla duvar donatı arasında 10 mm mesafe bırakılarak duvar yüzeyine ankrajlanmıştır. Numuneler 28 gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yalın halde yükleme yapılan numunelerde kırılma Şekil 2.2’de görüldüğü gibi yatay ve düşey derzlerden diyagonal aksta ilerleyerek gevrek bir şekilde gerçekleşmiştir.



**Şekil 2.2 :** Diyagonal basınç deneyi uygulanmış yalın duvar numuneleri (Mustafaraj ve Yardım, 2017).

GFRP donatılı harç ile güçlendirilen duvar numunelerinde çatlak oluşumu Şekil 2.3’de görüldüğü gibi diyagonal basınç eksenini boyunca gerçekleşmiştir. Yükleme arttıkça çatlaklar genişleyerek göçme meydana gelmiştir. Güçlendirilen numunelerin ortalama kayma dayanımları yalın numunelere göre % 127 oranında, ortalama deformasyon kapasiteleri ise 1100% oranında artış göstermiştir.



**Şekil 2.3 :** Diyagonal basınç deneyi uygulanan güçlendirilmiş tuğla duvar numuneleri (Mustafaraj ve Yardım, 2017).

**Yardım vd.**, (2016), yalın tuğla duvarların tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirilmesini diyagonal basınç etkisi altında incelemişlerdir. Araştırmada ASTM 519 standartında belirtilen ölçülere (1.2 m x 1.2 m) uygun 2 adet ve 0,65 m x 0,65 m ebatlarında 10 adet tuğla duvar numunesi üretilmiştir. Standarta uygun boyutlarda üretilen 2 adet duvar numunesi ile 0,65 m x 0,65 m boyutlarında üretilen duvar numunelerinin 2 adeti yalın halde test edilmiştir. Kalan numunelerden 2 adeti ferrocement harç ile çift taraflı, 2 adeti donatısız polipropilen katkılı harç ile çift taraflı, 4 adeti tekstil donatılı harç ile güçlendirilmiştir. Tekstil donatılı harç ile güçlendirilen numunelerde donatı olarak epoksi emdirilmiş cam lifi kullanılmış ve 2.5 cm kalınlığında ticari harç ile birlikte 2 adet numuneye tek taraflı, 2 adet numuneye ise çift taraflı uygulanmıştır. Ferrocement harç ile güçlendirilen numunelerde donatı olarak galvanize çelik tel kullanılmıştır. Galvanize çelik teller iki kat olarak üst üste uygulanmış ve 30 cm aralıklarla duvara sabitlenmiştir. Bu uygulamada çimento:kum oranı 1:4 olan harç donatı üzerine 2.5 cm kalınlığında uygulanmıştır. Polipropilen katkılı harçta çimento: kum oranı 1:1 olarak kullanılmış ve duvarlara çift taraflı 2.5 cm kalınlığında harç uygulanmıştır.

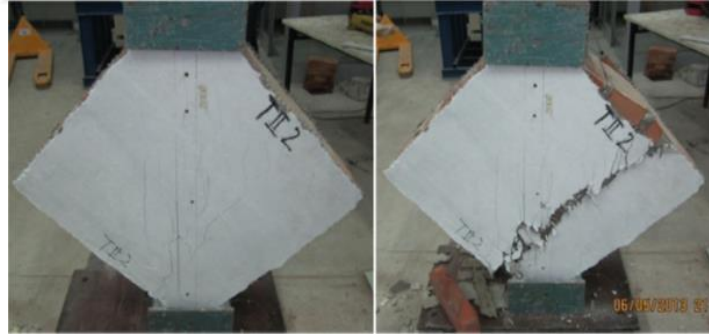
Üretilen ve güçlendirilen duvar numuneleri 28 gün bekletildikten sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. Test edilen farklı ölçülerdeki yalın duvar numunelerinin göçme biçimleri benzer bir şekilde Şekil 2.4’te görüldüğü gibi diyagonal akstaki harç-tuğla

arası derzlerden gerçekleşmiştir. Göçme biçimleri aniden gevrek bir şekilde gerçekleşmiş olup öncesinde kılcal çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.



**Şekil 2.4 :** Yalın tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardim ve Lalaj, 2016).

Güçlendirilen duvar numunelerinin hepsi yalın numunelere göre daha sünek bir davranış göstermiştir. Tekstil donatılı harç ile çift taraflı güçlendirilen numunelerin yüzeylerinde yükleme sırasında Şekil 2.5'te görüldüğü gibi kılcal çatlak oluşumu başlamış ve yükleme arttıkça çatlaklar genişleyip donatılı harçta göçmeye neden olmuştur. Göçme sırasında harcın duvardan ayrılması bütün yükün duvara aktarılmasına neden olmuş ve duvar ile harç arasındaki derzlerden diyagonal aksta kırılmalar gerçekleşmiştir.



**Şekil 2.5 :** TRM ile çift taraflı güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardim ve Lalaj, 2016).

Tekstil donatılı harç ile tek taraflı güçlendirilen numuneler yük taşıma ve deformasyon kapasitesi en az olan numuneler olduğu görülmüştür. Asimetrik kesit yapısı nedeni ile tuğla ve harç arasındaki derzlerde diyagonal aksta kırılmalar meydana gelmiş ve güçlendirilen tarafta harç kırılması gözlemlenmemiştir. Aynı zamanda güçlendirilen tarafa doğru Şekil 2.6'da görüldüğü gibi duvarda eğilme meydana gelmiştir.



**Şekil 2.6 :** TRM ile tek taraflı güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardim ve Lalaj, 2016).

Ferrocement harç ile güçlendirilen numunelerin yük taşıma kapasiteleri en fazla olan numuneler oldukları görülmüştür. Yükleme başlangıcından itibaren Şekil 2.7’de görüldüğü gibi harç yüzeyinde kılcal çatlak oluşumu gözlemlenmiş ve yük arttıkça genişleyen çatlaklar harcın göçmesine neden olmuştur. Maksimum yüke ulaşan numunelerde harç ve tuğla arasında kırılma meydana gelmemiştir.



**Şekil 2.7 :** Ferrocement harç ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardim ve Lalaj, 2016).

Polipropilen katkılı harç ile güçlendirilen numuneler ferrocement harç ile güçlendirilen numunelere benzer bir davranış göstermiş ancak harcın duvardan ayrılmasının ardından tuğla ve harç arasındaki derzlerde diyagonal aksta Şekil 2.8’de görüldüğü gibi kırılmalar gözlemlenmiştir. Güçlendirilen tüm duvar numunelerinin ortalama yük taşıma ve deformasyon kapasitelerinde yalın duvaralara göre % 163.63 ila % 412.71 aralığında artış olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 2.8 :** Polipropilen katkılı harç ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması (Yardim ve Lalaj, 2016).

**Ediz**, (2015), 20 cm x 20 cm ebatlarında üretilen 42 adet model tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulamıştır. Üretilen numunelerin 24 adeti yükleme yapıp epoksi ile onarıldıktan sonra, 18 adeti ise yükleme yapılmadan güçlendirilmiştir. Numunelerin 30 adeti kendiliğinden yerleşen beton, 12 adeti ise standart beton ile güçlendirilmiştir. Araştırmada incelenen değişkenler: Numunelerin tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilmesi, standart beton ve kendiliğinden yerleşen betonla güçlendirilmesi, çelik hasır donatılı ve donatısız beton ile güçlendirilmesi, betona polipropilen liflerin katılmasıdır.

Güçlendirilen model tuğla duvarların ortalama kayma gerilmeleri %114 oranında, ortalama kırılma yükleri %257 oranında artmış, ortalama deplasman değerleri %48 oranında azalmıştır. Çift taraflı güçlendirilen numunelerinin ortalama yük taşıma kapasitelerinin tek taraflı güçlendirilen numunelere göre % 86 oranında, gerilme değerlerinin ise %40 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Kendiliğinden yerleşen betonun tuğla duvar ile aderansının ve deformasyon kapasitesinin standart betona göre daha fazla olduğu, güçlendirmede donatı kullanımının duvarların deformasyon kapasitelerini artırdığı görülmüştür. Betona polipropilen liflerin katılması numunelerin yük taşıma kapasitelerinde önemli bir artışa neden olmamış ancak deformasyon kapasitelerini artırmıştır. Epoksi ile onarılan numunelerin hasar görmemiş yalın numunelere göre daha dayanıklı hale geldikleri görülmüştür.

**Yüzer ve diğ.**, (2015), tarihi yapıların taşıyıcı tuğla duvarlarının yük altındaki davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Seçilen İki adet tarihi yapının özgün malzeme özellikleri belirlenmiş ve araştırmada bu özelliklere bağlı kalınarak malzeme üretimi yapılmıştır. Araştırmada bağlayıcı:agrega oranları 1:3 olan ve 28 günlük basınç dayanımları 0.4 ile 3,1 MPa arasında değişen 6 farklı harç türü üretilmiş olup, her bir harç türü ile 860 x 860 x 80 mm ebatlarında 3'er adet olmak üzere toplamda 18 adet tuğla duvar numunesi üretilmiştir. Harç üretiminden önce farklı sıcaklıklarda pişirilmiş kil hamurlarından elde ettikleri agregaların puzolanik özellikleri karşılaştırılmış ve puzolanik aktivitesi en yüksek olan 850°C'de pişirilmiş tuğla kırıkları ile puzolanik aktivite göstermeyen 500°C'de pişirilmiş tuğla kırığı agregalar harç üretiminde kullanılmıştır. Harçlarda bağlayıcı olarak hava kireci veya hidrolik kireç, ince agrega olarak standart CEN kumu kullanılmıştır. Puzolanik aktiviteye sahip tuğla kırığı agrega ve hidrolik kireç kullanılarak üretilmiş harçların basınç dayanımlarının diğer harçlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Üretilen duvar

numuneleri rijit bir zemine oturtularak incelenmiş olup numunelerde çatlak oluşumu görülünceye dek düşey ve artımsal yatay yükler uygulanmış ve sayısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada yüksek basınç dayanımına sahip harçlar ile örülen duvar numunelerinin diğer numunelere göre daha fazla yük taşıdıkları ve bu numunelerde daha az hasar oluştuğu gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sıkıştırılabilir kum bir zemin üzerinde tekrar gerçekleştirilmiş ve üretilen malzemelerin yapı-zemin birlikteliğinde gösterdiği davranışlar kıyaslanmıştır. Kum zeminde gerçekleştirilen deneylerde duvarlarda üniform oturmalar olduğu gözlemlenmiş olup yüksek dayanıma sahip olan hidrolik kireç kullanılarak üretilmiş harçlar ile örülen duvarlarda hasar oluşmazken hava kireci kullanılarak üretilmiş düşük dayanımlı harçlar ile örülen duvarlarda ise harçlarda ezilmeler ve parça kopmaları görülmüştür.

**Mezrea,** (2014), tarihi yığma yapıların tuğla duvarlarının tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirilmesinin duvarın kayma davranışına olan etkisi diyagonal basınç deneyi ile incelenmiştir. Yıkımı gerçekleştirilen tarihi yığma bir yapıdan alınan sağlam tuğlalar çimento katkılı harç (28 günlük basınç dayanımı 1.4 MPa) ile örülerek 755 mm x 755 mm x 235 mm boyutlarında 14 adet tuğla duvar numunesi üretilmiştir. Çalışmada incelenen değişkenler sıva harcının mekanik dayanımı, tekstil donatı türü ve tekstil donatıların ankrajlı ve ankrajsız uygulamalarıdır. Üretilen duvar numunelerinin yüzeylerine düşük dayanımlı (90 günlük basınç dayanımı 1.09 MPa) ve orta dayanımlı (90 günlük basınç dayanımı 10.37 MPa) iki farklı çimento katkılı sıva harcı uygulanmıştır. Deneylerin sonuçları incelendiğinde bütün numunelerin göçme biçimleri yatay düzlemdeki derzlerden kayarak benzer bir şekilde gerçekleşmiştir. Referans numunelerde oldukça gevrek bir şekilde göçme gerçekleşirken, yalnızca sıva uygulanan numunelerde göçme referans numunelere göre daha sünek bir şekilde gerçekleşmiştir. Tekstil donatılı harç ile güçlendirilen numuneler ise diğerlerine göre oldukça sünek bir davranış göstererek göçmüştür. Uygulanan sıvaların mekanik dayanımları duvarların yük taşıma kapasitesinde oldukça etkili olduğu, bazalt ve karbon tekstil donatıların mekanik dayanımlarının benzer oluşundan dolayı bu artışa benzer oranlarda katkıda buldukları gözlemlenmiştir. Tekstil donatıların ankraj ile uygulanması ile kayma dayanımında belirgin bir artış olduğu gözlemlenmemiş ancak deformasyon kapasitelerinde artış olduğu tespit edilmiştir.

**Bernat-Maso ve diğ.** (2014), tekstil donatılı harç (TRM) ile farklı uygulama teknikleri kullanılarak güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Araştırmada incelenen değişkenler: harç türünün etkisi, harcın uygulama tekniği, tekstil donatıların tekli ve çoklu tabakalar haline uygulanması, duvarların tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilmesidir. Araştırmada 280 mm x 132 mm x 45 mm ebatlarında 10 adet duvar numunesi üretilmiştir. Duvar üretiminde dolu tuğla ve 3.7 MPa basınç dayanımına sahip çimento katkılı harç kullanılmıştır. Numunelerin güçlendirilmesinde 4 farklı harç ve 4 farklı tekstil donatı kullanılmıştır. Güçlendirmede kullanılan harçlar: 42.2 MPa basınç dayanımına ve 2 MPa yapışma dayanımına sahip portlant çimento katkılı harç, 14.4 MPa basınç dayanımına ve 0.8 MPa yapışma dayanımına sahip kireç harcı (doğal puzolan, hidrolik kireç, kum, sentetik polimer ve özel katkı), 34.5 MPa basınç dayanımına ve 0.8 MPa yapışma dayanımına sahip puzolan katkılı çimento harcı ve 4.6 MPa basınç dayanımına ve 0.3 MPa yapışma dayanımına sahip püskürtme cihazına uygun olarak tasarlanmış sıva harcıdır (kireç, çimento ve kimyasal katkı). Güçlendirmede kullanılan tekstil donatılar: 25 mm göz açıklığına sahip cam fiber, 5 mm göz açıklığına sahip çelik fiber, 10 mm göz açıklığına sahip bazalt ve karbon fiberlerdir. Üretilen numunelerin güçlendirmesinde harcın uygulanması elle ve püskürtme cihazı kullanılarak iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Güçlendirilen numuneler 28 gün bekletildikten sonra test edilmiştir. Güçlendirilen tüm numunelerin yük taşıma kapasiteleri yalın duvarlara göre büyük oranda artmıştır. Numunelerin göçme biçimleri kullanılan harca bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Püskürtme cihazına uygun olarak tasarlanmış sıva harcı ile güçlendirilen numunelerin yük taşıma kapasitelerinin ve yapışma dayanımlarının diğer güçlendirme harçlarına göre daha az olduğu ve diğer harçların yük taşıma kapasitelerinin benzer olduğu görülmüştür. Bu nedenle püskürtme tekniğinde kullanılan sıva harcının göçme biçimi harcın duvar yüzeyinden ayrılması ile gerçekleşmiş olup diğer güçlendirme harçlarında göçme harç kırılması ile başlayıp harcın duvar yüzeyinden ayrılması ile sonlanmıştır. Güçlendirilen numunelerde çelik fiberlerin yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığı, cam ve karbon fiberlerin yük taşımaya benzer oranlarda katkı sağladığı, bazalt fiberlerin ise yük taşıma kapasitesine diğer donatılara göre daha az katkı sağladığı görülmüştür. Harcın püskürtme tekniğiyle uygulandığı numunelerde güçlendirme işlemi 2 ila 6 kat aralığında zaman kazanımı sağladığı görülmüştür. Harcın içerisine gömülen katman sayısının artırılması ve/veya numunelerin çift taraflı güçlendirilmesi numunelerin yük taşıma kapasitelerinde artışa neden olduğu görülmüştür.

**Dünder**, (2013), farklı duvar malzemeleri ve farklı harçlar ile üretilen duvarların mekanik özelliklerini incelemiştir. Araştırma kapsamında 900 x 900 mm ebatlarında 18 adet duvar numunesi üretilmiştir. İncelenen parametreler numunelerin örgü malzemesi (harman tuğlası, boşluklu yığma tuğla, bimsblok) ve örgü harcıdır (hacimsel oranları kum:çimento:kireç 6:1:1 olan polipropilen lifli ve takviyeli harç). Üretilen numunelere diyagonal tek eksenli yükleme uygulanmış ve kayma dayanımları ile deplasman değerleri belirlenmiştir. Numunelerin göçme biçimleri, diyagonal çatlakların derz boyunca ilerlemesi ile duvarların iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmiş ve bimsblok ile üretilen numuneler diğer numunelere göre daha gevrek bir şekilde kırılarak göçmüştür. Polipropilen lifli örgü harcı ile örülen duvarların kayma gerilimi takiyeli örgü harcı ile üretilen duvarlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Boşluklu yığma tuğla ile örülen numunelerin ise diğer örgü malzemelerine göre kayma dayanımının yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca boşluklu yığma tuğla ve polipropilen lifli harç ile üretilen numunelerin enerji yutma kapasitesi en yüksek olan numuneler olduğu belirlenmiştir.

### **3. ÖN DENEYLER**

Bu bölümde, model tuğla duvar numunelerinin üretiminde ve güçlendirilmesinde kullanılan malzemelerin özelliklerini belirlemeye yönelik yapılan deneysel çalışmalar yer almaktadır.

#### **3.1 Araştırmada Kullanılan Tuğlaların Özellikleri**

Araştırmada tarihi yapıların taşıyıcı tuğla duvarlarının özelliklerine benzer özelliklerde harman tuğlaları kullanılmıştır. Kullanılan harman tuğlalarının fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel çalışmalarla belirlenmiştir.

##### **3.1.1 Fiziksel Deneyler**

Deneysel çalışmada kullanılan harman tuğlalarından 4x4x16 cm ebatlarında numuneler kesilmiştir. Kesilen numunelere TS EN 1925 standartına göre kapiler su emme ve TS EN 13755 standartına göre atmosfer basıncında su emme tayini deneyleri uygulanmıştır.

###### **3.1.1.1 Kılcal etkiye bağlı su emme deneyi**

Deney numuneleri sabit kütleye ulaşınca kadar  $(70 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de havalandırmalı etüvde kurutulur. Kurutulan numunelerin bir yüzleri, su eklenecek kabın tabanındaki mesnetlerin üzerine yerleştirilir. Kabın içerisine, numunelerin  $(3 \pm 1)$  mm yüksekliğine ulaşınca kadar su eklenir ve zaman ölçer çalıştırılır. Belirlenen sürelerde numunelerin her biri kaptan çıkarılıp 0,01 gr yaklaşımlı terazide tartılır ve ağırlık ölçümleri kaydedilir. Deney boyunca eksilen su miktarı ilave edilerek su seviyesinin sabit kalması sağlanır (TS EN 1925, 2000).

4 x 4 x 16 cm boyutlarındaki 3 adet numunenin boyut ve alan ölçümleri yapılmış ve su emdirilen numunelerin ağırlık ölçümleri 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, 121, 144, 169. dakikalarda yapılarak ölçümler kaydedilmiştir (Çizelge A.1).

Kılcal etkiye bağlı su emme deneyinin uygulaması Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.1 :** Harman tuğlasına kılcal etkiye bağlı su emme deneyinin uygulanması.

Numunelerin kılcal etkiye bağlı su emme katsayıları aşağıdaki formülle (3.1) hesaplanmıştır (TS EN 1925, 2000).

$$N = [(m_i - m_d) / A] \times t^{1/2} \quad (3.1)$$

$N$  : Numunenin kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı, ( $\text{gr}/\text{cm}^2\text{dk}^{0,5}$ )

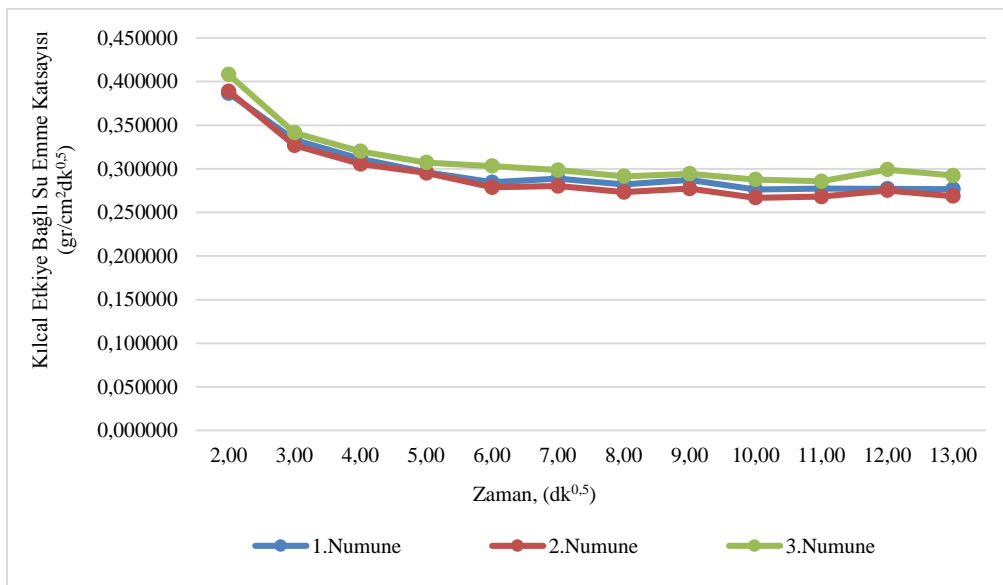
$m_i$  : Numunenin su emdirilmiş ağırlığı, (gr)

$m_d$  : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)

$A$  : Numunenin suya daldırılan yüzey alanı, ( $\text{cm}^2$ )

$t$  : Numunenin ağırlık ölçümlerinin yapıldığı süreler, (dk)

Çizelge A1'deki değerler ile oluşturulan kılcal etkiye bağlı su emme grafiği Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



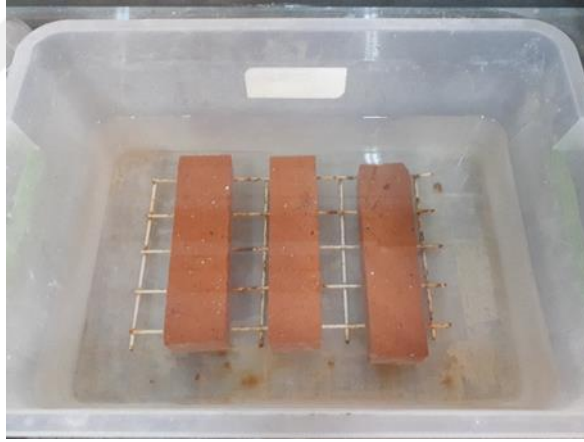
**Şekil 3.2 :** Harman tuğlasının kılcal etkiye bağlı su emme grafiği.

### 3.1.1.2 Atmosfer basıncında su emme deneyi

Deney numuneleri sabit kütleye ulaşınca kadar  $(70 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de havalandırmalı ettüvde kurutulur. Ettüvden çıkarılan numuneler ortam sıcaklığına  $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  gelinceye kadar desikatörde tutulur. Ortam sıcaklığına gelen numuneler desikatörden çıkarılarak 0,01gr yaklaşımli terazide tartılır ve ağırlık ölçümleri kaydedilir (TS EN 13755, 2009).

Desikatörden çıkarılan numuneler oksitlenmeyen düz tabanlı bir kabın içerisindeki su emici özellikte olmayan mesnetlerin üzerine aralarında minimum 15 mm aralık kalacak biçimde yerleştirilir (Şekil 3.3). Ardından  $t_0$  zamanında deney numunelerinin yüksekliğinin yarısına gelinceye dek sıcaklığı  $(20 \pm 10)^{\circ}\text{C}$  olan şebeke suyu eklenir. Süre olarak  $t_0 + (60 \pm 5)$  dakikaya ulaşıldığında, numunelerin yüksekliğinin  $3/4$ ' üne gelinceye kadar şebeke suyu eklenir. Süre olarak  $t_0 + (120 \pm 5)$  dakikaya ulaşıldığında ise numuneler  $(25 \pm 5)$  mm derinlikteki su seviyesine tamamen batırılacak şekilde şebeke suyu eklenir (TS EN 13755, 2009).

Tüm şekil ve çizelgeler ile bunların açıklamaları yazı bloğuna göre ortalı olarak yerleştirilmelidir.



**Şekil 3.3 :** Atmosfer basıncında su emme deneyinin uygulanması.

Süre olarak  $t_0 + (48 \pm 2)$  saate ulaşıldığında, numuneler sudan çıkarılarak bir dakika içerisinde nemli bir bezle kurulanıp 0,01gr yaklaşımli terazide tartılır ve ağırlık ölçümleri kaydedilir. Ardından numuneler tekrar kabın içerisine yerleştirilir ve her  $(24 \pm 2)$  saatlik sürelerde sudan çıkarılarak ağırlık ölçümleri yapılır ve numunelerin ardışık ağırlık ölçümleri kaydedilir. Ardışık iki ağırlık ölçümü arasındaki fark  $\% 0.1$ 'den fazla olmadığı zaman son ölçümde elde edilen ağırlık değerleri numunelerin doymuş ağırlığını vermektedir (TS EN 13755, 2009).

Atmosfer basıncı altında kütlece su emme değeri aşağıdaki formülle (3.2) hesaplanmıştır (TS EN 13755, 2009).

$$A_b = [(m_s - m_d) / m_d] \times 100 \quad (3.2)$$

$A_b$ : Atmosfer basıncı altında kütlece su emme değeri, (%)

$m_s$ : Numunenin suya doymuş ağırlığı, (gr)

$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)

Atmosfer basıncı altında hacimce su emme değeri aşağıdaki formülle (3.3) hesaplanmıştır.

$$A_h = [(m_s - m_d) / (m_s - m_h)] \times 100 \quad (3.3)$$

$A_h$ : Atmosfer basıncı altında hacimce su emme değeri, (%)

$m_s$ : Numunenin suya doymuş ağırlığı, (gr)

$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)

$m_h$ : Su içerisine batırılan numunenin ağırlığı, (gr)

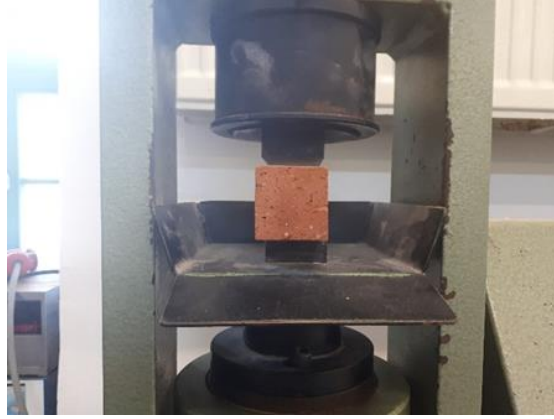
4 x 4 x 16 cm boyutlarındaki 3 adet numunenin boyut ve alan ölçümleri yapılmış ve doymuş ağırlığa ulaşan numunelerin ağırlık ölçümleri kaydedilerek su emme değerleri hesaplanmıştır (Çizelge A.2).

### 3.1.2 Mekanik deneyler

Deneyisel çalışmada kullanılan harman tuğlalarından 4x 4 x 16 cm ebatlarında numuneler kesilmiştir. Kesilen numunelere TS EN 772-1+A1 standartına göre basınç deneyi uygulanmıştır.

#### 3.1.2.1 Basınç dayanımı tayini

Numunelere uygulanan basınç dayanımı deneyi MFL marka 100 kN kapasiteli Üniversal Deney Makinası ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler Şekil 3.4'te gösterildiği gibi plakalar arasına yerleştirilmiş ve kırılma gerçekleşene kadar yük uygulanmıştır.



**Şekil 3.4 :** Basınç dayanım deneyi uygulanması.

Basınç dayanım tayini aşağıdaki formülle (3.4) hesaplanmıştır (TS EN 772-1:2011+A1, 2015).

$$R_c = F_c \div 1600 \quad (3.4)$$

$R_c$ : Basınç dayanım değeri, (MPa)

$F_c$ : Kırılma anında uygulanan maksimum yük, (N)

$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)

1600: Yükleme plakalarının alanı (40 mm x 40 mm), (mm<sup>2</sup>)

4 x 4 x 16 cm boyutlarındaki 3 adet numunenin boyut ve alan ölçümleri yapılmış ve basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır.(Çizelge A.3). Ortalama sonuçlara göre deneysel çalışmada kullanılan harman tuğlalarının basınç dayanımı 13.3 MPa olarak bulunmuştur.

### **3.2 Harç Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri**

Deneysel çalışmada model tuğla duvarların üretiminde ve güçlendirilmesinde kullanılacak harçların üretiminde kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri standartlara uygun bir şekilde gerçekleştirilen deneyler ile belirlenmiştir. Harç üretiminde agrega olarak dere kumu ve tuğla kırığı, bağlayıcı olarak doğal hidrolik kireç ve tras(puzolan) kullanılmıştır. Kullanılacak malzemelerin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlıkları belirlenmiş, kullanılan agregaların elek analizi yapılmış, kullanılan puzolanın (tras) ve tuğla kırığının puzolanik özellikleri incelenmiştir.

### 3.2.1 Araştırmada Kullanılan Agregaların Özellikleri

Örgü harcı ve güçlendirme harcı üretiminde agrega olarak dere kumu ve tuğla kırığı kullanılmıştır. Kullanılan agregaların özelliklerini belirlemek için birim hacim ağırlık (görünür yoğunluk), özgül ağırlık deneyleri ve elek analizi yapılmıştır.

#### 3.2.1.1 Birim hacim ağırlık (görünür yoğunluk) tayini

Sabit kütleye ulaşmaya kadar  $(70\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de havalandırılmalı etüvde kurutulan numunenin kuru kütlelerinin görünür hacmine oranı birim hacim ağırlığını verir. Görünür hacim, numunenin bünyesindeki boşlukların da dahil edildiği dış yüzeyleriyle sınırlı olan hacmidir (TS EN 1936, 2010).

Ağırlığı ve hacmi bilinen bir kabın içerisine hacminin tamamını dolduracak biçimde agrega doldurulup 0,01 g yaklaşımlı terazide tartılmıştır. Ölçülen toplam ağırlıktan kullanılan kabın ağırlığı çıkarılarak agreganın ağırlığı bulunmuştur. Agreganın ağırlığı, ağırlık ölçümünde kullanılan kabın hacmine bölünüp birim hacim ağırlığı belirlenmiştir. Tuğla kırığı ve dere kumu agregalarının birim hacim ağırlık değerleri aşağıdaki formüle (3.5) göre hesaplanmıştır.

$$p_b = [(m_d + m_0) - m_0] / v_b \quad (3.5)$$

$p_b$ : Numunenin birim hacim ağırlığı, ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)

$m_0$ : Ölçüm kabının ağırlığı, (gr)

$V_b$ : Numunenin görünür hacmi, ( $\text{cm}^3$ )

Yapılan hesaplara göre kullanılan dere kumunun birim hacim ağırlığının  $1.42 \text{ gr}/\text{cm}^3$ , tuğla kırığının birim hacim ağırlığının  $1.17 \text{ gr}/\text{cm}^3$  olduğu belirlenmiştir.

#### 3.2.1.2 Özgül ağırlık tayini

Numunenin kuru ağırlığının katı kısmın hacmine oranı özgül ağırlığını verir. Katı kısmın hacmi, numunenin dış yüzeyi ile sınırlı olan hacminden bünyesindeki açık ve kapalı gözeneklerin hacimlerinin çıkarılması ile belirlenir (TS EN 1936, 2010).

Özgül ağırlığı belirlenecek malzeme öğütülerek 0,063 mm lik elekten geçirilir. Elekten geçen malzeme sabit kütleye ulaşmaya kadar  $(70\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de havalandırılmalı etüvde

kurutulur. Etüvden çıkarılan malzeme desikatörde ortam sıcaklığına ulaşınca kadar soğutulur (TS EN 1936, 2010).

Ağırlığı bilinen bir cam kavanozun tüm hacmini dolduracak kadar saf su eklenir ve içerisinde hava kabarcıkları kalmayacak şekilde ağırlığı bilinen cam kapak ile kavanozun ağzı kapatılıp 0,01gr yaklaşımlı terazide tartılır. Ardından su dolu kavanozdan bir miktar su boşaltılır ve kurutulmuş malzemedan 50gr tartılarak kavanoza eklenip malzemenin tamamen kavanozun dibine çökmesi ve içerisindeki suyun berrak hale gelmesi beklenir. Malzeme tamamen dibe çöküp su berrak hale geldikten sonra kavanozun boş kalan hacmi tamamen saf su ile dolurulur ve kavanozun içerisinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde ağzı cam kapak ile kapatılarak 0,01 g yaklaşımlı terazide tartılır (TS EN 1936, 2010).

Araştırmada kullanılan tuğla kırığı ve dere kumunun özgül ağırlık değerleri aşağıdaki formüller (3.6), (3,7) ile hesaplanmıştır (TS EN 1936, 2010).

$$m_0 + m_1 = m_2 + v_s \quad (3.6)$$

$$P_r = m_0 / v_s \quad (3.7)$$

$\rho_r$ : Numunenin özgül ağırlığı, (gr/cm<sup>3</sup>)

$m_0$ : Malzeme ağırlığı, (gr)

$m_1$ : Sıvı dolu cam kavanoz ve cam kapak ağırlığı, (gr)

$m_2$ : Sıvı ve malzeme dolu cam kavanoz ile cam kapak ağırlığı, (gr)

$V_s$ : Numune ağırlığı ile yer değiştiren sıvının hacmi, (cm<sup>3</sup>)

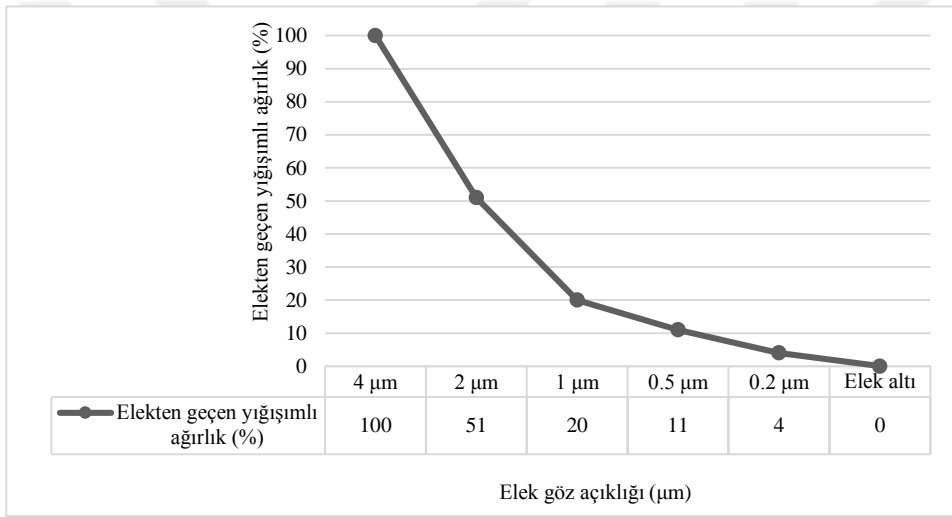
Yapılan hesaplara göre kullanılan dere kumunun özgül ağırlığının 2.59 gr/cm<sup>3</sup>, tuğla kırığının özgül ağırlığının 2.76 gr/cm<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir.

### 3.2.1.3 Elek analizi

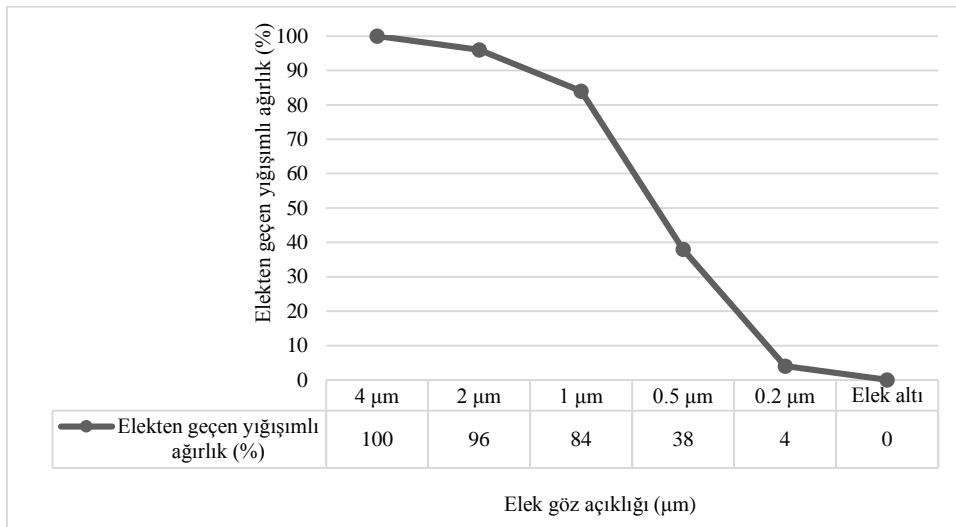
Örgü harcı ve güçlendirme harcı üretiminde kullanılan agregaların maksimum tane boyutları 4 mm olarak belirlenmiştir. Tuğla kırığı ve dere kumundan bir miktar alınarak etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler etüvden çıkarılarak 0,01 gr yaklaşımla tartılmıştır. Ardından 8, 4, 2, 1, 0.5, 0.211 µm göz açıklığına sahip elekler sırasıyla kullanılarak tuğla kırığı (Çizelge A.4)

ve dere kumu (Çizelge A.5) agregalarının tane boyut dağılımları belirlenmiştir. Sonuçlara göre Şekil 3.5'te görüldüğü gibi tuğla kırığının, Şekil 3.6'da görüldüğü gibi dere kumunun granülometri eğrileri çizilmiştir.

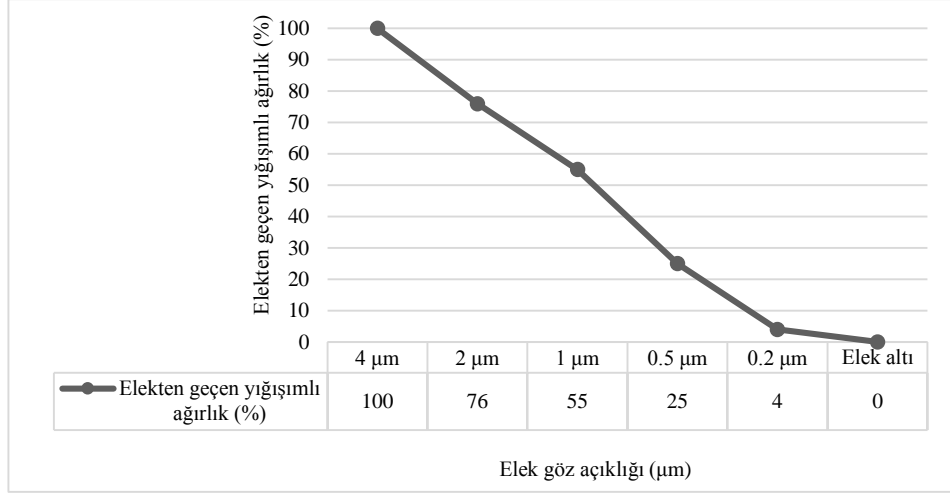
Örgü harcında agrega olarak tuğla kırığı ve dere kumu oranları hacimce 2:1, güçlendirme harcında agrega olarak kullanılacak tuğla kırığı ve dere kumu agregalarının hacimce oranları 1:1 olarak belirlenmiştir. Agregalar örgü harcı (Çizelge A.6) ve güçlendirme harcında (Çizelge A.7) kullanılacak oranlarda karıştırılıp boyut dağılımları belirlenmiştir. Sonuçlara göre Şekil 3.7'te görüldüğü gibi örgü harcının, Şekil 3.8'de görüldüğü gibi güçlendirme harcının agrega granülometri eğrileri çizilmiştir.



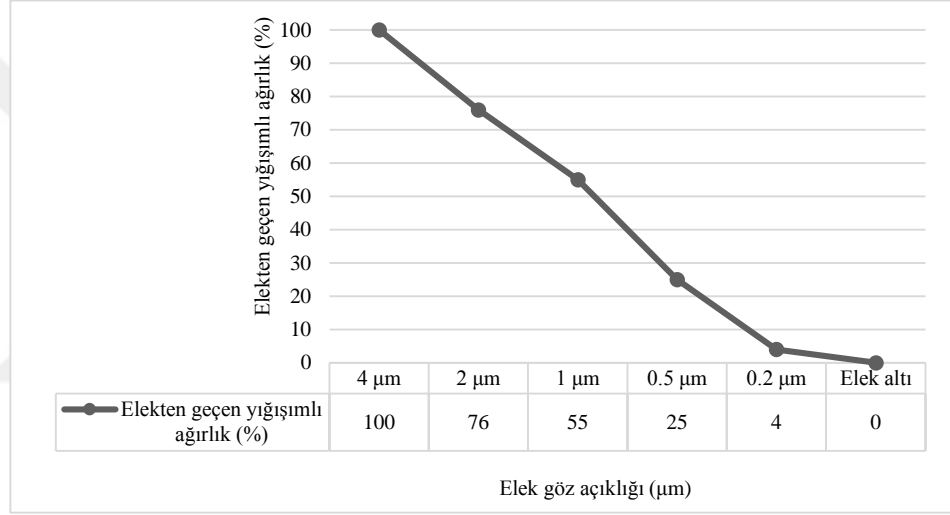
**Şekil 3.5 :** Tuğla kırığı granülometri eğrisi.



**Şekil 3.6 :** Dere kumu granülometri eğrisi.



**Şekil 3.7 : Örgü harcı granülometri eğrisi**



**Şekil 3.8 : Güçlendirme harcı granülometri eğrisi**

### 3.2.2 Doğal hidrolik kireç

Doğal hidrolik kireç killi veya silisli kireçtaşının pişirilmesi ve ardından öğütülerek veya öğütülmeden toz haline getirilmesiyle elde edilir. Bütün doğal hidrolik kireçler kalsiyum silikat ve aluminatlar ile birlikte kalsiyum hidroksit ve bazı etkisiz bileşenlerden oluşur. Isı ile aktif hale gelen killi ve silisli malzeme miktarı kirecin hidrolik reaksiyonunu belirler (Allen, 2015).

Hidrolik kireçler su ile birlikte katlaşıp priz alır ve sertleşirler. Atmosferde bulunan karbondioksit ile kirecin reaksiyonu sertleşme işleminin bir bölümünü oluşturur. Doğal hidrolik kireçler Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi standart basınç dayanımlarına göre NHL 2, NHL 3.5, NHL 5 olarak sınıflanırlar (TS EN 459-1:2015, 2015).

**Çizelge 3.1 : Doğal hidrolik kireçlerin (NHL) standart basınç dayanım değerleri.**

Doğal Hidrolik Kireç Türü	Basınç Dayanımı (MPa)	
	7 Gün	28 Gün
NHL 2	-	$\geq 2$ ila $\leq 7$
NHL 3.5	-	$\geq 3,5$ ila $\leq 10$
NHL 5	$\geq 2$	$\geq 5$ ila $\leq 15$

Araştırmada örgü ve güçlendirme harcı üretiminde NHL 3.5 sınıfına ait doğal hidrolik kireç kullanılmıştır. Kullanılan hidrolik kirece TS EN 1936 standartına uygun olarak bölüm 3.2.1.1’de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi birim hacim ağırlık ve bölüm 3.2.1.2’de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi özgül ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları neticesinde yapılan hesaplamalara göre kullanılan doğal hidrolik kirecin birim hacim ağırlığının  $0.61 \text{ gr/cm}^3$ , özgül ağırlığının  $2.45 \text{ gr/cm}^3$  olduğu belirlenmiştir.

### 3.2.3 Araştırmada Kullanılan Puzolanın Özellikleri

Puzolanik malzemeler tek başlarına herhangi bir bağlayıcılık özelliği göstermezler ancak öğütülüp ince taneli bir hale getirildiklerinde normal ortam sıcaklığında ve suyun varlığında çözülmüş kalsiyum hidroksit ( $\text{Ca(OH}_2\text{)}$ ) ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikler oluştururlar. Bu bileşikler hidrolik bağlayıcıların katılaştırırken oluşturduğu bileşiklere benzer özellik gösterir (Allen, 2015).

Harç üretiminde puzolan olarak İstanbul Şile bölgesinden çıkarılan tras kullanılmıştır. Kullanılan puzolana TS EN 1936 standartına uygun olarak bölüm 3.2.1.1’de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi birim hacim ağırlık ve bölüm 3.2.1.2’de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi özgül ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılan puzolanın birim hacim ağırlığının  $1.22 \text{ gr/cm}^3$ , özgül ağırlığının  $2.53 \text{ gr/cm}^3$  olduğu belirlenmiştir.

Harç karışımlarına puzolan ilavesi yapılmadan önce eklenecek puzolanın puzolanik aktiviteye sahip olup olmadığının belirlenmesi gerekmektedir. Araştırmada puzolan olarak kullanılan trasın ve puzolanik agrega olarak kullanılan tuğla kırığının puzolanik aktivitesi TS 25 standartına uygun olarak belirlenmiştir.

### 3.2.3.1 Puzolanik aktivite deneyi

Puzolanik aktivite, belirli incelite öğütülmüş doğal puzolanın su ve sönmüş kireç ile oluşturduğu hidrolik özelliğinin basınç dayanımı ile ifade edilmesidir (TS 25, 2008). Öğütülmüş puzolanın incelik esası, öğütülen miktarın göz açıklığı 90 mikron olan elekten geçirildiğinde elek üzerinde kalan kısmın öğütülen miktarın kütlece % 0,6 'sından daha fazla , göz açıklığı 200 mikron olan elekten geçirildiğinde elek üzerinde kalan puzolan miktarının ise öğütülen miktarının kütlece %8 'inden fazla olmamasına dayanır (TS 25, 2008).

Puzolanik aktivite deneyi standart kum, doğal puzolan ve sönmüş kireç kullanılarak gerçekleştirilir. Standart kum ve puzolan (105 ±5)°C'deki havalandırılmalı etüvde sabit kütleye ulaşıncaya kadar bekletilir. Etüvden çıkarılan malzemeler desikatörde ortam sıcaklığına ulaşıncaya kadar soğumaya bırakılır. Ortam sıcaklığına ulaşan malzemeler Çizelge 3.2'de belirtilen miktarlara göre karıştırılarak harç karışımı hazırlanır. Buna göre hesaplanan karışım miktarları Tablo 3.3'te verilmiştir. Hazırlanan harç önceden yağlanmış 4 x 4 x 16 cm ebatlarında 3 adet kalıba dökülüp üzeri mala ile düzeltildikten sonra kalıpların üzeri cam plakalar ile kapatılıp 24 saat (23±2) °C'de ortam koşullarında bekletilir. 24 saat sonunda numuneler kalıplardan çıkarılmadan (55±2) °C sıcaklığa sahip etüvde 6 gün boyunca bekletilir (TS 25, 2008).

**Çizelge 3.2 :** Puzolanik aktivite deneyi malzeme miktarları (TS 25, 2008).

Malzeme	Kullanılacak malzeme miktarı (gr)
Sönmüş kireç	150
Doğal puzolan	$T = 2 \times 150 \times (\text{Doğal puzolanın yoğunluğu} / \text{Sönmüş kirecin yoğunluğu})$
Standart kum	1350
Su	$0,5 \times (150 + T)$

**Çizelge 3.3 :** Puzolanik aktivite deneyi için hesaplanan malzeme miktarları.

Malzeme	Gerekli malzeme miktarı (gr)	
	Tuğla tozu	Tras
Puzolan	345	316
Kuru kireç	150	150
Sulu kireç	362	362
Kum	1350	1350
Su	247	233

TS EN 1936'ya göre kullanılan sönmüş kirecin yoğunluğu 2.40 gr/cm<sup>3</sup>, kullanılan tuğla tozunun yoğunluğu 2.76 gr/cm<sup>3</sup>, Kullanılan trasın yoğunluğu 2.53 gr/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur.

Numuneler 6. günün sonunda etüvden çıkarılıp ortam sıcaklığına ulaşınca kadar desikatörde soğumaya bırakılır. Ortam sıcaklığına ulaşan numunelere TS EN 196-1' e göre basınç ve eğilme deneyleri uygulanır. İncelenen malzemelerin puzolanik özelliğe sahip olması için üretilen numunelerin 7 günlük eğilme dayanımlarının en az 1 MPa ve 7 günlük basınç dayanımlarının ise en az 4 MPa olması gerekmektedir (TS 25, 2008)

Bölüm 4.3.1 ve Bölüm 4.3.2'de detaylı bir şekilde anlatıldığı üzere TS EN 196-1'e göre gerçekleştirilen eğilme ve basınç deneylerinin sonuçları Çizelge A.8'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kullanılan tuğla tozunun 7 günlük eğilme dayanımı 1,66 MPa, basınç dayanımı 5,26 MPa bulunmuştur. Trasin 7 günlük eğilme dayanımı 1,86 MPa, basınç dayanımı 6,04 MPa bulunmuştur. Bu sonuçlara göre kullanılan tuğla tozu ve puzolanın puzolanik özelliğe sahip olduğu belirlenmiştir

## 4. HARÇ ÜRETİMİ

Deneysel çalışmada model tuğla duvar numunelerinin üretiminde kullanılmak üzere örgü harcı ve numunelerin güçlendirilmesinde kullanılmak üzere güçlendirme harcı üretilmiştir.

### 4.1 Harçların Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Harçların üretiminde agrega olarak tuğla kırığı ve dere kumu, bağlayıcı olarak hidrolik kireç ve tras (doğal puzolan) kullanılmıştır. Numune üretiminde kullanılacak örgü harcını ve üretilen numunelerin güçlendirilmesinde kullanılacak güçlendirme harcını belirlemek için Çizelge 4.1’de gösterildiği gibi 4 seri harç numunesi üretilmiştir. Örgü harcının bağlayıcı:agrega oranları belirlenirken üretilen harç numuneleri, tarihi yapıların harç özelliklerini yansıtacak ve düşük basınç dayanımına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Üretilen duvar numunelerin güçlendirilmesinde kullanılacak sıva harcının bağlayıcı:agrega oranlarını belirlerken tarihi yapıların orijinal malzemeleri ile uyumlu yüksek basınç dayanımına sahip bir harç elde edilmeye yönelik harç serileri üretilmiştir.

Üretilen harç serilerinde hacimce farklı oranlarda bağlayıcı:agrega oranları denenmiş olup serilerin kendi içlerinde hacimce aynı bağlayıcı:agrega oranları ve kütlece aynı miktarlarda su kullanılmıştır. Agregata boyut dağılımları ve bağlayıcı olarak kullanılan hidrolik kireç:tras oranları farklılaştırılarak üretilen harç numunelerinin mekanik dayanımları belirlenmiştir.

Harç karışımları hazırlanırken önce kuru malzemeler topaklanma kalmayacak şekilde karıştırılmış ardından harcın işlenebilirliğine göre su ilave edilmiştir. Üretilen harçlara eklenen su miktarı Çizelge 4.2’de verilen TS EN 1015-2’de harçların boşluklu birim hacim kütlelerine göre verilen yayılma değerlerine uygun olacak biçimde yayılma tablası deneyi ile belirlenmiştir.

**Çizelge 4.1 : Tasarlanan harç serileri.**

Seri Adı	Numune No	Bağlayıcı / Agrega Oranı (Hacimce)	Bağlayıcı / Agrega Oranı (Ağırlıkça)	Bağlayıcı				Agrega										Su
				Hidrolik Kireç		Puzolan (Tras)		Tuğla Kırığı				Dere Kumu						Su Miktarı
				Ağırlıkça (gr)	Hacimce (v)	Ağırlıkça (gr)	Hacimce (v)	8 mm elek Altı		4 mm elek Altı		8 mm elek Altı		4 mm elek Altı		2 mm elek Altı		
								Ağırlıkça (gr)	Hacimce (v)	Ağırlıkça (gr)	Hacimce (v)	Ağırlıkça (gr)	Hacimce (v)	Ağırlıkça (gr)	Hacimce (v)	Ağırlıkça (gr)	Hacimce (v)	Ağırlıkça (gr)
SERİ 1	ÖH1	1/3	1/4	138,5	0.5	274,5	0.5			1054	2					612	1	400
	ÖH2	1/3	1/4	138,5	0.5	274,5	0.5			1054	2			638	1			400
	ÖH3	1/3	1/5	207,75	0.75	137,25	0.25			1054	2					612	1	400
	ÖH4	1/3	1/5	207,75	0.75	137,25	0.25			1054	2			638	1			400
SERİ 2	GH4	2/3	1/2	277	1	549	1	494	1					1276	2			425
SERİ 3	GH1	1/1	3.5/5	277	1	549	1			527	1			638	1			425
	GH2	1/1	3.5/5	277	1	549	1	494	1					638	1			425
	GH3	1/1	1/2	554	2					527	1			638	1			425
	GH6	1/1	3/4	277	1	549	1	494	1			598	1					425
SERİ 4	GH5	1.5/1	1/1	277	1	1098	2	494	1					638	1			510
	GH7	1.5/1	1/1	277	1	1098	2	494	1			598	1					510
	GH8	1.5/1	1/1	554	2	549	1	494	1					638	1			510
	GH9	1.5/1	1/1	554	2	549	1			527	1			638	1			510

**Çizelge 4.2 :** Farklı harçlar için belirlenen yayılma değerleri (TS EN 1015-2, 2000)

Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlesi ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	Yayılma Değeri (mm)
$> 1200$	$175 \pm 10$
$> 600 \leq 1200$	$160 \pm 10$
$> 300 \leq 600$	$140 \pm 10$
$\leq 300$	$120 \pm 10$

Yayılma tablası deneyi, yayılma tablasının merkezine yerleştirilen kesik koni biçimindeki kalıbın içerisine sıkıştırılarak yerleştirilen harç kütlesinin kalıbın düşey yönde hareket ettirilerek çıkarılmasının ardından 1 er saniye sabit aralıklarla tablanın 15 kez düşürülmesi ve yayılan harç kütlesinin çapının ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir (TS EN 1015-3, 2000).

Yayılma deneyi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi örgü ve güçlendirme harçlarına eklenecek su miktarını belirlemek için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.1 :** Örgü harcına yayılma deneyi uygulanması.



**Şekil 4.2 :** Güçlendirme harcına yayılma deneyi uygulanması.

Hazırlanan harç hamurları yağlanmış 4 x 4 x 16 cm ebatlarında kalıplara dökülüp mala ile düzeltildikten sonra kalıpların üzeri cam plakalar ile kapatılmıştır. Her bir harç numunesinden 2 şer kalıp dökülerek kalıplardan biri 28 gün ortam koşullarına bırakılıp diğeri yüksek bağıl nemde etüv içerisinde kürlenmeye tabi tutulmuştur. Şekil 4.3'te gösterildiği gibi kalıplanan numuneler 24 saat ortam koşullarında (23±2)°C' de bekletilmiştir. Ardından kürlenmeye tabi tutulacak numuneler polietilen poşetler içerisine nemli bez ile birlikte konularak poşetlerin ağzı bağlanmış ve ardından (55±2)°C' deki etüve konulup 6 gün etüv içerisinde bekletilmiştir.



**Şekil 4.3 :** Örgü ve Güçlendirme harçlarının kalıplanması.

Ortam koşullarında bekletilen kalıplar 24 saatin ardından kalıplardan çıkarılarak (23±2)°C de ortam koşullarında beklemeye bırakılmıştır. 7. Günün sonunda etüvden çıkarılan numuneler ortam sıcaklığında kuruyuncaya kadar bekletilmiş ve TS 196-1' e göre Şekil 4.4'te görüldüğü gibi eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Aynı deneyler ortam koşullarında bekletilen 28 günlük numuneler üzerinde tekrarlanmıştır. Numunelere uygulanan basınç ve eğilme deneyi sonuçları Çizelge A.8 ve Çizelge A.9'da verilmiştir.

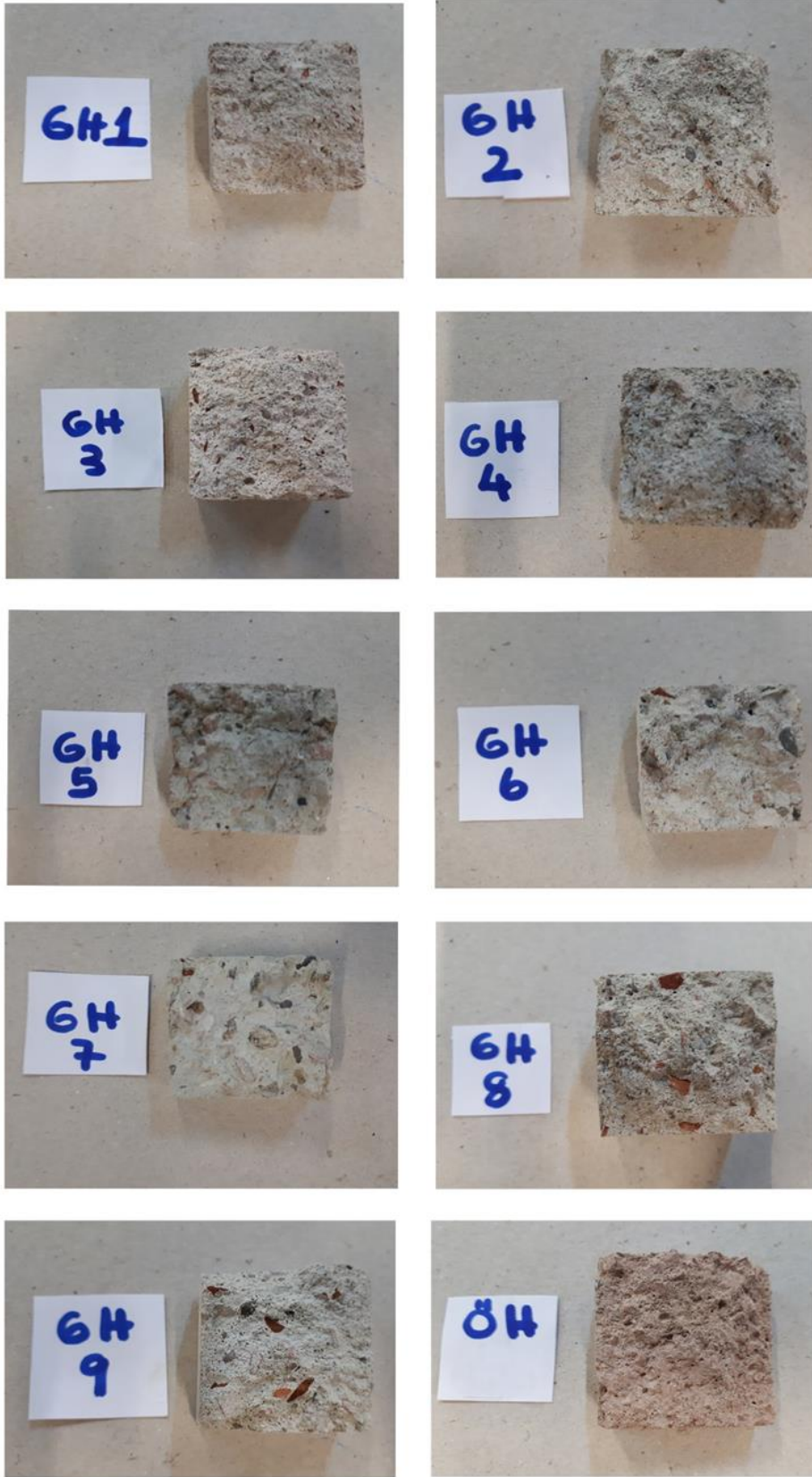


**Şekil 4.4 :** Eğilme ve basınç dayanım deneyi uygulaması.

Çizelge A.9 ve Çizelge A.10’da verilen sonuçlara göre Bölüm 4.3.1 ve Bölüm 4.3.2’de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi üretilen numunelerin basınç ve eğilme değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.3). Hesaplanan sonuçlara göre örgü harcının belirlenmesine yönelik üretilen Seri 1’deki harçlar içerisinde en yüksek basınç dayanımına sahip ÖH2 harcının örgü harcı olarak kullanılması uygun bulunmuştur. Yüksek basınç dayanımı elde edilmeye yönelik üretilen Seri 2, Seri 3, ve Seri 4’teki harçların basınç dayanımları içerisinde en yüksek basınç dayanımına sahip olan harcın GH8 harcı olduğu belirlenmiştir. Fakat GH8 harcının içerisinde 8mm boyutlarında agrega taneleri bulunduğu için üretilen tuğla duvar numunelerinde kullanılacak sıva kalınlığına uygun bulunmadığından maksimum tane boyutu 4mm olan ve GH8 harç numunesinden sonra en yüksek basınç dayanımına sahip GH9 harcının üretilen duvar numunelerin güçlendirilmesinde kullanılması uygun bulunmuştur. Üretilen numunelerin eğilme deneyi sonucunda elde edilen kesit görüntüleri Şekil 4.5’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3 : Harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı değerleri.**

Seri Adı	Numune Adı	Yüksek Bağıl Nem İle Etüvde Kürleme (7 Gün)		Ortam Koşullarında Bekletme 28 Gün (23±2)°C Sıcaklık	
		Eğilme (MPa)	Basınç (MPa)	Eğilme (MPa)	Basınç (Mpa)
Seri 1	ÖH1	1,28	2,56	0,64	1,82
	ÖH2	1,19	3,72	0,60	2,13
	ÖH3	1,16	1,93	0,81	1,35
	ÖH4	1,33	1,94	0,93	1,61
Seri 2	GH4	2,04	5,71	0,75	2,18
Seri 3	GH1	3,25	8,35	0,86	2,91
	GH2	2,99	8,51	1,05	3,08
	GH3	1,89	4,52	1,39	2,89
	GH6	2,21	6,33	0,72	2,22
Seri 4	GH5	1,70	6,05	0,63	2,03
	GH7	2,23	6,81	0,71	2,17
	GH8	1,96	9,39	1,38	4,52
	GH9	1,98	9,01	1,32	4,27



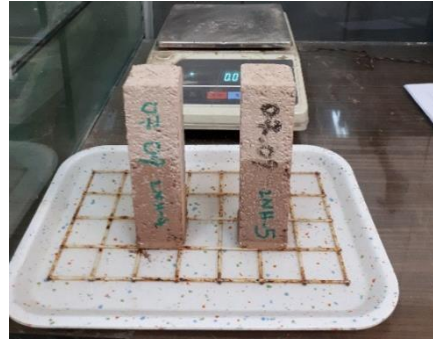
Şekil 4.5 : Üretilen harç numunelerinin kesitleri.

## 4.2 Harçların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

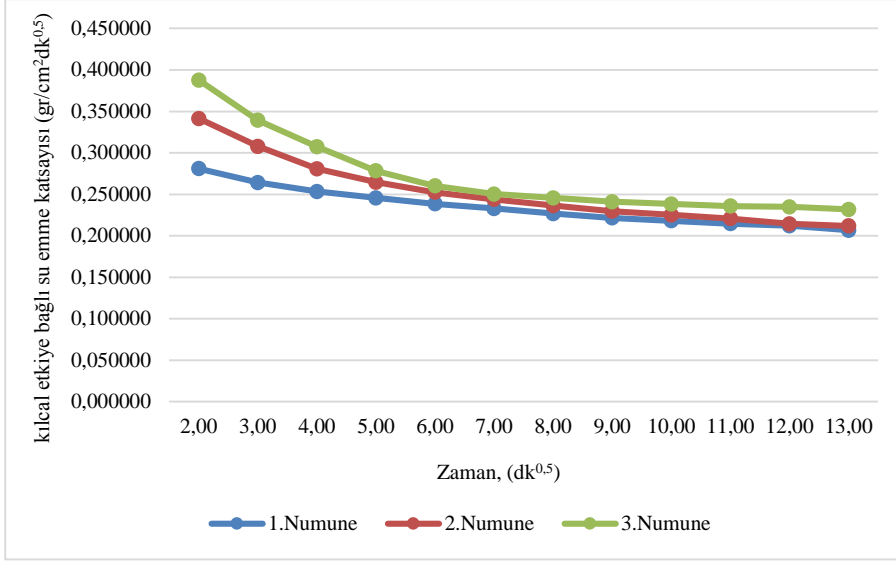
Örgü harcı olarak kullanılan ÖH2 harcının ve model tuğla duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan GH9 harcının 28 gün ortam koşullarında bekletilen 4 x 4 x 16 cm ebatlarındaki numunelerine TS EN 1925 standartına göre kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, TS EN 13755 standartına göre atmosfer basıncında su emme tayini ve TS 1936 ve TS 1015-10 standartlarına göre birim hacim ağırlık deneyleri uygulanmıştır.

### 4.2.1 Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini

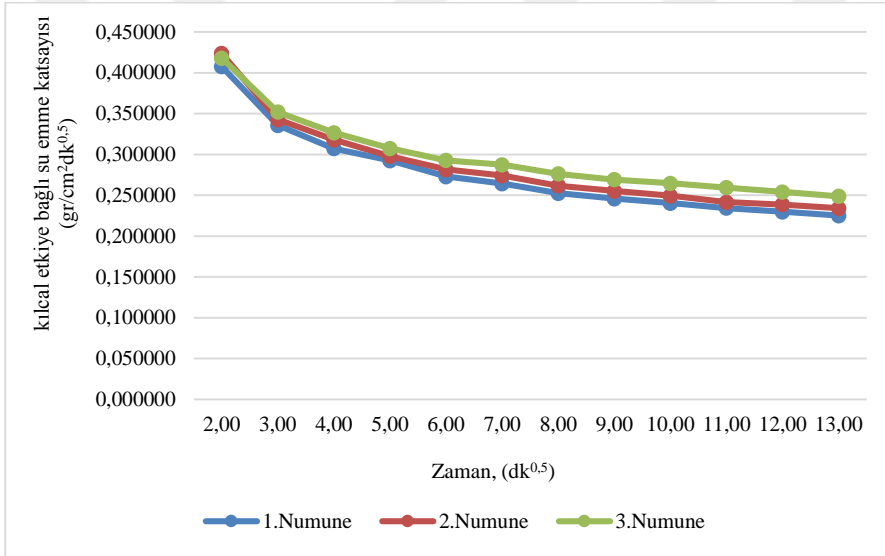
Model duvar numunelerinin üretimi ve güçlendirilmesinde kullanılmak üzere belirlenen harçların 4 x 4 x 16 cm boyutlarındaki numunelerine kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini deneyi Bölüm 3.1.1.1’de detaylı olarak anlatıldığı şekilde uygulanmıştır. 28 gün ortam koşullarında bekletilen deney numuneleri sabit kütleye ulaşmaya kadar etüvde kurutulmuş, ardından Şekil 4.6’da görüldüğü gibi numunelerin bir yüzleri su ile temas edecek şekilde ve numunelerin (3±1) mm yüksekliğine gelinceye kadar su bulunan kabın içerisine yerleştirilip belirlenen sürelerde numunelerin ağırlık ölçümleri yapılarak kaydedilmiştir (Çizelge A.11), (Çizelge A.12). Yapılan ağırlık ölçümlerine göre harçların kılcal etkiye bağlı su emme grafikleri çizilmiştir.(Şekil 4.7), (Şekil 4.8).



Şekil 4.6 : Harçlara kılcal etkiye bağlı su emme deneyinin uygulanması.



Şekil 4.7 : Örgü harcının kılcal etkiye bağlı su emme grafiği.



Şekil 4.8 : Güçlendirme harcının kılcal etkiye bağlı su emme grafiği.

#### 4.2.2 Atmosfer basıncı altında su emme deneyi

Model duvar numunelerinin üretiminde ve güçlendirilmesinde kullanılmak üzere belirlenen harçlara ait 4 x 4 x 16 cm ebatlarındaki numunelere su emme deneyi Bölüm 3.1.2’de detaylı olarak anlatıldığı şekilde uygulanmıştır. Ortam koşullarında 28 gün bekletilen harç numuneleri sabit kütleye ulaşıncaya kadar etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkan numuneler ortam sıcaklığına ulaşınca ağırlık ölçümleri yapıp Şekil 4.9’da görüldüğü gibi su dolu kabın içerisinde doymuş ağırlığa ulaşıncaya kadar bekletilmiştir. Sudan çıkarılan numunelerin ağırlık ölçümleri yapıp su emme değerleri hesaplanmıştır. (Çizelge A.13), (Çizelge A.14).



**Şekil 4.9 :** Harç numunelerine atmosfer basıncı altında su emme deneyinin uygulanması.

#### 4.2.3 Birim hacim ağırlık deneyi

Bir numunenin kuru kütlelerinin görünür hacmine oranı birim hacim ağırlığını verir. Görünür hacim, numunenin bünyesindeki boşlukların da dahil edildiği dış yüzeyleriyle sınırlı olan hacmidir (TS EN 1936, 2010). Düzgün şekle sahip olmayan cisimlerin birim hacim ağırlıkları su emme deneyi yardımıyla yapılabilir (TS EN 1015-10, 2001). Numunelerin birim hacim ağırlık değerleri aşağıdaki formüle (4.1) göre hesaplanmıştır.

$$p_b = m_d / (m_s - m_h) \quad (4.1)$$

$\rho_b$ : Numunenin birim hacim ağırlığı, (gr/cm<sup>3</sup>)

$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)

$m_s$ : Numunenin suya doymuş ağırlığı, (gr)

$m_h$ : Su içerisine batırılan numunenin ağırlığı, (gr)

$m_s - m_h$ : Görünür hacim (cm<sup>3</sup>)

#### 4.3 Harçların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Model tuğla duvar numunelerinin üretimi ve güçlendirilmesinde kullanılan harçların 4 x4x16 cm boyutlarındaki numunelerine TS EN 196-1'e göre eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Eğilme ve basınç deneyleri MFL marka 100 kN kapasiteye sahip deney cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen örgü harcı numunelerine ve güçlendirme harcı numunelerine yüksek bağıl nemde etüv içerisinde 7 gün, ortam koşullarında 28 ve 90 gün bekletilmelerinin ardından basınç ve eğilme deneyleri

uygulanmıştır. Örgü harcından farklı olarak güçlendirme harcı numunelerine 7 gün ortam koşullarında kapalı polietilen poşet içerisinde harcın kendi nemi ile kürlenmesinin ardından polietilen poşet içerisinde çıkarılan numuneler ortam koşullarında 21 gün daha bekletildikten sonra basınç ve eğilme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca ortam koşullarında ilk 7 günü su ile nemlendirilmiş harç numunelerin 28 ve 90 gün ortam koşullarında bekletilmesinin ardından numunelere basınç ve eğilme deneyleri uygulanmıştır.

#### 4.3.1 Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme deneyi düzeneği Şekil 4.10'da görüldüğü gibi aralıkları 100 mm olan iki adet çelik mesnet silindir ve silindirlerin ortasına yerleştirilen yükleme silindirinden oluşmaktadır. 4x4x16 cm ebatlarındaki numuneler yan yüzeylerinden bir tanesi silindir mesnetlerin üzerine yerleştirilmiş ve yükleme silindiri 0.5 N/mm<sup>2</sup> sabit hızla numunelerin mesnetlere oturan yüzeyinin karşıt yüzeyine numuneler kırılıncaya kadar uygulanmıştır (Şekil 4.10). Elde edilen sonuçlar Çizelge A.15'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre numunelerin eğilme dayanımları aşağıdaki formülle (3.8) hesaplanmıştır (TS EN 196-1, 2016).



Şekil 4.10 : Eğilme deneyinin uygulanması.

$$R_f = (1,5 \times F_f \times l) / b^3 \quad (3.8)$$

$R_f$ : Eğilme dayanımı, (MPa)

$F_f$ : Prizmatik numuneye kırıldığı anda uygulanan yük miktarı, (N)

$l$ : Silindir mesnetlerin arasındaki mesafe, (100 mm)

$b$ : Prizmatik numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu, (mm)

Çizelge A.15'te verilen deney sonuçlarına göre hesaplanan eğilme değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

### 4.3.2 Basınç dayanım deneyi

Eğilme deneyi sonucunda ikiye ayrılan harç numunelerinin her birine basınç deneyi uygulanmıştır. Basınç deneyi Şekil 4.10'da görüldüğü gibi numune parçalarının alt ve üst yüzeylerine yerleştirilen plakalar arasına yatay olarak yerleştirilen numunelere kırılana kadar  $240 \pm 200$  N/s sabit hızla yükleme uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar Çizelge A.15'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre numunelerin eğilme dayanımları aşağıdaki formülle (3.9) hesaplanmıştır (TS EN 196-1, 2016).



Şekil 4.11 : Basınç dayanım deneyinin uygulanması.

$$R_c = F_c \div 1600 \quad (3.9)$$

$R_c$  : Basınç dayanımı, (MPa)

$F_c$  : Kırılma anında uygulanan yük miktarı, (N)

Çizelge A.15'te verilen deney sonuçlarına göre hesaplanan eğilme değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Örgü ve güçlendirme harcının hesaplanan basınç ve eğilme dayanımı değerleri.

Kür Koşulları	Örgü Harcı		Güçlendirme Harcı	
	Eğilme (MPa)	Basınç (MPa)	Eğilme (MPa)	Basınç (MPa)
Yüksek bağıl nem ile 7 gün etüvde kürlenme	1,19	3,71	1,98	9,01
Ortam koşullarında 28 gün bekletme (23±2)°C	0,60	2,13	1,32	4,27
Ortam koşullarında 28 gün bekletme (23±2)°C (Numuneler İlk 7 gün su ile nemlendirilmiştir.)	-	-	1,38	4,51
Polietilen poşet içerisinde kendi nemi ile 7 gün ardından 21 gün ortam koşullarında bekletme (23±2)°C	-	-	1,24	8,83
Ortam koşullarında 90 gün bekletme (23±2)°C	0,74	2,59	1,18	5,15
Ortam koşullarında 90 gün bekletme (23±2)°C (Numuneler ilk 7 gün su ile nemlendirilmiştir.)	-	-	1,17	5,32

### 4.3.3 Aderans deneyi

Model tuğla duvarların üretiminde kullanılan örgü harcının ve üretilen duvarların güçlendirilmesinde kullanılan harcın tuğla yüzeyi ile olan aderans değerlerini belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyi Şekil 4.12’de görüldüğü gibi dolu tuğlalara uygulanan dairesel harç kesitlerinin üzerine yapıştırılan 5cm çapında alüminyum başlıkların Pull Off cihazına bağlanmasının ardından gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.12 : Harçlara çekme deneyi uygulanması.

Çekme deneyleri sonucunda elde edilen aderans değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Deneyler sonucunda meydana gelen kopmalar örgü harcında Şekil 4.13’de görüldüğü gibi harçtan, güçlendirme harcında ise Şekil 4.13’de görüldüğü gibi harç-tuğla arasından harcın tuğladan parçaçık kopması şeklinde gerçekleşmiştir. Örgü harcının ortalama kopma değeri:  $\text{ortalama kopma yükü/alan: } 233/3.14 \times 625 = 0,11 \text{ N/mm}^2$ , güçlendirme harcının ortalama kopma değeri:  $\text{ortalama kopma yükü/alan: } 466/3.14 \times 625 = 0,23 \text{ N/mm}^2$  dir.

Çizelge 4.5 : Harçların kopma yükleri.

Numune No	Harcın Uygulandığı Yüzey	Kopma Yüğü (N)	Ortalama Kopma Yüğü (N)
ÖH-1	Harman Tuğlası	200	
ÖH-2	Harman Tuğlası	200	233
ÖH-3	Harman Tuğlası	300	
GH-1	Harman Tuğlası	600	
GH-2	Harman Tuğlası	400	466
GH-3	Harman Tuğlası	400	



**Şekil 4.13 :** Aderans deneyi sonucunda harçların kopma biçimleri.

#### **4.4 Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi**

Örgü harcı olarak belirlenen ÖH2 ve güçlendirme harcı olarak belirlenen GH9 harcının 28 gün ortam koşullarında bekletilen 4x4 x16 cm ebatlarındaki numunelerinin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN 1925 standartına göre kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini, TS EN 13755 standartına göre atmosfer basıncında su emme tayini ve TS 1936 ve TS 1015-10 standartlarına göre birim hacim ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca üretilen harçların 4x4x16 cm ebatlarındaki numunelerinin mekanik özellikleri, farklı kür koşullarında TS EN 196-1'e göre belirlenmiştir.

##### **4.4.1 Harçların fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi**

###### **4.4.1.1 Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısı deneyinin sonuçları**

Örgü harcı ve güçlendirme harcının 28 gün ortam koşullarında bekletilen 3'er adet 4 x 4 x 16 cm ebatlarındaki numunelerine uygulanan kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini deneyi sonuçlarına göre, örgü harcının ortalama kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının  $0,25 \text{ gr/cm}^2\text{dk}^{0,5}$ , güçlendirme harcının ortalama kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının  $0,28 \text{ gr/cm}^2\text{dk}^{0,5}$  olduğu belirlenmiştir. Güçlendirme harcının kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının daha fazla olması harçta bulunan boşlukların daha küçük ve boşlukların birbirleriyle daha iyi bağlantılı olduğunu göstermektedir.

#### **4.4.1.2 Atmosfer basıncı altında su emme deneyinin sonuçları**

Örgü harcı ve güçlendirme harcının 28 gün ortam koşullarında bekletilen 3 er adet 4 x 4 x 16 cm ebatlarındaki numunelerine uygulanan atmosfer basıncı altında su emme deneyi sonuçlarına göre: Örgü harcının ortalama kütlece su emme değeri % 16, ortalama hacimce su emme değeri %28; güçlendirme harcının ortalama kütlece su emme değerinin %14, ortalama hacimce su emme değerinin % 25 olduğu belirlenmiştir. Güçlendirme harcının karışımında ince malzeme miktarının örgü harcına göre daha fazla olması, güçlendirme harcının su emme yüzdesinin örgü harcına göre daha düşük olmasına neden olmuştur.

#### **4.4.1.3 Birim hacim ağırlık deneyinin sonuçları**

Örgü harcı ve güçlendirme harcının ortam koşullarında bekletilen numunleri üzerinde yapılan birim hacim ağırlık deneyi sonuçlarına göre ÖH2 harcının birim hacim ağırlığının 1.68 gr/cm<sup>3</sup> , GH9 harcının birim hacim ağırlığının 1.76 gr/cm<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir. Tarihi yapıların harç özelliklerini inceleyen araştırmalara göre bu değerlerin 1,40-1,80 gr/cm<sup>3</sup> aralığında olduğu belirtilmektedir (Çizer vd., 2004). Buna göre üretilen harçların birim hacim ağırlık değerlerinin tarihi yapılarda kullanılan harçların değerlerine benzerlik gösterdiği görülmüştür.

#### **4.4.2 Harçların mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi**

Örgü harcının karışım oranları, tarihi yapıların orijinal harç özelliklerini yansıtabilecek ve düşük basınç dayanımına sahip olacak şekilde belirlenmiştir. Güçlendirmede kullanılan sıva harcının oranları ise tarihi yapıların orijinal harç özellikleri ile uyumlu, örgü harcına göre yüksek basınç dayanımına sahip olacak şekilde belirlenmiştir.

İstenilen özelliklere sahip harç karışım oranları belirlenirken; harç karışımında kullanılan agregaların tane boyut dağılımları, bağlayıcı oranları (hidrolik kireç:tras) ve harçların kür koşulları farklılaştırılarak harçların mekanik özellikleri kıyaslanmıştır.

##### **4.4.2.1 Harç karışımlarında agrega tane boyut dağılımının etkisi**

Harç serilerinde kullanılan tuğla kırığı agregaların maksimum tane boyutu;

- 4 mm ‘den 8 mm’ye çıkarıldığında harçların mekanik dayanımlarının yaklaşık olarak % 5 oranında arttığı görülmüştür.

Harç serilerinde kullanılan dere kumu agregaların maksimum tane boyutu;

- 2 mm'den 4 mm'ye çıkarıldığında harçların mekanik dayanımlarının % 40 arttığı,
- 4 mm'den 8 mm'ye çıkarıldığında harçların mekanik dayanımlarının % 25 azaldığı,
- 4 mm'den 8 mm'ye çıkarıldığında ve hacimce tras miktarı 2 katına çıkarıldığında harçların mekanik dayanımlarının % 8 arttığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlara göre, harç karışımlarında kullanılan agregaların granülometrisinin harçların mekanik dayanımında önemli bir faktör olduğu görülmüştür.

#### **4.4.2.2 Harç karışımlarında bağlayıcı oranlarının etkisi**

Hacimce bağlayıcı:agrega oranı sabit , aynı özelliklerde ve aynı miktarda agrega kullanılan iki harç karışımında; GH1 harcında bağlayıcı olarak 1 hacim tras, 1 hacim hidrolik kireç, GH3 harcında bağlayıcı olarak sadece 2 hacim hidrolik kireç kullanılmıştır. Yüksek bağıl nemde ( $55\pm 2$ )°C etüvde 7 gün kürlenmiş numunelerde; GH1 harcının basınç dayanımının (8.35 MPa) GH3 harcının basınç dayanımının (4.52 MPa) yaklaşık 2 katı olduğu belirlenmiştir. Ortam koşullarında ( $23\pm 2$ )°C'de 28 gün bekletilen numunelerde; GH1 harcının basınç dayanımının (2.91 MPa), GH3 harcının basınç dayanımının (2.89 MPa) yaklaşık olarak aynı olduğu belirlenmiştir. Buna göre harç karışımlarında bağlayıcı olarak kullanılan trasın yüksek bağıl nem ve yüksek sıcaklıkta, harçların mekanik dayanımını önemli oranda artırdığı görülmektedir.

Hacimce aynı miktarlarda ve aynı özellikte agrega ve hidrolik kireç kullanılan iki harç karışımında; GH2 harcında bağlayıcı olarak 1 hacim tras, 1 hacim hidrolik kireç, GH5 harcında bağlayıcı olarak 2 hacim tras, 1 hacim hidrolik kireç kullanılmıştır. Yüksek bağıl nemde ( $55\pm 2$ )°C etüvde 7 gün kürlenmiş numunelerde; GH5 harcının basınç dayanımının (6.05 MPa) GH2 harcının basınç dayanımına (8.52 MPa) göre yaklaşık %35 oranında daha az olduğu belirlenmiştir. Ortam koşullarında ( $23\pm 2$ )°C'de 28 gün bekletilen numunelerde; GH5 harcının basınç dayanımının (2.03 MPa), GH2 harcının basınç dayanımına (3.08 MPa) göre yaklaşık %35 oranında daha az olduğu belirlenmiştir.

#### 4.4.2.3 Harç karışımlarında kür koşullarının etkisi

Araştırma kapsamında tasarlanan 4 seri harç numunelerinin farklı kür koşullarında mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Buna göre;

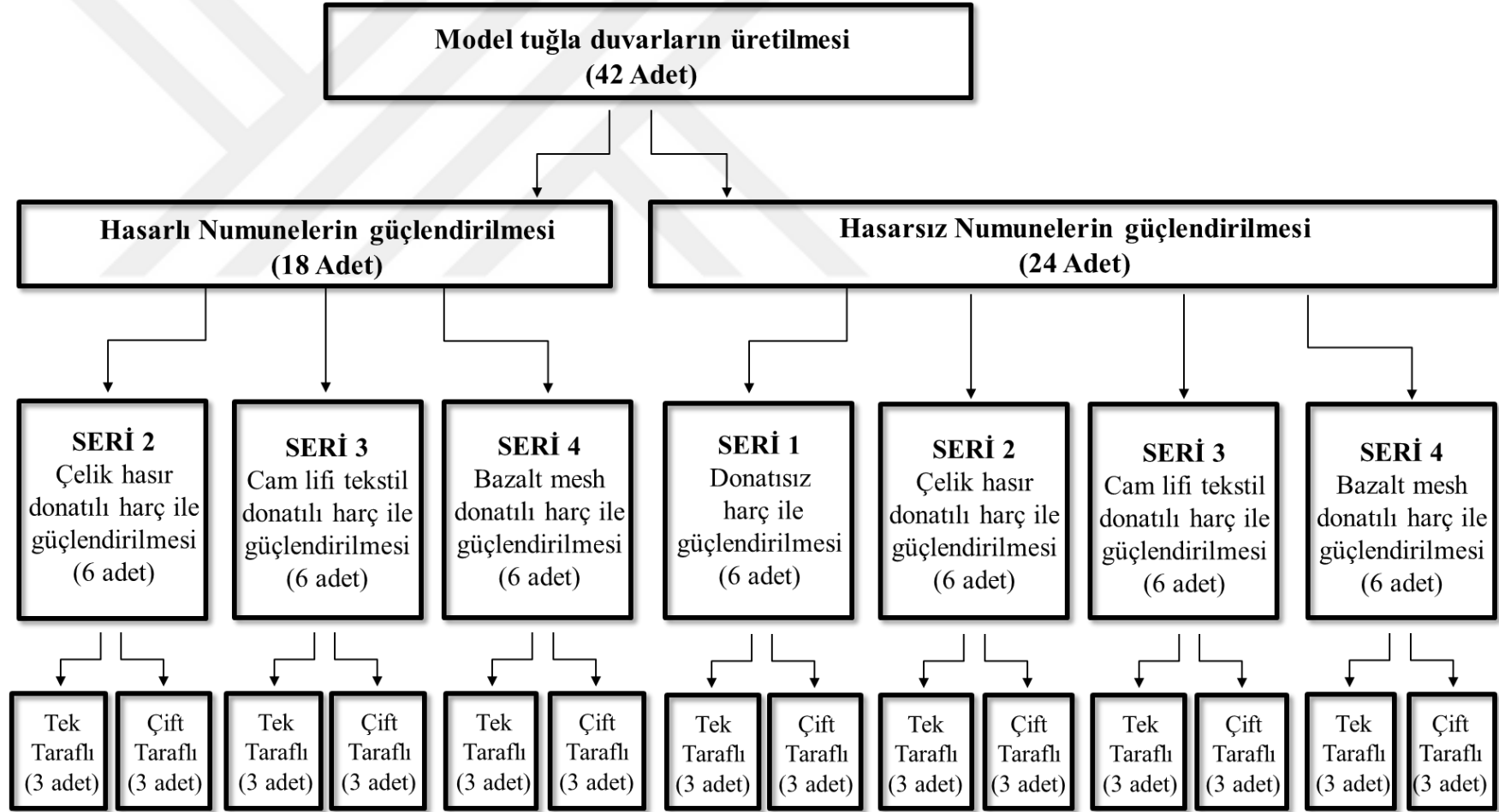
- $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de 28 gün ortam koşullarında bekletilen numunelerin mekanik dayanımlarının,  $(55\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de yüksek bağıl nem ile 7 gün bekletilen numunelere göre %35 ila %75 oranında daha az olduğu belirlenmiştir.
- İlk 7 gün nemlendirilen ve  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de 28 gün ortam koşullarında bekletilen numunelerin mekanik dayanımlarının, aynı koşullarda bekletilen fakat nemlendirilmeyen numunelere göre %5 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- İlk 7 gün polietilen poşet içerisinde nemli bez ile birlikte, ardından  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de 21 gün ortam koşullarında bekletilen numunelerin mekanik dayanımlarının,  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de 28 gün ortam koşullarında bekletilen numunelere göre %100 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de 90 gün ortam koşullarında bekletilen numunelerin mekanik dayanımlarının,  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de 28 gün ortam koşullarında bekletilen numunelere göre %20 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- İlk 7 gün nemlendirilen ve  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 'de 90 gün ortam koşullarında bekletilen numunelerin mekanik dayanımlarının, aynı koşullarda bekletilen fakat nemlendirilmeyen numunelere göre %5 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Buna göre yüksek bağıl nem ve yüksek sıcaklığın harçların mekanik özelliklerini önemli oranda artırdığı görülmüştür. Harcın uygulandığı ilk günlerde su ile nemlendirilmesinin harçların mekanik dayanımına olumlu katkıda bulunduğu görülmüştür. Ayrıca harçların zaman içerisinde mekanik dayanımlarının arttığı belirlenmiştir.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 5.1 Deney Programı

Deneysel çalışma dolu harman tuğlaları ve horasan harcı kullanılarak üretilen model duvarlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Model tuğla duvarlarda 19 cm x 9 cm x 5 cm ebatlarındaki dolu harman tuğlalarının elmas testere ile 9.5cm x 4.5cm x 2.5cm boyutlarında kesilmesiyle elde edilen model tuğlalar kullanılmıştır. Model tuğla duvarların üretiminde ve güçlendirilmesinde laboratuvar koşullarında üretilen horasan harçları kullanılmıştır. Deneysel çalışmada 42 adet model duvar numunesi üretilmiş ve üretilen numuneler 4 seri halinde gruplandırılarak incelenmiştir. Tüm serilerde güçlendirmede kullanılan sıva harcı aynı olup harç ile birlikte uygulanan donatı türü farklılaştırılmıştır. 6 adet duvar numunesinden oluşan Seri 1’de donatı kullanılmadan sadece sıva harcı ile güçlendirme yapılmış, hasarsız duvar numuneleri tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilerek incelenmiştir. 12 şer numuneden oluşan Seri 2, Seri 3 ve Seri 4’te duvar numuneleri hasarlı ve hasarsız olarak tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilmişlerdir. Diyagonal yükleme uygulanan ve hasar gören 18 adet model tuğla duvar, doğal hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ile onarıldıktan sonra güçlendirilmiştir. Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların mekanik özellikleri belirlenmiş ve yalın hallerinin mekanik özellikleri ile karşılaştırılmıştır. Donatı olarak Seri 2’de çelik hasır donatı, Seri 3’de cam lifi tekstil donatı, Seri 4’de ise bazalt mesh tekstil donatı kullanılmıştır. Güçlendirilen 42 adet duvar numunesi 90 gün laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra tuğla duvarlar 45 derece açı yapacak şekilde yükleme eksenine yerleştirilmiş ve numunelere tek eksenli diyagonal basınç deneyi uygulanmıştır. Numunelere uygulanan diyagonal tek eksenli basınç yükleri ile yapının maruz kaldığı deprem, rüzgar gibi yatay yüklerin ve düşey yüklerin birlikte değerlendirilmesi sağlanmıştır. Araştırmada incelenen her bir değişken için 3’er adet duvar numunesi deneye tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak kesin sonuçlara ulaşılmıştır.



Şekil 5.1 : Deney programı.

## 5.2 Model Tuğla Duvarların Hazırlanması ve Kodlanması

Deneysel çalışmada üretilen model duvarların boyutları yüklemeye yapılacak makinenin boyut ve alan kapasitesine göre 20 cm x 20 cm ebatlarında olacak şekilde üretilmiştir. Model duvarların üretiminde, 19 cm x 9 cm x 5 cm ebatlarındaki dolu harman tuğlalarının elmas testere ile 9.5cm x 4.5cm x 2.5cm boyutlarında kesilmesiyle elde edilen tuğlalar kullanılmıştır (Şekil 5.2).



**Şekil 5.2 :** Elmas testere ile kesilen model tuğlalar.

Kesilen tuğlalar harcının suyunu emmemesi için ıslatılıp suya doymun hale getirilmiş ve ardından duvar kalınlığı 4.5 cm ve derz aralığı 1 cm olacak şekilde örgü harcı ile örülmüştür (Şekil 5.3). Üretilen duvar numuneleri laboratuvar koşullarında 90 gün bekletildikten sonra deneyler gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 5.3 :** Üretilen model tuğla duvarlar.

Numuneler güçlendirmede kullanılan donatı çeşitlerine göre Çizelge 5.1’de gösterildiği gibi 4 seri halinde gruplandırılmış ve [XX/X/X/X-X] olarak kodlanmıştır. Kodlamayı oluşturan değişkenler sırasıyla:

- Güçlendirme malzemesi (harç: H, harç + çelik hasır: HÇ, harç + bazalt mesh: HB, harç + cam lifi: HC)
- Hasar durumu (hasarsız numune: 0, hasarlı numune: H);
- Güçlendirme şekli (tek taraflı güçlendirilen numuneler: 1, çift taraflı güçlendirilen numuneler: 2)
- Üretilen aynı tür numune sayısı olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 5.1 : Model tuğla duvarların kodları.**

Güçlendirme Malzemesi		Hasar Durumu	Güçlendirme Şekli	Numune No
Seri 1	Donatısız Harç	Hasarsız Yalın Model Tuğla Duvar	Tek Taraflı	H01-1 H01-2 H01-3
			Çift Taraflı	H02-1 H02-2 H02-3
Seri 2	Çelik Hasır Donatılı Harç	Hasarsız Yalın Model Tuğla Duvar	Tek Taraflı	HÇ01-1 HÇ01-2 HÇ01-3
			Çift Taraflı	HÇ02-1 HÇ02-2 HÇ02-3
		Hasarlı Yalın Model Tuğla Duvar	Tek Taraflı	HÇH1-1 HÇH1-2 HÇH1-3
			Çift Taraflı	HÇH2-1 HÇH2-2 HÇH2-3
Seri 3	Cam Lifi Tekstil Donatılı Harç	Hasarsız Yalın Model Tuğla Duvar	Tek Taraflı	HC01-1 HC01-2 HC01-3
			Çift Taraflı	HC02-1 HC02-2 HC02-3
		Hasarlı Yalın Model Tuğla Duvar	Tek Taraflı	HCH1-1 HCH1-2 HCH1-3
			Çift Taraflı	HCH2-1 HCH2-2 HCH2-3
Seri 4	Bazalt Mesh Donatılı Harç	Hasarsız Yalın Model Tuğla Duvar	Tek Taraflı	HB01-1 HB01-2 HB01-3
			Çift Taraflı	HB02-1 HB02-2 HB02-3
		Hasarlı Yalın Model Tuğla Duvar	Tek Taraflı	HBH1-1 HBH1-2 HBH1-3
			Çift Taraflı	HBH2-1 HBH2-2 HBH2-3

### 5.3 Deney Düzeneğinin Hazırlanması ve Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışma İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvar'ında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Shinder Firmasının Form Test isimli cihazında yapılmıştır (Şekil 5.4). Cihaz en fazla 300 kN basınç yüklemesi yapabilmekte ve en fazla 40 cm yüksekliğindeki numunlerin incelenmesine olanak vermektedir.



Şekil 5.4 : Deneylerin gerçekleştirildiği cihaz.

Üretilen duvarlara diyagonal yükleme yapılabilmesi için polimer malzemedan üretilen duvar başlıkları kullanılmıştır. Numunelerin üretiminden ve güçlendirilmesinden sonra 90 ar gün bekletilen numunelere diyagonal tek eksenli basınç yüklemesi uygulanmıştır. Numunelerin yer değiştirme ölçümleri 0.01 mm hassasiyetinde ölçüme olanak tanıyan Sagonomiya isimli ekstansometre ile yapılmıştır (Şekil 5.5). Okumalar numunelere uygulanan her 1 kN'luk yük artışına göre kademeli olarak yapılmıştır.



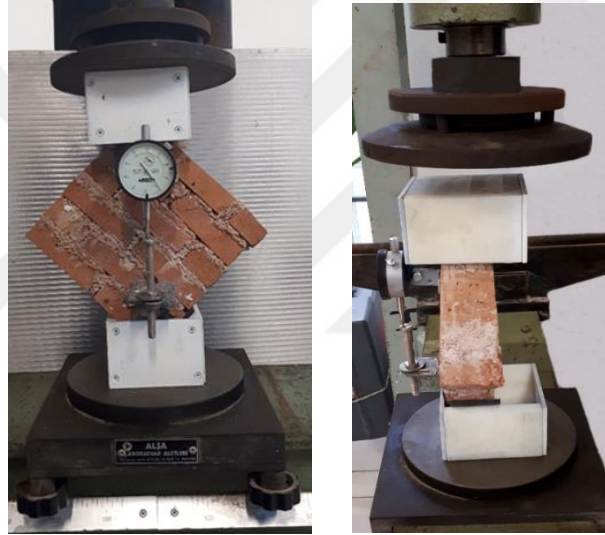
Şekil 5.5 : Ekstansometre.

## 5.4 Yalın Model Tuğla Duvarlar Üzerinde Gerçekleştirilen Deneyler

Model tuğla duvarlara uygulanan güçlendirme uygulamalarının etkinliğini belirlemek için yalın duvar numunelerinin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Model tuğla duvarların kayma dayanımları diyagonal tek eksenli basınç deneyi ile ASTM E519 / E519M-15'e göre belirlenmiş, yük-şekil değiştirme ve gerilme şekil değiştirme grafikleri çizilmiştir.

### 5.4.1 Yalın model duvarların kayma dayanımlarının belirlenmesi

Laboratuvar koşullarında 90 gün bekletilen model tuğla duvarların 18 adetine Şekil 5.6'da görüldüğü gibi diyagonal tek eksenli basınç deneyi numunelerde göçme gerçekleşene kadar uygulanmıştır.



Şekil 5.6 : Yalın model tuğla duvarlara diyagonal basınç deneyi uygulanması.

Model tuğla duvar numunelerinin kayma dayanımları (5.1), (5.2) formüllerine göre hesaplanmıştır (ASTM E519 / E519M - 15, 2015). Numunelerin deplasman değerleri ise (5.3) formülüne göre belirlenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen yalın tuğla duvar numunelerine ait kırılma yükleri, kayma gerilmeleri ve deplasman değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

$$S_s = 0.707P / An \quad (5.1)$$

$S_s$  : Numunelerin kayma gerilmesi, (MPa)

$P$  : Kırılma anında uygulanan yük miktarı, (N)

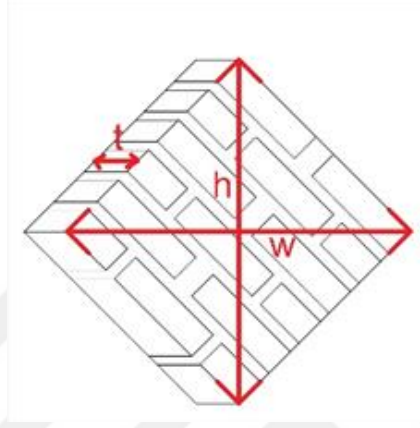
$$An = [(w + h) / 2] \times t \quad (5.2)$$

$An$ : Numunenin net kesit alanı, (mm<sup>2</sup>)

$w$ : Numunenin x yönündeki yatay uzunluğu, (mm)

$h$ : Numunenin y yönündeki dikey uzunluğu, (mm)

$t$ : Numunenin kalınlığı, (mm)



**Şekil 5.7** : Numunelerin net kesit alanı hesabında kullanılan ölçüler.

$$\varepsilon = \Delta_l / L \quad (5.3)$$

$\varepsilon$  : Numunelerin şekil değiştirme değeri

$\Delta_l$ : Numunenin y yönündeki yer değiştirmesi, (mm x 10<sup>-2</sup>)

$L$ : Numunenin yer değiştirme ölçümünün yapıldığı dikey uzunluk, (mm)

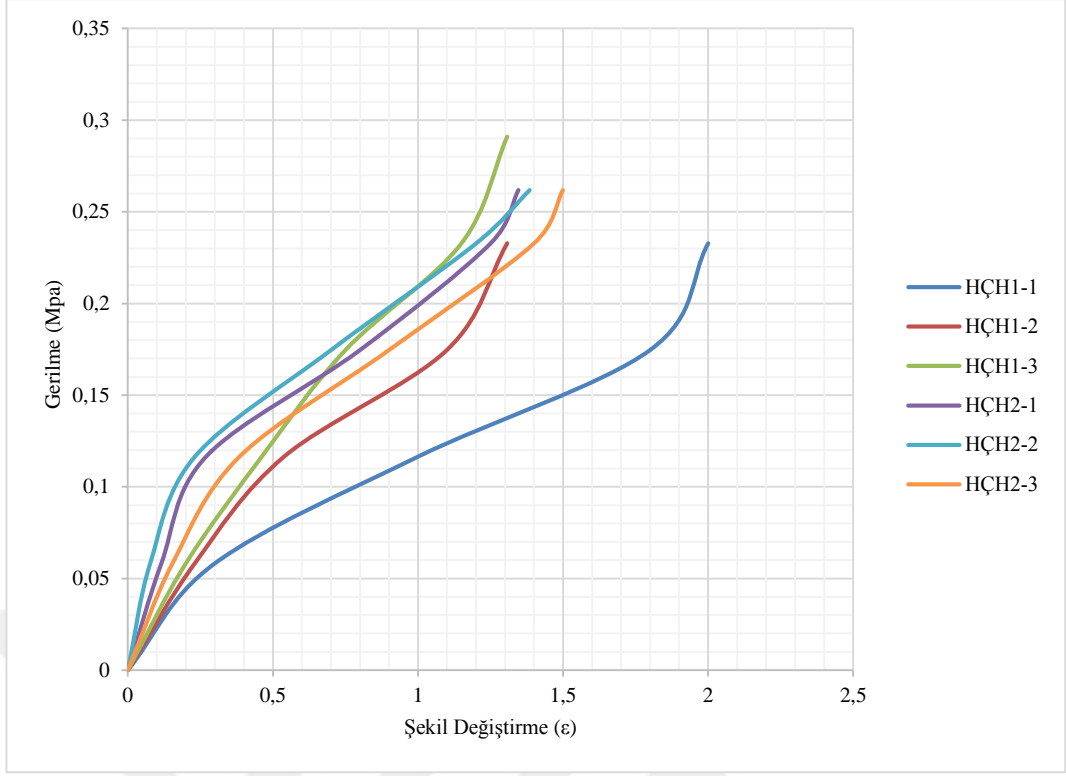


**Şekil 5.8** : Numunelerin yer değiştirme ölçümünün yapıldığı dikey uzunluk.

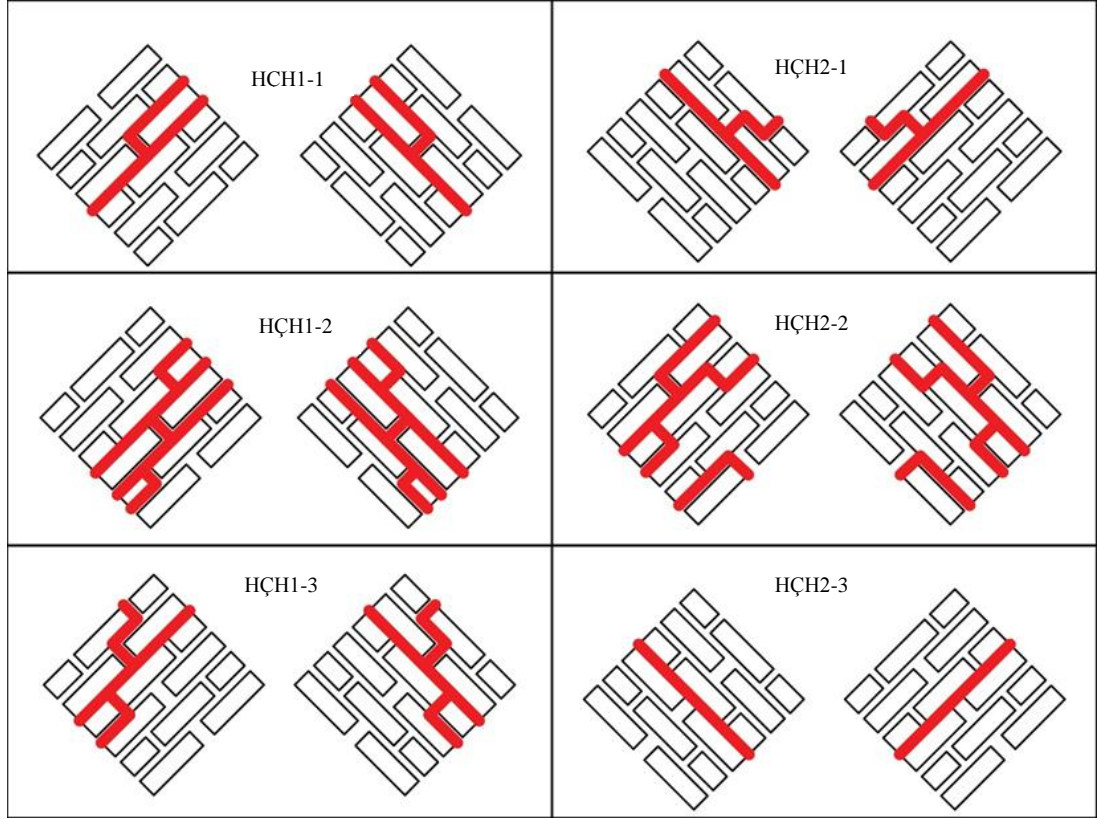
**Çizelge 5.2 : Yalın model tuğla duvarların mekanik özellikleri**

Seri No	Numune Adı	Kırılma Yüğü (N)	En Yüksek Kayma Gerilmesi (MPa)	En Yüksek Düşey Şekil Değişirme ( $\epsilon$ )
Seri 2	HÇH1-1	4000	0,23	2,0
	HÇH1-2	4000	0,23	1,3
	HÇH1-3	5000	0,29	1,3
	HÇH2-1	4500	0,26	1,3
	HÇH2-2	4500	0,26	1,3
	HÇH2-3	4500	0,26	1,5
Seri 3	HCH1-1	6500	0,37	1,1
	HCH1-2	6000	0,34	2,3
	HCH1-3	5000	0,29	2,3
	HCH2-1	5500	0,32	3,4
	HCH2-2	4500	0,26	1,9
	HCH2-3	4000	0,23	1,9
Seri 4	HBH1-1	4500	0,29	1,1
	HBH1-2	4500	0,29	1,3
	HBH1-3	4000	0,23	2,0
	HBH2-1	4500	0,26	2,0
	HBH2-2	7000	0,40	1,8
	HBH2-3	4000	0,23	1,6

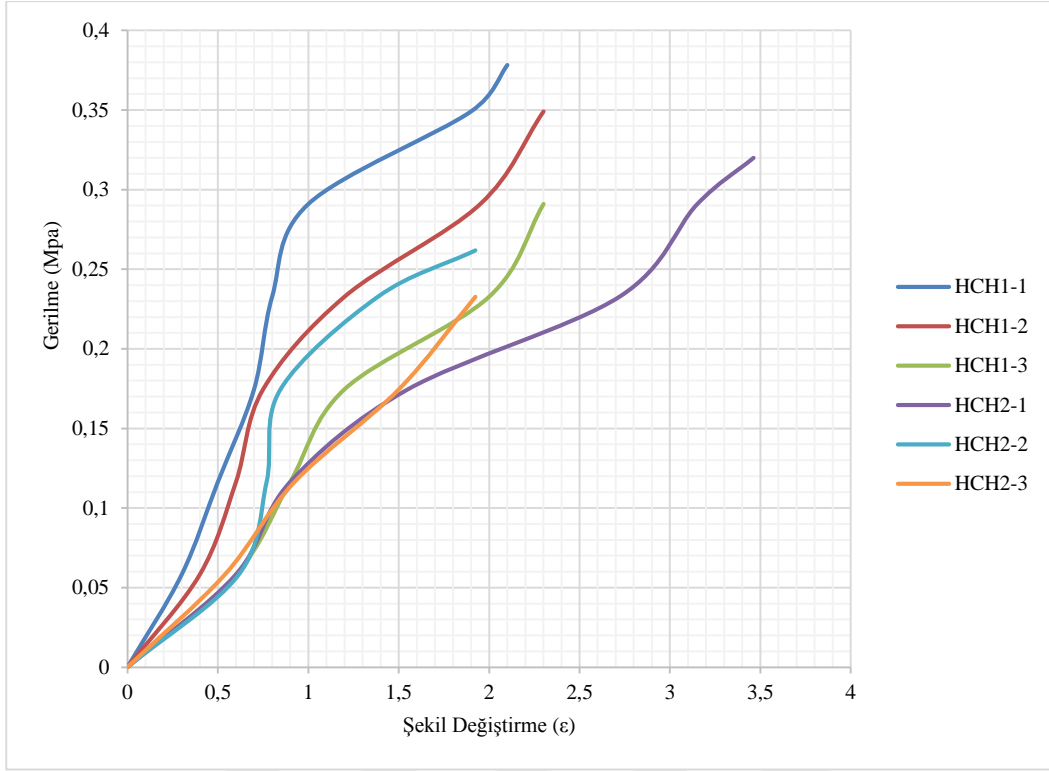
Numunelerde kırılmalar tuğla ve harç arasındaki yatay ve düşey derzlerden yükleme eksenini doğrultusunda ilerleyerek gerçekleşmiş ve tüm yalın tuğla duvar numuneleri ani bir şekilde kırılarak göçmeye uğramıştır. Elde edilen sonuçlar serilere göre gruplandırılarak incelenmiştir. Seri 2'ye ait Gerilme-Şekil Değişirme grafiği Şekil 5.9'da, numunelerin kırılma şekilleri Şekil 5.10'da verilmiştir. Seri 3'e ait Gerilme-Şekil Değişirme grafiği Şekil 5.11'de, numunelerin kırılma şekilleri Şekil 5.12'de verilmiştir. Seri 3'e ait gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.13'de, numunelerin kırılma şekilleri Şekil 5.14'te verilmiştir.



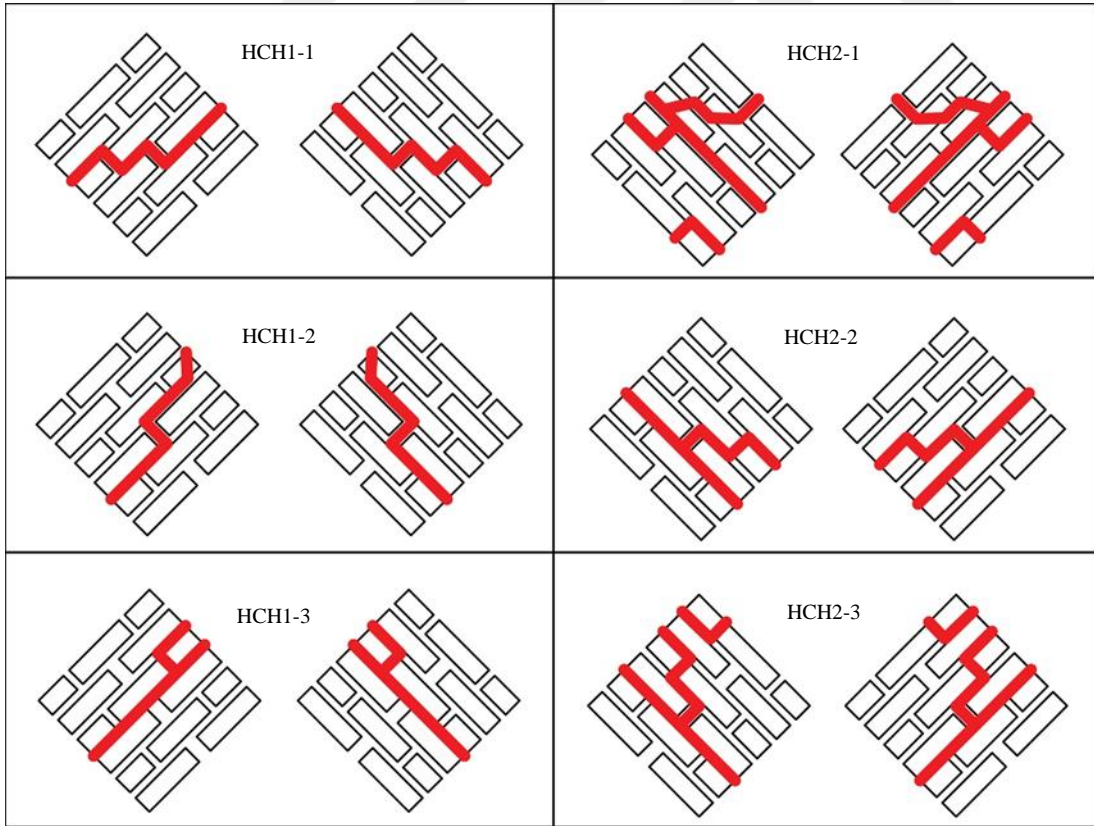
Şekil 5.9 : Yalın model tuğla duvarların (Seri 2) gerilme-şekil değişirme grafiği.



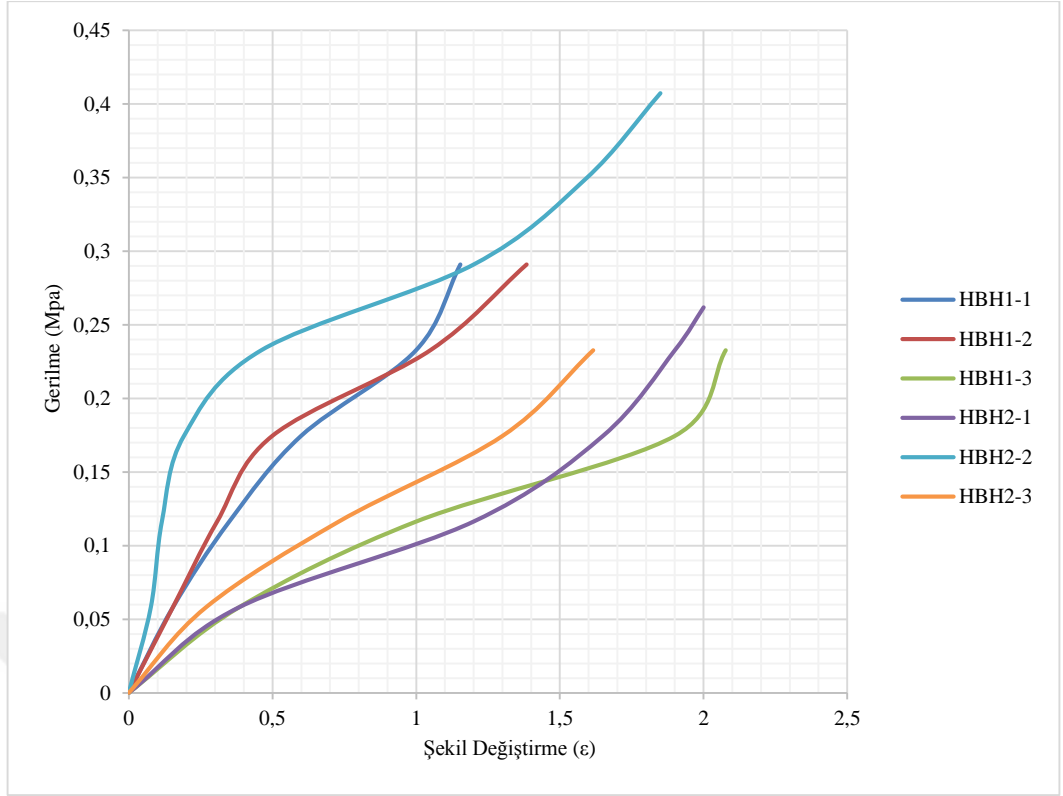
Şekil 5.10 : Yalın model tuğla duvar numunelerinin (Seri 2) kırılma şekilleri.



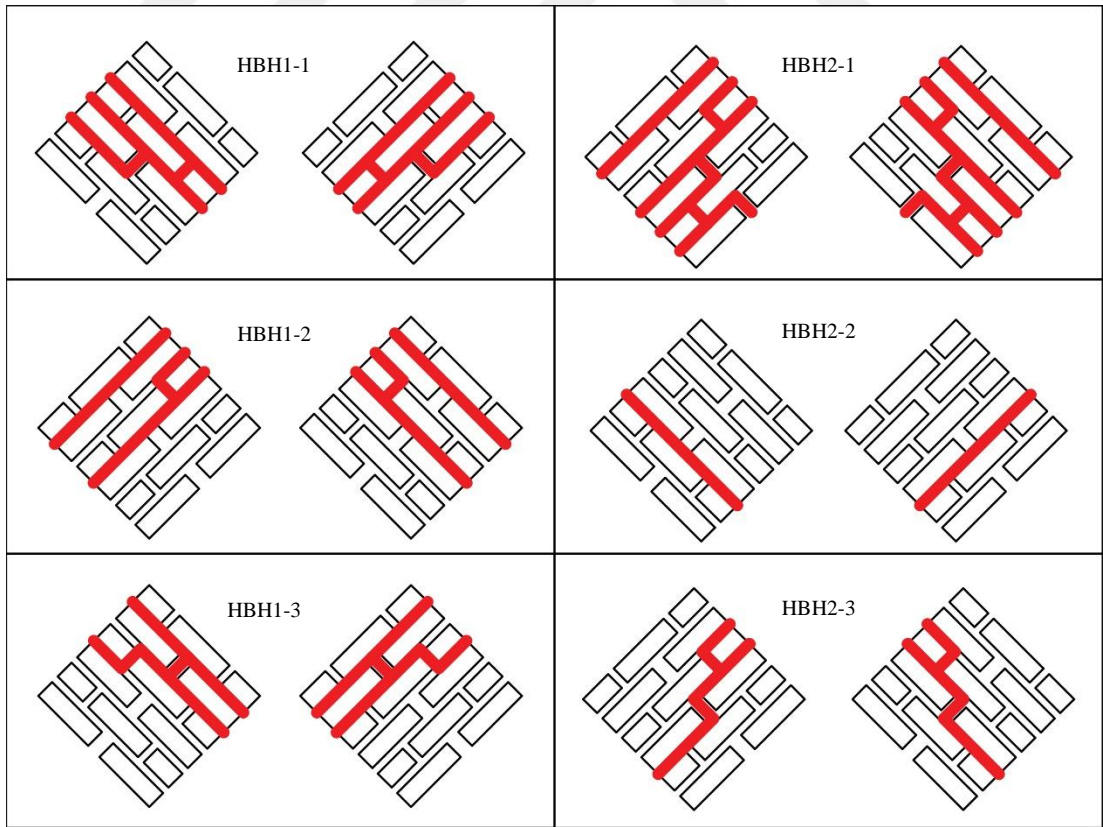
Şekil 5.11 : Yalın model tuğla duvarların (Seri 3) gerilme-şekil değişirme grafiği.



Şekil 5.12 : Yalın model tuğla duvarların (Seri 3) kırılma şekilleri.



Şekil 5.13 : Yalın model tuğla duvarların (Seri 4) gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 5.14 : Yalın model tuğla duvarların (Seri 4) kırılma şekilleri.

#### 5.4.2 Hasarlı numunelerinin onarılması

Diyagonal basınç deneyi sonucunda Şekil 5.15’de görüldüğü gibi hasar gören yalın model tuğla duvarlar Şekil 5.16’da görüldüğü gibi piyasadan hazır olarak temin edilen doğal hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ile onarılmıştır.



Şekil 5.15 : Diyagonal basınç deneyi sonucunda hasar gören yalın tuğla duvar.



Şekil 5.16 : Hasarlı model tuğla duvarların enjeksiyon harcı ile onarılması.

#### 5.5 Model Tuğla Duvar Numunelerin Güçlendirilmesi

Laboratuvar koşullarında hazırlanan ve 90 gün aynı koşullarda bekletilen 42 adet model tuğla duvarların 18 adetine güçlendirme uygulanmadan yalın halde diyagonal basınç deneyi uygulanmıştır. Hasar gören numuneler hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ile onarılmıştır. Onarılan ve yükleme yapılmayan model tuğla duvar numuneleri 3 farklı donatı kullanılarak ve donatısız horasan harcı ile 4 seri oluşturulacak şekilde güçlendirilmiştir.

##### 5.5.1 Numunelerinin donatısız harç ile güçlendirilmesi (Seri 1)

Model tuğla duvarların donatısız horasan harcı ile güçlendirilmesinin duvarların mekanik özelliklerine olan etkisini belirlemek için 6 adet model tuğla duvar donatısız harç ile güçlendirilmiştir. Yükleme yapılmamış 6 adet model tuğla duvar numunesinin

3 adeti tek taraflı, 3 adeti ise çift taraflı güçlendirilmiştir. Numuneler Şekil 5.17’de görüldüğü gibi 1 cm harç kalınlığı uygulanacak şekilde kalıplanmıştır.



**Şekil 5.17 :** Model tuğla duvarların kalıplanması.

Model tuğla duvarlara harç uygulanmadan önce duvarların yüzeyi bol su ile ıslatılmıştır. Numunelerin Şekil 5.18’de görüldüğü gibi öncelikle tek yüzlerine harç uygulanmış ve 1 hafta bekletilmiştir. Numuneler 1 hafta sonunda kalıptan çıkarılmış ve arka yüzleri tekrar kalıplanarak 1cm kalınlığında harç ile güçlendirilmiştir.



**Şekil 5.18 :** Model tuğla duvarların donatısız horasan harcı ile güçlendirilmesi.

### **5.5.2 Numunelerin çelik hasır donatılı harç ile güçlendirilmesi ( Seri 2)**

Üretilen model tuğla duvar numunelerininin 12 adeti, 25x25 mm göz açıklığında ve 1 mm kalınlığında çelik hasır donatı ve horasan harcı ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerin 6 adeti onarılmış numunelerden (3 adeti tek taraflı, 3 adeti çift taraflı güçlendirilmiştir), 6 adeti ise hasarsız numunelerden (3 adeti tek taraflı, 3 adeti çift taraflı güçlendirilmiştir), oluşmaktadır.

Çelik hasır donatılar Şekil 5.19’da görüldüğü gibi duvar yüzeyinden 5 mm mesafe kalacak şekilde 4 noktadan duvara ankrajlanmıştır. Duvar yüzeyleri harç uygulanmadan önce bol su ile ıslatılmıştır. Ardından duvar yüzeyinden itibaren 1 cm kalınlığında olacak şekilde harç uygulanmıştır.



**Şekil 5.19 :** Çelik hasır donatılıların model tuğla duvarlara ankrajlanması.

Numunelerin öncelikle tek yüzleri güçlendirilmiş ve güçlendirilen numuneler 1 hafta sonra kalıptan çıkarılmıştır. Çift taraflı güçlendirilen numunelerin diğer yüzlerine de çelik hasır donatılar aynı şekilde ankrajlanmış ve duvar yüzeyinden itibaren 1 cm kalınlığında harç uygulanmıştır.

### **5.5.3 Numunelerin cam lifi tekstil donatılı harç ile güçlendirilmesi (Seri 3)**

Üretilen model tuğla duvar numunelerinin 12 adeti, 25x25 mm göz açıklığında ve 0.5 mm kalınlığında alkali dayanımlı cam lifi tekstil donatı ve horasan harcı ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerin 6 adeti onarılmış numunelerden (3 adeti tek taraflı, 3 adeti çift taraflı güçlendirilmiştir), 6 adeti ise hasarsız numunelerden 3 adeti tek taraflı, 3 adeti çift taraflı güçlendirilmiştir), oluşmaktadır.

Model tuğla duvarların yüzeyleri harç uygulanmadan önce bol su ile ıslatılmıştır. Islatılan duvar yüzeyine 5 mm kalınlığında harç uygulanmıştır. Şekil 5.20’de görüldüğü gibi duvar yüzeyi boyutlarında kesilen cam lifi tekstil donatı, duvar yüzeyine uygulanan 5 mm lik harç tabakası içerisine el ile bastırılarak gömülmüştür. Üzerine 5 mm kalınlığında 2. tabaka harç uygulanmış ve harcın yüzeyi mala ile düzeltilmiştir.



**Şekil 5.20 :** Model tuğla duvarların cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesi.

Numunelerin öncelikle tek yüzleri güçlendirilmiş ve güçlendirilen numuneler 1 hafta sonra kalıptan çıkarılmıştır. Çift taraflı güçlendirilen numunelerin diğer yüzlerine de aynı işlem uygulanmıştır.

#### **5.5.4 Numunelerin bazalt mesh donatılı harç ile güçlendirilmesi (Seri 4)**

Üretilen model tuğla duvarın 12 adeti, 25x25 mm göz açıklığında ve 0,5 mm kalınlığında bazalt mesh tekstil donatı ve horasan harcı ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerin 6 adeti onarılmış numunelerden (3 adeti tek taraflı, 3 adeti çift taraflı güçlendirilmiştir), 6 adeti ise hasarsız numunelerden 3 adeti tek taraflı, 3 adeti çift taraflı güçlendirilmiştir) oluşmaktadır.

Model tuğla duvarların yüzeyleri harç uygulanmadan önce bol su ile ıslatılmıştır. Islatılan duvar yüzeyine 5 mm kalınlığında harç uygulanmıştır. Şekil 5.21’de görüldüğü gibi duvar yüzeyi boyutlarında kesilen bazalt tekstil donatı, duvar yüzeyine uygulanan 5 mm lik harç tabakası içerisine el ile bastırılarak gömülmüştür. Ardından üzerine 5 mm kalınlığında 2. tabaka harç uygulanmış ve harcın yüzeyi mala ile düzeltilmiştir.



**Şekil 5.21** : Model tuğla duvarların bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesi.

Numunelerin öncelikle tek yüzleri güçlendirilmiş ve güçlendirilen numuneler 1 hafta sonra kalıptan çıkarılmıştır. Çift taraflı güçlendirilen numunelerin diğer yüzlerine de aynı işlem uygulanmıştır.

#### **5.6 Güçlendirilen Numunelere Uygulanan Deneyler**

Laboratuvar koşullarında donatılı ve donatısız harç ile güçlendirilen onarılmış ve yükleme yapılmamış model tuğla duvar numuneleri 90 gün aynı koşullarda bekletildikten sonra ASTM E519 / E519M – 15 standartına göre diyagonal basınç

testine tabi tutulmuştur. Güçlendirilen numuneler kullanılan donatı türüne göre 4 seri halinde incelenmiştir.

### 5.6.1 Donatısız harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler

Laboratuvar koşullarında donatısız horasan harcı ile güçlendirilen ve aynı koşullarda 90 gün bekletilen 6 adet hasarsız model tuğla duvar numunesi ASTM E519 / E519M – 15'e göre Şekil 5.22'da görüldüğü gibi diyagonal basınç deneyine tabi tutulmuştur.

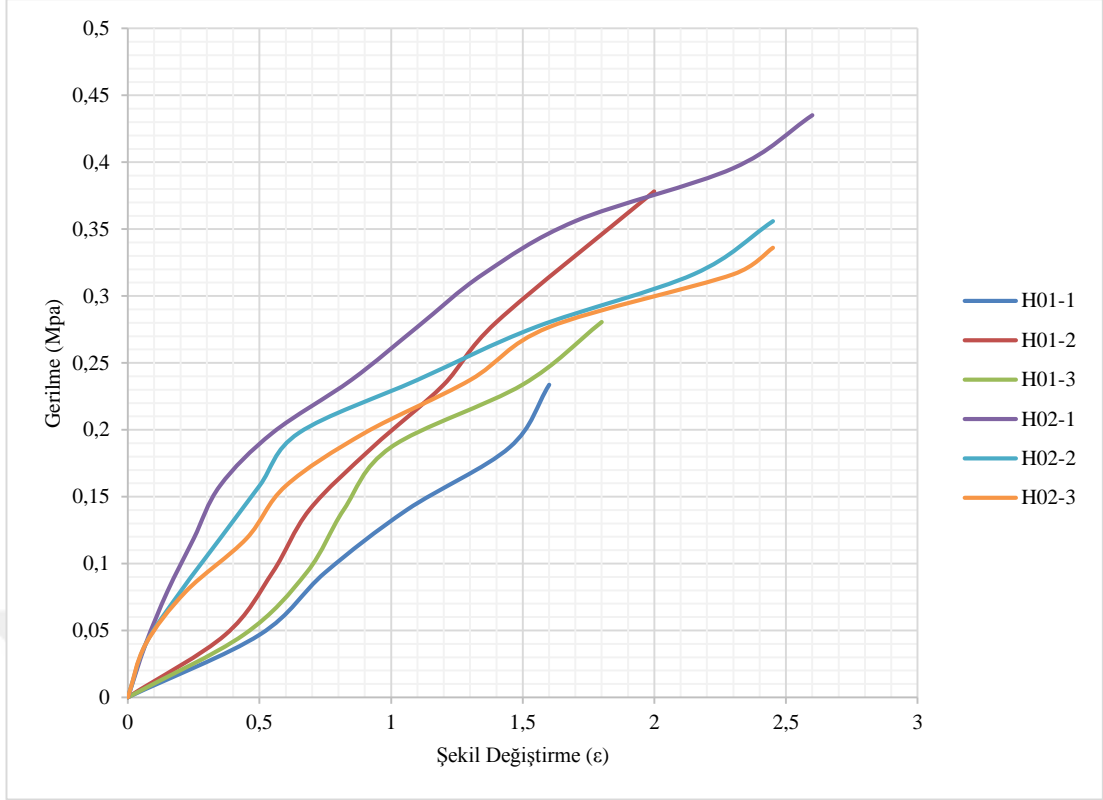


**Şekil 5.22 :** Donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvar numunelerine diyagonal basınç deneyi uygulanması.

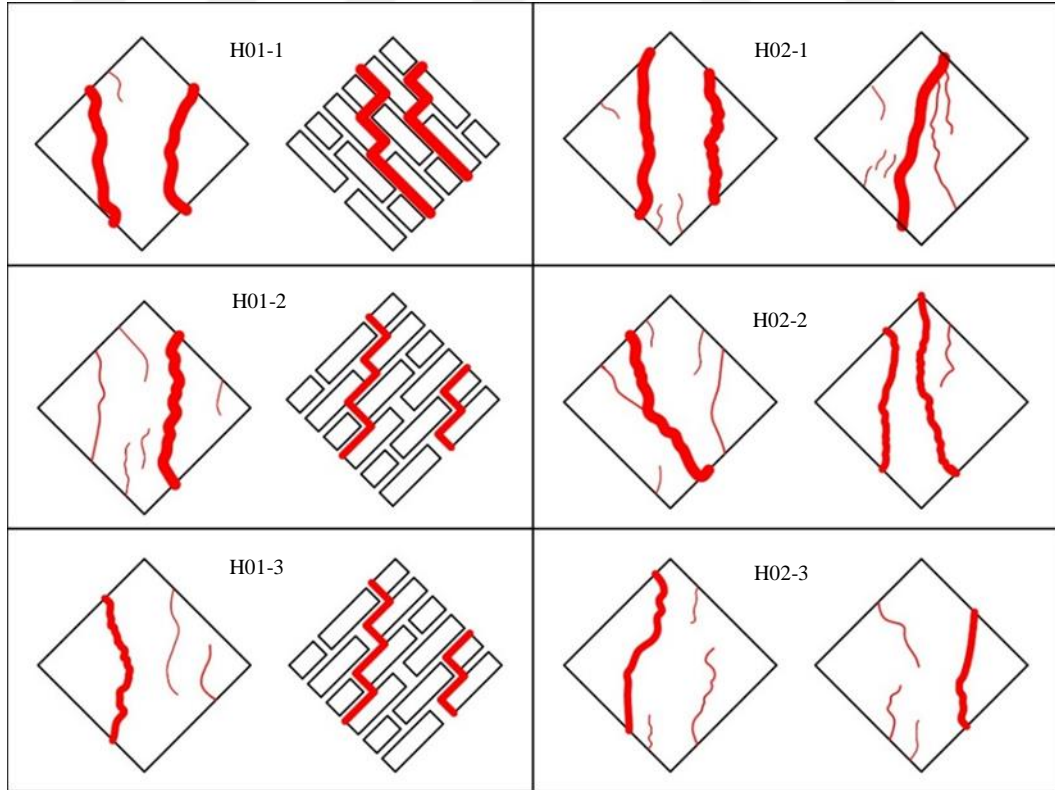
Deney sonucunda elde edilen verilere göre Bölüm 5.4.1'de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi numunelerin kayma dayanımları ve deplasman değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.3). Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.23'de verilmiştir. Model tuğla duvar numunelerinin kırılma şekilleri Şekil 5.24'de verilmiştir.

**Çizelge 5.3 :** Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri.

Seri 1	Numune Adı	Kırılma Yüğü (N)	En Yüksek Kayma Gerilmesi (MPa)	En Yüksek Düşey Şekil Değişirme ( $\epsilon$ )
Hasarsız Numuneler	H01-1	5000	0,23	1,60
	H01-2	6500	0,38	2,00
	H01-3	6000	0,28	1,80
	H02-1	11000	0,44	2,60
	H02-2	9000	0,36	2,45
	H02-3	8500,00	0,34	2,45



**Şekil 5.23 :** Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarın (Seri 1) gerilme-şekil değiştirme grafiği.



**Şekil 5.24 :** Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların (Seri 1) kırılma şekilleri.

### 5.6.2 Çelik hasır donatılı harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler

Laboratuvar koşullarında çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen ve aynı koşullarda 90 gün bekletilen 6 adet hasarsız ve 6 adet hasarlı model tuğla duvar numunelerine ASTM E519 / E519M – 15'e göre Şekil 5.25'de görüldüğü gibi diyagonal basınç deneyi uygulanmıştır.

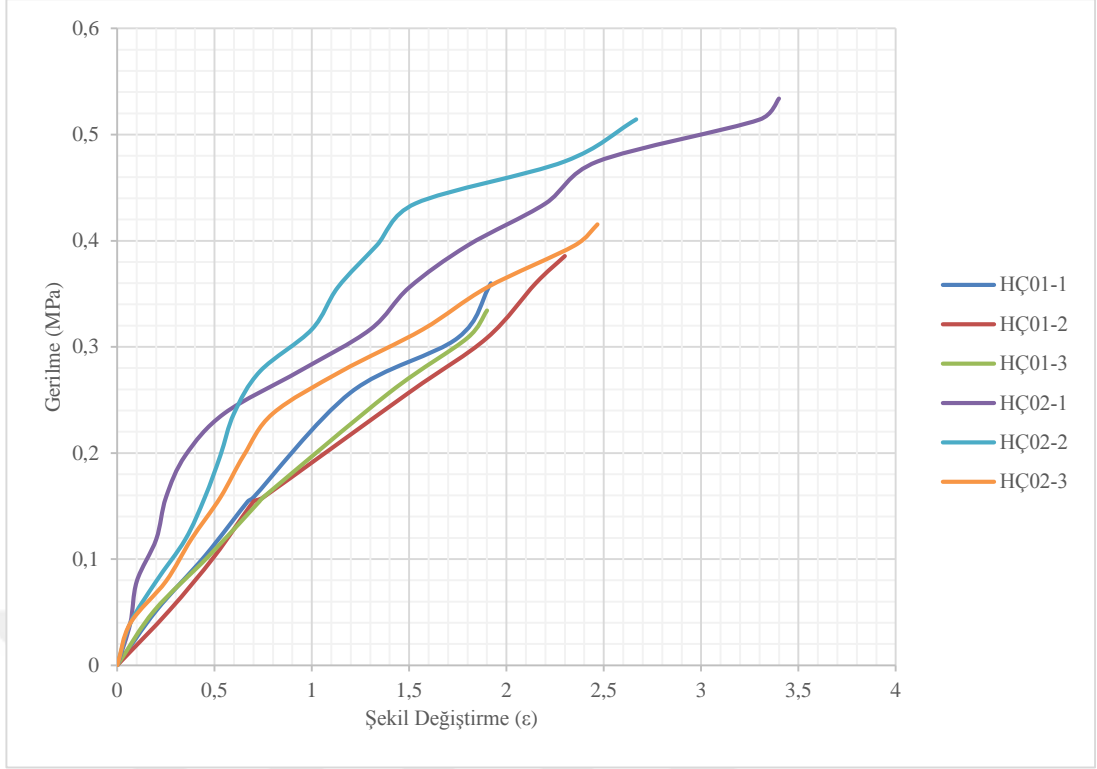


**Şekil 5.25 :** Çelik hasır donatılı harç ile güçlendirilen model tuğla duvar numunesine diyagonal basınç deneyi uygulanması.

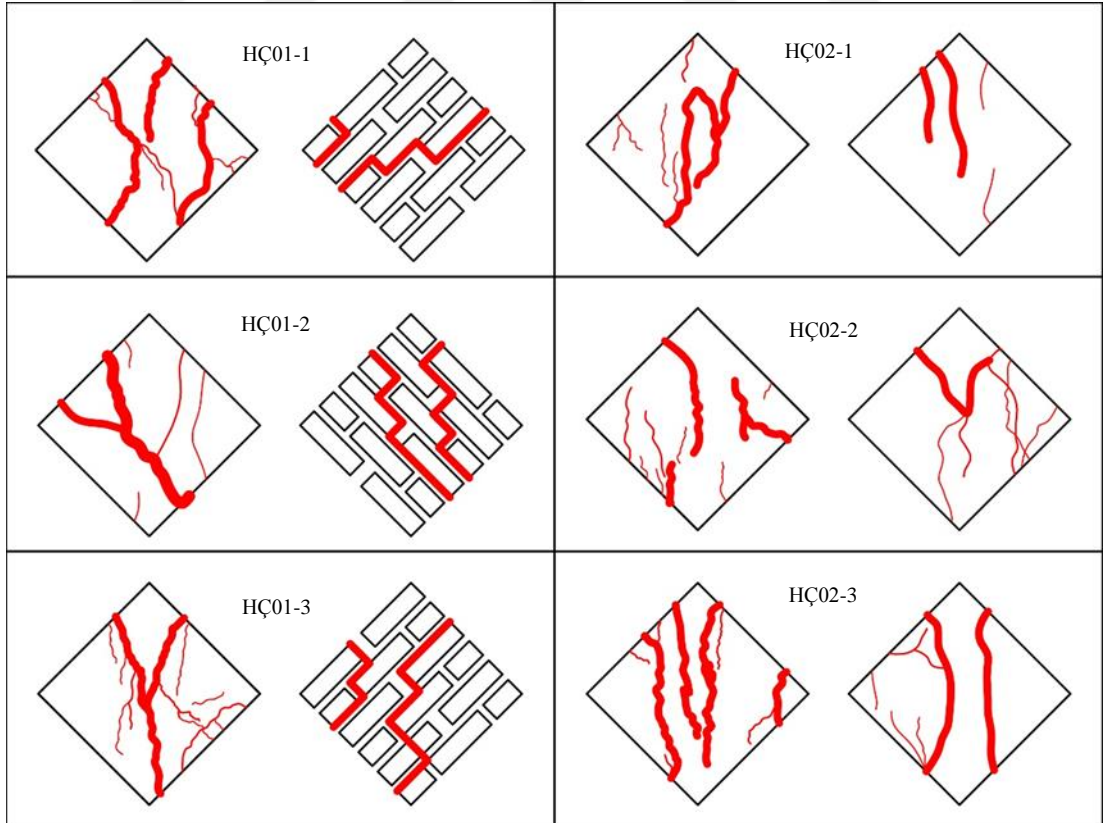
Elde edilen verilere göre Bölüm 5.4.1'de anlatıldığı gibi numunelerin kayma dayanımları ve şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.4). Sonuçlara göre yükleme uygulanmadan güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarlara ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.26'da, kırılma şekilleri Şekil 5.27'de verilmiştir. Yükleme uygulandıktan sonra güçlendirilen hasarlı model tuğla duvar numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.28'de, numunelerin kırılma şekilleri Şekil 5.29'da verilmiştir.

**Çizelge 5.4 :** Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri.

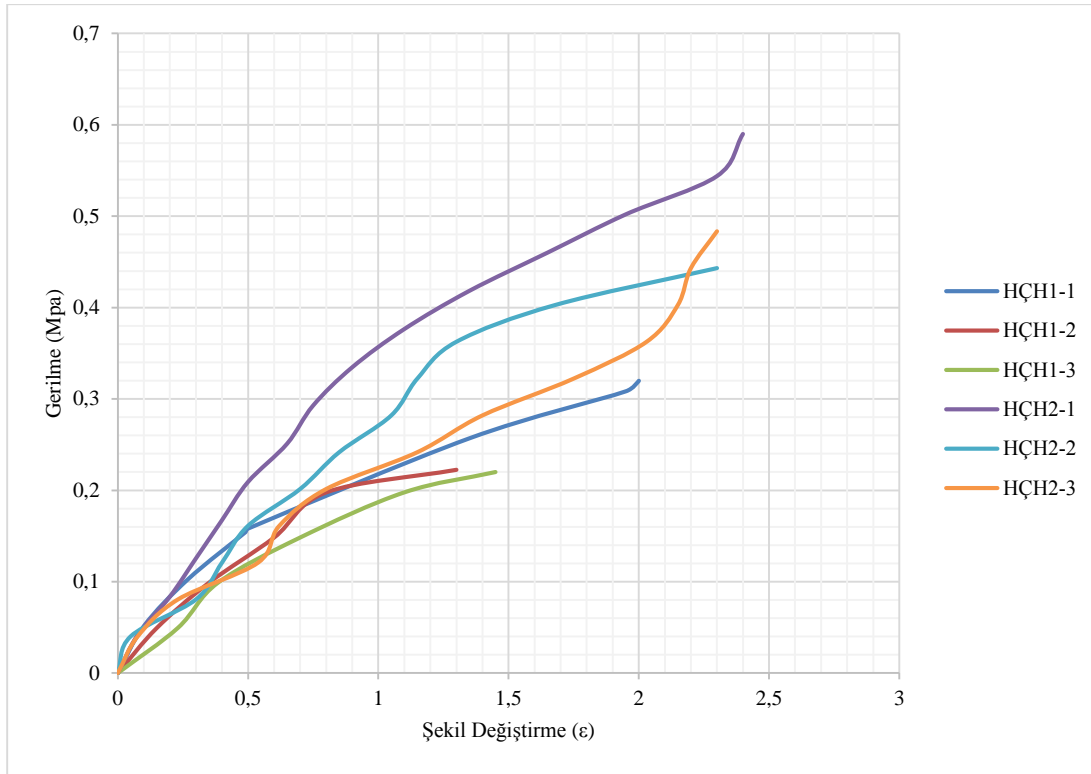
Seri 2	Numune Adı	En Yüksek	En Yüksek	En Yüksek
		Kırılma Yüğü (N)	Kayma Gerilmesi (MPa)	Düşey Şekil Değişirme ( $\epsilon$ )
Hasarsız Numuneler	HÇ01-1	7000	0,36	1,92
	HÇ01-2	7500	0,39	2,30
	HÇ01-3	6500	0,33	1,90
	HÇ02-1	13500	0,53	3,40
	HÇ02-2	13000	0,51	2,67
	HÇ02-3	10500	0,42	2,47
Hasarlı Numuneler	HÇH1-1	6000	0,32	2,00
	HÇH1-2	4500	0,31	1,80
	HÇH1-3	5000	0,31	1,80
	HÇH2-1	14000	0,59	2,40
	HÇH2-2	12000	0,48	2,45
	HÇH2-3	12500	0,50	2,35



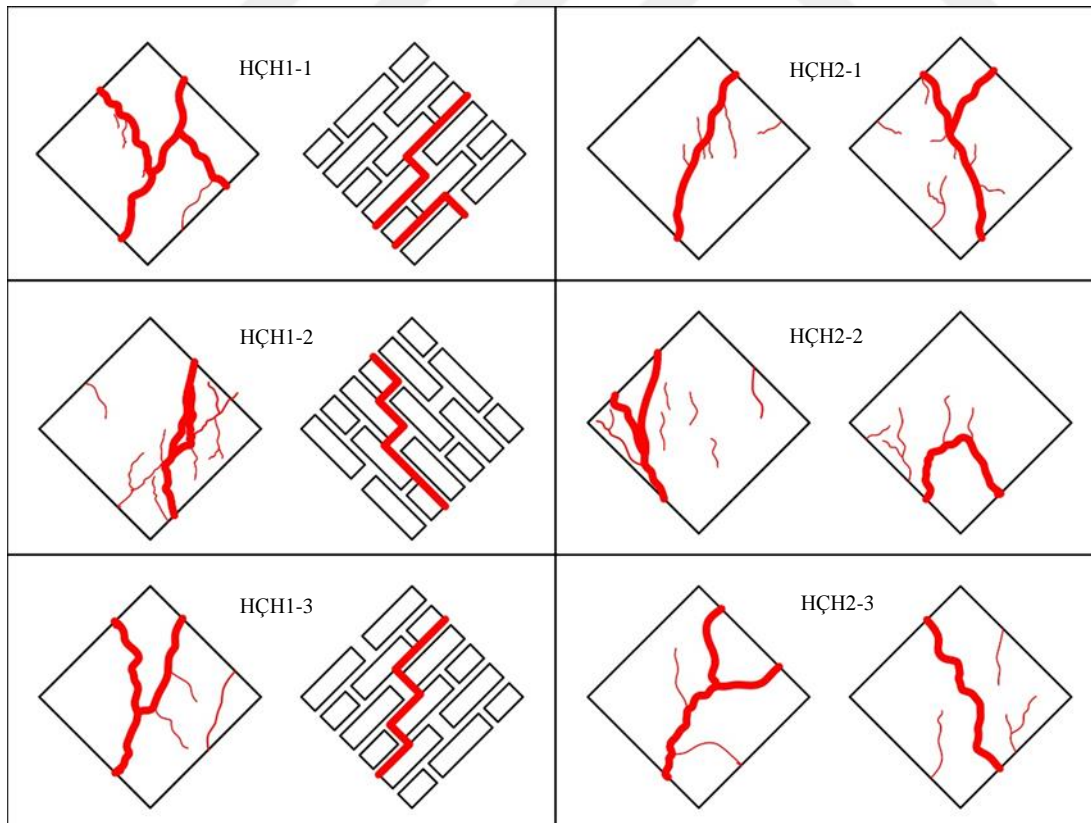
**Şekil 5.26 :** Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 2) gerilme-şekil değiştirme grafiği.



**Şekil 5.27 :** Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 2) kırılma şekilleri.



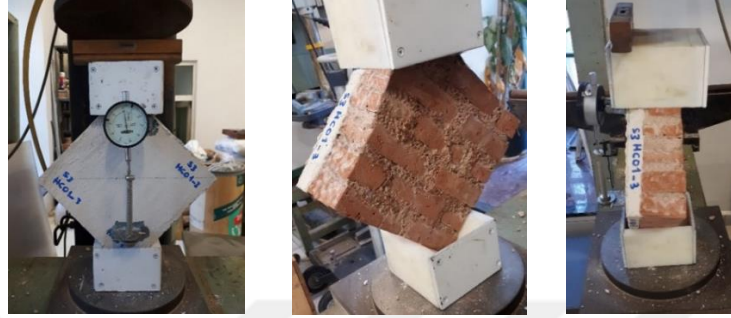
**Şekil 5.28 :** Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 2) gerilme-şekil değişirme grafiği.



**Şekil 5.29 :** Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 2) kırılma şekilleri.

### 5.6.3 Cam lifli donatılı harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler

Laboratuvar koşullarında cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen ve aynı koşullarda 90 gün bekletilen 6 adet hasarsız ve 6 adet hasarlı model tuğla duvar numunelerine ASTM E519 / E519M – 15'e göre Şekil 5.30'da görüldüğü gibi diyagonal basınç deneyi uygulanmıştır.

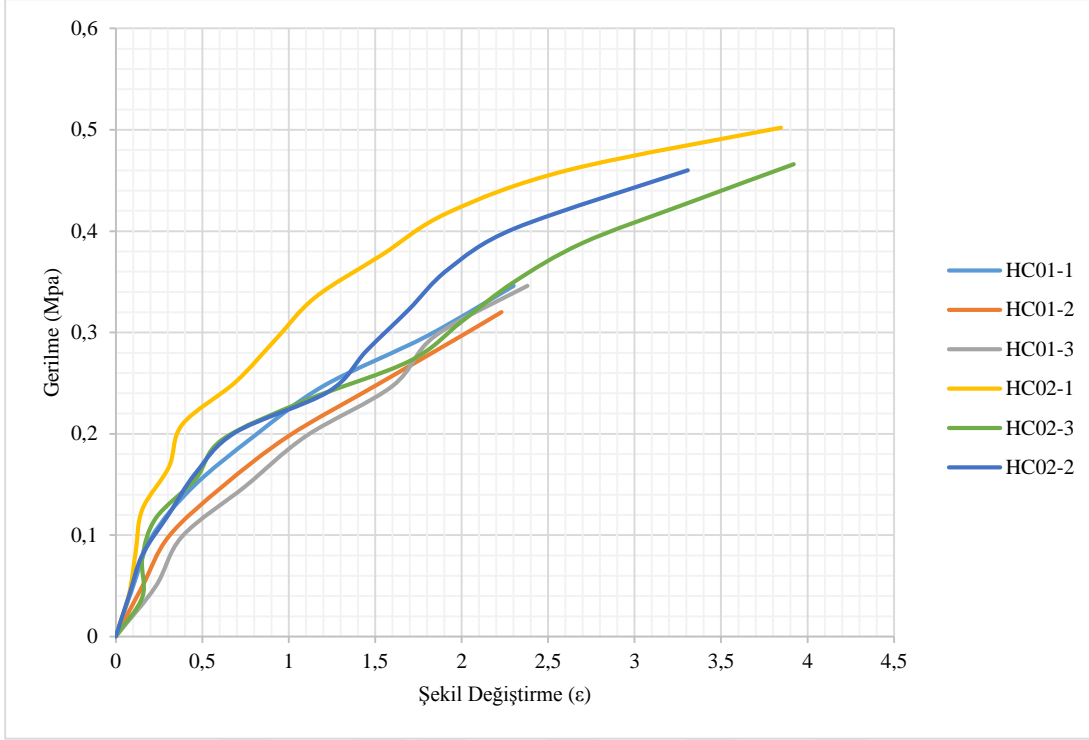


**Şekil 5.30 :** Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlara diyagonal basınç deneyi uygulanması.

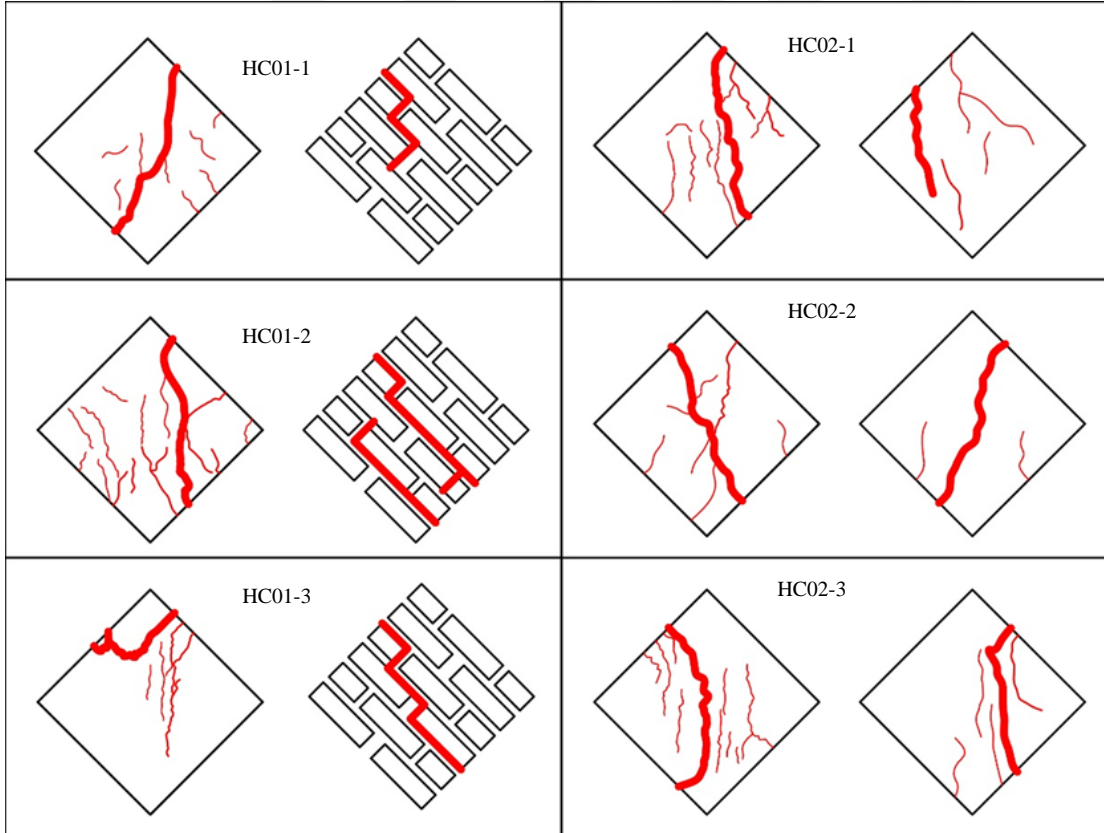
Deney sonucunda elde edilen verilere göre Bölüm 5.4.1'de anlatıldığı gibi numunelerin kayma dayanımları ve düşey şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.5). Sonuçlara göre güçlendirilen hasarsız numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.31'de, numunelerin kırılma şekilleri Şekil 5.32'de verilmiştir. Yükleme uygulanıp onarıldıktan sonra güçlendirilen hasarlı numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.33'de ve kırılma şekilleri Şekil 5.34'de verilmiştir.

**Çizelge 5.5 :** Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri.

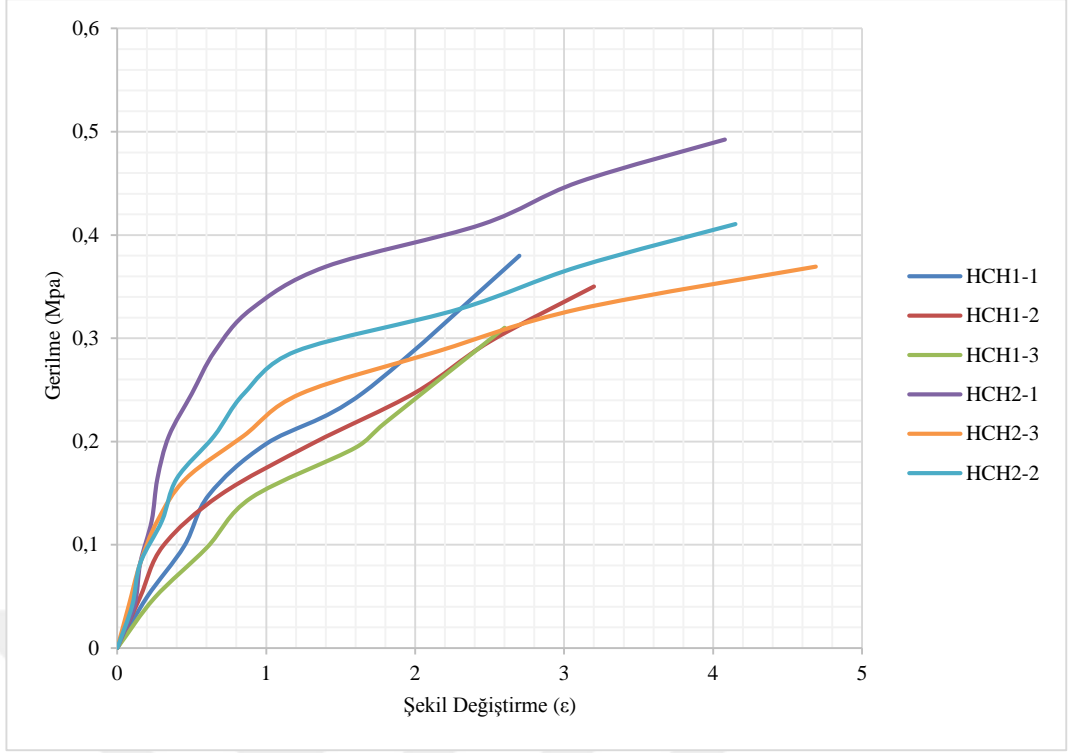
Seri 3	Numune Adı	En Yüksek Kırılma Yüğü (N)	En Yüksek Kayma Gerilmesi (MPa)	En Yüksek Düşey Şekil Değiştirme ( $\epsilon$ )
Hasarsız Numuneler	HC01-1	8000	0,35	2,30
	HC01-2	6500	0,32	2,23
	HC01-3	6500	0,35	2,38
	HC02-1	12500	0,50	3,85
	HC02-2	12000	0,46	3,31
	HC02-3	12500	0,47	3,92
Hasarlı Numuneler	HCH1-1	6500	0,38	2,70
	HCH1-2	6500	0,35	3,20
	HCH1-3	6000	0,31	2,60
	HCH2-1	12500	0,49	4,08
	HCH2-2	10500	0,41	4,15
	HCH2-3	10500	0,37	4,69



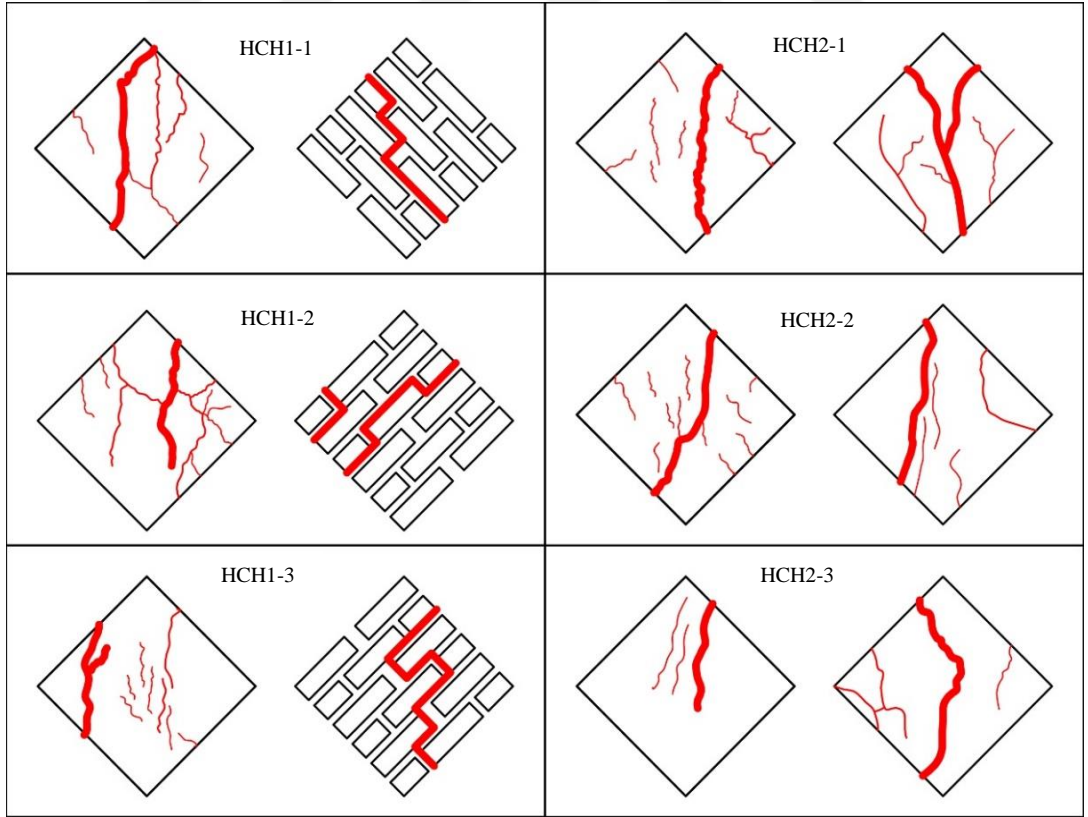
**Şekil 5.31 :** Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model duvarların (Seri 3) gerilme-şekil değişirme grafiği.



**Şekil 5.32 :** Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 3) kırılma şekilleri.



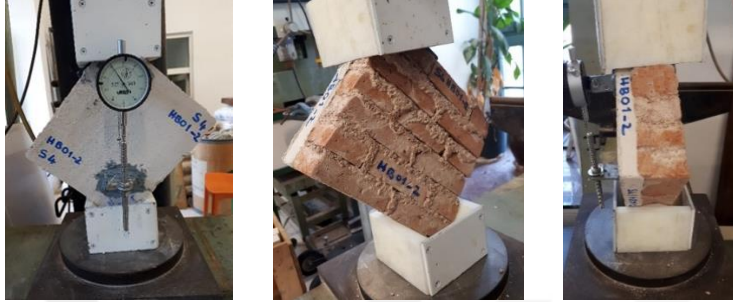
**Şekil 5.33** : Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 3) gerilme-şekil değişirme grafiği.



**Şekil 5.34** : Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 3) kırılma şekilleri.

#### 5.6.4 Bazalt donatılı harç ile güçlendirilen numunelere uygulanan deneyler

Laboratuvar koşullarında bazalt mesh tekstil donatılı harç ile güçlendirilen ve aynı koşullarda 90 gün bekletilen 6 adet hasarsız ve 6 adet hasarlı model tuğla duvar numunelerine ASTM E519 / E519M – 15'e göre Şekil 5.35'de görüldüğü gibi diyagonal basınç deneyi uygulanmıştır.

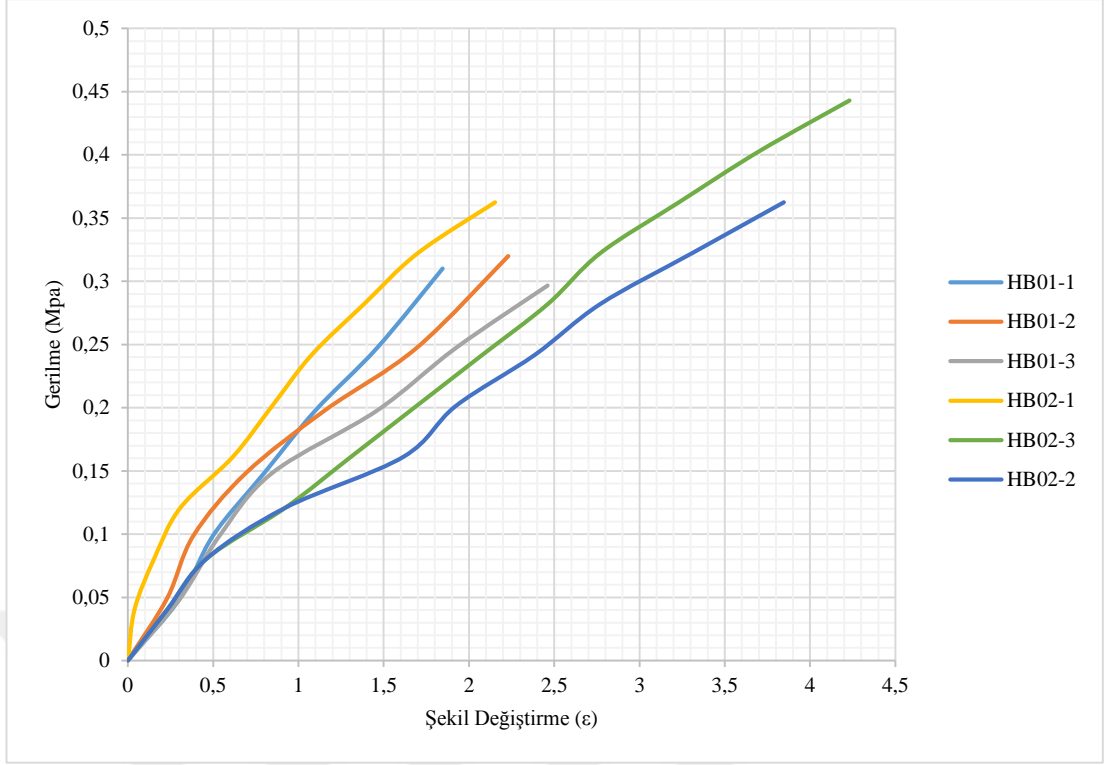


**Şekil 5.35 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarlara (Seri 4) diyagonal basınç deneyi uygulanması.

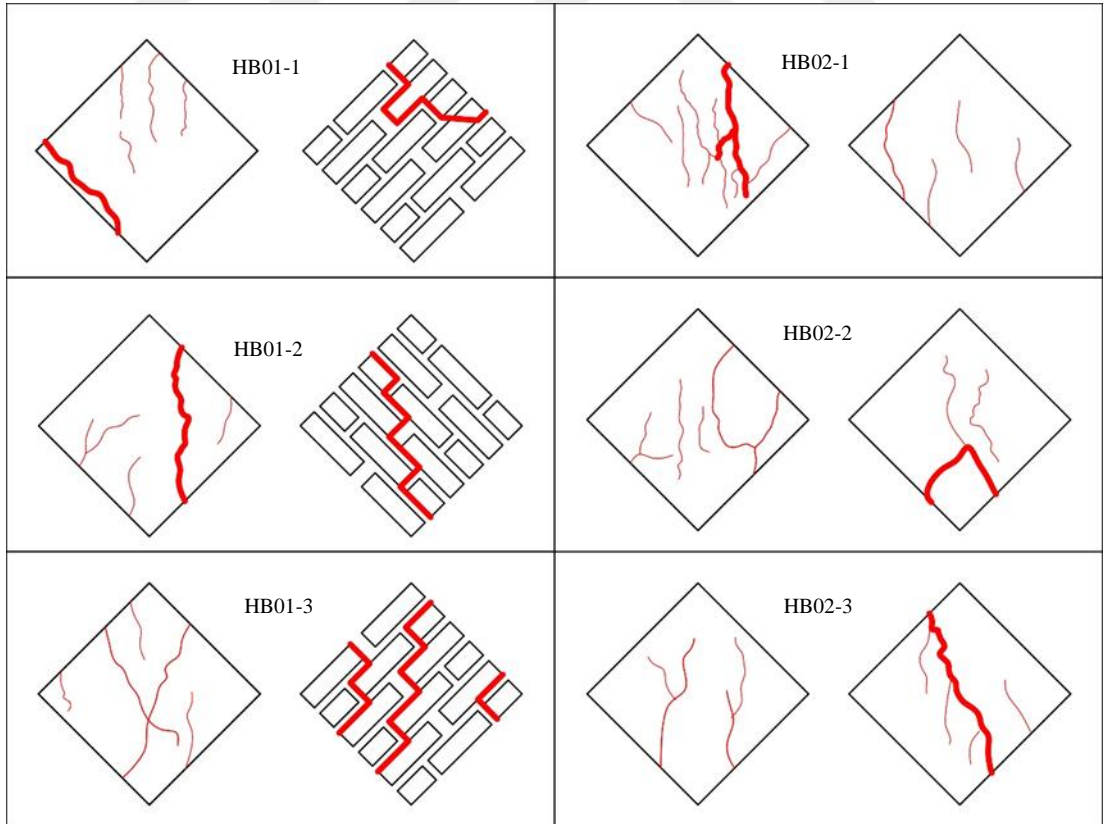
Deney sonucunda elde edilen verilere göre Bölüm 5.4.1'de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi numunelerin kayma dayanımları ve düşey şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.4). Sonuçlara göre güçlendirilen yükleme uygulanmamış hasarsız numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.36'da, kırılma şekilleri Şekil 5.37'de verilmiştir. Yükleme uygulanıp onarıldıktan sonra güçlendirilern numunelere ait gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.38'de, kırılma şekilleri Şekil 5.39'da verilmiştir.

**Çizelge 5.6 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri.

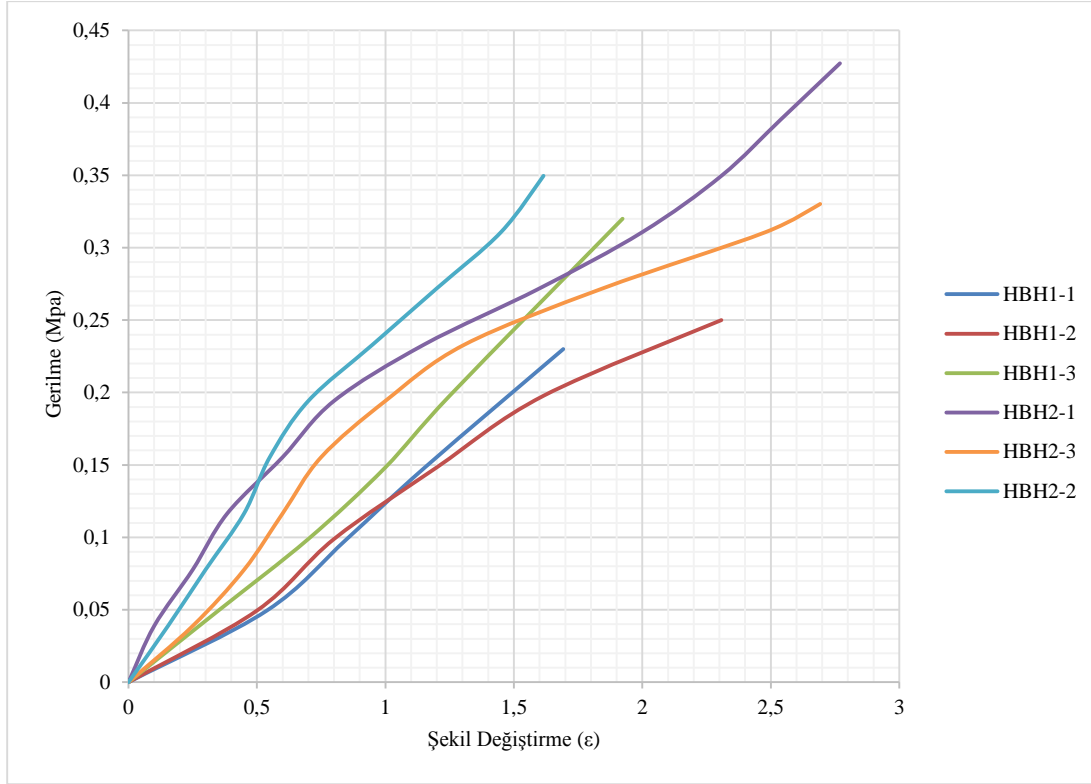
Seri 4	Numune Adı	En Yüksek Kırılma Yüğü (N)	En Yüksek Kayma Gerilmesi (Mpa)	En Yüksek Düşey Şekil Değiştirme ( $\epsilon$ )
Hasarsız Numuneler	HB01-1	6000	0,31	1,85
	HB01-2	6000	0,32	2,23
	HB01-3	6000	0,30	2,46
	HB02-1	9000	0,36	2,15
	HB02-2	9000	0,36	3,85
	HB02-3	11000	0,44	4,23
Hasarlı Numuneler	HBH1-1	4000	0,23	1,69
	HBH1-2	4500	0,25	2,31
	HBH1-3	5000	0,32	1,92
	HBH2-1	10500	0,43	2,77
	HBH2-2	9000	0,35	1,62
	HBH2-3	8500	0,33	2,69



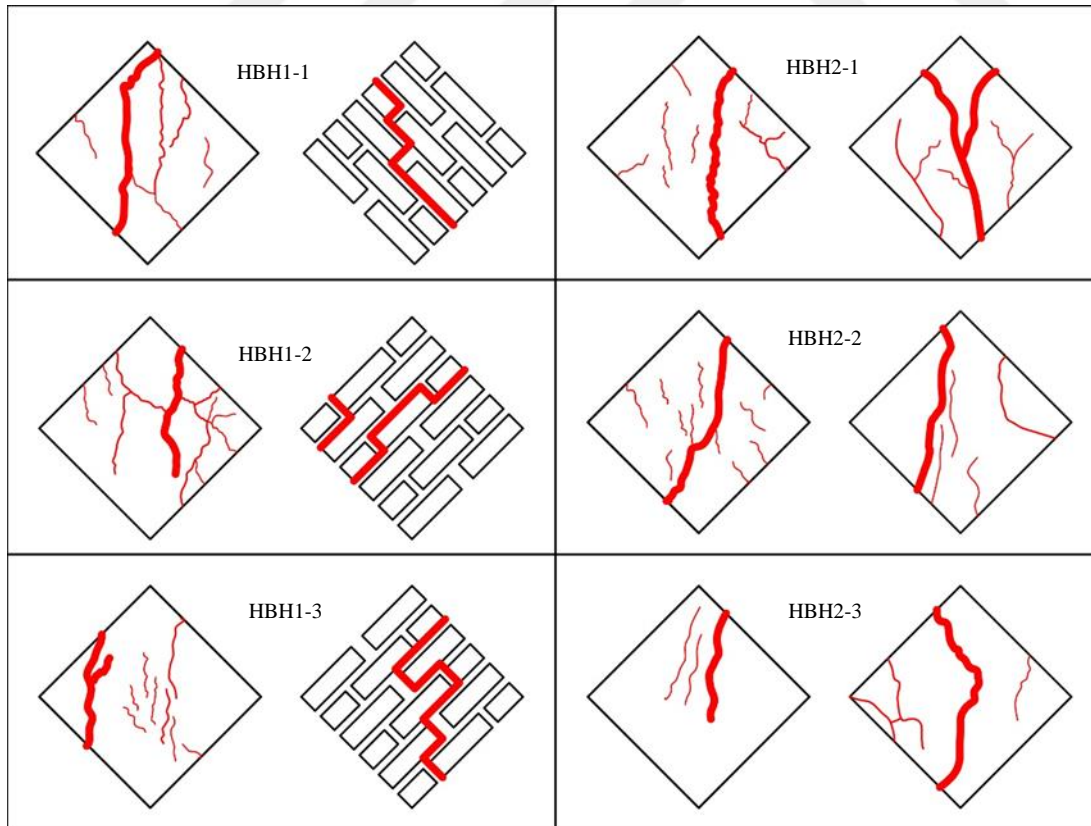
**Şekil 5.36 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 4) gerilme-şekil değiştirme eğrisi.



**Şekil 5.37 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların (Seri 4) kırılma şekli.



**Şekil 5.38 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 4) gerilme-şekil değişirme grafiği.



**Şekil 5.39 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların (Seri 4) kırılma şekilleri.

## 6. DEĞERLENDİRME

Araştırmada model tuğla duvarların donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Öncelikle duvar numunelerinin üretiminde kullanılacak örgü harcını ve güçlendirme harcını belirlemek için farklı oranlarda harçlar üretilmiştir. Belirlenen örgü harcı ile 20 x 20 cm ebatlarında 42 adet model tuğla duvar numunesi üretilmiştir. Üretilen model tuğla duvarlar kullanılan donatı trüne göre 4 seri olarak gruplandırılmıştır:

- Donatısız horasan harcı ile güçlendirme (Seri 1)
- Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirme (Seri 2)
- Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirme (Seri 3)
- Bazalt mesh tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirme (Seri 4)

Serilerde incelenen değişkenler:

- Model tuğla duvarların hasarlı ve hasarsız olarak güçlendirilmesi.
- Model tuğla duvarların tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilmesi.
- Model tuğla duvarların güçlendirilmesinde kullanılan donatı türü.

Model tuğla duvarların mekanik özelliklerini belirlemek için diyagonal basınç deneyi uygulanmıştır. İncelenen her değişken için 3 er adet model tuğla duvar numunesi deneye tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerin sonuçları 4 ana başlıkta değerlendirilmiştir:

- Model tuğla duvarların kırılma yükleri
- Model tuğla duvarların kayma dayanımları
- Model tuğla duvarların düşey şekil değiştirmeleri
- Model tuğla duvarların göçme şekilleri

Yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırmalı olarak Çizelge 6.1’de verilmiştir.

**Çizelge 6.1 : Güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik özellikleri.**

Seri No	Hasar Durumu	Numune	Ortalama Kırılma Yüğü (N)		Ortalama En Yüksek Kayma Gerilmesi (MPa)		Ortalama En Yüksek Düşey Şekil Değiştirme	
			Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler	Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler	Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler	Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler
Seri 1	Hasarsız Numuneler	TümYalın Numuneler	4806	4806	0,28	0,28	1,74	1,74
		Güçlendirilen Numuneler	5833	9333	0,29	0,38	1,80	2,50
		TümYalın Numunelere Göre Artış Oranı (%)	21%	94%	4%	36%	3%	32%
Seri 2	Hasarsız Numuneler	TümYalın Numuneler	4806	4806	0,28	0,28	1,74	1,74
		Güçlendirilen Numuneler	7667	13000	0,36	0,49	2,1	2,85
		TümYalın Numunelere Göre Artış Oranı (%)	60%	170%	29%	75%	21%	63%
	Hasarlı Numuneler	Yalın Numuneler	4333	4500	0,25	0,26	1,53	1,37
		Güçlendirilen Numuneler	5667	13167	0,32	0,51	1,96	2,45
		Yalın Numunelere Göre Artış Oranı (%)	32%	190%	28%	96%	28%	76%
Seri 3	Hasarsız Numuneler	TümYalın Numuneler	4806	4806	0,28	0,28	1,74	1,74
		Güçlendirilen Numuneler	7000	12333	0,34	0,45	2,3	3,82
		TümYalın Numunelere Göre Artış Oranı (%)	46%	157%	21%	61%	32%	118%
	Hasarlı Numuneler	Yalın Numuneler	5833	4666	0,33	0,27	1,9	2,4
		Güçlendirilen Numuneler	6333	11166	0,35	0,42	2,94	4,5
		Yalın Numunelere Göre Artış Oranı (%)	8%	139%	6%	56%	55%	88%
Seri 4	Hasarsız Numuneler	TümYalın Numuneler	4806	4806	0,28	0,28	1,74	1,74
		Güçlendirilen Numuneler	6000	9667	0,31	0,39	2,18	3,41
		TümYalın Numunelere Göre Artış Oranı (%)	25%	101%	7%	39%	25%	95%
	Hasarlı Numuneler	Yalın Numuneler	433	5167	0,27	0,30	1,47	1,81
		Güçlendirilen Numuneler	4500	9333	0,28	0,37	1,97	3,36
		Yalın Numunelere Göre Artış Oranı (%)	4%	81%	4%	25%	35%	86%

## 6.1 Numunelerin Kırılma Yüklerinin Değerlendirilmesi

Model tuğla duvarlara kırılma anında uygulanan en yüksek yük miktarı duvarların kırılma yükünü vermektedir. Duvarların kırılma yükleri iki şekilde değerlendirilmiştir. İlk olarak yükleme uygulanmadan güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri belirlenmiştir. Sonuçlar yalın halleri test edilen 18 adet model tuğla duvarın ortalama sonuçları ile kıyaslanmıştır. İkinci olarak yükleme uygulandıktan sonra güçlendirilen hasarlı duvarların kırılma yükleri belirlenmiştir. Sonuçlar güçlendirilen hasarlı duvarların yalın hallerinin mekanik özellikleri ile kıyaslanmış ve uygulanan güçlendirmelerin etkinliği karşılaştırılmıştır.

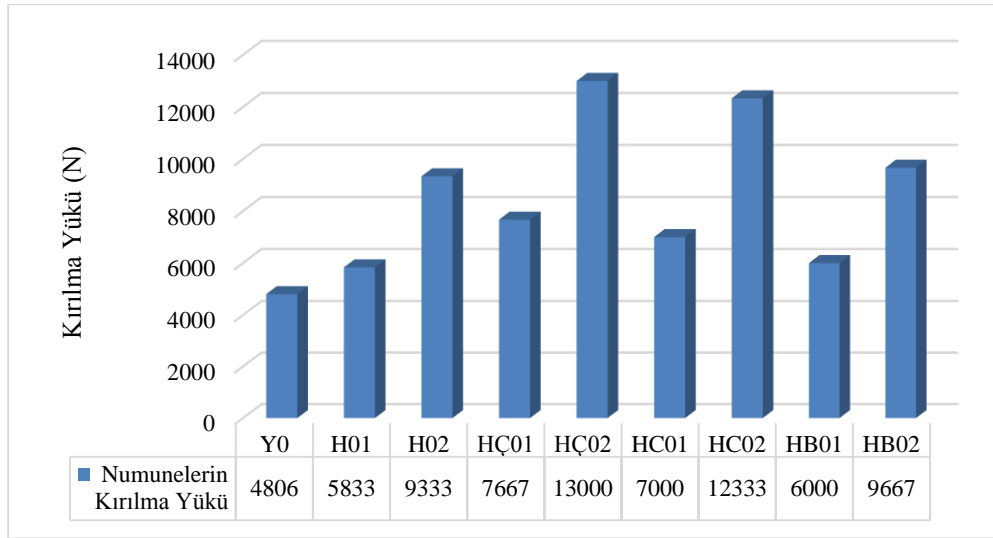
### 6.1.1 Hasarsız numunelerinin kırılma yüklerinin değerlendirilmesi

Yükleme uygulanmadan güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kırılma yükleri, yalın duvarların ortalama kırılma yükü ile karşılaştırılmış, sonuçlar ve elde edilen artış oranları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

**Çizelge 6.2 :** Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kırılma yükleri.

Seri No	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler			Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler		
	Yalın Numunelerin Ortalama Kırılma Yükü (N)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kırılma Yükü (N)	Artış Oranı (%)	Yalın Numunelerin Ortalama Kırılma Yükü (N)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kırılma Yükü (N)	Artış Oranı (%)
Seri 1	4806	5833	21%	4806	9333	94%
Seri 2	4806	7667	60%	4806	13000	170%
Seri 3	4806	7000	46%	4806	12333	157%
Seri 4	4806	6000	25%	4806	9667	101%

Çizelge 6.2’de verilen sonuçlara göre donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri % 21, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri ise %94 artış göstermiştir. Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri %60, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri ise % 170 artış göstermiştir. Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri %46, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri ise %157 artış göstermiştir. Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri %25, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kırılma yükleri ise % 101 artış göstermiştir. Tüm serilerin ve yalın model tuğla duvarların ortalama kırılma yükleri Şekil 6.1’de verilen grafikte karşılaştırılmıştır.



**Şekil 6.1 :** Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kırılma yüklerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.1’de verilen grafiğe göre çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kırılma yüklerinin tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız duvarların ortalama kırılma yükleri, donatısız horasan harcı ile güçlendirilen duvarlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız duvarlarda, çelik hasır donatı ile güçlendirilen duvarların kırılma yüklerinin en yüksek, bazalt mesh donatı ile güçlendirilen duvarların ise kırılma yüklerinin en az olduğu belirlenmiştir.

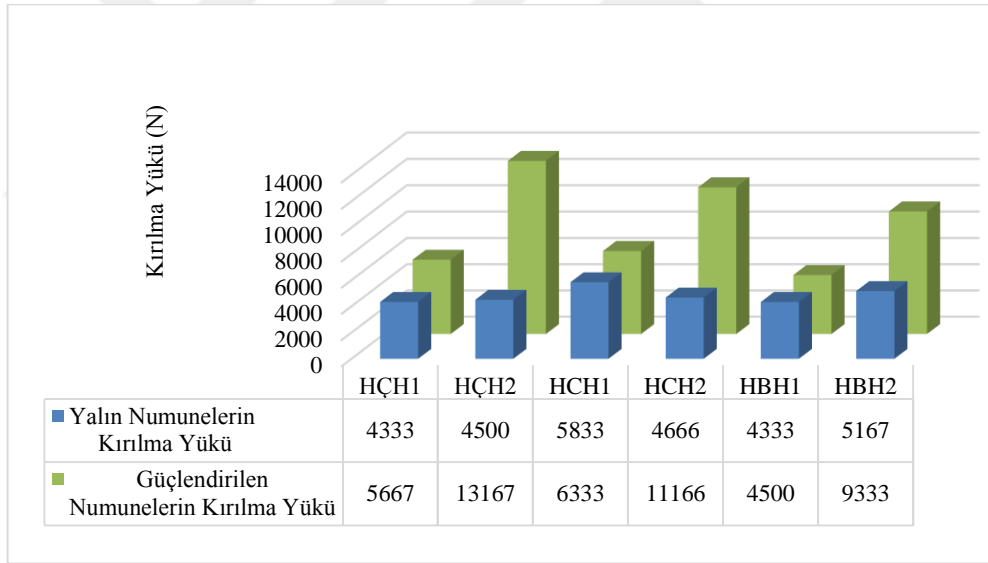
### 6.1.2 Hasarlı numunelerin kırılma yüklerinin değerlendirilmesi

Diyagonal basınç deneyi ile kırılma yükleri belirlenen yalın model tuğla duvar numuneleri, doğal hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ile onarıldıktan sonra güçlendirilmiştir. Güçlendirilen duvarların kırılma yükleri yalın halleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ve elde edilen artış oranları Çizelge 6.3’de verilmiştir.

**Çizelge 6.3 :** Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri.

Seri No	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler			Çift Taraflı Güçlendirilen Numunelerin		
	Yalın Numunelerin Ortalama Kırılma Yüğü (N)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kırılma Yüğü (N)	Artış Oranı (%)	Yalın Numunelerin Kırılma Yüğü (N)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kırılma Yüğü (N)	Artış Oranı (%)
Seri 2	4333	5667	32%	4500	13167	190%
Seri 3	5833	6333	8%	4666	11166	139%
Seri 4	4333	4500	4%	5167	9333	81%

Çizelge 6.3’de verilen sonuçlara göre hasarlı model tuğla duvarlar onarılıp güçlendirildikten sonra kırılma yüklerinde ilk hallerine göre artış olduğu görülmüştür. Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri yalın hallerine göre, tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarlarda % 32 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarlarda %190 oranında artmıştır. Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri yalın hallerine göre, tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlarda % 8 oranında, çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlarda %139 oranında artmıştır. Bazalt mesh tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri yalın hallerine göre, tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlarda % 4 oranında, çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlarda %139 oranında artmıştır. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri yalın halleriyle birlikte Şekil 6.2’de verilen grafikte karşılaştırılmıştır.



**Şekil 6.2 :** Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yüklerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.2’de verilen grafiğe göre tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri, yalın hallerinin kırılma yüklerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yüklerinin ise yalın hallerine oranla belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. Kırılma yüklerinde artış en çok çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numunelerde, en az bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numunelerde görülmüştür.

## 6.2 Numunelerin Kayma Gerilmelerinin Değerlendirilmesi

Numunelerin kayma gerilmeleri ASTM E519 / E519M – 15 standartına göre Bölüm 5.4.1’de detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi hesaplanmıştır. Numunelerin kayma gerilmeleri iki başlık halinde değerlendirilmiştir. İlk olarak yükleme uygulanmadan güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kayma gerilmeleri belirlenmiştir. Sonuçlar yalın halleri test edilen 18 adet model tuğla duvarların ortalama sonuçları ile kıyaslanmıştır. İkinci olarak yükleme uygulanarak hasar verilen model tuğla duvarlar güçlendirilmiş ve yalın hallerine göre uygulanan güçlendirmelerin kayma gerilmelerine olan etkileri karşılaştırılmıştır.

### 6.2.1 Hasarsız numunelerin kayma gerilmelerinin değerlendirilmesi

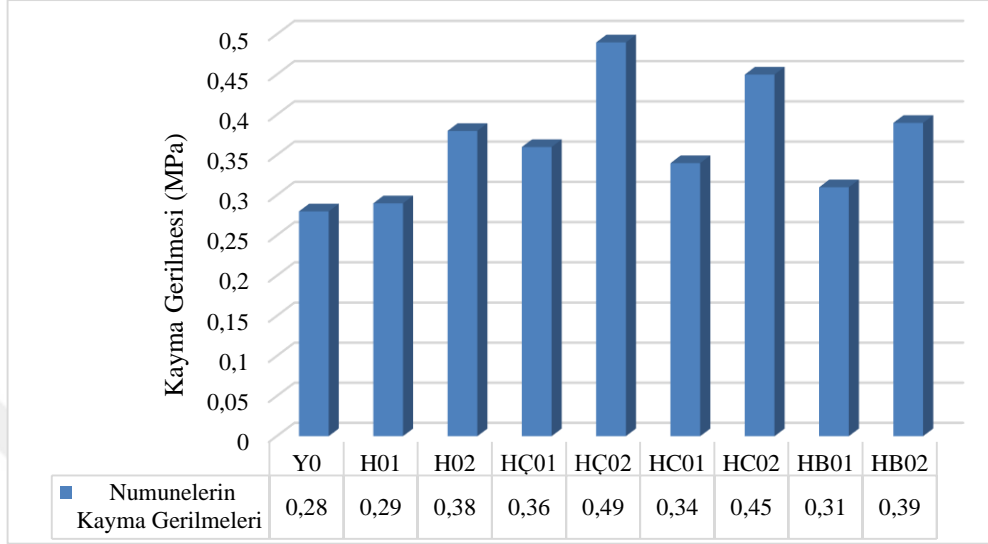
Yükleme uygulanmadan güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda, tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilen numunelerin kayma gerilmeleri, yalın model tuğla duvarların ortalama kayma gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve artış oranları Çizelge 6.4’de verilmiştir.

**Çizelge 6.4 :** Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kayma gerilmeleri.

Seri No	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler			Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler		
	Yalın Numunelerin Ortalama Kayma Gerilmeleri (MPa)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kayma Gerilmeleri (MPa)	Artış Oranı (%)	Yalın Numunelerin Ortalama Kayma Gerilmeleri (MPa)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kayma Gerilmeleri (MPa)	Artış Oranı (%)
Seri 1	0,28	0,29	4%	0,28	0,38	36%
Seri 2	0,28	0,36	29%	0,28	0,49	75%
Seri 3	0,28	0,34	21%	0,28	0,45	61%
Seri 4	0,28	0,31	7%	0,28	0,39	39%

Çizelge 6.4’de verilen sonuçlara göre donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri % 4 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri ise %36 oranında artış göstermiştir. Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri %29 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri ise % 75 oranında artış göstermiştir. Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri %21 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri %61 oranında artış göstermiştir. Bazalt mesh tekstil donatılı horasan harcı

ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri %7 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri ise % 39 oranında artış göstermiştir. Tüm serilerin ve yalın numunelerin ortalama kayma gerilmeleri Şekil 6.3'de verilen grafikte karşılaştırılmıştır.



**Şekil 6.3 :** Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kayma gerilmelerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.3'de verilen grafiğe göre çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların kayma gerilmeleri, tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız duvarların kayma gerilmeleri, donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen duvarların kayma gerilmelerinde artış, donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarlara yakın bir oranda gerçekleşmiştir. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız duvarlarda, çelik hasır donatı ile güçlendirilen duvarların kayma gerilmeleri en yüksek, bazalt mesh donatı ile güçlendirilen duvarların ise kayma gerilmelerinin en az olduğu belirlenmiştir.

### 6.2.2 Hasarlı numunelerin kayma gerilmelerinin değerlendirilmesi

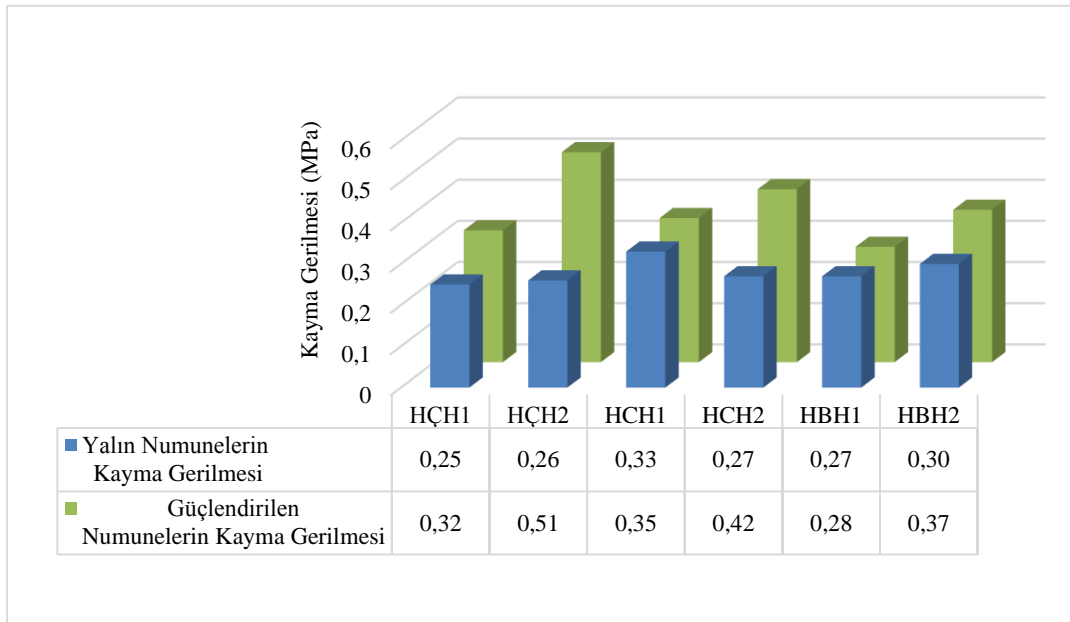
Diyagonal basınç deneyi sonucunda kayma gerilmeleri belirlenen ve hasar gören yalın model tuğla duvar numuneleri doğal hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ile onarıldıktan sonra güçlendirilmiş ve güçlendirilen hallerinin kayma gerilmeleri hesaplanarak yalın hallerinin kayma gerilmeleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ve elde edilen artış oranları Çizelge 6.5'de verilmiştir.

**Çizelge 6.5 :** Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kayma gerilmeleri.

Seri No	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler			Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler		
	Yalın Numunelerin Kayma Gerilmeleri (MPa)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kayma Gerilmeleri (MPa)	Artış Oranı (%)	Yalın Numunelerin Ortalama Kayma Gerilmeleri (MPa)	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Kayma Gerilmeleri (MPa)	Artış Oranı (%)
Seri 2	0,25	0,32	28%	0,26	0,51	96%
Seri 3	0,33	0,35	6%	0,27	0,42	56%
Seri 4	0,27	0,28	4%	0,30	0,37	25%

Çizelge 6.5’de verilen sonuçlara göre hasarlı model tuğla duvarların güçlendirilmesi ile kayma gerilmelerinde yalın hallerine göre artış olduğu görülmüştür. Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı duvarların kayma gerilmeleri, yalın hallerine göre tek taraflı güçlendirilen duvarlarda %28 oranında, çift taraflı güçlendirilen duvarlarda %96 oranında artmıştır. Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı duvarların kayma gerilmeleri, yalın hallerine göre tek taraflı güçlendirilen duvarlarda % 6 oranında, çift taraflı güçlendirilen duvarlarda %56 oranında artmıştır. Bazalt mesh tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı duvarların kayma gerilmeleri, yalın hallerine göre tek taraflı güçlendirilen duvarlarda % 4 oranında, çift taraflı güçlendirilen duvarlarda %25 oranında artmıştır.

Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kırılma yükleri yalın halleriyle birlikte Şekil 6.4’de verilen grafikte karşılaştırılmıştır.



**Şekil 6.4 :** Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kayma gerilmelerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.4’de verilen grafiğe göre tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların kayma gerilmeleri, yalın hallerinin kayma gerilmelerine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Çift taraflı güçlendirilen hasarlı duvarların kayma gerilmelerinde ise yalın hallerine oranla belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Güçlendirilen hasarlı duvarların kayma gerilmelerinde meydana gelen artış en çok çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen duvarlarda, en az bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen duvarlarda görülmüştür.

### 6.3 Numunelerin Düşey Şekil Değişikliklerinin Değerlendirilmesi

Model tuğla duvarların düşey yer değiştirme ölçümleri 0.01 mm hassasiyette ölçüme olanak veren ekstansometre ile yapılmıştır. Model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri iki şekilde değerlendirilmiştir. İlk olarak güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil değişiklikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlar yalın halleri test edilen 18 adet duvarın ortalama sonuçları ile kıyaslanmıştır. İkinci başlıkta güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar duvarların yalın hallerinin düşey şekil değiştirme değerleri ile karşılaştırılmıştır.

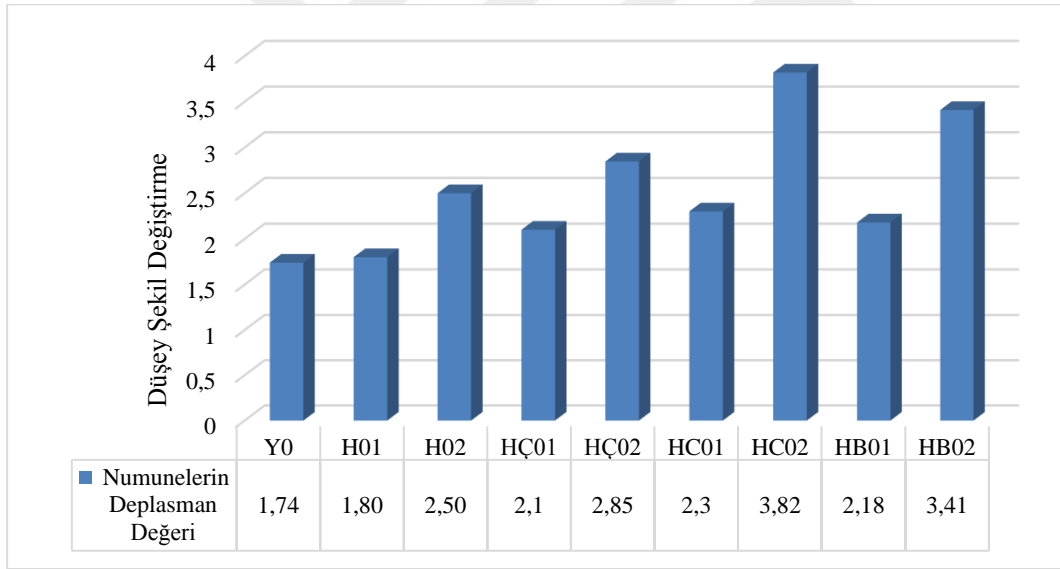
#### 6.3.1 Hasarsız numunelerin düşey şekil değişikliklerinin değerlendirilmesi

Hasarsız model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi ile belirlenen düşey şekil değiştirme değerleri, 18 adet yalın duvarın ortalama düşey şekil değiştirme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve artış oranları Çizelge 6.6’da verilmiştir.

**Çizelge 6.6 :** Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri.

Seri No	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler			Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler		
	Yalın Numunelerin Ortalama Düşey Şekil Değişiklik Değerleri ( $\epsilon$ )	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Düşey Şekil Değişiklik Değerleri ( $\epsilon$ )	Artış Oranı (%)	Yalın Numunelerin Ortalama Şekil Değişiklik Değerleri ( $\epsilon$ )	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Düşey Şekil Değişiklik Değerleri ( $\epsilon$ )	Artış Oranı (%)
Seri 1	1,74	1,80	3%	1,74	2,50	32%
Seri 2	1,74	2,1	21%	1,74	2,85	63%
Seri 3	1,74	2,3	32%	1,74	3,82	118%
Seri 4	1,74	2,18	25%	1,74	3,41	95%

Çizelge 6.6’da verilen sonuçlara göre donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların düşey şekil değiştirme değerleri % 3 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların düşey şekil değiştirme değerleri ise %32 oranında artış göstermiştir. Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların düşey şekil değiştirme değerleri %21 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların düşey şekil değiştirme değerleri ise % 63 oranında artış göstermiştir. Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların düşey şekil değiştirme değerleri %32 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların düşey şekil değiştirme değeri ise %118 oranında artış göstermiştir. Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri %25 oranında, çift taraflı güçlendirilen hasarsız duvarların düşey şekil değiştirme değerleri ise % 95 oranında artış göstermiştir. Tüm serilerin ve yalın numunelerin ortalama düşey şekil değiştirme değerleri Şekil 6.5’de verilen grafikte karşılaştırılmıştır.



**Şekil 6.5 :** Güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.5’de verilen grafiğe göre tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinin yalın numunelere göre arttığı görülmüştür. Ancak donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen duvarların düşey şekil değiştirmeleri yalın numunelere yakın değerlerde olmuştur. Çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil değiştirmeleri, tek taraflı güçlendirilen hasarsız duvarlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarların düşey şekil

değiştirmeleri donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlara göre daha fazla olmuştur. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlardan çelik hasır donatı ile güçlendirilen duvarların düşey Şekil değiştirmeleri en düşük, cam lifi tekstil donatı ile güçlendirilen model tuğla duvarların ise düşey Şekil değiştirme değerlerinin en yüksek olduğu belirlenmiştir. Böylece cam lifi ve bazalt mesh tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen duvarların çelik hasır ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilen duvarlara göre daha sünek bir davranış gösterdikleri görölmüştür.

### 6.3.2 Hasarlı numunelerin düşey Şekil değiştirmelerinin değerlendirilmesi

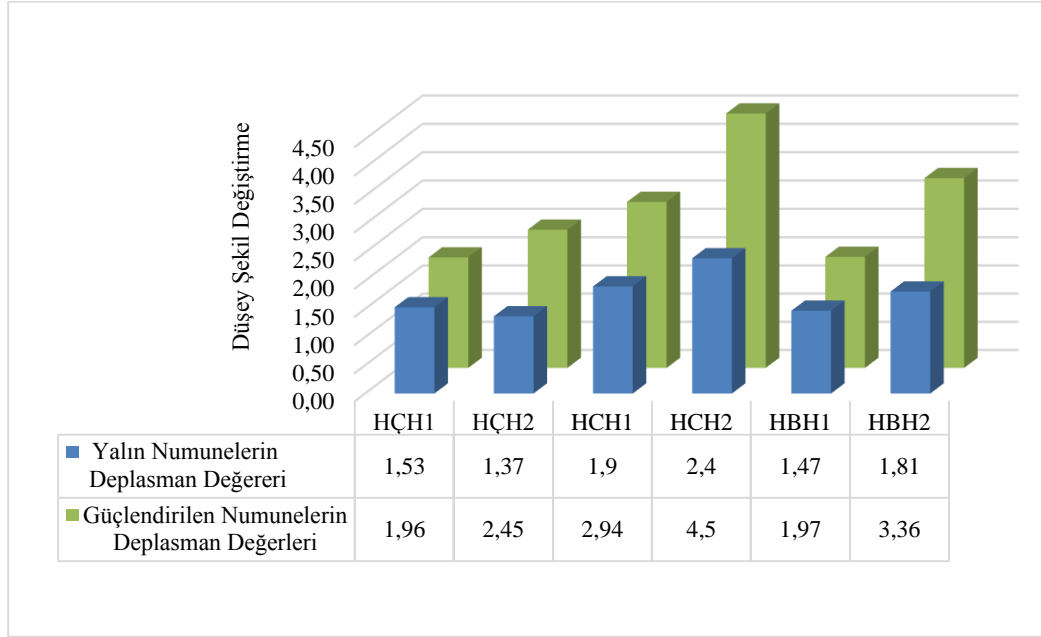
Diyagonal basınç deneyi sırasında düşey yer değiştirmeleri ölçölen ve hasar gören yalın model tuğla duvarlar, doğal hidrolik kireç esaslı enjeksiyon harcı ile onarılmıştır. Onarılan hasarlı model tuğla duvarlar güçlendirilmiş ve düşey Şekil değiştirme değerleri belirlenmiştir. Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey Şekil değiştirme değerleri, yalın halleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ve elde edilen artış oranları Çizelge 6.7’de verilmiştir.

**Çizelge 6.7 :** Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey Şekil değiştirme değerleri.

Seri No	Tek Taraflı Güçlendirilen Numuneler			Çift Taraflı Güçlendirilen Numuneler		
	Yalın Numunelerin Ortalama Şekil Değiştirme Değerleri ( $\epsilon$ )	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Düşey Şekil Değiştirme Değerleri ( $\epsilon$ )	Artış Oranı (%)	Yalın Numunelerin Ortalama Şekil Değiştirme Değerleri	Güçlendirilen Numunelerin Ortalama Düşey Şekil Değiştirme Değerleri ( $\epsilon$ )	Artış Oranı (%)
Seri 2	1,53	1,96	28%	1,37	2,45	76%
Seri 3	1,9	2,94	55%	2,4	4,5	92%
Seri 4	1,47	1,97	35%	1,81	3,36	86%

Çizelge 6.7’de verilen sonuçlara göre güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey Şekil değiştirme değerlerinin yalın hallerine göre arttığı görölmüştür. Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey Şekil değiştirme değerleri, yalın hallerine göre tek taraflı güçlendirilen duvarlarda %28 oranında, çift taraflı güçlendirilen duvarlarda %76 oranında artmıştır. Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey Şekil değiştirme değerleri, yalın hallerine göre tek taraflı güçlendirilen duvarlarda % 55

oranında, çift taraflı güçlendirilen duvarlarda %92 oranında artmıştır. Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri, yalın hallerine göre tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlarda % 35 oranında, çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlarda %86 oranında artmıştır. Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerleri yalın halleriyle birlikte Şekil 6.6’da verilen grafikte karşılaştırılmıştır.



**Şekil 6.6 :** Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 6.6’da verilen grafiğe göre tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinin yalın haldeki model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerine göre artış gösterdiği görülmektedir. Ancak çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinin, tek taraflı güçlendirilen duvarlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarların düşey şekil değiştirme değerlerinde meydana gelen artış en çok cam lifi ile güçlendirilen model tuğla duvarlarda, en az çelik hasır ile güçlendirilen model tuğla duvarlarda görülmüştür. Böylece cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarlar en fazla sünek davranış gösteren, çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarlar ise en az sünek davranış gösteren numuneler olmuşlardır.

## 6.4 Numunelerin Göçme Biçimlerinin değerlendirilmesi

### 6.4.1 Yalın numunelerin göçme biçimleri

Yalın model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda Şekil 6.7’de görüldüğü gibi bazı duvarlarda sadece yatay derzlerde, bazı duvarlarda ise hem yatay hem düşey derzlerde meydana gelen kırılmalar sonucunda ani göçmeler meydana gelmiştir.



Şekil 6.7 : Yalın model tuğla duvarın göçme şekli.

### 6.4.2 Donatısız harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri

Donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda model tuğla duvarlarda Şekil 6.8’de görüldüğü şekilde göçme meydana gelmiştir.



Şekil 6.8 : Donatısız horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.

Model tuğla duvarlarda yükleme esnasında düşey diyagonal aksta meydana gelen az sayıda çatlaklardan bazıları genişleyerek, harcın duvardan kısmi olarak ayrılmasına neden olmuştur. Harcın duvardan ayrılması ile tuğla ve örgü harcı arasındaki derzlerde

ani kırılmalar meydana gelmiştir. Model tuğla duvarlar harç ile güçlendirilen tarafa doğru eğim yapmıştır. Deney sonucunda kırılan derzler harçta meydana gelen derin çatlaklar ile birlikte model tuğla duvarlarda kısmi kopmalara neden olmuştur.

Donatısız horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda duvarlarda Şekil 6.9’da görüldüğü şekilde göçme meydana gelmiştir.



**Şekil 6.9 :** Donatısız horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.

Model tuğla duvarlarda yükleme esnasında düşey diyagonal aksta meydana gelen kılçak çatlaklardan bazıları genişleyerek duvarlarda ani bir şekilde göçmeye neden olmuştur. Deney sonucunda model tuğla duvarlarda kopma ve dağılma gözlemlenmemiştir.

#### **6.4.3 Çelik hasır donatılı harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri**

Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda hasarsız duvarlarda Şekil 6.10’da, hasarlı duvarlarda Şekil 6.11’de görüldüğü şekilde göçme meydana gelmiştir



**Şekil 6.10 :** Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.



**Şekil 6.11** : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.

Numunelerde yükleme esnasında düşey diyagonal aksta meydana gelen az sayıda kılcal çatlaklardan bazıları genişleyerek ani göçmelere neden olmuştur. Harç duvar yüzeyinden kısmi noktalarda ayrılmıştır. Duvar yüzeyine ankrajlanan çelik hasır donatılar, büyük oranda harcın duvar yüzeyinden ayrılmasını engellemiştir. Yükleme sonunda meydana gelen derin çatlaklar çelik hasır donatı üzerine uygulanan 2. tabaka harcın donatıdan ayrılmasına neden olmuştur. 2. tabaka harcın duvardan ayrılmasıyla çelik hasır donatılarda yükleme doğrultusunda eğilmelerin meydana geldiği görülmüştür. Duvarların güçlendirilmeyen yüzeylerinde harç ile tuğla arasında düşey diyagonal aksta kısmi kırılmalar meydana gelmiş ancak duvarda kopma ve dağılma olmamıştır. Duvarlarda meydana gelen deformasyonların hasarlı numunelerde hasarsızlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Çelik hasır donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen numunelere uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda hasarsız numunelerde Şekil 6.12’de, hasarlı numunelerde Şekil 6.13’de görüldüğü gibi göçme meydana gelmiştir.



**Şekil 6.12** : Çelik hasır donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.



**Şekil 6.13 :** Çelik hasır donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.

Numunelerde yükleme esnasında düşey diyagonal aksta meydana gelen az sayıda kılcal çatlaklardan bazıları genişleyerek ani göçmelere neden olmuştur. Harç duvar yüzeyinden kısmi noktlarda ayrılmış, duvar harcın ayrılmayan bölgelerine doğru eğim yapmıştır. Duvar yüzeyine ankrajlanan çelik hasır donatılar büyük oranda harcın duvar yüzeyinden ayrılmasını engellemiştir. Yükleme sonunda meydana gelen çatlaklar çelik hasır donatı üzerine uygulanan 2. tabaka harcın donatıdan kısmi bölgelerde ayrılmasına neden olmuştur. 2. tabaka harcın duvardan ayrılmasıyla yükleme doğrultusunda donatılarda eğilme meydana geldiği görülmüştür. Hasarlı duvarlarda kısmi kopmalar meydana gelirken, hasarsız duvarlarda kopma ve dağılma olmamıştır.

#### **6.4.4 Cam lifi tekstil donatılı harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri**

Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda hasarsız numunelerde Şekil 6.14'de, hasarlı numunelerde Şekil 6.15'de görüldüğü şekilde göçme meydana gelmiştir.



**Şekil 6.14 :** Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.



**Şekil 6.15 :** Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.

Model tuğla duvarlarda yükleme esnasında düşey diyagonal aksta çok sayıda kılcal çatlak oluşumu meydana gelmiştir. Meydana gelen kılcal çatlaklar duvarların sünek bir davranış göstermesine neden olmuştur. Harç duvar yüzeyinden kısmi noktlarda ayrılmıştır. Duvarlarda göçme, harcın duvar yüzeyinden ayrılması ile meydana gelmiştir. Model tuğla duvarların güçlendirilmeyen yüzeylerinde harç ile tuğla arasında kısmi kırılmalar meydana gelmiştir. Hasarsız duvarlarda kopma ve dağılma görülmezken, hasarlı duvarlarda kısmi kopmalar meydana gelmiştir. Ayrıca model tuğla duvarlarda meydana gelen deformasyonların hasarlı duvarlarda hasarsızlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda hasarsız duvarlarda Şekil 6.16’de, hasarlı duvarlarda ise Şekil 6.17’de görüldüğü gibi göçme meydana gelmiştir.



**Şekil 6.16 :** Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.

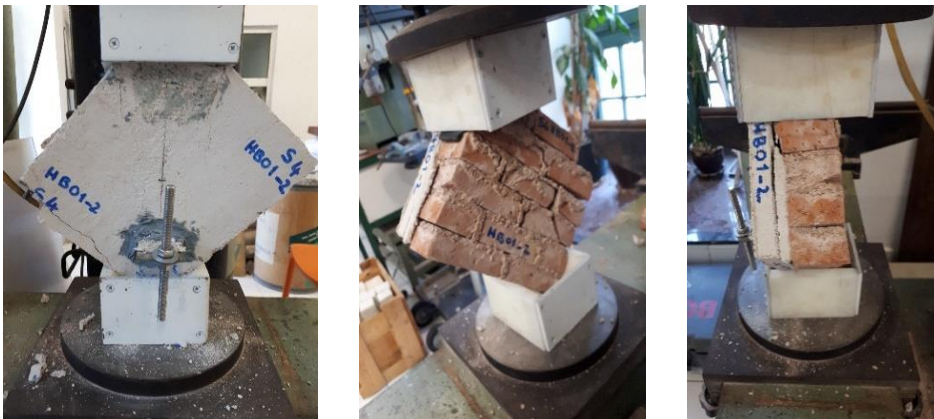


**Şekil 6.17 :** Cam lifi tekstil donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.

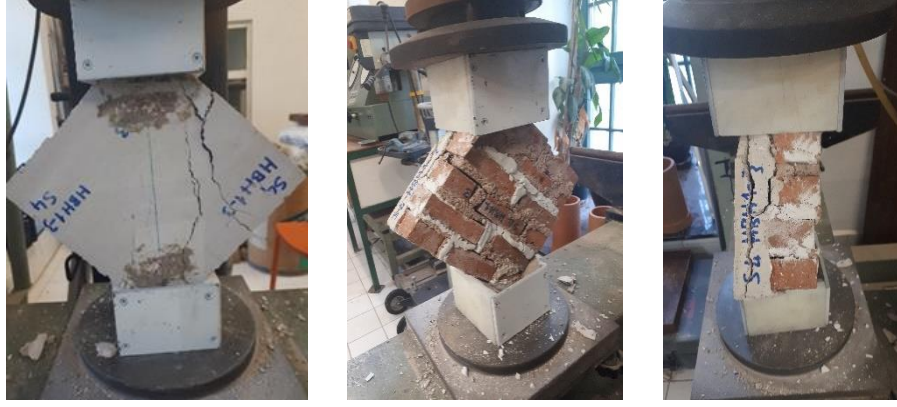
Model tuğla duvarlarda yükleme esnasında düşey diyagonal aksta meydana gelen kılcal çatlaklar numunelerin sünek bir davranış göstermesine neden olmuştur. Kısmi bölgelerde harç duvar yüzeyinden ayrılmış ve göçme harcın duvar yüzeyinden ayrılması ile gerçekleşmiştir. Hasarsız duvarlarda harçta kopma ve dağılma görülmezken, hasarlı duvarlarda kısmi tuğla kopmaları meydana gelmiştir. Ayrıca Model tuğla duvarlarda meydana gelen deformasyonların hasarlı duvarlarda hasarsızlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

#### **6.4.5 Bazalt mesh donatılı harç ile güçlendirilen numunelerin göçme biçimleri**

Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda, hasarsız duvarlarda Şekil 6.18’de, hasarlı duvarlarda Şekil 6.19’da görüldüğü şekilde göçme meydana gelmiştir.



**Şekil 6.18 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.



**Şekil 6.19 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile tek taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.

Numunelerde yükleme esnasında düşey diyagonal aksta çok sayıda kılcal çatlak oluşumu meydana gelmiştir. Meydana gelen kılcal çatlaklar numunelerin sünek bir davranış göstermesine neden olmuştur. 1. katman harç ile 2. katman harç arasına yerleştirilen bazalt mesh donatı bölgesinde harç ayrılmaları meydana gelmiştir. Numunelerde göçme harç ayrılmaları ile gerçekleşmiştir. Bu durum harcın bazalt mesh donatı ile iyi aderans sağlayamadığını göstermektedir. Numunelerin güçlendirilmeyen yüzeylerinde harç ile tuğla arasında düşey diyagonal aksta kırılmalar meydana gelmiştir. Harcın duvar yüzeyinden ayrılması ile tuğla duvarlarda kopmalar ve dağılmalar meydana gelmiştir. Ayrıca duvarlarda meydana gelen deformasyonların hasarlı numunelerde hasarsızlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen numunelere uygulanan diyagonal basınç deneyi sonucunda hasarsız numunelerde Şekil 6.20’de, hasarlı numunelerde Şekil 6.21’de görüldüğü gibi göçme meydana gelmiştir.



**Şekil 6.20 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarsız model tuğla duvarın göçme şekli.



**Şekil 6.21 :** Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile çift taraflı güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarın göçme şekli.

Model tuğla duvarlarda, yükleme esnasında düşey diyagonal aksta çok sayıda kılcal çatlak oluşumu meydana gelmiştir. Meydana gelen kılcal çatlaklar duvarların sünek bir davranış göstermesine neden olmuştur. 1 katman harç ile 2. katman harç arasına yerleştirilen bazalt mesh donatı bölgesinde harç ayrılmaları meydana gelmiştir. Model tuğla duvarlarda göçme, harç ayrılmaları ile gerçekleşmiştir. Bu durum harcın bazalt mesh donatı ile iyi aderans sağlayamadığını göstermektedir. Harcın duvar yüzeyinden ayrılması ile bazı tuğla duvarlarda kopmalar ve dağılmalar meydana gelmiştir. Ayrıca duvarlarda meydana gelen deformasyonların hasarlı model tuğla duvarlarda hasarsız duvarlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Araştırma kapsamında üretilen ve güçlendirilen 42 adet model tuğla duvarın mekanik özellikleri tek eksenli diyagonal basınç deneyi ile incelenmiştir. Araştırmada model tuğla duvarların güçlendirilmesinde incelenen değişkenler:

- Model tuğla duvarların donatılı ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilmesi.
- Model tuğla duvarların tek taraflı ve çift taraflı güçlendirilmesi.
- Model tuğla duvarların yükleme uygulanmadan hasarsız olarak ve yükleme uygulanıp onarıldıktan sonra hasarlı olarak güçlendirilmesi.
- Model tuğla duvarların güçlendirilmesinde kullanılan donatı türü.

Model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi ile duvarların kırılma yükleri, kayma gerilmeleri, düşey şekil değiştirmeleri ve göçme biçimleri belirlenmiştir. Deneysel araştırmada göz önüne alınan model tuğla duvar kalınlığı için elde edilen önemli sonuçlar ve gözlemler şunlardır:

- Donatılı ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların kırılma yükleri, kayma gerilmeleri ve düşey şekil değiştirme değerleri önemli oranda artış göstermiştir.
- Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların kırılma yüklerinin, kayma gerilmelerinin ve düşey şekil değiştirme değerlerinin donatısız horasan harcı ile güçlendirilen duvarlara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Donatısız horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların kırılma yükleri %94'e, kayma gerilmeleri %36'ya, düşey şekil değiştirme değerleri %32'ye varan oranlarda artış göstermiştir.
- Donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların kırılma yükleri %190'a, kayma gerilmeleri %96'ya, düşey şekil değiştirme değerleri % 118'e varan oranlarda artış göstermiştir.

- Çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlar, kırılma yükleri ve kayma gerilmeleri en çok artış gösteren numuneler olmuştur.
- Tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlar, çelik hasır donatılı ve donatısız horasan harcı ile güçlendirilen duvarlara göre daha sünek davranış göstermişlerdir.
- Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen numuneler, kılcal çatlak oluşumu en fazla olan ve en fazla sünek davranış gösteren numuneler olmuştur.
- Çift taraflı güçlendirilen model tuğla duvarların kırılma yükleri, kayma gerilmeleri ve düşey şekil değiştirme değerleri, tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.
- Yalın model tuğla duvarlarda göçmeler yatay ve düşey derzlerde meydana gelen kırılmalar sonucunda ani bir şekilde gerçekleşmiştir
- Güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal yükleme esnasında meydana gelen çatlaklardan bazıları genişleyerek harcın duvardan ayrılmasına neden olmuştur. Harcın duvardan ayrılması ile duvarlarda göçme meydana gelmiştir.
- Tek taraflı güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal yükleme ile duvarlarda dağılmalar ve tuğla kopmaları meydana gelirken, çift taraflı güçlendirilen numunelerde duvar bütünlüğü genellikle bozulmamıştır.
- Duvar yüzeyine ankrajlanan çelik hasır donatılar, büyük oranda harcın duvar yüzeyinden ayrılmasını engellemiştir.
- Diyagonal yükleme uygulandıktan sonra onarılıp güçlendirilen hasarlı model tuğla duvarlarda meydana gelen deformasyonlar, yükleme uygulanmadan güçlendirilen hasarsız duvarlara göre daha fazla olduğu görülmüştür.
- Bazalt mesh donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarlarda, 1 katman harç ile 2. katman harç arasına yerleştirilen bazalt mesh donatı bölgesinde harç ayrılmaları meydana gelmiştir. Numunelerde göçme harç ayrılmaları ile gerçekleşmiştir. Bu durum kullanılan harcın bazalt mesh donatı ile iyi aderans sağlayamadığını göstermektedir.

#### Öneriler:

- Tarihi yapıların çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesinde, zaman içerisinde çelik hasır donatıda meydana gelebilecek korozyonun tarihi yapıların orijinal harç özelliklerine zarar vermemesi için galvanize çelik hasır donatı kullanılmalıdır.
- Cam lifli tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilen model tuğla duvarların mekanik dayanımlarının, yüksek dayanım gösteren çelik hasır donatı ile güçlendirilen duvarlara yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Cam lifli ile güçlendirilen numunelerin mekanik dayanımlarının yüksek olması, oldukça sünek bir davranış göstermesi ve tarihi tuğla duvarların orijinal malzeme özelliklerine uygun bir malzeme olması, tarihi yapılar için uygun bir güçlendirme malzemesi olduğunu göstermektedir.
- Güçlendirilen model tuğla duvarlara uygulanan diyagonal basınç deneyi sonrasında göçmeler, genellikle harcın duvar yüzeyinden ayrılması ile gerçekleşmiştir. Bu nedenle tarihi yapıların güçlendirilmesinde kullanılan horasan ve kireç harçlarının tuğla duvar yüzeyi ile aderansını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmalıdır.
- Güçlendirme harcı olarak kullanılacak horasan ve kireç harçlarının mekanik dayanımlarını artırmaya yönelik deneysel araştırmalar yapılmalıdır.
- Güçlendirme amaçlı kullanılacak horasan harçlarında, harcın sünekliğini artırmaya yönelik organik liflerin, organik katkıların kullanılması ve bu katkıların harçların mekanik dayanımlarına olan etkileri araştırılmalıdır.
- Sonraki çalışmalarda numune boyutları daha büyük olan tuğla duvarların donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesi incelenmelidir.



## KAYNAKLAR

- Akcan, M.** (2015). *Harran Bölgesi Tarihi Harçların Fiziko-Kimyasal ve Mineralojik Özelliklerinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Akman, M. S., Güner, A., & Aksoy, I. H.** (1986). The history and properties of khorasan mortar and concrete. *Turkish and Islamic Science and Technology in the 16th Century*, ITU Research Centre of History of Science and Technology, 1, 101–112.
- Allen, G.** (2015). *Hydraulic Lime Mortar for Stone, Brick and Block Masonry: A Best Practice Guide*. Routledge.
- ASTM E519 / E519M - 15.** (2015). *Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages*. ASTM International.
- Bayraktar, A.** (2006). *Tarihi yapıların analitik incelenmesi ve sismik güçlendirme metodları*. Beta Basım Yayım, 1. Baskı.
- Bayülke, N.** (1995). *Depremlerde hasar gören yapıların onarımı ve güçlendirilmesi*. İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi.
- Bernat-Maso, E., Escrig, C., Aranha, C. A., & Gil, L.** (2014). Experimental assessment of Textile Reinforced Sprayed Mortar strengthening system for brickwork wallttes. *Construction and Building Materials*, 50, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.031>
- Böke, H., Akkurt, S., & İpekoğlu, B.** (2004). Tarihi yapılarda kullanılan Horasan harcı ve sıvalarının özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269, 90–95.
- Böke, Hasan, & Toprak, G.** (2011). Tarihi Harçlarda Hidrolik Kireç Kullanımı. *Mimarlıkta Malzeme*, 6(18), 73-77.
- Çizer, Ö., Böke, H., & İpekoğlu, B.** (2004). Bazı Osmanlı dönemi hamam yapılarının kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçlarının özellikleri. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, 6–8.
- Degirmenci, I., & Sarıbiyik, M.** (2015). Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Yenilikçi Yaklaşımlar ve FRP Malzemelerin Kullanımı. *ISITES2015, Valencia -Spain*.
- Döndüren, M. S., Şişik, Ö., & Demiröz, A.** (2017). Tarihi Yapılarda Görülen Hasar Türleri. *Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi*, 13, 45-5813.
- Dündar, B.** (2013). *Farklı Duvar ve Harç Malzemeleri ile Üretilen Duvarların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*. (Doktora Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ediz, İ.** (2015). *Kagir Yapılarda Kullanılan Taşıyıcı Duvarların Hasır Çelik Donatı Ve Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Güçlendirilmesinin Deneysel*

*İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Eriç, M.** (1978). Yapı malzemeleri. yy.
- Eyüpgiller, K. K., & Zakar, L.** (2015). Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri. *Yapı Endüstri Merkezi Yayınları.*
- Gürhan, F.** (2017). Aydın Eski Hamam Sıva Özellikleri, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu: 2-3-4 Kasım.*
- Kozlu H.H.** (2010). *Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri.* (Doktora Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İnce, H. H., Öca, C., Çakıroğlu, M. A., & Çelik, S.** (2015). Püskürtme Beton Uygulamaları ve Kullanım Alanları, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(2): 100-107.
- Kahraman, G.** (2008). *Erken Bizans Dönemi Horasan Harçlarının İncelenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç, D. ., Böke, H., Akkurt, S., & İpekoğlu, B.** (2004). Tarihi St. Jean Kilisesinde Kullanılan Horasan Harçlarının Özellikleri. *TBMMOB Mimarlar Odası 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, 2-4 Ekim, İstanbul.*
- Kolyvas, C., & Karantzakis, M.** (2011). Tarihi Yapıların Güçlendirilmesinde Donatılı Harç Sistemleri. *Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.*
- Mezrea, P. E.** (2014). *Tarihi Tuğla Duvarların Tekstil Donatılı Harç (TRM) İle Güçlendirilmesi.* (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mustafaraj, E., & Yardim, Y.** (2017). In-plane Shear Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using GFRP Jacketing. *Periodica Polytechnica Civil Engineering.* <https://doi.org/10.3311/PPci.11311>
- Özsaraç, S.** (2009). *Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların Gfrp İle Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi* (Yüksek Lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sağın, E. U., & Böke, H.** (2010). Koruma Amaçlı Üretilecek Horasan Harç ve Sıvalarda Kullanılan Kirecin ve Tuğlaların Özellikleri. *5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi*, 385-396.
- Shabdin, M., Zargaran, M., & Attari, N. K. A.** (2018). Experimental diagonal tension (shear) test of Un-Reinforced Masonry (URM) walls strengthened with textile reinforced mortar (TRM). *Construction and Building Materials*, 164, 704-715. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.234>
- Solak, A.** (2015). Denizli Yöresindeki Osmanlı Dönemi Tarihi Yapılarında Kullanılan Harçların Özellikleri. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi Ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Erzurum, (01-03/10/2015).*

- Topçu, İ. B., Bilir, T., & Baylavlı, H.** (2007). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, *Eskisehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, C.XXI, S.1, 200822.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M., & Karanfil, H.** (2005). Horasan Harç ve Betonunun Özellikleri. *Yapı Mekaniği semineri-2005*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi-Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- TS 25.** (2008). Doğal Puzolan (TRAS) - Çimento ve Betonda Kullanılan - Tarifler, Gerekler ve uygunluk Kriterleri. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 196-1.** (2016). Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 459-1:2015.** (2015). Yapı Kireci - Bölüm 1: Tanımlar, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 772-1:2011+A1.** (2015). Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1015-2.** (2000). Kagir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 2:İmalatta Kullanılan Harç Yığınlarından Numune Alma ve Deney İçin Hazırlama. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1015-3.** (2000). Kagir harcı- Deney Metotları- Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (yayıma tablası ile). *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1015-10.** (2001). Kagir Harcı-Deney Metodları- Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlesinin Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1925.** (2000). Doğal taşlar- Deney Metotları- Kılcal Etkiye Bağlı Su Emme Katsayısının Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1936.** (2010). Doğal taşlar - Deney Yöntemleri - Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 13755.** (2009). Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Atmosfer Basıncında Su Emme Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Vakıflar Genel Müdürlüğü.** (2003). Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu. *İPKB*. [https://www.ipkb.gov.tr/tr/yayinlar/tarihi-yapilar-icin-deprem-risklerinin-yonetimi-kilavuzu\\_111](https://www.ipkb.gov.tr/tr/yayinlar/tarihi-yapilar-icin-deprem-risklerinin-yonetimi-kilavuzu_111)
- Yardim, Y., & Lalaj, O.** (2016). Shear strengthening of unreinforced masonry wall with different fiber reinforced mortar jacketing. *Construction and Building Materials*, 102, 149–154.
- Yüzer, N., Doran, B., Berilgen, M. M., Hazar, A. B., Tuncer, Ö. F., Köksal, H. O., Büyükpınar, Ç.** (2015). Tarihi yapıların tuğla duvar özgün malzeme özelliklerinin belirlenmesi ve yük altında davranışının model deneylerle araştırılması. *TÜBİTAK Proje Raporları*, ss. 1-180.



## EKLER

### EK A: Çizelgeler

**Çizelge A.1 : Harman tuğlasının kılcal etkiye bağlı su emme tablosu.**

	1. Numune	N (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )	2. Numune	N (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )	3. Numune	N (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )
Taban uzunluğu / a (cm)	3,98		3,96		3,99	
Taban uzunluğu / b (cm)	4,51		4,15		4,27	
Yükseklik / L (cm)	16,28		16,24		16,47	
Etüv kuru ağırlığı (gr)	487,26		452,64		454,73	
Ortam nem ağırlığı (gr)	487,68		452,99		455,02	
İlk ağırlığı (gr)	488,99		453,89		456,21	
4. dakika ağırlığı (gr)	501,14	0,386634	465,42	0,388828	468,64	0,408222
9. dakika ağırlığı (gr)	505,20	0,333151	468,75	0,326762	472,18	0,341408
16. dakika ağırlığı (gr)	509,62	0,311424	472,72	0,305464	476,54	0,320033
25. dakika ağırlığı (gr)	513,82	0,295936	476,90	0,295242	480,90	0,307208
36. dakika ağırlığı (gr)	517,92	0,284683	480,12	0,278691	485,72	0,303158
49. dakika ağırlığı (gr)	523,52	0,288583	484,87	0,280168	490,33	0,298505
64. dakika ağırlığı (gr)	527,77	0,282106	488,56	0,273214	494,45	0,291419
81. dakika ağırlığı (gr)	533,68	0,287345	493,66	0,277338	499,86	0,294322
100. dakika ağırlığı (gr)	536,85	0,276270	496,48	0,266764	503,76	0,287780
121. dakika ağırlığı (gr)	542,00	0,277238	501,10	0,268070	508,28	0,285737
144. dakika ağırlığı (gr)	546,93	0,277023	506,91	0,275192	515,89	0,299148
169. dakika ağırlığı (gr)	551,84	0,276755	510,03	0,268627	519,46	0,292255
N ort (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )		0,298096		0,292030		0,310766

**Çizelge A.2 : Tuğla numunelerin atmosfer basıncında su emme tablosu.**

Harman Tuğlası	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)	457,26	452,64	454,11	454,67
$m_s$ : Numunenin suya doymun ağırlığı, (gr)	527,68	532,56	538,84	533,03
$m_h$ : Su içerisinde batırılan numunenin ağırlığı, (gr)	284,23	264,00	267,03	271,75
$A_b$ : Atmosfer basıncı altında kütlece su emme değeri, (%)	15%	18%	19%	17%
$A_h$ : Atmosfer basıncı altında hacimce su emme değeri, (%)	29%	30%	31%	30%

**Çizelge A.3 : Tuğla numunelerin basınç dayanımı tablosu**

Numune No	Taban Uzunluğu / a (mm)	Taban Uzunluğu / b (mm)	Yükseklik / L (mm)	Ağırlık (gr)	Basınç (N)	Basınç (N)
1. Numune	40,17	42,87	162,71	453,31	23000	20000
2. Numune	40,89	41,54	163,02	453,39	22000	23000
3. Numune	41,17	40,09	163,09	422,34	18000	22000

**Çizelge A.4 : Tuğla kırığı agrega tane boyut dağılımı.**

Elek göz açıklıkları (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık(%)	Elekten geçen yığışimli ağırlık (%)
4 µm	0	0	0	100
2 µm	255	255	49	51
1 µm	166	421	80	20
0.5 µm	44	465	89	11
0.2 µm	39	504	96	4
Elek altı	16	520	100	0

**Çizelge A.5 : Dere kumu agrega tane boyut dağılımı.**

Elek göz açıklıkları (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık(%)	Elekten geçen yığışimli ağırlık (%)
4 µm	0	0	0	100
2 µm	23	23	4	96
1 µm	80,5	103,5	16	84
0.5 µm	292,5	396	62	38
0.2 µm	214,5	610,5	96	4
Elek altı	26	636,5	100	0

**Çizelge A.6 : Örgü harcı agrega tane boyut dağılımı.**

Elek göz açıklıkları (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık(%)	Elekten geçen yığışimli ağırlık (%)
4 µm	0	0	0	100
2 µm	156	156	39	61
1 µm	90	246	61	39
0.5 µm	71	317	79	21
0.2 µm	59	376	94	6
Elek altı	25	401	100	0

**Çizelge A.7 : Güçlendirme harcı agrega tane boyut dağılımı.**

Elek göz açıklıkları (mm)	Elek üstünde kalan ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık (gr)	Elek üstünde kalan yığışimli ağırlık(%)	Elekten geçen yığışimli ağırlık (%)
4 µm	0	0	0	100
2 µm	139	139	24	76
1 µm	123	262	45	55
0.5 µm	168	430	75	25
0.2 µm	126	556	96	4
Elek altı	21	577	100	0

**Çizelge A.8 : Puzolnik aktivite deney sonuçları.**

	Numune No	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Mesnet Açıklığı (mm)	Ağırlık (g)	Eğilme (N)	Basınç-1 (N)	Basınç-2 (N)	Ortalama Eğilme (MPa)	Ortalama Basınç (MPa)
Tuğla Tozu	PA-1	41,11	40,11	160,55	150,00	455,31	500	9150	9150		
	PA-2	41,47	40,25	160,29	150,00	457,53	500	8500	8700	1,66	5,26
	PA-3	39,85	41,36	160,59	150,00	453,01	510	9000	8900		
Tras	PA-1	42,36	40,41	160,14	150,00	492,10	510	9500	9900		
	PA-2	38,93	41,76	160,77	150,00	481,70	520	8800	9500	1,86	6,04
	PA-3	38,99	39,9	163,98	150,00	484,80	560	10300	10000		

**Çizelge A.9 : Harçların 7 günlük basınç ve eğilme dayanımı tablosu.**

Seri Adı	Numune Adı	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Mesnet Açıklığı (mm)	Ağırlık (g)	Eğilme (N)	Basınç-1 (N)	Basınç-2 (N)
Seri 1	ÖH1-1	41,11	40,11	160,55	100,00	455,31	330	3300	3220
	ÖH1-2	41,47	40,25	160,29	100,00	457,53	440	5780	4290
	ÖH1-3	39,85	41,36	160,59	100,00	453,01	330	4200	3830
	ÖH2-1	42,36	40,41	160,14	100,00	492,10	360	5800	6120
	ÖH2-2	38,93	41,76	160,77	100,00	481,70	300	6100	5820
	ÖH2-3	38,99	39,9	163,98	100,00	484,80	360	5800	6000
	ÖH3-1	39,98	41,35	160,63	100,00	424,90	330	2640	2860
	ÖH3-2	41,87	40,06	160,69	100,00	434,79	330	3100	3190
	ÖH3-3	40,20	41,04	160,30	100,00	441,22	330	3600	3210
	ÖH4-1	40,20	41,23	160,09	100,00	429,33	380	2990	2330
	ÖH4-2	39,95	41,15	160,07	100,00	438,69	380	2970	3190
	ÖH4-3	40,03	40,59	159,93	100,00	438,43	380	3870	3340
	Seri 2	GH4-1	41,15	42,50	160,60	100,00	529,21	600	8700
GH4-2		39,99	42,40	160,61	100,00	521,35	550	9650	9650
GH4-3		41,86	40,16	160,54	100,00	523,52	600	9750	7800
Seri 3	GH1-1	40,05	41,81	159,57	100,00	516,21	920	13400	12950
	GH1-2	40,04	42,18	159,72	100,00	514,07	930	13600	13500
	GH1-3	41,23	39,85	159,89	100,00	508,09	925	13500	13400
	GH2-1	40,79	39,88	160,20	100,00	517,59	810	12900	13750
	GH2-2	42,80	40,05	159,65	100,00	525,79	900	14700	13150
	GH2-3	42,41	41,43	158,85	100,00	521,85	850	13600	13550
	GH3-1	40,12	39,90	160,13	100,00	466,93	520	6900	7750
	GH3-2	41,80	39,95	159,84	100,00	475,42	560	7400	7030
	GH3-3	41,17	40,03	159,80	100,00	468,77	540	7300	7200
	GH6-1	42,30	40,36	160,25	100,00	509,66	560	8550	10500
	GH6-2	42,74	40,49	160,18	100,00	514,42	700	11100	10200
	GH6-3	42,00	40,06	160,39	100,00	505,30	630	10000	10500
	Seri 4	GH5-1	41,63	40,02	159,42	100,00	484,90	510	10600
GH5-2		41,27	38,91	162,44	100,00	488,22	480	8500	10600
GH5-3		42,47	40,17	161,50	100,00	505,35	490	10000	9500
GH7-1		41,68	39,97	161,39	100,00	514,20	620	10000	11450
GH7-2		41,56	40,27	160,71	100,00	512,10	650	10300	11800
GH7-3		40,54	40,42	159,75	100,00	495,50	635	14350	15150
GH8-1		39,71	41,00	159,98	100,00	467,30	560	15150	15000
GH8-2		40,05	41,38	160,17	100,00	472,82	625	14300	13700
GH8-3		38,83	40,88	159,56	100,00	463,70	490	14500	14500
GH9-1		39,89	40,23	160,11	100,00	440,32	540	14800	15000
GH9-2		39,92	41,10	159,82	100,00	439,82	580	14100	13800
GH9-3		40,21	40,08	161,10	100,00	459,23	580	14500	14300

**Çizelge A.10 : Harçların 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı tablosu.**

Seri Adı	Numune Adı	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Mesnet Açıklığı (mm)	Ağırlık (g)	Eğilme (N)	Basınç-1 (N)	Basınç-2 (N)
Seri 1	ÖH1-1	41,14	40,17	159,56	100,00	448,29	170	1920	2200
	ÖH1-2	41,54	39,94	159,90	100,00	447,72	200	2400	2450
	ÖH1-3	40,65	40,18	159,54	100,00	449,13	180	2170	1900
	ÖH2-1	40,58	42,12	159,97	100,00	463,80	170	3500	3060
	ÖH2-2	40,05	41,82	160,06	100,00	458,46	180	3850	3300
	ÖH2-3	41,53	40,25	160,95	100,00	469,53	170	3700	3060
	ÖH3-1	40,43	40,93	160,25	100,00	445,30	200	2300	2300
	ÖH3-2	40,17	41,16	159,88	100,00	436,15	200	1900	2080
	ÖH3-3	40,67	40,92	160,45	100,00	446,13	300	2120	2250
	ÖH4-1	40,55	40,50	159,76	100,00	440,81	275	2540	2470
	ÖH4-2	40,62	40,35	159,94	100,00	441,13	275	2800	2450
	ÖH4-3	40,69	41,20	160,57	100,00	441,85	250	2650	2460
	Seri 2	GH4-1	40,11	40,70	160,30	100,00	452,92	210	3500
GH4-2		40,02	40,31	160,22	100,00	460,21	200	3450	3550
GH4-3		40,17	40,17	160,15	100,00	458,33	230	3600	3400
Seri 3	GH1-1	41,63	40,03	159,72	100,00	480,22	230	4190	4450
	GH1-2	41,25	38,97	162,47	100,00	449,76	270	5530	5460
	GH1-3	42,49	40,27	161,55	100,00	450,72	240	3700	4650
	GH2-1	39,80	40,97	159,92	100,00	450,25	300	3650	5100
	GH2-2	41,08	43,06	160,98	100,00	447,80	300	5390	5600
	GH2-3	40,11	40,15	161,03	100,00	452,23	300	5400	4000
	GH3-1	41,08	43,06	160,98	100,00	437,62	360	5800	4000
	GH3-2	39,91	43,57	160,15	100,00	449,30	440	4660	4950
	GH3-3	40,08	43,03	160,44	100,00	445,92	390	4420	4000
	GH6-1	40,09	41,23	160,58	100,00	449,25	200	3600	3600
	GH6-2	39,75	40,12	160,19	100,00	447,25	200	3450	3650
	GH6-3	39,21	40,19	159,72	100,00	459,20	215	3600	3400
Seri 4	GH5-1	41,02	39,27	160,56	100,00	462,18	175	3100	3500
	GH5-2	40,09	41,12	160,27	100,00	449,75	180	3300	3400
	GH5-3	40,11	40,21	40,07	100,00	481,16	180	3300	3200
	GH7-1	39,26	40,17	40,03	100,00	471,11	210	3300	3550
	GH7-2	39,87	40,02	39,91	100,00	469,21	190	3500	3450
	GH7-3	40,14	40,05	39,79	100,00	455,38	215	3700	3350
	GH8-1	40,01	41,79	159,15	100,00	434,11	390	8200	7600
	GH8-2	40,12	42,26	159,38	100,00	444,43	390	8040	6820
	GH8-3	39,69	42,14	159,98	100,00	438,17	400	6940	5780
	GH9-1	40,42	39,21	160,27	100,00	452,21	390	7200	7000
	GH9-2	40,17	40,23	159,80	100,00	451,11	370	6900	6850
	GH9-3	40,28	40,11	159,92	100,00	440,12	370	6750	6300

**Çizelge A.11 : Örgü harcı numunelerinin kılcal etkiye bağlı su emme tablosu.**

	1. Numune	N (gr/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )	2. Numune	N (gr/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )	3. Numune	N (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )
Taban uzunluğu / a (cm)	4,02		4,01		4,11	
Taban uzunluğu / b (cm)	4,16		4,23		4,05	
Yükseklik / L (cm)	16,03		16,02		16,47	
Etüv kuru ağırlığı (gr)	462,32		469,98		464,73	
Ortam nem ağırlığı (gr)	464,76		472,48		467,02	
İlk ağırlığı (gr)	465,15		473,78		468,21	
4. dakika ağırlığı (gr)	471,72	0,281047	482,04	0,355494	477,64	0,387792
9. dakika ağırlığı (gr)	475,58	0,264303	485,65	0,307938	480,18	0,309393
16. dakika ağırlığı (gr)	479,28	0,253540	489,04	0,280917	484,54	0,297528
25. dakika ağırlığı (gr)	482,87	0,245766	492,43	0,264705	487,90	0,278394
36. dakika ağırlığı (gr)	486,26	0,238591	495,68	0,252521	490,72	0,260230
49. dakika ağırlığı (gr)	489,59	0,232953	498,95	0,243986	493,33	0,245455
64. dakika ağırlığı (gr)	492,67	0,226856	502,06	0,236407	497,45	0,245712
81. dakika ağırlığı (gr)	495,68	0,221648	505,05	0,229725	500,86	0,241173
100. dakika ağırlığı (gr)	498,80	0,218140	508,18	0,225205	503,76	0,234478
121. dakika ağırlığı (gr)	501,80	0,214617	511,17	0,220757	508,28	0,237848
144. dakika ağırlığı (gr)	504,88	0,212081	513,63	0,214446	515,89	0,256125
169. dakika ağırlığı (gr)	507,28	0,206806	516,73	0,212009	519,46	0,252921
N ort (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )		0,234696		0,253676		0,270587

**Çizelge A.12 : Güçlendirme harcı numunelerinin kılcal etkiye bağlı su emme tablosu.**

	1. Numune	N (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )	2. Numune	N (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )	3. Numune	N (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> )
Taban uzunluğu / a (cm)	4,05		4,02		4,07	
Taban uzunluğu / b (cm)	4,12		4,11		4,03	
Yükseklik / L (cm)	16,10		16,05		16,31	
Etüv kuru ağırlığı (gr)	434,30		424,21		438,50	
Ortam nem ağırlığı (gr)	439,20		429,22		443,50	
İlk ağırlığı (gr)	439,23		429,53		443,81	
4. dakika ağırlığı (gr)	447,90	0,407527	438,21	0,423672	452,21	0,417934
9. dakika ağırlığı (gr)	451,10	0,335611	441,20	0,342771	455,82	0,351987
16. dakika ağırlığı (gr)	454,81	0,307294	445,23	0,318057	459,93	0,326635
25. dakika ağırlığı (gr)	458,71	0,292581	448,81	0,297781	463,71	0,307400
36. dakika ağırlığı (gr)	461,63	0,272983	452,13	0,281641	467,30	0,292645
49. dakika ağırlığı (gr)	465,17	0,264293	455,91	0,274090	471,50	0,287420
64. dakika ağırlığı (gr)	468,00	0,252457	458,82	0,261845	474,76	0,276337
81. dakika ağırlığı (gr)	471,21	0,245782	462,17	0,255279	478,23	0,269139
100. dakika ağırlığı (gr)	474,41	0,240381	465,41	0,249361	481,92	0,264722
121. dakika ağırlığı (gr)	477,32	0,234383	468,10	0,241493	485,31	0,259446
144. dakika ağırlığı (gr)	480,30	0,229734	471,51	0,238568	488,52	0,254134
169. dakika ağırlığı (gr)	483,12	0,225062	474,50	0,234137	491,57	0,248889
N ort (g/cm <sup>2</sup> dk <sup>0.5</sup> ) (gr)		0,275674		0,284891		0,296391

**Çizelge A.13 : Örgü harcı numunelerin atmosfer basıncı altında su emme tablosu.**

Örgü Harcı	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)	462,32	469,98	465,43	465,91
$m_s$ : Numunenin suya doygun ağırlığı, (gr)	529,80	548,15	538,84	538,93
$m_h$ : Su içerisine batırılan numunenin ağırlığı, (gr)	271,50	285,23	269,13	275,29
$A_b$ : Atmosfer basıncı altında kütlece su emme değeri, (%)	15%	17%	16%	16%
$A_h$ : Atmosfer basıncı altında hacimce su emme değeri, (%)	26%	30%	27%	28%

**Çizelge A.14 : Güçlendirme harcı numunelerin atmosfer basıncı altında su emme tablosu.**

Güçlendirme Harcı	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
$m_d$ : Numunenin kuru ağırlığı, (gr)	437,12	424,20	438,50	433,27
$m_s$ : Numunenin suya doygun ağırlığı, (gr)	490,10	510,13	530,74	510,32
$m_h$ : Su içerisine batırılan numunenin ağırlığı, (gr)	260,18	255,21	275,14	263,51
$A_b$ : Atmosfer basıncı altında kütlece su emme değeri, (%)	12%	20%	21%	18%
$A_h$ : Atmosfer basıncı altında hacimce su emme değeri, (%)	23%	34%	36%	31%

**Çizelge A.15 : Örgü ve güçlendirme harçlarının basınç ve eğilme dayanımı tablosu.**

Kür Koşulları	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Mesnet Açıklığı (mm)	Ağırlık (g)	Eğilme (N)	Basınc1 (N)	Basınc2 (N)		
Örgü Harcı	Yüksek Bağlı Nem İle 7 Gün Etüvde Kürleme	42,36	40,41	160,14	100,00	492,10	360	5800	6120	
		38,93	41,76	160,77	100,00	481,70	300	6100	5820	
		38,99	39,9	163,98	100,00	484,80	360	5800	6000	
	Ortam Koşullarında 28 Gün Bekletme (23±2)°C	40,58	42,12	159,97	100,00	463,80	170	3500	3060	
		40,05	41,82	160,06	100,00	458,46	180	3850	3300	
		41,53	40,25	160,95	100,00	469,53	170	3700	3060	
	Ortam Koşullarında 90 gün Bekletme (23±2)°C	40,75	43,5	162,12	100,00	453,12	220	4260	4500	
		42,01	40,11	162,09	100,00	458,73	200	3980	4000	
		40,18	41,83	162,01	100,00	464,81	220	4200	4100	
	Güçlendirme Harcı	Yüksek Bağlı Nem İle 7 Gün Etüvde Kürleme	39,89	40,23	160,11	100,00	440,32	540	14800	15000
			39,92	41,10	159,82	100,00	439,82	580	14100	13800
			40,21	40,08	161,10	100,00	459,23	580	14500	14300
Ortam Koşullarında 28 Gün Bekletme (23±2)°C		40,42	39,21	160,27	100,00	452,21	390	7200	7000	
		40,17	40,23	159,80	100,00	451,11	370	6900	6850	
		40,28	40,11	159,92	100,00	440,12	370	6750	6300	
Ortam Koşullarında 28 Gün Bekletme (23±2)°C (Numuneler İlk 7 gün Su İle Nemlendirilmiştir.)		40,01	41,79	159,48	100,00	434,12	390	8200	7600	
		40,02	42,26	159,46	100,00	444,43	390	8040	6820	
		39,69	42,14	159,42	100,00	438,17	400	6940	5780	
Poliyeten Poşet İçerisinde Kendi Nemi İle 7 Gün Ardından 21 Gün Ortam Koşullarında Bekletme (23±2)°C		40,47	41,56	159,15	100,00	422,62	400	13300	13700	
		40,13	41,92	159,38	100,00	433,52	350	15300	14000	
		40,12	42,55	159,98	100,00	428,53	310	13500	15000	
Ortam Koşullarında 90 gün Bekletme (23±2)°C	40,73	41,66	160,52	100,00	435,75	300	8500	6940		
	41,35	40,03	158,83	100,00	430,90	340	8040	7120		
	41,38	40,49	159,02	100,00	434,42	370	8480	8060		
Ortam Koşullarında 90 gün Bekletme (23±2)°C (Numuneler İlk 7 gün Su İle Nemlendirilmiştir.)	40,17	44,18	159,85	100,00	430,56	300	8550	7500		
	41,22	43,85	159,74	100,00	428,17	350	8500	8000		
	40,7	44,05	160,32	100,00	426,86	350	8300	8000		

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Elif Tuba ALHAN ŞİMŞEK

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 14.08.19889 Erzincan

**E-posta** : alhaneliftuba@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013 / Karadeniz Teknik Üniversitesi / Mimarlık Bölümü