

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YIĞMA YAPILARDA TAŞIYICI TUĞLA DUVARLARIN CFRP İLE  
GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mimar Ertan ONAR**

**Anabilim Dalı : MİMARLIK**

**Programı : ÇEVRE KONTROLÜ VE YAPI TEKNOLOJİSİ**

**HAZİRAN 2007**

**YIĞMA YAPILARDA TAŞIYICI TUĞLA DUVARLARIN CFRP İLE  
GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Mimar Ertan ONAR**  
**(502031708)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI**  
**Tez Eş Danışmanı : Doç.Dr. Mustafa KARAGÜLER**  
**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Kadir GÜLER (İ.T.Ü.)**  
**Prof.Dr. Özkan İŞLER (İ.T.Ü.)**  
**Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK (İ.T.Ü.)**

**HAZİRAN 2007**

## **ÖNSÖZ**

Tez çalışmam sırasında yapıcı eleştirileri ile çalışmalarına yön veren, her konuda ilgi, destek ve hoşgörüsünü esirgemeyen, tecrübe ve bilgilerini paylaşan tez danışmanlarım; Sayın Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI ve Sayın Doç. Dr. Mustafa E. KARAGÜLER hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar sırasında desteğini gördüğüm Lafarge Beton firması Özel Ürünler ve Projeler Sorumlusu İnşaat Mühendisi Sayın İlker EDİZ'E, bu süreçteki yardımlarından ve özverilerinden ötürü Teknisyen Sayın İbrahim ÖZTÜRK'e teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarda malzeme gereksinimlerimi karşılayan Lafarge beton firmasına, YKS firmasına, tecrübelerini ve bilgilerini paylaşan YKS Marmara Bölge Md. Sayın İsmail ÇİL'e ve Ürün Sorumlusu Engin C.SEYHAN'a teşekkür ederim.

Yapıcı eleştiri ve fikirlerini paylaştığım her zaman yanımda olan tüm arkadaşlarıma, dostlarıma teşekkür ederim.

Tüm eğitim, öğretim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen her zaman varlıklarını yanında hissettiğim Annem Fatma ONAR'a, Babam Mahmut ONAR'a, Kardeşim Emel ONAR'a ve tüm aile mensuplarıma teşekkürlerimi sunarım.

**Haziran 2007**

**Ertan ONAR**

## **İÇİNDEKİLER**

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| <b>KISALTMALAR</b>    | <b>vi</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>  | <b>vii</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b> | <b>xiv</b>  |
| <b>ÖZET</b>           | <b>xv</b>   |
| <b>SUMMARY</b>        | <b>xvii</b> |

|                                    |          |
|------------------------------------|----------|
| <b>1. GİRİŞ</b>                    | <b>1</b> |
| 1.1. Genel Bilgiler                | 1        |
| 1.2. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı | 4        |
| 1.3. Araştırmada İzlenen Yol       | 4        |
| 1.4. Konu İle İlgili Çalışmalar    | 5        |

|                                                                                  |           |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>2. YIĞMA YAPILARDAKİ HASARLAR VE YIĞMA YAPILARIN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ</b>   | <b>11</b> |
| 2.1. Yığma Yapılardaki Hasar Nedenleri                                           | 11        |
| 2.2. Yığma Yapılardaki Düzensizlik Durumları                                     | 12        |
| 2.3. Yığma Yapılardaki Hasar Türleri                                             | 13        |
| 2.3.1. Temel Oturmalarına Bağlı Hasarlar                                         | 13        |
| 2.3.2. Depreme Bağlı Hasarlar                                                    | 14        |
| 2.4. Yığma Yapılarda Göçme Mekanizmaları                                         | 15        |
| 2.5. Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarların Sınıflandırılması                     | 18        |
| 2.5.1 Az Hasarlı Taşıyıcı Duvarlar                                               | 18        |
| 2.5.2 Orta hasarlı Taşıyıcı Duvarlar                                             | 19        |
| 2.5.3 Ağır Hasarlı Taşıyıcı Duvarlar                                             | 20        |
| 2.5.4 Yığma Yapılar İçin Hasar Ölçüt Tablosu                                     | 20        |
| 2.6 Yığma Yapıların Güçlendirme Yöntemleri                                       | 21        |
| 2.6.1 Püskürtme Beton ile Taşıyıcı Yığma Duvarların Güçlendirilmesi              | 22        |
| 2.6.2 Taşıyıcı Yığma Duvarların Çelik Elemanlarla Güçlendirilmesi                | 23        |
| 2.6.3 Taşıyıcı Yığma Duvarların Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirilmesi | 25        |
| 2.6.4 Taşıyıcı Yığma Duvarların CFRP ile Güçlendirilmesi                         | 25        |
| 2.6.4.1 CFRP'nin Üretim Yöntemleri                                               | 28        |

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b>                        | <b>32</b> |
| 3.1. Genel Bilgiler                                 | 32        |
| 3.2. Deney Programı                                 | 32        |
| 3.3. Deney Ortamı ve Kullanılan Cihazlar            | 33        |
| 3.4. Tuğla Duvar Bileşenlerini Oluşturan Malzemeler | 34        |

|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4.1. Kum                                                                                        | 34        |
| 3.4.2. Çimento                                                                                    | 35        |
| 3.4.3. Tuğla                                                                                      | 36        |
| 3.5. Ön Deneyler                                                                                  | 36        |
| 3.5.1. Harç Üzerinde Yapılan Deneyler                                                             | 36        |
| 3.5.2. Tuğla Üzerinde Yapılan Deneyler                                                            | 40        |
| 3.6. Tuğla Duvarların CFRP İle Güçlendirmesinde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri              | 41        |
| 3.6.1. Şerit CFRP                                                                                 | 41        |
| 3.6.2. Şerit CFRP Yapıştırıcısı (Epoksi Esaslı Yapıştırıcı)                                       | 42        |
| 3.6.3. Dokuma CFRP                                                                                | 43        |
| 3.6.4. Dokuma CFRP yapıştırıcısı ( Epoksi Esaslı Yapıştırıcı )                                    | 44        |
| 3.6.5. Epoksi Esaslı Astar                                                                        | 45        |
| 3.7. Aderans Deneyi Sonuçları                                                                     | 47        |
| 3.7.1. Şerit CFRP Yapıştırıcısı Aderans Deneyi Sonuçları                                          | 47        |
| 3.7.2. Dokuma CFRP Yapıştırıcısı Aderans Deneyi Sonuçları                                         | 50        |
| <b>4.DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI</b>                                                         | <b>54</b> |
| 4.1. Giriş                                                                                        | 54        |
| 4.1.1. Tuğla Duvar Numunelerinin Hazırlanması                                                     | 54        |
| 4.1.1.1. Numune Boyutları                                                                         | 55        |
| 4.1.1.2. Numunelerin Yapımı ve Korunması                                                          | 55        |
| 4.1.1.3. Numunelerin Başlıklarının Yapılması                                                      | 56        |
| 4.1.2. Deneyin Yapılış Şekli                                                                      | 56        |
| 4.1.2.1. Deney Düzenegi                                                                           | 56        |
| 4.1.2.2. Deformasyon Okumaları                                                                    | 56        |
| <b>5.MODEL TUĞLA DUVARLAR ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE MODEL TUĞLA DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ</b> | <b>58</b> |
| 5.1. Güçlendirilmemiş Tuğla Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneyler                                    | 58        |
| 5.2. Hasarlı Tuğla Duvar Numunelerinin Tamir Edilmesi                                             | 59        |
| 5.3. Model Tuğla Duvarların CFRP Malzemesi İle Güçlendirilmesi                                    | 59        |
| 5.3.1. Model Tuğla Duvarların Şerit CFRP ile Güçlendirilmesi (Seri I)                             | 59        |
| 5.3.1.1.Genel Bilgiler                                                                            | 59        |
| 5.3.1.2.Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numuneleri Üzerine Şerit CFRP Uygulaması                  | 60        |
| 5.3.2. Model Tuğla Duvarların Ayrık Şerit CFRP ile Güçlendirilmesi (Seri II)                      | 61        |
| 5.3.2.1. Genel Bilgiler                                                                           | 61        |
| 5.3.2.2.Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numuneleri Üzerine Ayrık Şerit CFRP Uygulaması            | 63        |
| 5.3.3. Model Tuğla Duvarların Dokuma CFRP İle Güçlendirilmesi (Seri III)                          | 64        |
| 5.3.3.1.Genel Bilgiler                                                                            | 64        |
| 5.3.3.2.Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numuneleri Üzerine Dokuma CFRP Uygulaması                 | 65        |
| 5.3.3.3. Seri III Başlıklarının CFRP Dokuma İle Takviyesi                                         | 66        |

|                                                                                               |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4.Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneyler                                   | 66         |
| 5.4.1.Şerit CFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler (Seri I)          | 66         |
| 5.4.2.Dağınık Şerit CFRP İle Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler (Seri II) | 67         |
| 5.4.3.Dokuma CFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler (Seri III)       | 67         |
| <b>6.SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ</b>                                                         | <b>69</b>  |
| 6.1. Genel                                                                                    | 69         |
| 6.2. Yalın Tuğla Duvar ve Tamirli Tuğla Duvar Numunelerinin Deney Sonuçları                   | 72         |
| 6.3. Tuğla Duvar Numunelerinin Şerit CFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri I)         | 75         |
| 6.4. Tuğla Duvar Numunelerinin Ayrık Şerit CFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri II)  | 82         |
| 6.5. Tuğla Duvar Numunelerinin Dokuma CFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri III)      | 89         |
| 6.6. Seri I Sonuçlarının Seri II Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi                           | 95         |
| 6.7 Seri I Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi                           | 97         |
| 6.8 Seri II Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi                          | 100        |
| <b>7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b>                                                                 | <b>102</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                              | <b>105</b> |
| <b>EK A</b>                                                                                   | <b>109</b> |
| <b>EK B</b>                                                                                   | <b>129</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                               | <b>133</b> |

## KISALTMALAR

|                      |                                                                               |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <b>FRP</b>           | :Fiber Reinforced Polymer (Fiber Takviyeli Polimer)                           |
| <b>CFRP</b>          | :Carbon Fiber Reinforced Polymer                                              |
| <b>GFRP</b>          | :Glass Fiber Reinforced Polymer                                               |
| <b>PÇ</b>            | :Portland Çimento                                                             |
| <b>HÇŞ</b>           | :Hasar verilmiş çift taraflı olarak şerit FRP ile güçlendirilmiş numune       |
| <b>HTŞ</b>           | :Hasar verilmiş tek taraflı olarak şerit FRP ile güçlendirilmiş numune        |
| <b>ÇŞ</b>            | :Çift taraflı olarak şerit FRP ile güçlendirilmiş numune                      |
| <b>TŞ</b>            | :Tek taraflı olarak şerit FRP ile güçlendirilmiş numune                       |
| <b>HÇAŞ</b>          | :Hasar verilmiş çift taraflı olarak ayrık şerit FRP ile güçlendirilmiş numune |
| <b>HTAÇ</b>          | :Hasar verilmiş tek taraflı olarak ayrık şerit FRP ile güçlendirilmiş numune  |
| <b>ÇAŞ</b>           | :Çift taraflı olarak ayrık şerit FRP ile güçlendirilmiş numune                |
| <b>TAŞ</b>           | :Tek taraflı olarak ayrık şerit FRP ile güçlendirilmiş numune                 |
| <b>HÇD</b>           | :Hasar verilmiş çift taraflı olarak dokuma FRP ile güçlendirilmiş numune      |
| <b>HTD</b>           | :Hasar verilmiş tek taraflı olarak dokuma FRP ile güçlendirilmiş numune       |
| <b>ÇD</b>            | :Çift taraflı olarak dokuma FRP ile güçlendirilmiş numune                     |
| <b>TD</b>            | :Tek taraflı olarak dokuma FRP ile güçlendirilmiş numune                      |
| <b>YD</b>            | :Yalın Duvar                                                                  |
| <b>HEYD</b>          | :Hasar verilmiş epoksi ile onarılmış yalın duvar                              |
| <b>ÇT</b>            | :Çift Taraflı                                                                 |
| <b>TT</b>            | :Tek Taraflı                                                                  |
| <b>%</b>             | :Yüzde                                                                        |
| <b>°C</b>            | :Santigrad Derece                                                             |
| <b>KN</b>            | :Kilonewton                                                                   |
| <b>Ort</b>           | :Ortalama                                                                     |
| <b>f<sub>b</sub></b> | :Tuğlanın Basınç Dayanımı(kg/cm <sup>2</sup> )                                |
| <b>Uv</b>            | :Ultraviole                                                                   |
| <b>P<sub>k</sub></b> | :Kırılma Anındaki Yük (kg)                                                    |
| <b>DOHT</b>          | :Dolu harman tuğlası                                                          |
| <b>DEHT</b>          | :Delikli harman tuğlası                                                       |
| <b>ABYYHY98</b>      | :Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998                 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                  | <b>Sayfa No</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 2.1.</b> Yığma Yapılar İçin Hasar Kriterleri.....                                                       | 21              |
| <b>Tablo 3.1.</b> Yıkanmış Kumun Elek Analizi.....                                                               | 34              |
| <b>Tablo 3.2.</b> Yıkanmamış Kumun Elek Analizi.....                                                             | 34              |
| <b>Tablo 3.3.</b> Kumun Birim Ağırlık Tablosu.....                                                               | 35              |
| <b>Tablo 3.4.</b> Çimento Teknik Özellikleri.....                                                                | 35              |
| <b>Tablo 3.5.</b> Çimento Birim Ağırlık Tablosu.....                                                             | 36              |
| <b>Tablo 3.6.</b> Harcın 7 Günlük Basınç Dayanımı.....                                                           | 37              |
| <b>Tablo 3.7.</b> Harcın 14 Günlük Basınç Dayanımı.....                                                          | 37              |
| <b>Tablo 3.8.</b> Harcın 28 Günlük Basınç Dayanımı.....                                                          | 37              |
| <b>Tablo 3.9.</b> Taze Harç Kıvam Deneyi Sonuçları.....                                                          | 38              |
| <b>Tablo 3.10.</b> Harç Birim Ağırlık Tablosu.....                                                               | 38              |
| <b>Tablo 3.11.</b> Harç Kapiler Su Emme Değerleri.....                                                           | 39              |
| <b>Tablo 3.12.</b> Tuğla Kapiler Su Emme Değerleri.....                                                          | 40              |
| <b>Tablo 3.13.</b> Model Tuğlaların Mekanik Özellikleri.....                                                     | 41              |
| <b>Tablo 3.14.</b> Şerit FRP İçin Tipik Performans Değerleri.....                                                | 42              |
| <b>Tablo 3.15.</b> Şerit FRP Yapıştırıcısının Teknik Özellikleri.....                                            | 43              |
| <b>Tablo 3.16.</b> Dokuma FRP İçin Tipik Performans Değerleri.....                                               | 44              |
| <b>Tablo 3.17.</b> Dokuma FRP Yapıştırıcısının Teknik Özellikleri.....                                           | 45              |
| <b>Tablo 3.18.</b> Astarın Teknik Özellikleri.....                                                               | 46              |
| <b>Tablo 3.19.</b> Şerit FRP Yapıştırıcı ve Tuğla Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri.....                        | 48              |
| <b>Tablo 3.20.</b> Şerit FRP Yapıştırıcı ve Beton Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri.....                        | 49              |
| <b>Tablo 3.21.</b> Şerit FRP Yapıştırıcı ve Çelik Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri.....                        | 50              |
| <b>Tablo 3.22.</b> Dokuma FRP Yapıştırıcı ve Tuğla Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri.....                       | 51              |
| <b>Tablo 3.23.</b> Dokuma FRP Yapıştırıcısı ve Beton + Epoksi+Dokuma FRP Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri..... | 52              |
| <b>Tablo 3.24.</b> Dokuma FRP Yap. ve Beton Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri.....                              | 52              |
| <b>Tablo 3.25.</b> Dokuma FRP Yapıştırıcısı ve Çelik Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri.....                     | 53              |
| <b>Tablo 3.26.</b> Dokuma FRP Yapıştırıcısı ve Çelik+Epoksi+Dokuma FRP Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri.....   | 53              |
| <b>Tablo 6.1.</b> Seri I'in Genel Özellikleri.....                                                               | 70              |
| <b>Tablo 6.2.</b> Seri II'nin Genel Özellikleri.....                                                             | 71              |
| <b>Tablo 6.3.</b> Seri III'ün Genel Özellikleri.....                                                             | 71              |
| <b>Tablo 6.4.</b> Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yüğü.....                             | 72              |
| <b>Tablo 6.5.</b> Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yer değıştirmeler.....                        | 72              |
| <b>Tablo 6.6.</b> Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yüğü.....                         | 73              |

|                    |                                                                              |     |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablo 6.7.</b>  | Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yer değiştirmeleri..... | 73  |
| <b>Tablo 6.8.</b>  | Seri I Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri.....       | 75  |
| <b>Tablo 6.9.</b>  | Seri I Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yer değiştirmeleri.....    | 76  |
| <b>Tablo 6.10.</b> | Seri I Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması.....                             | 76  |
| <b>Tablo 6.11.</b> | Seri II Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yer değiştirmeleri.....   | 82  |
| <b>Tablo 6.12.</b> | Seri III Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri .....    | 83  |
| <b>Tablo 6.13.</b> | Seri II Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması.....                            | 83  |
| <b>Tablo 6.14.</b> | Seri III Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri.....     | 89  |
| <b>Tablo 6.15.</b> | Seri III T.D.Numunelerinin Max. ve Ortalama Yerdeğıştirmeleri.....           | 89  |
| <b>Tablo 6.16.</b> | Seri III Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması.....                           | 90  |
| <b>Tablo 6.17.</b> | Seri I ve Seri II Ortalama Deney Verileri.....                               | 95  |
| <b>Tablo 6.18.</b> | Seri I ve Seri III Ortalama Deney Verileri.....                              | 98  |
| <b>Tablo 6.19.</b> | Seri II ve Seri III Ortalama Deney Verileri.....                             | 100 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                           | <b>Sayfa No</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Şekil 1.1</b> : Numunelerin Güçlendirme Şekli.....                                                     | 7               |
| <b>Şekil 2.1</b> : Yığma Duvar Köşe Detayı.....                                                           | 12              |
| <b>Şekil 2.2</b> : Uzun Doğrultuda Mesnetlenmemiş Duvardaki Hasar.....                                    | 12              |
| <b>Şekil 2.3</b> : Temel Oturmalarından Dolayı Oluşan Çatlaklar.....                                      | 14              |
| <b>Şekil 2.4</b> : Yığma Yapı Plan Örnekleri[.....                                                        | 14              |
| <b>Şekil 2.5</b> : Yığma Duvarlarda Oluşan TekYönlü Eğik Çatlaklar.....                                   | 15              |
| <b>Şekil 2.6</b> : Deprem X çatlakları $\alpha=45^\circ$ .....                                            | 15              |
| <b>Şekil 2.7</b> : Deprem X çatlakları $\alpha >45^\circ$ .....                                           | 15              |
| <b>Şekil 2.8</b> : Deprem Zemin Hareketi Sırasında Yapının Titreşimleri.....                              | 16              |
| <b>Şekil 2.9</b> : Serbest Duvarın Göçme Mekanizması.....                                                 | 17              |
| <b>Şekil 2.10</b> : Yığma Yapıda Hasarlar.....                                                            | 17              |
| <b>Şekil 2.11</b> : Tavan Bitişleri Yeterince Detaylandırılmamış Yığma Duvarlarda Hasar Biçimleri.....    | 18              |
| <b>Şekil 2.12</b> : Az Hasarlı Duvar Örnekleri.....                                                       | 19              |
| <b>Şekil 2.13</b> : Orta Hasarlı Duvar Örnekleri.....                                                     | 19              |
| <b>Şekil 2.14</b> : Ağır Hasarlı Duvar Örnekleri .....                                                    | 20              |
| <b>Şekil 2.15</b> : Tek Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması.....                            | 22              |
| <b>Şekil 2.16</b> : İki Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması.....                            | 23              |
| <b>Şekil 2.17</b> : Pencere Boşlukları Arasında Kalan duvarların Gergi Demirleri ile Güçlendirilmesi..... | 24              |
| <b>Şekil 2.18</b> : Gergi Demirlerinin Duvarın Dış Yüzüne Yerleştirilmesi.....                            | 24              |
| <b>Şekil 2.19</b> : Hasarlı Duvar Bölümünün Çelik Köşebentlerle Çerçeve İçine Alarak Güçlendirilmesi..... | 24              |
| <b>Şekil 2.20</b> : Yığma Duvarları Gergi Demirleri ile Güçlendirme.....                                  | 24              |
| <b>Şekil 2.21</b> : Çelik Çerçevelerle Güçlendirme Örneği (Deri İmalathanesi).....                        | 25              |
| <b>Şekil 2.22</b> : Yığma Yapıda CFRP Uygulaması.....                                                     | 26              |
| <b>Şekil 2.23</b> : Taşıyıcı Tuğla Duvarda CFRP Uygulaması.....                                           | 27              |
| <b>Şekil 2.24</b> : Kemerde FRP Uygulaması-1.....                                                         | 27              |
| <b>Şekil 2.25</b> : Kemerde FRP Uygulaması-2.....                                                         | 27              |
| <b>Şekil 2.26</b> : Tel Sarma Yöntemiyle FRP Üretimi.....                                                 | 28              |
| <b>Şekil 2.27</b> : Püskürtme Yöntemiyle FRP Üretimi.....                                                 | 29              |
| <b>Şekil 2.28</b> : Santrifüjlü Yöntemiyle FRP Üretimi.....                                               | 29              |
| <b>Şekil 2.29</b> : Karşılıklı Kalıp Biçimlendirme Yöntemiyle FRP Üretimi.....                            | 30              |
| <b>Şekil 2.30</b> : Temasla Biçimlendirme Yöntemiyle FRP Üretimi.....                                     | 30              |
| <b>Şekil 2.31</b> : Sürekli Pultrusyon Yöntemiyle FRP Üretimi.....                                        | 31              |
| <b>Şekil 3.1</b> : Kumun Granülometrik Eğrisi.....                                                        | 35              |
| <b>Şekil 3.2</b> : Harman Tuğlaları.....                                                                  | 36              |
| <b>Şekil 3.3</b> : Harç Kapiler Su Emme Eğrisi .....                                                      | 39              |
| <b>Şekil 3.4</b> : Tuğla Kapiler Su Emme Eğrisi .....                                                     | 40              |

|                   |                                                                                 |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.5</b>  | : Tuğla Duvar Yüzeyine Astar Uygulaması.....                                    | 46 |
| <b>Şekil 3.6</b>  | : Aderans Deneyi Düzeneği (Pull Off Test cihazı).....                           | 47 |
| <b>Şekil 3.7</b>  | : Tuğla, Beton Yüzeylerde Astar Uygulaması.....                                 | 47 |
| <b>Şekil 3.8</b>  | : Şerit CFRP Yapıştırıcısı ile Tuğla Yüzeyin Kopma Mekanizmaları..              | 48 |
| <b>Şekil 3.9</b>  | : Şerit CFRP Yapıştırıcısı ile Beton Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları.....  | 49 |
| <b>Şekil 3.10</b> | : Şerit CFRP Yapıştırıcısı ile Çelik Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları.....  | 50 |
| <b>Şekil 3.11</b> | : Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ile Tuğla Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları..... | 51 |
| <b>Şekil 3.12</b> | : Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ile Beton Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları..... | 52 |
| <b>Şekil 3.13</b> | : Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ile Çelik Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları..... | 53 |
| <b>Şekil 4.1</b>  | : Kesilmiş Model Tuğlalar.....                                                  | 55 |
| <b>Şekil 4.2</b>  | : Tuğla Duvar Numunesinin Hazırlanışı.....                                      | 55 |
| <b>Şekil 4.3</b>  | : Numune Boyutları.....                                                         | 55 |
| <b>Şekil 4.4</b>  | : Numunelerin Kürlenmesi.....                                                   | 55 |
| <b>Şekil 4.5</b>  | : Numunelere Başlık Uygulaması.....                                             | 56 |
| <b>Şekil 4.6</b>  | : Deney Düzeneği.....                                                           | 56 |
| <b>Şekil 4.7</b>  | : Yalın Duvar Deplasman Okumaları Kesiti.....                                   | 57 |
| <b>Şekil 4.8</b>  | : CFRP ile Güçlendirilmiş Duvar Deplasman Okumaları Kesiti.....                 | 57 |
| <b>Şekil 5.1</b>  | : Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Yüklenmesi.....                                | 58 |
| <b>Şekil 5.2</b>  | : Tuğla Duvarların Örneklerinin Tamir Edilmesi.....                             | 59 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | : Seri I-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli.....                                | 59 |
| <b>Şekil 5.4</b>  | : Numune Tuğla Duvarın $\sigma$ basınç - $\sigma$ çekme yönü.....               | 59 |
| <b>Şekil 5.5</b>  | : Seri I-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti.....                   | 60 |
| <b>Şekil 5.6</b>  | : Seri I-D1 detayı.....                                                         | 60 |
| <b>Şekil 5.7</b>  | : Seri I-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti .....                 | 60 |
| <b>Şekil 5.8</b>  | : Seri I-D2 detayı.....                                                         | 60 |
| <b>Şekil 5.9</b>  | : Hasarlı Numunenin Şerit CFRP Uygulaması.....                                  | 61 |
| <b>Şekil 5.10</b> | : Numunelere Şerit CFRP Uygulaması.....                                         | 61 |
| <b>Şekil 5.11</b> | : Seri II-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli.....                               | 61 |
| <b>Şekil 5.12</b> | : Seri II-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti.....                  | 62 |
| <b>Şekil 5.13</b> | : Seri II-D3 Detayı.....                                                        | 62 |
| <b>Şekil 5.14</b> | : Seri II-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti.....                 | 62 |
| <b>Şekil 5.15</b> | : Seri II-D4 Detayı.....                                                        | 62 |
| <b>Şekil 5.16</b> | : Dağınık Şerit CFRP Uygulama Hazırlığı.....                                    | 63 |
| <b>Şekil 5.17</b> | : Hasarlı Numunenin Ayrık Şerit CFRP Uygulaması.....                            | 63 |
| <b>Şekil 5.18</b> | : Hasarsız Numunenin Ayrık Şerit CFRP Uygulaması.....                           | 63 |
| <b>Şekil 5.19</b> | : Seri III-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli.....                              | 64 |
| <b>Şekil 5.20</b> | : Seri III-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti.....                 | 64 |
| <b>Şekil 5.21</b> | : Seri III-D5 Detayı .....                                                      | 64 |
| <b>Şekil 5.22</b> | : Seri III-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti .....               | 65 |
| <b>Şekil 5.23</b> | : Seri III-D6 Detayı.....                                                       | 65 |

|                   |                                                                        |     |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 5.24</b> | : Dokuma CFRP'nin Uygulama Örneği.....                                 | 65  |
| <b>Şekil 5.25</b> | : Seri III Çift Yönlü Numunelerin Başlıklarının Takviye Sonrası.....   | 66  |
| <b>Şekil 5.26</b> | : Seri I-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Arka Yüz).....        | 66  |
| <b>Şekil 5.27</b> | : Seri I-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Ön Yüz).....         | 66  |
| <b>Şekil 5.28</b> | : Seri II-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Ön Yüz).....         | 67  |
| <b>Şekil 5.29</b> | : Seri II-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Ön Yüz).....        | 67  |
| <b>Şekil 5.30</b> | : Seri III-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Ön Yüz).....        | 68  |
| <b>Şekil 5.31</b> | : Seri III-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Ön Yüz).....       | 68  |
| <b>Şekil 6.1</b>  | : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....       | 73  |
| <b>Şekil 6.2</b>  | : Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....   | 74  |
| <b>Şekil 6.3</b>  | : Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Göçme Mekanizması.....                | 74  |
| <b>Şekil 6.4</b>  | : Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Tipik Göçme Mekanizması Rölövesi..... | 74  |
| <b>Şekil 6.5</b>  | : Seri I Hasarlı Hasarsız Kırılma Yüğü Kıyaslama Grafiği.....          | 77  |
| <b>Şekil 6.6</b>  | : Seri I Hasarlı Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği.....         | 78  |
| <b>Şekil 6.7</b>  | : HÇŞ-1,2,3'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                          | 79  |
| <b>Şekil 6.8</b>  | : HTŞ -4,5,6'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                        | 80  |
| <b>Şekil 6.9</b>  | : ÇŞ-7.8.9'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                           | 80  |
| <b>Şekil 6.10</b> | : TŞ-10,11,12'nin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                       | 81  |
| <b>Şekil 6.11</b> | : Seri I Numunelerinin Tipik Kırılma Mekanizmaları.....                | 81  |
| <b>Şekil 6.12</b> | : Seri I Numunelerinin Tipik Kırılma Mekanizması Detay1.....           | 81  |
| <b>Şekil 6.13</b> | : Seri II Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Kırılma Yüğü Kıyaslaması..    | 84  |
| <b>Şekil 6.14</b> | : Seri II Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslaması..   | 85  |
| <b>Şekil 6.15</b> | : HÇAŞ-13,14,15'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                      | 86  |
| <b>Şekil 6.16</b> | : HTAŞ-16,17,18'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                      | 87  |
| <b>Şekil 6.17</b> | : ÇAŞ-19,20,21'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                       | 87  |
| <b>Şekil 6.18</b> | : TAŞ-22.23.24'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                       | 88  |
| <b>Şekil 6.19</b> | : Seri II Numunesinin Kırılma Mekanizması.....                         | 88  |
| <b>Şekil 6.20</b> | : Seri II Numunesinin Yükleme Sonrası Görünüşü.....                    | 88  |
| <b>Şekil 6.21</b> | : Seri III'ün Hasarlı Hasarsız Kırılma Yüğü Kıyaslaması.....           | 91  |
| <b>Şekil 6.22</b> | : Seri III'ün Hasarlı Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslaması.....          | 92  |
| <b>Şekil 6.23</b> | : HÇD-26,27'nin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                         | 93  |
| <b>Şekil 6.24</b> | : HTD-28,29,30'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                       | 93  |
| <b>Şekil 6.25</b> | : ÇD-31,32,33'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                        | 94  |
| <b>Şekil 6.26</b> | : TD-34.35.36'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....                       | 94  |
| <b>Şekil 6.27</b> | : Göçme Mekanizması Seri III Numunesinin.....                          | 95  |
| <b>Şekil 6.28</b> | : Seri III Numunesinin Yükleme Sonrası.....                            | 95  |
| <b>Şekil 6.29</b> | : Seri I ve Seri II Kırılma Yüğü Kıyaslaması.....                      | 96  |
| <b>Şekil 6.30</b> | : Seri I ve Seri II Yerdeğiştirme Kıyaslaması.....                     | 97  |
| <b>Şekil 6.31</b> | : Seri I ve Seri III Kırılma Yüğü Kıyaslaması.....                     | 98  |
| <b>Şekil 6.32</b> | : Seri I ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması.....                    | 99  |
| <b>Şekil 6.33</b> | : Seri II ve Seri III Kırılma Yüğü Kıyaslaması.....                    | 100 |
| <b>Şekil 6.34</b> | : Seri II ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması.....                   | 101 |
| <b>Şekil A.1</b>  | : YD-1'nin Kırılma Şekli.....                                          | 110 |
| <b>Şekil A.2</b>  | : YD-2'nin Kırılma Şekli.....                                          | 110 |
| <b>Şekil A.3</b>  | : YD-3'nin Kırılma Şekli.....                                          | 110 |

|                   |                                                        |     |
|-------------------|--------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil A.4</b>  | : HEYD-1'nin Kırılma Şekli.....                        | 111 |
| <b>Şekil A.5</b>  | : HEYD-2'nin Kırılma Şekli.....                        | 111 |
| <b>Şekil A.6</b>  | : HEYD-3'nin Kırılma Şekli.....                        | 111 |
| <b>Şekil A.7</b>  | : HÇŞ -1'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 112 |
| <b>Şekil A.8</b>  | : HÇŞ -2'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 112 |
| <b>Şekil A.9</b>  | : HÇŞ -3'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....    | 112 |
| <b>Şekil A.10</b> | : HTŞ -4'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....    | 113 |
| <b>Şekil A.11</b> | : HTŞ -5'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 113 |
| <b>Şekil A.12</b> | : HTŞ -6'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 113 |
| <b>Şekil A.13</b> | : HÇAŞ -13'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....  | 114 |
| <b>Şekil A.14</b> | : HÇAŞ -14'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....  | 114 |
| <b>Şekil A.15</b> | : HÇAŞ -15'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....  | 114 |
| <b>Şekil A.16</b> | : HTAŞ -16'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)..... | 115 |
| <b>Şekil A.17</b> | : HTAŞ -17'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)..... | 115 |
| <b>Şekil A.18</b> | : HTAŞ -18'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....  | 115 |
| <b>Şekil A.19</b> | : HÇD -25'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 116 |
| <b>Şekil A.20</b> | : HÇD -26'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....  | 116 |
| <b>Şekil A.21</b> | : HÇD -27'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....  | 116 |
| <b>Şekil A.22</b> | : HTD -28'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 117 |
| <b>Şekil A.23</b> | : HTD -29'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 117 |
| <b>Şekil A.24</b> | : HTD -30'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi).....   | 117 |
| <b>Şekil A.25</b> | : HÇŞ-1'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 118 |
| <b>Şekil A.26</b> | : HÇŞ-2'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 118 |
| <b>Şekil A.27</b> | : HÇŞ-3'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 119 |
| <b>Şekil A.28</b> | : HTŞ-4'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 119 |
| <b>Şekil A.29</b> | : HTŞ-5'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 119 |
| <b>Şekil A.30</b> | : HTŞ-6'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 119 |
| <b>Şekil A.31</b> | : ÇŞ-7'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....     | 120 |
| <b>Şekil A.32</b> | : ÇŞ-8'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....     | 120 |
| <b>Şekil A.33</b> | : ÇŞ-9'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....     | 120 |
| <b>Şekil A.34</b> | : TŞ-10'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 120 |
| <b>Şekil A.35</b> | : TŞ-11'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 121 |
| <b>Şekil A.36</b> | : TŞ-12'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....    | 121 |
| <b>Şekil A.37</b> | : HÇAŞ-13'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....  | 122 |
| <b>Şekil A.38</b> | : HÇAŞ-14'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....  | 122 |
| <b>Şekil A.39</b> | : HÇAŞ-15'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası) ..... | 122 |
| <b>Şekil A.40</b> | : HTAŞ-16'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası) ..... | 123 |
| <b>Şekil A.41</b> | : HTAŞ-17'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....  | 123 |
| <b>Şekil A.42</b> | : HTAŞ-18'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....  | 123 |
| <b>Şekil A.43</b> | : ÇAŞ-19'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....   | 124 |
| <b>Şekil A.44</b> | : ÇAŞ-20'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....   | 124 |
| <b>Şekil A.45</b> | : ÇAŞ-21'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....   | 124 |
| <b>Şekil A.46</b> | : TAŞ-22'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....   | 125 |
| <b>Şekil A.47</b> | : TAŞ-23'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....   | 125 |
| <b>Şekil A.48</b> | : TAŞ-24'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....   | 125 |
| <b>Şekil A.49</b> | : HTD-28'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....   | 126 |

|                   |                                                      |     |
|-------------------|------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil A.50</b> | : HTD-29'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)..... | 126 |
| <b>Şekil A.51</b> | : HTD-30'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)..... | 127 |
| <b>Şekil A.52</b> | : TD-34'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....  | 127 |
| <b>Şekil A.53</b> | : TD-35'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası).....  | 128 |
| <b>Şekil A.54</b> | : TD-36'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)..... | 128 |
| <b>Şekil B.1</b>  | : Seri 1 Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği.....   | 130 |
| <b>Şekil B.2</b>  | : Seri 2 Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği.....   | 131 |
| <b>Şekil B.3</b>  | : Seri 3 Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği.....   | 132 |

## SEMBOL LİSTESİ

|          |                                                         |
|----------|---------------------------------------------------------|
| $\sigma$ | : Gerilme                                               |
| $r$      | : Yarıçap                                               |
| $R$      | : Çap                                                   |
| $N$      | : Kılcallık Katsayısı                                   |
| $m$      | : Örneklerin Ortam Nemi Ağırlığı                        |
| $m_0$    | : Örneklerin Belli Bir Zaman Dilimi Sonrası Ağırlıkları |
| $A$      | : Örneklerin Suyu değen Taban Alanları                  |
| $t$      | : Süre                                                  |
| $f_{tk}$ | : Karakteristik Çekme Mukavemeti                        |
| $E_{tk}$ | : Karakteristik Elastisite Modülü                       |
| $S$      | : Kalınlık                                              |
| $L$      | : Genişlik                                              |
| $Eu$     | : Kopmada Uzama                                         |
| $Mpa$    | : Megapascal(KN/mm <sup>2</sup> )                       |
| $Ew$     | : Elastisite Modülü                                     |
| $Gw$     | : Kırma Modülü                                          |

## **YIĞMA YAPILARDA TAŞIYICI TUĞLA DUVARLARIN CFRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

### **ÖZET**

Ülkemizde inşa edilen yapılar iklime, yöresel malzemeye, geleneklere, yapı şekline ve gelir durumuna göre çeşitlilik göstermektedirler. Bu yapılar taşıyıcı sistemlerine göre kagir (yığma) ve karkas (iskeletli) olarak iki bağımsız ve bunların karma şeklinden elde edilen melez tip olarak sınıflandırılmaktadır.

Türkiye’de tarihi yığma yapıların birçoğu, kırsal kesimde ve kentlerde inşaa edilen yapıların büyük bir bölümü deprem bölgelerindedir. Gerek kırsal kesimlerde gerekse kentlerde inşa edilen yapıların önemli bir kısmı taşıyıcı sistemi yığma olarak teşkil edilmiştir. Yığma yapı sistemleri yatay yüklere karşı dayanıklı, düşey yüklere karşı (deprem yükü gibi) zayıftırlar.

Ülkemiz sismik olarak aktif bir bölgede yer almaktadır. Olası büyük bir deprem öncesi yığma yapıların ve taşıyıcı sistemleri zayıf diğer yapıların; etkili bir güçlendirme yöntemiyle, taşıyıcı sistemlerinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Yığma yapıların güçlendirilmesi konusu üzerinde etkili, kalıcı ve akılcı çözümler bulabilmek için birçok bilimsel araştırmaya ihtiyaç vardır. Özellikle yığma yapıların yatay yükler altında davranışlarının incelenmesi gerekmektedir. Yığma yapıların, güçlendirme projelerinde kullanılan günümüz malzemeleriyle olan ilişkisinin de bilimsel olarak incelemesi gerekmektedir.

Yığma yapıların ana taşıyıcı malzemesi duvarlardır. Duvarları oluşturan malzemeler çoğunlukla tuğlalardır. Çeşitli çalışmalarda tuğla duvarların davranışlarını konu alan araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmada; ilk aşamada yığma yapılarında meydana gelen hasar türleri ve nedenleri incelenmiştir. Bununla birlikte güçlendirme kavramı ele alınmış, uygulamada yığma yapıların güçlendirme metotları araştırılmıştır. İkinci aşamada tuğla duvarların CFRP şerit ve dokuma malzemesi kullanılarak güçlendirilmesinin duvar davranışı ve dayanımı üzerindeki etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel araştırma seriler şeklinde oluşturulan model tuğla duvarlar üzerine bir dizi deneysel çalışma yapılarak oluşturulmuştur. Örülmüş tuğla duvarlar; kendi düzlemi içerisinde, yatay ve düşey yüklerin bileşkesi olan ve bileşenler ile 45°’lik açı yapan tek eksenli basınç kuvveti ile yüklenmiştir. Yükleme işlemi model tuğla duvarların köşelerine yapılan başlık sayesinde gerçekleştirilmiştir.

Model tuğla duvarlar harman tuğlaları ile yapılmıştır. İlk olarak 19cm x 9cm x 5cm boyutlarındaki tuğlalar, kesilerek 9,5cm x 4,5cm x 2,5cm boyutlarındaki model tuğlalara dönüştürülmüştür. Duvarlarda kullanılacak harç malzemesi için harcın karışım oranı belirlenmiştir. Model tuğla duvarların derz aralığı 0,5cm olacak şekilde model tuğlalar kullanılarak tuğla duvarlar oluşturulmuştur.

Model tuğla duvarların güçlendirilme programı seriler halinde yapılmıştır. Her bir seride 12 adet numune olmak üzere 3 adet seri oluşturularak toplam 36 adet numune duvar örülmüştür.

Her bir seri için ilk altı adet numune güçlendirilmeksizin hasara uğratılmış, daha sonra epoksi malzemesiyle onarılmıştır. Önceden hasar verilmiş ve hasarsız olarak oluşturulan tuğla duvarlar her bir seri için farklı güçlendirme şekli ve miktarı teşkil edecek şekilde CFRP malzemesi kullanılarak güçlendirme uygulaması yapılmıştır. Güçlendirmede CFRP şeritleri Seri-1’de çekme ve basınç yönlerinde 2.5cm genişliğinde, Seri-2 de çekme ve basınç yönlerinde dağınık şeritler halinde; şeritler 0.5cm ve 1.5cm olmak üzere, aralıkları 1cm olacak şekilde düzenlenmiş, Seri-3’de CFRP dokuma kuvvetli ekseni çekme yönünde olacak şekilde uygulama yapılmıştır. CFRP şeritlerinin ve dokumanın tuğla duvar yüzeyine olan aderansı bu malzemeler için üretilmiş olan epoksi esaslı yapıştırıcıyla sağlanmıştır.

Tek eksenli basınç kuvveti, duvarın kendi ağırlığını ve döşeme ağırlığını düşey yük, deprem gibi yükleri de yatay yük kabul edilerek; düşey ve yatay yükün bileşkesi olan kuvvettir. Böylece tek eksenli olarak duvara deprem yükü ve kendi ağırlığından dolayı oluşan sabit kuvvetlerin simülasyonu yapılmıştır. Kırılma yükleri, kırılma modları oluşturulmuş, çatlak ve kırılma rölöveleri ve artan yük kademelerinde yerdeğiştirme okuması kayıt edilmiştir. Her bir güçlendirme numunesi için yük yerdeğiştirme eğrileri çizilmiştir. Kırılma şekilleri fotoğraf yoluyla belgelenmiştir. Serilerdeki numunelerin kırılma yükleri ve modlarına göre değerlendirme yapılmıştır.

Sonuçta olarak, dokuma CFRP ile yapılan güçlendirme en yüksek dayanımı göstermiş, şerit (lamine) CFRP ile yapılan güçlendirmede de tuğla duvar dayanımı önemli ölçülerde artış göstermiştir. Model duvarların yerdeğiştirmeleri kayda değer derecede artış olmuştur.

# **THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION ABOUT CONSTRUCTIVE BRICK WALLS STRENGTHENED WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER IN MASONRY BUILDINGS**

## **SUMMARY**

The structures built according to building materials, traditions, building type and income, climate in various regions in Turkey. The structures are classified into two independent classes being, brick (stacked) and skeleton and the hybrid type formed of a combination of these.

Historical buildings, all of masonry and skeleton buildings that built in local and urban places are earthquake region in Turkey. The structures' construction systems are constituted masonry structures local and urban places in Turkey. Masonry structures are resisted horizontal loads that are building weight, but these are weak opposite to vertical loads such as earthquake loads. Before the big earthquake masonry structures and weak structure systems buildings have to strengthen with effective strengthening methods.

Masonry structure strengthening needed to effective, permanent, scientific investigations. Especially, masonry structure need to investigation how to act under the vertical loads. Also it needs to search masonry structure and contemporary materials that used strengthening project.

The walls are main structural elements in masonry buildings. These walls' materials contain especial brick materials, and also used stone, mud brick. So far, lots of studies are subjected to search brick walls' behaviors. Firstly, this study contains general masonry building constructional behaviors and how is the building act during the seismic act. On the other, damages type and its causes research in the paper, for example earthquake damage. Then strengthen methods were told respectively. Secondly, brick walls strengthen using CFRP strip and textile materials and its behaviors researched experimentally. Experimental study has been done by using model brick walls. The study has been carried out on model brick walls selected for purpose. The composition of the horizontal and vertical loads within their plane of brick walls prepared in the experimental study have been considered as 45° angle and have been loaded on a single axis with this angle. The loading has been realized by a header built into the diagonals of the model brick wall. On two corners of all model bricks headers were produced for loading.

The model brick walls were built with blend bricks. In the first stage bricks of sizes 19cm x 9 cm x 5 cm have been cut and converted to 9.5 cm x 4.5 cm x 2.5 cm model bricks. The mortar mix ratio has been determined for the mortar material to be used in the wall. Specimens strengthening program consisted of series. Each series have 12 specimens and program have 3 series. Thirty six brick walls were constructed in laboratory conditions. Also, 3 specimens were constructed for control elements. In each series primary six specimens loaded as unreinforced masonry. After loading, model walls repaired with epoxy materials, other six model walls strengthened with CFRP strips and textiles.

All type of series has different strengthening methods, different CFRP's rates and amount. In Seri, CFRP strips firstly were constructed directional of shrinking and pressure and they used 2.5cm wideness. Seri II CFRP strips carried out brick walls surface with the epoxy materials and it consists of scattered strips carried out 1cm separation.

Textile CFRP carry out in Seri III. Textile CFRP were constructed all surface of Seri II's specimens. CFRP strips and textile were carried out with own special epoxy materials.

Thirdly, for all specimens' result registered breaking mod collapse mod, crack types. Load- deformation curves were drawn according to the data obtained at the result of the experiment. the data obtained from the experimental study have been presented by using tables and graphical expression.

In conclusion, strengthening of the using textile CFRP the highest residence and other strengthening methods have important effective results. Also the deflection of the model brick walls are rising definitely.

## 1.GİRİŞ

### 1.1.Genel Bilgiler

Yığma yapılar insanlık tarihinin oluşumundan beri inşa edilmişlerdir. Anıtsal değeri olan ve mimarlık tarihi açısından önemli özelliklere sahip pek çok yığma yapı mevcuttur. Ülkemizde, gerek kırsal kesimlerde gerekse kentlerde inşa edilen yapıların önemli bir kısmı yığma yapılardan meydana gelmektedir. Bu durum, 2000 yılı bina sayım sonuçları incelendiğinde daha iyi anlaşılmaktadır.

2000 yılı bina sayımı, belediyelerin mücavir alanlarına da uygulanmış ve bu bölgelerde toplam 224.971 bina tespit edilmiştir. Taşıyıcı sisteme göre, binaların %51,1'i yığma, %48,4'ü karkas olarak inşa edilmişlerdir. İnşaatların dolgu maddesi cinsine göre ise en fazla payı %59,6 ile tuğla almaktadır. Bunu %18 ile briket, %9,8 ile taş ve %7,9 ile kerpiç izlemektedir[5]. Bu veriler dikkate alındığında, yığma yapıların davranışlarının incelenmesi üzerine daha çok araştırma yapılmasının önemi anlaşılmaktadır. Türkiye'nin sismik olarak aktif bir bölgede bulunması dolayısıyla bu araştırmaların, yığma yapıların yatay yükler altındaki davranışlarının anlaşılması konusunda yoğunlaşması gerekliliği görülmektedir.

Yığma yapıların pek çoğu deprem bölgelerinde yer almaktadır. Bu türdeki yapıların büyük bir bölümünün son hazırlanan deprem yönetmeliklerine göre incelenip, eğer gerekliyse taşıyıcı sistemlerinin onarılması, iyileştirmesi veya güçlendirilmesi için adım atılmalıdır. Bu anlamda; taşıyıcı sisteme müdahale işleminin, sınırlı bir hasarın giderilmesi için yapılmasına veya depremde hasar görüp taşıma gücü azalmış elemanlara deprem öncesi taşıma gücü değerlerini yeniden kazandırma işlemine “onarım” denir. Hasar olsun veya olmasın, taşıyıcı sistemin tümünün ya da belli elemanların taşıma gücünü arttırmak veya ekonomik ömrü içinde sık sık olması beklenen düzeyde bir depremde hasar gören yapının aynı boyutta depremlerin birçok kez yinelemesi beklentisi karşısında aynı hasarın tekrar tekrar olmaması için eski durumundan daha güçlü duruma getirilmesi için yapılan müdahale işlemlerine “güçlendirme” denir [9].

Yakın zamanda oluşan depremler göstermiştir ki bilgi eksikliğinden, yönetmelik kurallarına uyulmamasından ve yapım hatalarından kaynaklanan hususlar, depremde manevi ve maddi büyük kayıplara neden olmaktadır. Bu türdeki yığma yapılar, tarihi değere sahip yığma yapılar ve son deprem yönetmeliği ABYYHY98'e göre taşıyıcı sistem özelliğini yitirmiş veya azalmış yapı grupları güçlendirme ihtiyacı içerisinde. Yapıların güçlendirilmesinin nedenleri; önceden hesaplanmamış yüklere karşı yapı güvenliğini sağlamak, fonksiyon değişikliğinden dolayı yapının yük taşıma kapasitesini arttırmak, yapıda inşaa aşamasındaki yanlış, yetersiz uygulama ve detaylandırmalardan ötürü oluşacak kusurları gidermek, korozyon ve yapının kullanımı sürecinde oluşan hasarlara bağlı olarak yapının yük taşıma kapasitesinin artırılmasını sağlamaktır. Bu kriterler dikkate alınarak binalarda incelemeler yapılmalı, olası büyük bir deprem öncesi binaların taşıyıcı sistemleri güçlendirilmelidir.

Yığma yapılarda düşey ve yatay yüklere karşı ana taşıyıcı eleman duvarlardır. Karkas tarzda oluşturulan yapılardaki taşıyıcı olmayan bölme duvarların, yapının taşıma kapasitesine katkısı olacağı ve bazen de göçmesini önlediği bilinmektedir [16].

Yığma yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan duvarlar; harç ve tuğla gibi farklı özelliğe sahip kompozit malzemelerdir. Tuğla duvarlar sağlam, fakat gevrek bir malzemedir. Basınca dayanıklı fakat çekmeye karşı zayıftırlar. Ana taşıyıcı olarak duvarlar; düşey yüklerin yanında, deprem ve rüzgâr gibi dinamik olan yatay yük etkisiyle de karşı karşıya kalırlar. Düşey ve yatay yüklerin birlikte etkimesi durumunda duvarlar, iki eksenli etkiye maruz kalırlar. Taşıyıcı duvarlar güçlendirilirken bu etki göz önüne alınmalıdır.

Yatay yük etkisindeki bir duvarda harç, tuğlaya göre daha az dayanım göstermekte, tuğla ile harç arasındaki aderans köprü bağının yeterli olmamasından, genellikle çatlaklar tuğladan ziyade harçta ve tuğla ile harcın birleşim noktalarında yani derzlerde meydana gelmektedir. Heterojen özelliğe sahip tuğla duvarın dayanımı ve davranışı birçok değişkene bağlı olmaktadır. Bu faktörler duvarda kullanılan tuğla ve harcın yanı sıra işçilik, derz kalınlığı, tuğlanın su emme kapasitesi, harcın tazeliği, çimento cinsi, duvar biriminin boyutları vb. olarak söylenebilir [16].

Yapılan çeşitli araştırmalarda tuğla duvarın yükleme altındaki davranışı deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Duvar dayanımını arttırmak için harç dayanımları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Düşey yüklere karşı duvarın daha dayanımlı olması

için harç dayanımının arttırılması gerekirken, yatay yüklere karşı duvarın donatılı yapılması önerilmiştir [2,16].

Tuğla duvarların güçlendirilmesi çeşitli uygulamalarla yapılabilmektedir. Örneğin, tüm duvar yüzeyine püskürtme beton ya da kendiliğinden yerleşen beton ile hasır elik donatı kullanılarak duvar dayanımı arttırılmaktadır. elik ekipmanlar kullanılarak duvarın dayanımı artırıldığı gibi diğer bir seçenekte FRP kullanılarak yapılan güçlendirmedir. Tüm bu uygulamalar üzerinde halen araştırmalar etkin bir güçlendirme metodu oluşturmak için devam etmektedir. Ülkemizde varolan yerel koşullar, yaygın bina uygulamaları, yerel mimari yapılanmalar, yaygın olarak kullanılan taşıyıcı yapı sistemleri göz önüne alınarak betonarme yapılar, yığma yapılar, kerpiç yapılar, karma sistemler, doğru bir değerlendirme yapılarak güçlendirilmelidir. Kullanımı engellenmeden ve kullanıcıyı çok fazla rahatsız etmeden mevcut yapılara uygulanabilecek ve deprem güvenliğini yeterince arttırabilecek güçlendirme yöntemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Uygulama kolaylığı, süre avantajı, yatay yüklere karşı etkinliğinin fazlalığı, kesit kalınlığının az olmasından dolayı binaya ek yük getirmemesi, korozyona olan dayanıklılığı, tuğla duvara olan aderansının iyi olması, uygulama sırasında kullanıcıya en az düzeyde rahatsızlık verilmesi gibi nedenlerinden ötürü FRP ile yapılan güçlendirme çalışmalarının daha etkili bir güçlendirme metodu olduğu söylenebilir. Ancak etkin bir güçlendirme formu, miktarı ve ilgili standartların oluşması açısından FRP ile yapılan güçlendirmenin deneysel bir metotla, bilimsel olarak araştırılması ve analitik lemelerinin yapılması gereklidir.

Fiber takviyeli plastik (FRP) kompozitlerinin yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanımı son zamanlarda hızla artmaktadır. Bu kompozit malzemeler karbon, cam, aramid fiberleriyle takviye edilmiş reçine karışımından oluşurlar. Fiberler yük taşıyan elemanlardır, reçine karışımı fiberlerin arasına yükün dağılması sağlar ve ayrıca fiberleri çevresel etkenlerden korur. 1940'larda; savunmada, uzay endüstrisi çalışmalarında bu tür kompozit malzemelerin üretimi, uygulaması ve de gelişimi hız kazanmıştır. Uzay mekiği inşaasında bu tür malzemeler dayanıklılığı ve hafifliği sebebiyle kullanılmıştır. Günümüzde; özellikle mühendislik uygulamalarında bu türde kompozit malzemeler avantajlarından ötürü kullanılmaktadır. Düşük oranlarına rağmen yüksek dayanım göstermeleri, karmaşık şekillerde uygulanabilirliği gibi avantajları vardır [3].

Bu deneysel incelemede; Fiber Takviyeli Plastik (FRP) kullanılarak güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin dayanımları, kırılma mekanizmaları ve artan yük kademelerinde yer değıştirmeleri incelenmiştir. Deneyler standart tuğladan elde edilen model tuğla duvarlar üzerine yapılmıştır. Tuğla duvar numunelerinin bir seride belirli bir kısmına önce hasar verilmiş, daha sonra hasarlı duvarlar tamir edilmiştir. Tamir edilen hasarlı tuğla duvarlar ve seri içinde yer alan hasarsız duvar numuneleri üzerine şerit FRP ve dokuma FRP ile güçlendirme uygulanmıştır. Tuğla duvarlar üzerine şerit ve dokuma FRP malzemeleri çekme yönünde uygulanmıştır. Numune kırılma modları incelenerek FRP malzemesinin güçlendirme uygulamalarına olan etkisi yorumlanmıştır.

## **1.2.Araştırmanın Amacı ve Kapsamı**

Yapılarda hasarlar; zemin koşullarının yetersizliği, yönetmeliklere uyulmaması, projelendirme veya uygulama hataları, şiddetli deprem yükleri ve depreme dayanıklı yapı yapma ilkelerine uyulmaması gibi çeşitli nedenlerden ötürü meydana gelir. Bununla birlikte deprem yükleri yapının ağır hasar almasına ya da göçmesine neden olabilir. Olası büyük bir deprem öncesi taşıyıcı sistemi yetersiz yapıların ve önceki depremlerde hasar görmüş yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde kırsal kesimde ve kentlerde yapıların önemli yüzdesi yığma yapı türünde inşaa edilmiştir. Yığma yapıların ana taşıyıcı elemanı duvarlardır. Tuğla bu duvarlarda en sık kullanılan malzemedir. Bu bağlamda, mevcut tuğla duvarların günümüz malzemeleriyle güçlendirilmesinin, duvar dayanım ve davranışına olan etkisi teorik ve deneysel olarak incelenmelidir. Bu çalışmada, yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Araştırmada önceden hasar verilmiş ve hasarsız tuğla duvarlar değışken miktarlarda CFRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmesiyle elde ettikleri dayanım ve davranışlarının deneysel olarak tespit edilmesi ve FRP ile yapılan takviyenin, diğer güçlendirme yöntemlerine bir alternatif metot olarak açıklaması amaçlanmıştır.

Model tuğla duvarlar üzerine yapılan CFRP ile güçlendirmenin; formunun, miktarının ve duvarın CFRP ile olan aderans özelliğinin, bu tür duvarların dayanımına olan etkisi, ayrıca model tuğla duvarların deney verilerine göre kırılma yükleri, yer değıştirmeleri ve kırılma modlarının incelenmesi bu araştırmanın kapsamı içindedir.

### 1.3. Araştırmada İzlenen Yol

Araştırma teorik ve deneysel inceleme olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Teorik bölümde yığma yapıların genel özellikleri anlatılmış, yığma yapılarda meydana gelen hasarlardan ve güçlendirme yöntemlerinden söz edilmiştir. Araştırmanın deneysel çalışma bölümü amaca uygun olarak seçilen model tuğla duvarlar üzerinde yapılmıştır. Bir seride 12 adet tuğla duvar numunesi olmak üzere, deney programı 3 adet seriden oluşur. Serilerin güçlendirme şekilleri, şekillerin miktarları farklılık göstermektedir. Numunelere, yatay derzleri yükleme eksenini ile  $45^\circ$ 'lik açı yapacak şekilde düşey basınç kuvveti uygulanmıştır. Bu eksenel basınç kuvveti yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerin bileşkesini simule etmektedir. Bir seri içindeki numunelerden 6 adeti güçlendirme olmaksızın yalın halde hasara uğratılmış, sonra bu hasarlı numuneler epoksi yapıştırıcısı ile onarılmıştır. Diğer 6 adeti hasarsız olarak güçlendirilmiştir.

Deney programının birinci aşamasında, 19cmx9cmx5cm standart boyuttaki dolu tuğlalardan 9.5cmx4.5cmx2.5cm boyutlarında model tuğlalar kesilerek basınç dayanımları test edilmiştir. Duvar örülmesinde kullanılacak olan harcın karışım oranlarını belirlemek için mukavemet testleri yapılarak, harcın karışım oranları belirlenmiştir.

İkinci aşamada; derz aralığı 0.5cm olacak şekilde model tuğla duvarların örgüsü yapılmıştır. Örülen tuğla duvar numuneleri 7 günlük kürlemeye bırakılmıştır. 7. gün sonunda derz ile yükleme eksenini açısı  $45^\circ$  olacak şekilde tuğla duvar numunelerinin başlıkları dökülmüştür. Başlıkların amacı eksenel yükün tuğla duvarlara aktarılmasını sağlamaktır.

Üçüncü aşamada; her bir seride hasara uğrayan numunelerin epoksi yapıştırıcısı kullanılarak tamirleri yapılmıştır.

Dördüncü aşamada numunelere, her bir seride kararlaştırılan güçlendirme şekli ve miktarına göre CFRP şeritleri ve dokuma CFRP uygulanmıştır.

Araştırmanın son aşamasında seriler halinde güçlendirilen model tuğla duvarlara tek eksenli basınç kuvveti hasar meydana gelinceye kadar uygulanmıştır.

### Konu İle İlgili Çalışmalar

Albert ve diğ. (2001) [1] araştırmalarında fiber takviyesinin formu, fiber takviyesinin miktarı, fiber takviyesinin katmanı, eksenel basınç yükünün etkileri, tekrarlı yükleme durumunda davranışı incelenmiş ve FRP ile yapılan takviyenin mevcut iyileştirme

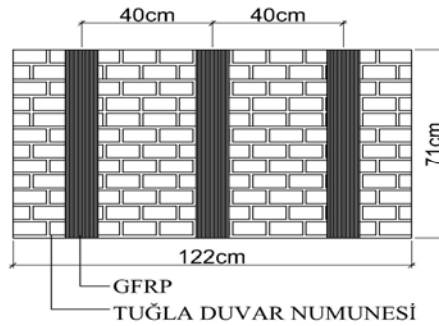
yöntemlerine alternatif metot olması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada, 10 adet yığma duvar numunesi FRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmiştir. Düzlem dışı yanal yükleme monoton olarak artırılarak yükleme yapılmıştır. 1 adet duvar numunesi tekrarlı yüke maruz bırakılmıştır. Duvar numuneleri 2 seri halinde üretilmiştir. Tüm numuneler 4m yüksekliğinde, 1,2m genişliğinde imal edilmişlerdir. Hasarsız veya az hasarlı duvarlar denenmiş, tüm numuneler düşey pozisyonda test edilmiştir. FRP malzemesi olarak karbon levha, karbon şerit kullanılmış, cam şerit miktarı ve katman seviyesi incelenmiştir, ayrıca eksenel yük etkileri ve tekrarlı yük davranışları gözlenmiştir. Farklı fiber kullanımında farklı dayanım ve rijitlik sonuçlarına ulaşılmıştır. Karbon levha en yüksek dayanım ve rijitlik oranlarını göstermiştir, ama yüksek maliyetlidir. Cam şerit en düşük dayanım, rijitlik göstermiştir ve daha ucuz malzemedir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, güçlendirilmemiş yığma duvarın FRP kullanılarak güçlendirilmesinin duvarın yük taşıma kapasitesini etkileyerek arttırdığı belirlenmiştir.

Harcın içine çeşitli katkı maddeleri konarak Begimgil (1990) [2] tarafından yapılan çalışmada, tuğla ile harcın arasındaki aderansın iyileştirilmesini, tuğla duvarın çekme dayanımının arttırılması araştırılmıştır. Sonuçta, bazı katkı maddelerinin kayma taşıma gücünü büyük oranda geliştirdiği saptanmıştır. Yapılan harç mekanik deneylerinde çekme dayanımı iyi olan katkının, duvar kayma dayanımında da arttırıcı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Şekil değiştirme ölçmelerinde bazı katkı maddeleri, harcın elastikliğini arttırmış, buna bağlı olarak örnek duvarın davranışı değişmiştir. Bazı numunelerde kırılma aniden, bazı durumlarda büyük şekil değiştirmeler ve küçük çatlaklar göçmenin oluşacağını bildiren nedenler olarak gözlemlenmiştir.

Ehsani ve diğ. (1997) [3] çalışmalarında tuğla duvar yüzeyine uygulanan fiber kompozitinin dayanımının belirlenmesi, fiberin uyumu ve ankraj uzunluğunun denenmesi amacıyla yapılmıştır. Deneysel çalışmada 37 duvar numunesi hazırlanmıştır. Numune boyutları 64 x 102 x 216mm'dir. Her bir numune 3 adet tuğladan oluşur. Fiber güçlendirme malzemesi 0° ve 45°' de ve FRP'ler 203mm ve 140mm değişken uzunlukta numunelerde uygulanmıştır. FRP genişliği sabit ve 114mm'dir. Numuneler statik yükleme altında test edilmiştir. Sonuç olarak test numuneleri için dayanım ve rijitlik önemli ölçüde gelişmiştir. Fiberin açısıl

oryantasyonunun yük düzlemi içinde rijitlik üzerinde önemli etkisi olduğu, ancak duvar dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır.

Ehsani ve diğ. (1999) [4] tarafından yapılan deneysel çalışmada 3 adet tuğla duvar numunesi 0.710m yüksekliğinde, 1.22m uzunluğunda örülmüştür. Tüm numunelerin iki yüzeyi GFRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmiş ve epoksi reçinesiyle yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 1.1). Cam fiberlerinin genişlikleri, birinci numunede ön yüzey 3.4cm, arka yüzey 10.1cm olacak şekilde yapılmıştır.. İkinci numunede ön yüzey 5.4cm, arka yüzey 2.7cm genişliğinde, üçüncü numunede ön yüzey ve arka yüzey 8.1cm genişliğinde uygulanmıştır. Bu numuneler tekrarlı düzlem dışı yüklere maruz bırakılmıştır.



**Şekil 1.1:** Numunelerin Güçlendirme Şekli

Güçlendirme yapılmaksızın bir adet kontrol numunesi denenmiştir. Kontrol numunesi 4.13 kPa kadar dayanım göstermiştir. Numune 1 ön yüzde ilk çatlak 6.9kPa'da, arka yüzde ilk çatlak 12.6kPa'da gerçekleşmiştir. Numune 2 ön yüzde ilk çatlak 9.6kPa'da, arka yüzde ilk çatlak 5.1kPa'da gerçekleşmiştir. Numune 3 ön yüzde ilk çatlak 9.0kPa'da, arka yüzde ilk çatlak 10.3kPa'da gerçekleşmiştir. Güçlendirilmemiş duvarlar ve kompozit şeritler gevrek bir davranış göstermesine rağmen, bu malzemelerin birlikte kullanımı enerji yutma kapasitesini arttırmıştır. GFRP kompozit şeritlerin tuğla duvarların yanal yüklere karşı güçlendirilmesinde iyi bir alternatif malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Erol (2001) [5] çalışmasında yüksek mukavemetli özel tuğlalardan üretilmiş duvarların, düzlemleri içerisindeki yatay yükler altında kayma dayanımları incelenmiştir.

Hamid ve diğ. (2005) [6] araştırmalarında FRP lamineleri kullanılarak iyileştirilmiş yığma duvar numunelerinin düzlemsel yükleme altındaki davranışlarını incelemişlerdir. 42 adet yığma duvar numunesi test edilmiştir. Yatay derzle eksenel

kuvvetin açısı  $\alpha$  olmak üzere  $\alpha:0^\circ$ ,  $\alpha:30^\circ$ ,  $\alpha:45^\circ$ ,  $\alpha:60^\circ$ ,  $\alpha:90^\circ$  için deney numuneleri test edilmiştir. Numunelerin dayanımının iyileştirilmesi için takviye elemanı olarak cam fiber takviye polimeri kullanılmıştır. FRP laminelerinin miktarı, duvar kesit alanının %0.2'si olacak şekilde duvar yüzeyine uygulanmıştır. Sonuçta, FRP ile güçlendirmenin dayanım, kırılma modunun değişimi, duvarın sağlamlığının sürdürülebilmesi üzerine önemli bir etkisi olduğu saptanmıştır. İyileştirilmiş numunelerin basınç dayanımının, iyileştirilmemiş numunelerin basınç dayanımına göre %160 – 500 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Hamilton ve diğ. (2001) [7] tarafından yapılan çalışmada 6 adet briket yığma duvar ( Numune duvarların dördü 1.22mx4.7m, ikisi 0.61mx1.8m boyutlarındadır.) düzlem dışı eğilme içinde test edilmiştir. Duvarlar GFRP kullanılarak güçlendirilmiş, GFRP derzlere dik yönde düşey olarak uygulanmıştır. Sonuç olarak, eğilme dayanım denklemi sunulmuş ve test sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Denklemlerle test numunelerinin gerçek kapasitesi arasında %20 fark bulunmuştur. Numunelerin göçme mekanizması GFRP şeritlerin kırılması ve şeritlerin yüzeyden ayrılması şeklinde gözlemlenmiştir.

Hamoush ve diğ. (2001) [8] çalışmalarında düzlem dışı statik yüklere maruz güçlendirilmemiş yığma duvarların FRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmesini incelemişler. Toplam 15 adet duvar numunesi test edilmiştir. Numune boyutları 1.200 x 1800 x 200 mm'dir. 12 numune FRP kullanılarak gerilme yönünde eklenerek montaj yapılmıştır. Diğer 3 adet numune güçlendirme olmaksızın denenmiştir. Dıştan yapılan bu güçlendirme 2 şekilde oluşturulmuştur: 1. şekilde fiber takviye iki katmandan oluşturulmuştur. 2. şekilde ise dikey ve yatay fiber takviye kompositi şeritler halinde uygulanmıştır. Üç adet duvar numunesinde ise güçlendirme yapılmayarak güçlendirilmiş duvar numunelerinin dayanımı ve davranışları değerlendirilmiştir. Eğer kayma modu kontrol edilebilirse, yığma duvarın eğilme dayanımının yükselebileceği sonucuna varılmıştır.

Krevaikas ve diğ. (2005) [9] deneysel çalışmalarında FRP kullanılarak güçlendirilmiş duvar numunelerinin eksenel yük altında davranışı incelemişlerdir. FRP tüm duvar yüzeyini kapsayacak şekilde uygulanmıştır. 42 adet model tuğla duvar 4 seri halinde hazırlanmıştır. 55mmx40mmx15mm boyutunda tuğlalar kullanılarak duvar numuneleri örülmüştür. Numune kesitlerinin boyutları ilk ve

ikinci seride 115mmx 115mm, üçüncü seride 172.5mm x 115mm dördüncü seride 230mm x 115 mm'dir. Her bir model 7 sıra tuğla ve 6 sıra derzden oluşmuştur. Derz kalınlığı 10 mm'dir. Birinci, üçüncü ve dördüncü serilerde köşe noktalar yarıçap 10mm, ikinci seride ise 20mm yuvarlatılmıştır. Her bir seride numunelere CFRP şeritleri 1,2 ve 3 katman ve GFRP şeritleri de 5 katman olarak uygulanmıştır. FRP uygulamasında epoksi kullanılarak yapıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonuçta FRP malzemesi kullanılan tuğla duvarın, FRP malzemesi kullanılan beton davranışına yakın davranış gösterip, dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Uygulanan güçlendirmeye yığma duvarın yük taşıma kapasitesinde ve deformasyonunda yükselme olmuştur. Numunelerin köşe noktalarında FRP'nin sarılma yarıçapının artması, dikdörtgen kesitli yığma duvarın gerilme ve dayanım kapasitesini olumlu etkilemiştir.

Şimşek (1993) [10] tuğla duvarların taşıma gücüne donatı etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Deneysel çalışma sırasında, hazırlanan model tuğla duvarlar kendi düzlemi içinde iki eksenli olarak yüklenmiştir. Yükleme işlemi, duvara yatay ve düşey yönde, aynı anda yükleme yapabilen kapalı bir yükleme çerçevesi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına bağlı olarak  $\sigma - \tau$  kırılma zarfı eğrileri elde edilmiştir. Duvar numunelerinin sıvasız, sıvalı ve hasır çelik donatılı takviye sonrası yatay yük ve yatay yer değiştirme eğrileri çizilmiştir. Yatay yüke bağlı olarak enerji yutma kapasiteleri bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda iki eksenli yükleme altında oluşan çatlaklar yükleme doğrultusunda olduğu görülmüştür. Tüm açısız yükler altında kırılan duvar numunelerin, donatı ile takviyesi duvar taşıma gücünü arttırmış, numunelerinin kırılma yükünde dahi parçalanmadığı gözlemlenmiştir. Duvar düşey derzleri içine konulan tel ile duvarın iki yüzünde teşkil edilen takviye donatıları birbirine bağlanarak tuğla duvar numunelerinin basınç mukavemeti büyük ölçüde arttırılmıştır.

Tan ve diğ. (2004) [11] çalışmalarında otuz adet yığma duvar numunesini üç farklı FRP sistemi kullanarak güçlendirilmişler, güçlendirme işleminde üç farklı ankrajlama sistemi kullanmışlar montaj yapılmış ve ardından deneye tabi tutmuşlardır. Güçlendirilmiş duvar numunelerinin limit taşıma kapasitelerini tahmin etmek için sayısal bir model üzerinde çalışılmış, deneysel sonuçlarla sayısal modeller karşılaştırılmıştır. Deneyler için bir duvar planda 1000mm x 1000mm x 110mm

ölçülerinde ve derz kalınlığı 10mm olacak şekilde numuneler hazırlanmıştır. Test sonuçlarına göre, güçlendirilmiş duvar numunelerinin düzlem dışı duvar dayanımlarında önemli artmalar olduğu gözlenmiştir. Güçlendirilmemiş duvar numunelerinde kırılma, eğilme şeklinde oluşurken, güçlendirilmiş duvarda dört farklı kırılma modu meydana gelmiştir. Bunlar, tuğlalar boyunca kayma kırılması, FRP ve tuğla duvar arasında bağın zayıflaması, eğilme çatlaklarının oluşması ve FRP güçlendirme malzemesinde gerilme kırılmalarının oluşması şeklinde gözlemlenmiştir.

Yorulmaz ve diğ. (1971) [12] tarafından yapılan araştırmada memleketimizde yaygın uygulaması olan üç tip forme yapı taşı; taşıyıcı delikli tuğla, gazbeton ve karkas dolgu tuğlası (boşluklu tuğla) seçilmiştir. Duvar numunelerinin teşkilinde çimento harcı ve kireç-çimento (melez) harcı olmak üzere iki tip harç kullanılmıştır. Numunelerde uygulanan basınç kuvvetinin yatay derzlerle yaptığı  $\alpha$  açısı, gazbeton ve karkas dolgu tuğlası serisinde  $90^\circ$ ,  $85^\circ$ ,  $75^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $30^\circ$  olarak seçilmiş ve altı seri deney yapılmıştır. Her seride melez harçlı 3 ve çimento harçlı 3 olmak üzere 6 numune denenmiştir. Sonuçta kayma kırılmalarında harç cinsinin değişmesinin önemli bir etken olmadığı saptanmıştır. Aderans mukavemetini yapı taşı ve harcın mukavemet özelliklerinden ziyade yüzey karakteristikleri etkilemektedir. Mukavemeti düşük yapı taşları ile yüksek mukavemetli harç kullanmanın bir avantaj sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Zijl ve diğ. (2005) [13] çekmeye karşı güçlendirilmemiş duvar davranışı deneysel olarak araştırmaya çalışmışlardır. Daha sonra yığma duvarın bir yüzeyi CFRP kullanılarak güçlendirilmiştir. Duvar boyutları 2000mm x 1300mm x 220mm'dir. Numunelerin merkezinde 440mm x 440mm boyutunda boşluk bırakılmıştır. CFRP'ler epoksi yerine çimento bazlı yapıştırıcıyla uygulanmıştır. Sonuçta gerilmenin yükselmesiyle tuğla duvarda çatlaklar artmıştır. Bu sayısal incelemelerle de doğrulanmışlardır. Bu çalışmada yığma yapı duvarlarında çekmeden dolayı meydana gelen çatlak genişliğinin, azaltılmasına yönelik bir yöntem geliştirilmiştir.

## **2.YIĞMA YAPILARDAKİ HASARLAR VE YIĞMA YAPILARIN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ**

### **2.1 Yığma Yapılardaki Hasar Nedenleri**

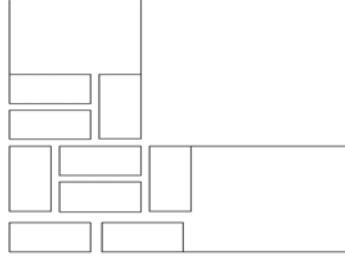
Yığma yapıların ana taşıyıcı elemanı duvarlardır. Bu nedenle duvarlardaki hasarlar doğrudan doğruya taşıyıcı sistemi etkiler. Yığma duvarlı taşıyıcı sistemler genelde; deformasyon kabiliyeti eksik, süneklikleri zayıf ve gevrek kırılmaya yatkın olma gibi edilgen ve olumsuz niteliklere sahiptirler [42].

Yığma yapılardaki duvarlar temel oturmalarına karşı çok duyarlıdır. Yığma duvarlar zemin oturmalarına karşı uyum sağlayamaz. Duvarlar elastik deformasyon yapamadıkları için çatlarlar. Ayrıca deprem gibi yatay yükler sonucu, duvarlarda çatlaklar oluşur, hatta sistemin aşırı yük taşıması sonucu göçmeler meydana gelir.

Yığma yapılar ağırlıklı olarak şu nedenlerden dolayı hasara uğrarlar:

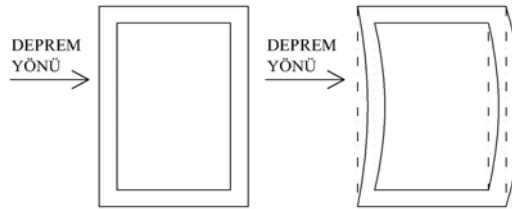
- Yapının tasarımının deprem yönetmeliğine göre yapılmaması,
- Tasarımda deprem etkileri göz önüne alınmış olmakla birlikte bunların çeşitli nedenlerle gerçekleşmemesi; kütle ve rijitlik merkezleri arasındaki farkın burulma etkisi yaratması, yapının periyodunun, oturduğu zeminin periyodu ile çakışması ve rezonans olayı ile yapıya normal olarak gelmesi beklenen kuvvetten çok daha büyük yanal kuvvetin gelmesi,
- Yapının hesap ve detaylandırılmasında yürürlükteki yönetmeliğe uyulsa da depremin o bölgede yapı ekonomik ömrü için beklenenden daha büyük olması,
- Yığma yapı ağır olduğu için yapıya daha büyük yatay yükler etkimesi,
- Taşıyıcı elemanların gevrek yapıda olması, taşıyıcı duvar elemanlarının birbirine bağlamakta kullanılan harcın yeterli çekme mukavemetine sahip olmaması,
- Yapının basit planlı, simetrik yapılmaması,
- Yapıda yatay yük taşıyan duvarların alt katlarda devam etmemesi,
- Birleşim detaylarının iyi çözülmemesi, çatının ve döşemenin duvara mesnetleşmesinin iyi yapılamaması, duvar birleşimlerinin ve köşelerin iyi

düzenlenmemesi. Dik olarak kavuşan iki duvarın birleşiminde düzgün kesilmiş taşlarla geçme yapılması gerekir (Şekil 2.1 ) [38].



**Şekil 2.1:** Yığma Duvar Köşe Detayı

- Yapı elemanının (taş, tuğla v.b.) yeterli mukavemete sahip olmaması,
- Kırsal bölgelerde yapılan toprak damın yapıya aşırı ağırlık getirmesi,
- Duvarlarda kullanılan harcın yapı elemanları arasındaki boşlukları tam olarak homojen bir şekilde doldurulmaması,
- Yapım kalitesinin yetersiz olması, malzeme ve işçiliğin kötü olması, kontrolün olmayışı[24].
- Deprem doğrultusuna dik doğrultudaki uzun ve mesnetlenmemiş duvarlarda görülen büyük duvar deplasmanları (Şekil 2.2 ) [26].



**Şekil 2.2:** Uzun Doğrultuda Mesnetlenmemiş Duvardaki Hasar

## 2.2 Yığma Yapılardaki Düzensizlik Durumları

Projelendirme hataları, uygulama yapılan yanlışlar, deprem yönetmeliklerine uyulmaması ve yeterli yapı denetimi yapılmaması gibi durumlardan dolayı yığma yapılarda düzensizlik durumları ortaya çıkmaktadır. Bunlar yatayda ve düşey de meydana gelen düzensizlik durumları başlıklarında toplanabilir.

- Yatayda düzensizlik durumları:

a) Burulma düzensizliği; deprem yönüne dik doğrultuda rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki dışmerkezliğin bu doğrultudaki yapı genişliğinin %20'sinden fazla olması.

b) Girinti düzensizliği; plandaki girintilerin bu yöndeki yapı boyutunun %20'sinden fazla olması.

c) Kat döşemesi süreksizliği; katlarda diyafram görevi yapan döşeme sisteminde %50'den fazla boşluk bulunması.

d) Taşıyıcı duvar düzensizliği; yatay yükleri taşıyan duvarların, planda üst üste olmaması.

e) Taşıyıcı sistemin paralel olmama düzensizliği; yatay yükleri taşıyan duvarların, yapının ana eksenlerine paralel veya simetrik olmaması.

• Düşeyde düzensizlik durumları:

a) Rijitlik düzensizliği; komşu iki katın yanal rijitliğinde farklarının olması.

b) Kütle düzensizliği; bir katın (çatı katı hariç) kütesinin alt veya üst kat kütesine oranının 3'den fazla olması.

c) Geometri düzensizliği; yatay yükleri taşıyan sistemin alt ve üst kat genişliğine oranının 1.25 den fazla olması [24,26].

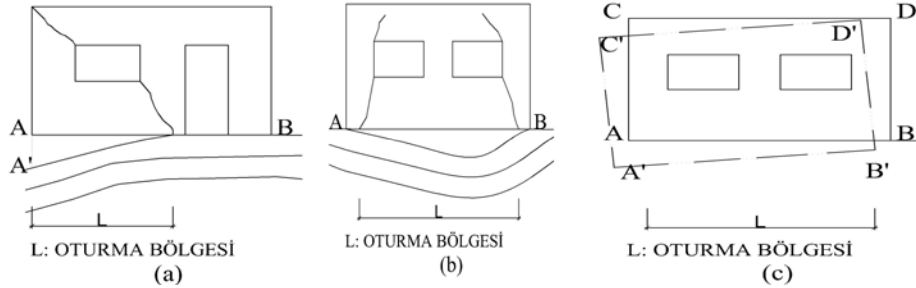
Yığma duvarlarda yatay yük etkisinde iki tip kırılma söz konusudur. Bunlar kesme ve basınç kırılmasıdır. Kesme kırılması; harç dayanımı tuğla dayanımından düşük olduğu zaman, harç ile tuğla arasındaki aderansın kaybolması ile tuğlalar arasındaki derzlerde meydana gelen çatlaklar ile başlar. Basınç kırılmasında ise tuğlanın dayanımı harç dayanımından düşüktür ve kırılma tuğlaları kesen çatlaklar ile başlar [26].

### **2.3. Yığma Yapılardaki Hasar Türleri**

#### **2.3.1 Temel Oturmalarına Bağlı Hasarlar**

Yapı temelleri altında bölgesel oturmalar sonucu yapı duvarlarında çatlaklar oluştuğu gibi, farklı oturmalar sonucu da çatlaklar meydana gelir. Çatlakların yeri temel oturmasının olduğu bölümü belirler. Yeraltı sularının etkisi ile zemin parametrelerindeki azalması ve temel zemininin taşıma gücünün azalması sonucu, temel oturmaları oluşur. Özellikle yüksek plasiteli geçirimsiz killerde uzun bir zaman sonra konsolidasyon oturması meydana gelir. Bu durumda oturmalar yavaş olur ve yapının yapımından belli bir süre sonra çatlaklar belirginleşir. Yeraltı suyunun kuruması sonucunda ise bu killerde büzülme (rötre) oluşur ve temel oturmaları bir süre daha devam eder. Bu nedenle kurak mevsimlerin sonuna doğru suyun azalması ile artan rötre sonucu oturma çatlaklarının boyutu artar. Şekil 2.3a'da yapının A

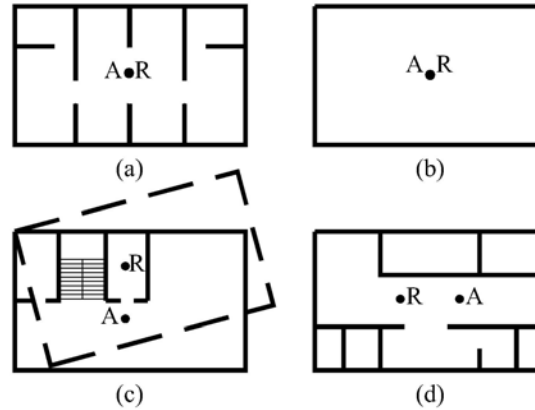
noktasında oluşan oturma sonucu yapı çatlamıştır. Bu durumda B noktasında bir oturma oluşmaz. Şekil 2.3b’de yapının A,B noktalarında oturma olmayabilir. Oturmalar (A,B) noktaları arasında olursa çatlamalar şekildeki gibi olur. Yapının A,B noktalarının farklı oturma yapması sonucu yapıda Şekil 2.3c’de görüldüğü gibi yerdeğiştirmeler oluşur.



**Şekil 2.3:** Temel Oturmalarından Dolayı Oluşan Çatlaklar

### 2.3.2 Depreme Bağlı Hasarlar

Depreme dayanıklı yapı yapma ilkelerine uyulmaması durumunda yapılarda deprem etkisi ile çatlak meydana gelmesi kaçınılmazdır. Genellikle simetrik planlı olmayan yığma yapılarda rijitlik merkezi ile ağırlık merkezinin birbirlerine yakın olmaması durumlarında da çatlamaların olma ihtimali büyüktür (Şekil 2.4 ).

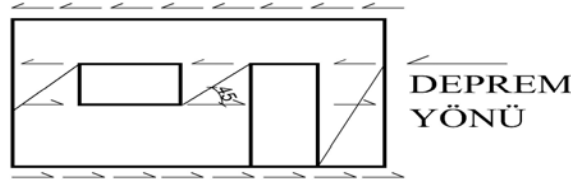


**Şekil 2.4:** Yığma Yapı Plan Örnekleri [42]

(Şekil 2.4a) ve (Şekil 2.4b)'de yapı planı, ağırlık merkezi rijitlik merkezine çakışacak biçimde tasarlanmıştır. Depremden hasar görmesi daha tasarım aşamasında önlenmiştir. (Şekil 2.4c)'de ise rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi birbirinden uzaklaşmış durumdadır. Deprem kuvveti yapı planının ağırlık merkezine etkiyeceğine göre, yapı rijitlik merkezi etrafında dönmeye zorlanır. Sonuçta yapıda burulma çatlakları oluşur. (Şekil 2.4d)'de ise deprem doğrultusuna dik doğrultudaki

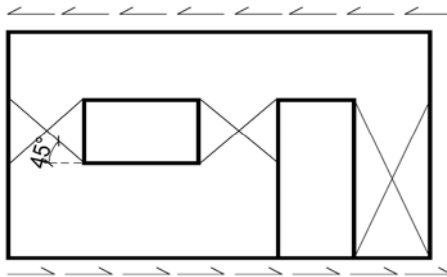
duvarın bir rijitliği olmadığı için deprem kuvvetleri etkisi ile duvarlar büyük deplasmanlar yapmaya zorlanarak çatlayabilir.

Yığma yapılarda duvarlar deprem anında kesme kuvvetleri ile zorlanır. Duvarlardaki pencere ve kapıların oluşturduğu boşlukların alanı duvar alanının üçte birinden büyük olması durumunda boşluklar arasındaki bölümlerde 45 derecelik eğimli çatlaklar oluşmaktadır (Şekil 2.5).

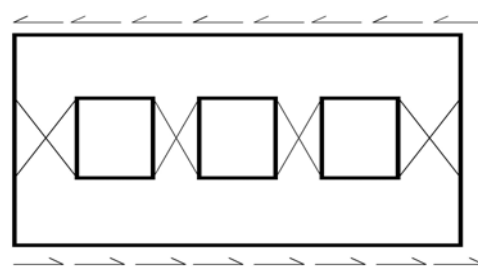


**Şekil 2.5:** Yığma Duvarlarda Oluşan TekYönlü Eğik Çatlaklar

Deprem yükünün tersinir etkimesi sonucu ilk oluşan çatlaklara dik yönde çatlaklar meydana gelir. Bu durumda (X) şeklindeki çatlak görünümleri elde edilir. Yapıda düşey gerilme küçük ise çatlak doğrultuları 90 derecelik açılar kapar.(Şekil 2.6) Cephe duvarlarında boşluklar büyük, duvar parçaları küçük ise büyük düşey gerilmelerin varlığı sonucu, kesme çatlaklarının doğrultusu 45°'den büyük olur (Şekil 2.8) [42].



**Şekil 2.6:** Deprem X çatlakları  $\alpha=45^\circ$



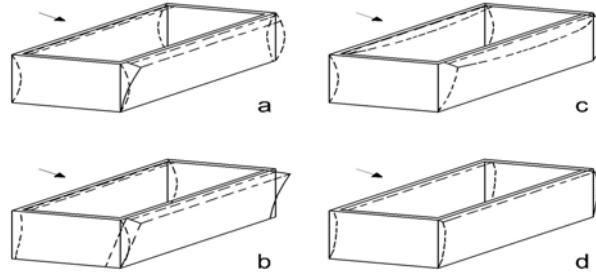
**Şekil 2.7:** Deprem X çatlakları  $\alpha > 45^\circ$  [42]

## 2.4 Yığma Yapılarda Göçme Mekanizmaları

Depremde, zemin hareketi 3 yönlü olarak (yatay-düşey ve bunların doğurduğu bileşke kuvvetler) binaya etkir ve binada yine 3 yönlü titreşimler oluşturur. Depremden önce düşey yükleri taşımakta olan ana duvarlar, depremden sonra da yatay kuvvetleri taşımak zorunda kalırlar. Bunun sonucunda duvarlarda eğilme ve kesme gerilmelerine meydana gelir [40].

Depremde, yığma yapıların davranışları gözlemlendiğinde, bina davranışının genel olarak duvarların birleşimleri ile döşeme ve çatı birleşimlerine bağlı olduğu görülür. Betonarme veya ahşap hatılların duvar ile birleşimleri iyi yapılmamış ise bu noktalarda ayılmalar

görülür. Dış duvarlarda, eğilme momentleri ya da duvar içinde oluşan kesme kuvvetleri sonucu köşelerde çatlaklar oluşur. Duvarların iyi birleşimleri sağlanmadıysa duvarlar yıkılabilir (Şekil 2.8a-b).

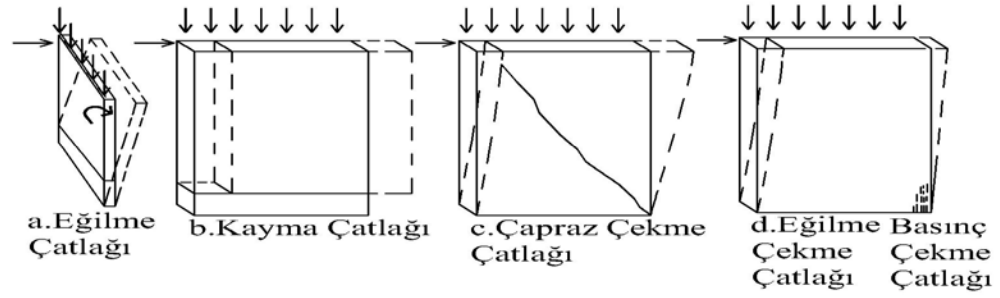


**Şekil 2.8:** Deprem Zemin Hareketi Sırasında Yapının Titreşimleri

Yığma yapıların duvarları, betonarme döşemeler ve hatıllar ile iyi bağlanmalıdır. Bu durumda duvar titreşimleri eş zamanlı olarak gerçekleşir (Şekil 2.8c) ve dış duvarlarda eğilme kuvvetleri daha az etkili olur (Şekil 2.8d) [36]. Çünkü dört duvar da birbirini neredeyse rijit olarak desteklemektedir. Bina bir kutu gibi davranır ve duvarlar tüm yapının dayanımını etki eder.

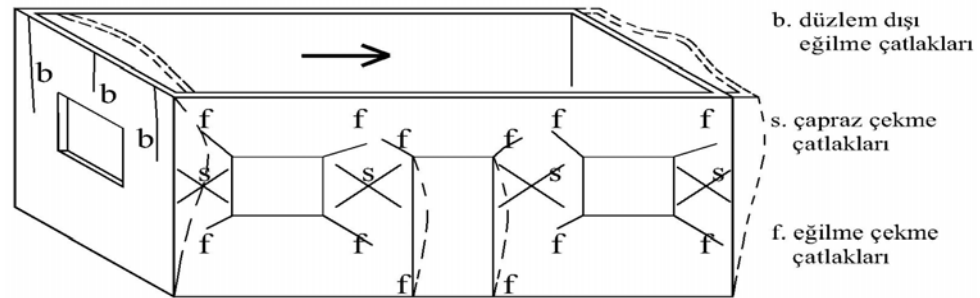
Yığma binalar deprem yükleri altında kritik bölgelerden başlayan çatlaklar ile göçme mekanizmasına ulaşır. En kritik bölgeleri boşluk çevreleri teşkil etmektedir. Eğilme ve kesmeden dolayı boşluklar arasındaki dolu duvar parçasında çapraz çatlaklar, boşluk üzerinde düşey ve köşelerinde çapraz çatlaklar meydana gelir. Boşluğun uzunluğu, boşluklar arası yatay ve düşey mesafe bu yüzden şartnamelerde sınırlandırılmıştır. Konsol gibi çalışan kalkan duvar da, çatının atalet kuvvetine karşı koyamayıp yatay olarak çatlayabilmek veya devrilme sonucu yıkılabilmektedir.

Tek başlarına duran duvarlar stabil değildir (Şekil 2.9). Genellikle yapı kendi ağırlığının oluşturduğu iç kuvvetler ile ayakta durur. Eğer duvar donatılı değilse, yanal çekme kuvvetlerine karşı dayanması çok zordur. Diğer taraftan, eğer duvara düzlemi boyunca yatay kuvvet uygulanırsa, dayanımı daha fazla olur ve bu duvar "kesme duvarı" olarak adlandırılır. Duvarın malzeme karakteristiklerine ve geometrisine (yükseklik ve kalınlık oranına) bağlı olarak çeşitli yıkılma olasılıkları vardır; harç birleşiminde yatay çatlaklar oluşursa yanal kayma ya da kesme kuvveti sonucu göçme meydana gelir (Şekil 2.9b). Harç birleşimlerinden sonra ya da duvar boyunca çapraz çatlaklar oluşursa, çapraz çekme ya da kesme kuvveti sonucu göçme olur (Şekil 2.9c). Yatay yükler sonucunda, duvarda basınç kuvveti ile ezilme ve çekme çatlakları oluşması ile eğilme göçmesi meydana gelir (Şekil 2.9d) [40]



**Şekil 2.9:** Serbest Duvarın Göçme Mekanizması

Yapının iç kuvvetleri zemin ivmesine bağlı olarak yapının formunu değiştirmeye çalışır (Şekil 2.10). Duvardaki açıklıkların arasındaki dolu kısımlar, açıklıkların üstündeki ve altındaki kısımlara göre daha esnek davranır. Duvar boşluklarının altındaki ve üstündeki kısımlar maksimum basınç ve çekme gerilmelerini taşırlar, kesitin orta kısmında ise en yüksek kesme gerilmesi taşınmaktadır. Gerilmelerin büyüklükleri, duvar tarafından taşınan düşey yüke ve oluşturduğu yatay yüklerin büyüklüğüne bağlıdır.

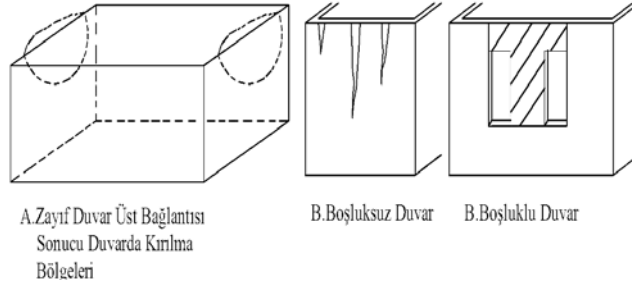


**Şekil 2.10:** Yığma Yapıda Hasarlar

Eğik çekme çatlağı bir kere duvarı zayıflattıktan sonra duvar daha önce bir problem olmadan taşıyabildiği düşey yükleri de taşıyamaz duruma gelir. Deprem sırasında düşey yüklerde %20-30 kadar bir artış ve azalış olmaktadır. Bu artış ve azalış yüklemenin bir özelliğidir. Böylece eğik çekme çatlağından sonra düşey basınç çatlağı da oluşmaktadır [40,37].

Depremlerde yapılara gelen kuvvetler tek yönlü değildir. Yapılar aynı anda her iki asal doğrultusunda da yatay kuvvetlere maruz kalırlar. Bu durum, özellikle yapıların köşelerinde ve iki yönden gelen duvarların kesişim noktalarında gerilim birikimleri ortaya çıkarmaktadır [37].

Tuğla yığma yapı duvarları betonarme kat ya da çatı döşemeleri ile bağlanmamışsa ya da yeterli rijitliği olmayan ahşap döşeme ve çatı makasları ile üst başlarından bağlanmış ise şekil 2.11'de verilen biçimde hasar oluşmaktadır.



**Şekil 2.11:** Tavan Bitişleri Yeterince Detaylandırılmamış Yığma Duvarlarda Hasar Oluşum Biçimleri

Eğer çekme gerilmeleri, duvarın karşılayabileceği çekme gerilmelerinden büyük ise çatlaklar büyür. Malzeme karakteristikleri ve geometriye de bağlı olarak, aradaki dolu duvar parçası, çapraz gerilmelerin oluşturduğu kesme kuvvetine ya da köşelerde basınç altında oluşan eğilmelere bağlı olarak yıkılabilir. Çapraz gerilmeler sonucu çapraz çatlaklar oluşur ve taşınmakta olan döşeme tehlikeli duruma gelir. Duvar üstünde betonarme ya da ahşap hatıllar kullanılması ve rijit betonarme döşemenin varlığı ile bu hasar önlenir. Çatı için üçgen şeklinde devam eden kalkan duvar, eğer iyi bağlanma sağlanmadı ise serbest duvar gibi davranır. Ek yükler doğması ile yıkılabilir [40].

## 2.5 Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarların Sınıflandırılması

Deprem hasarlarını, yapı tipleri için hafif, orta ve ağır olarak üç sınıfta toplayabiliriz. Az hasarlı yapılar genel olarak bir yapısal tamirata gerek olmaksızın kullanılmaya devam edilebilecek yapılardır. Orta hasarlı yapılarda hasar gören yapı elemanları tamir edilerek ve güçlendirilerek tekrar kullanılır hale getirilebilir. Ağır hasarlı yapıların ise tamir edilip tekrar kullanılması pek mümkün değildir.

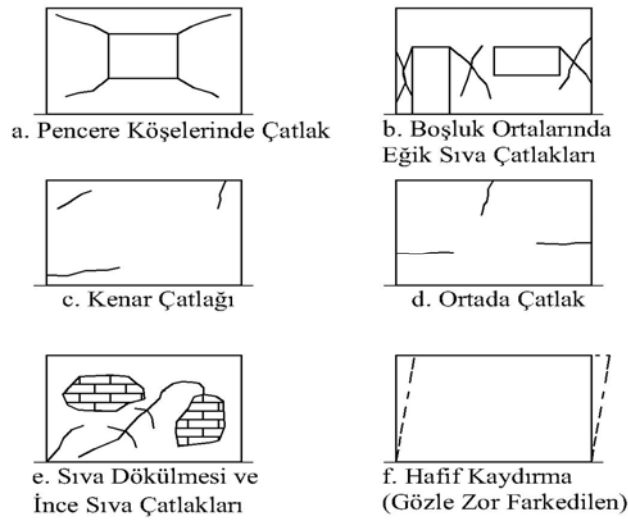
Türkiye’de meydana gelen orta ve büyük şiddetli depremlerde kırsal yapıların yarısından fazlası ağır derecede hasar görmüştür. Bu büyüklükteki depremleri az hasarlı veya hasarsız atlatan yığma yapılar sadece %10 civarındadır [33].

### 2.5.1 Az Hasarlı Taşıyıcı Duvarlar

Hasar derecesinin az olması durumunda öncelikle duvar sıvasında çatlaklar ortaya çıkar. Eğer depremin yönü duvara paralel ise duvar gövdesinde her iki yönde eğik çatlaklar oluşur. Duvarda pencere, kapı gibi boşluklar varsa eğik çatlaklar

boşlukların kenarlarından dışa doğru uzanır (Şekil 2.12a). Boşluklar arasındaki duvar kısımlarında da eğik ince çatlaklar meydana gelebilir (Şekil 2.12b).

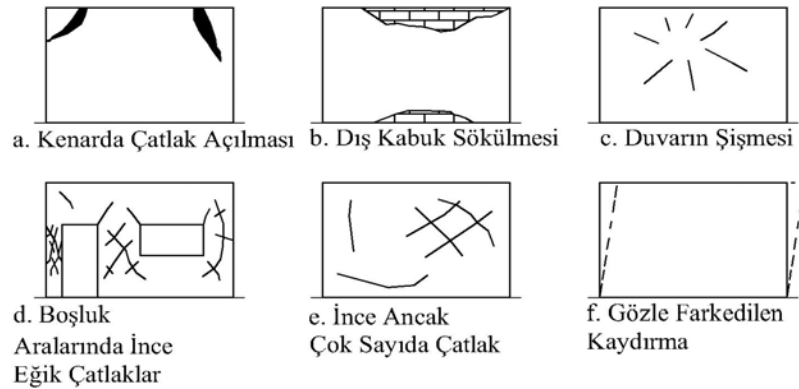
Deprem hareketinin duvara dik yönde etki etmesi durumunda duvarda yatay ve düşey çatlaklar meydana gelir. Düşey çatlaklar duvarın kendisine dik olarak bağlanan duvarlarla birleştiği kenarlarda ve duvarın orta kısmında görülür (Şekil 2.12c,d). Bunlar duvarın düzleminden dışarıya doğru eğilmek istemesinden kaynaklanan eğilme çatlaklarıdır. Aynı şekilde düzlem dışı eğilme duvarın orta ve alt kısımlarında yatay çatlaklara da neden olur (Şekil 2.12c,d). Tuğla ve kerpiç duvarlarda dışa eğilme ise sıva dökülmesi şeklinde kendini gösterir (Şekil 2.12e)[33].



**Şekil 2.12: Az Hasarlı Duvar Örnekleri**

### 2.5.2 Orta hasarlı Taşıyıcı Duvarlar

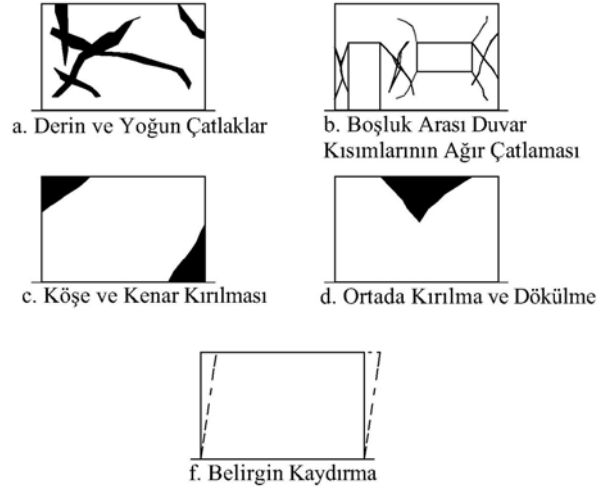
Yığma duvarlarda orta dereceli hasarlar, az hasarlı durumda anlatılan ince çatlakların büyümesiyle veya artmasıyla meydana gelir (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13: Orta Hasarlı Duvar Örnekleri**

### 2.5.3 Ağır Hasarlı Taşıyıcı Duvarlar

Ağır derecede hasarlı yığma duvarlarda çatlaklar geniş ve duvar derinliğindedir. Duvarın bazı kısımlarında kısmen dökülmeler ve yıkılmalar da oluşur. Hareketin yönü duvara paralel ise duvar gövdesinde geniş çatlaklar meydana gelir (Şekil 2.14a). Duvarda boşluklar varsa bunların aralarındaki duvar kısımları yoğun şekilde hasara uğrarlar. Geniş eğik kesme çatlakları bu kısımlarda yoğunlaşır, ayrıca boşluk köşelerinden dışarıya doğru geniş eğik çatlaklar meydana gelir (Şekil 2.14b).



Şekil 2.14: Ağır Hasarlı Duvar Örnekleri [33]

Bazı durumlarda pencerelerin dikdörtgenliğinin kaybolduğu gözlenir. Deprem yönü duvara dik ise duvar dışarı eğilmeye çalışır ancak kenarlarda dik kesişen duvarlar buna engel olacağı için duvar kenarlarında aşırı gerilmeler oluşur ve duvarın bu kısımları kısmen kırılır (Şekil 2.14c). Duvarın ortası ise fazlaca eğileceğinden duvar bu eğilmeye ancak kırılarak uyum sağlayabilecektir (Şekil 2.14d).

### 2.5.4 Yığma Yapılar İçin Hasar Ölçüt Tablosu

Yığma yapılarda deprem hasarlarının belirtileri taşıyıcı duvarlarda meydana gelen çatlaklardır. Çatlağın meydana gelmesinden hemen sonra çatlağın genişliği, ara yüzeydeki sürtünme kuvvetlerine ve depremde meydana gelen kayma gerilmelerinin etkiye süresine bağlıdır [24]. Depremden sonra yığma yapılarda hasar tespitinde kullanılmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Uygulama Merkezi tarafından hazırlanan çizelge Tablo 2.1’de verilmektedir.

**Tablo 2.1: Yığma Yapılar İçin Hasar Kriterleri [24]**

| Çatlak Genişliği | Hasar Derecesi | Açıklama                                                                                                                                                                                                         |
|------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0.1 mm'den az    | Önemsiz        | Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur.                                                                                                                                                                     |
| 0.1 mm~0.3 mm    | Önemsiz ~ az   | Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur.                                                                                                                                                                     |
| 0.3 mm ~ 1.0 mm  | Az             | Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir.                                                                                                                                                         |
| 1.0 mm ~ 2.0 mm  | Orta           | Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir.                                                                                                                                                         |
| 2.0mm ~ 5.0mm    | Orta           | Taşıyıcı sistem etkilenir. Dış duvarlardan içeriye gelen hava akımı hissedilir. Yapının kullanımı etkilenir.                                                                                                     |
| 5.0mm~ 15.0mm    | Orta ~ ağır    | Pencere ve kapılar sıkışır. Su ve kanal bağlantıları kırılır. Yapı içine su ve soğuk girer. Pencere camları kırılır. Tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çöker. Kabul edilemez çatlak sınırına ulaşmıştır. |
| 15.0mm ~ 25.0mm  | Ağır           | Yapının taşıyıcılığı büyük tehlike altındadır. Önemli tamir ve takviyeler gereklidir.                                                                                                                            |
| 25.0mm'den çok   | Çok ağır       | Yapıda ağır hasar mevcuttur, çok önemli takviye veya yıkım gereklidir.                                                                                                                                           |

## 2.6 Yığma Yapıların Güçlendirme Yöntemleri

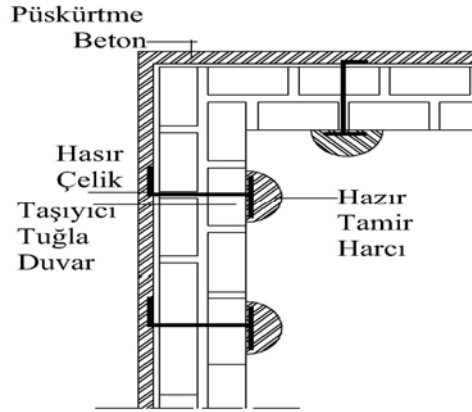
Hasar görmüş veya görmemiş yapıların taşıyıcı sistemlerinin performanslarını mevcut sistemden daha yukarıya çıkarmak için yapılan veya uygulanan işlemlere güçlendirme denir. Yapıların güçlendirmesinde projelendirme ve tüm uygulama işlemleri uzman firmalar ve kişiler tarafından yapılmalıdır. Yığma yapılarda taşıyıcı sistem malzemesinin düşey yüklere karşı yetersizliği, yanlış inşaat uygulamaları, binanın ilk tasarımdan zamanla farklı fonksiyonlar kazanması; ek duvarlar yapılması veya iç duvarların yıkılması gibi kullanıcıdan kaynaklanan hatalar, son deprem yönetmeliğine göre yapıların yeni standartlarının belirlenmesi başlıklarında sıralayabileceğimiz bir dizi koşullar nedeniyle yapıların güçlendirilmesi gereklidir.

Ülkemiz nüfusunun önemli bölümü (%95) yüksek derecede deprem riski olan bölgelerde yerleşmiş durumdadır. Marmara ve Düzce depremlerinden (1999) sonra “güvenli yapı”, dolayısı ile güçlendirme kavramı önemle ele alınmış ve inşaat sektörümüzün çeşitli yan sektörleri ile birlikte bu konu da yeniden yapılandırılmasının bir zorunluluk olduğu ortaya çıkmıştır. Bu süreçte ortaya çıkan uygulamalarda onarım ve güçlendirme işlemlerinde, yöntem ve malzemelerin etkin kullanımları açısından bir takım bilgi eksiklikleri olduğu görülmektedir. Bu eksikliklerden dolayı hatalar içeren güçlendirme uygulamalarında büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Bunlardan başka bu konudaki bilgi eksikliği, konunun uzmanı olan donanımlı ve tecrübeli bazı firmalar tarafından kazanç oranını arttırmak şeklinde değerlendirilmektedir. Ülkemizde bu konuyu anlaşılır ve standart

bir işlem dizisi ile ortaya koyan, uygulama kriterleri ve sınırlarını belirleyen, ayrıca alternatif yöntemler ile karşılaştırmayı mümkün kılan çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır [19].

### 2.6.1 Püskürtme Beton ile Taşıyıcı Yığma Duvarların Güçlendirilmesi

Yığma yapılarda iç ve dış duvarların güçlendirilmesinde kullanılır. Püskürtme beton basınçlı hava ile uygulanan betondur. Kalıp yapmanın zor olduğu veya ekonomik olmadığı durumlarda, betonun ince bir tabaka olarak uygulanması gerektiğinde yapılır. Taşıyıcı duvara epoksi ile ankraj çubukları yerleştirilir, hasır çelik donatı bu ankraj çubuklarına tespit edilir. Öngörülen yerlere özenle yerleştirilen donatılar aderansı zayıflatacak her türlü kirden arındırılmış, temiz olmalıdır. Hasır çeliklerde binmeler bir veya bir buçuk göz olacak şekilde tespit edilir, daha sonra püskürtme beton uygulanır.



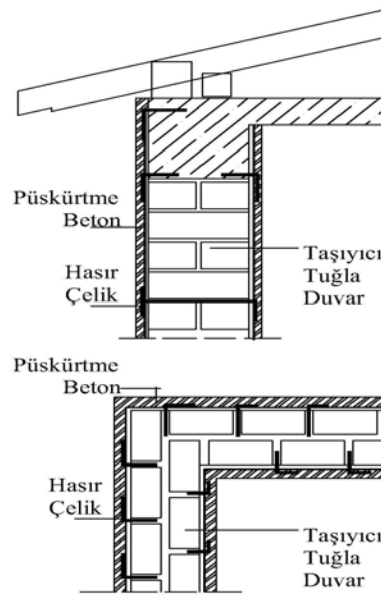
**Şekil 2.15:** Tek Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması [45]

Güçlendirmenin duvarın iki tarafında yapılması tercih edilmelidir (Şekil 2.16). Ancak, üst katlarda kat kesme kuvveti azaldığı için, güçlendirme boyları azaltılabilir ve duvarların bir taraflı güçlendirilmesi de kabul edilebilir (Şekil 2.15).

Püskürtme betonu yapacak kişinin tecrübeli olması, uygulamanın başarılı olmasında son derece önemlidir. Püskürtme tabancası yüzeye imkan nispetinde dik ve 1 – 1.5m uzaklıkta tutulmalıdır. Uzak tutulan tabanca, donatının arkasını yeterli betonla dolduramayacağı için, yüzeyde kesitler meydana getirilebilir ve ileride çatlak oluşumuna sebep olabilir. Yakın tutulan tabancada ise yüzeye yapışma tam olarak sağlanamaz ve beton zayiatı meydana gelir. Püskürtme beton uygulamasında yüzeye çarparak sıçrayan beton tekrar kullanılmamalıdır. Püskürtme betonu üzerine yaklaşık 2.5cm kalınlığında sıva yapılarak yüzey düzgünlüğü sağlanmalıdır.

Püskürtme beton tabakalar halinde uygulanmalıdır. Alt tabakanın tamamen sertleşmesini beklemeden ikinci tabakaya geçilmelidir. Yeni tabaka püskürtülmeden önce alt tabakadaki şüpheli yerler kontrol edilerek iyi kaynamamış kısımlar uzaklaştırılıp yüzey nemlenmelidir.

Sahada püskürtülerek oluşturulan her beton panonun bir köşesinde, mala ile küçük bir bölgenin yüzeyi düzgün hale getirilip 3 /7/28. günlerde Schmidt çekici okumaları yapılmalıdır. Okumalar her istasyonda 12 adet civarı olmalı, betonun kaç günlük olduğu ve okumanın yapıldığı ve okumanın yapıldığı yer yazılmalıdır.



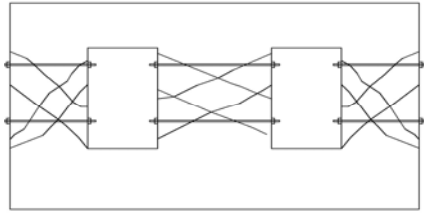
**Şekil 2.16:** İki Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması [45]

Püskürtme beton kuru karışım ve ıslak karışım olmak üzere iki şekilde uygulanır. Kuru sistemde çimento, kum ve agrega homojen olarak karıştırılır, bu karışım dağıtım elemanına gönderilir ve basınçlı hava ile büyük bir hızla uygulama yüzeyine püskürtülür. Islak püskürtme de pompalanarak püskürtme başlığı gelen beton/harç, burada basınçlı hava ve katkı ilave edilerek yüzeye püskürtülür. Yığma yapıların püskürtme beton ile güçlendirilmesinde; binalar arası mesafenin dar olmasından ve uygulanan yüzeyle olan aderansını sağlamadaki zorluklardan dolayı uygulamada sorunlar yaşanabilmektedir.

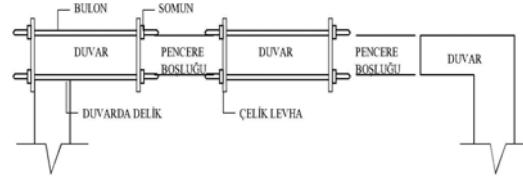
### **2.6.2 Taşıyıcı Yığma Duvarların Çelik Elemanlarla Güçlendirilmesi**

Bu yöntemde, duvarlar kuşaklanarak veya duvarın her yüzünde çatıya veya döşeme diyaframlarına monte edilerek kullanılan çelik levhalarla güçlendirilir.

Yığma yapı duvarlarındaki çatlakların büyümesini önlemek için, çatlakları kesen donatılar yerleştirilir. Şekil 2.17'da depremde pencere boşlukları arasında oluşmuş eğik çekme çatlaklarını kesen donatılarda yapılan bir sağlamlaştırma işlemi gösterilmiştir. Burada dolu duvarda açılan deliklerden çapı 16mm olan donatılar geçirilmekte ve donatıların uçlarında acılan dişlere somunlar geçirilmekte ve duvarlar sıkıştırılarak çatlağın büyümesi önlenmektedir. Sıkıştırma işleminin yapılmaması durumlarında, donatılar duvarın iç ve dış yüzüne yerleştirilir. Uçlarına çelik levhalar konularak bulonlarla sıkıştırılabilir (Şekil 2.16).

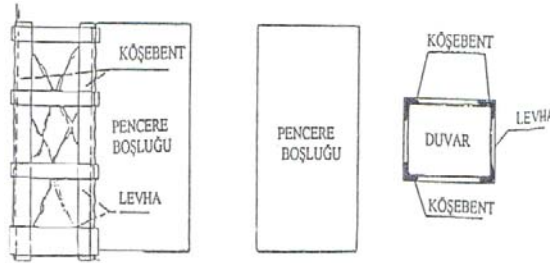


**Şekil 2.17:** Pencere Boşlukları Arasında Kalan duvarların Gergi Demirleri ile Güçlendirilmesi [44]

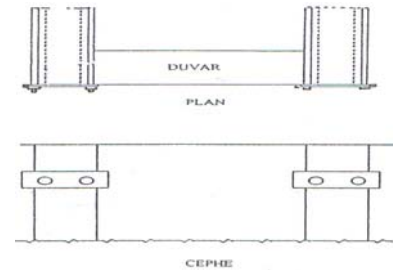


**Şekil 2.18:** Gergi Demirlerinin Duvarın Dış Yüzüne Yerleştirilmesi

Ayrıca boşluk arası duvar çelik ve köşebentlerle de bir çerçeve oluşturularak çatlakların büyümesi önlenabilir (Şekil 2.19). Paslanmaya karşı tüm çelik elemanlar bir sıva tabakası ile örtülmelidir. Yığma yapı duvarlarının sağlamlaştırılmasında kullanılan bir başka yöntem, duvarları üst başlarının donatı ile Şekil 2.20'de gösterildiği gibi bağlanmasıdır. Bu yöntemde, kullanılan gergi demirlerinin Uçlarındaki bulonlar iyice sıkılarak donatıya bir gerilme verilmektedir. Gerilmenin en az çeliğin akma gerilmesinin yarısı kadar olması önerilir. Bu yöntemde duvarda bir yuva açılarak donatı yerleştirilir ve duvarı kesiştiği yerde duvar delinir.



**Şekil 2.19:** Hasarlı Duvar Bölümünün Çelik Köşebentlerle Çerçeve İçine Alarak Güçlendirilmesi [44]



**Şekil 2.20:** Yığma Duvarları Gergi Demirleri ile Güçlendirme

Duvara yerleştirilen bu gergi demirlerinin depremde oluşacak çekme gerilmelerinin belli bir bölümünü alabileceği kabul edilir. Böylece duvara bir (art gerilme) verilmiş olmaktadır [42].

Şekil 2.21’de çevre duvarları taşıyıcı tuğladan, ahşap döşemeli, ahşap-çelik kiriş ve kolonlu olan bina deri imalathanesi olarak kullanılırken 32 adet yeni pencere de açılıp güçlendirilerek Ofis Binası'na dönüştürülmüştür. Yeni pencerelerin çevresine, üstü çift olmak üzere, köşebentlerden oluşan çelik çerçeveler yerleştirilmiş, binanın deprem ve rüzgar yüklerine karşı dar yöndeki yetersizliği çaprazlı çelik çerçeveler kullanılarak giderilmiştir.



**Şekil 2.21:** Çelik Çerçevelerle Güçlendirme Örneği (Deri İmalathanesi)

### **2.6.3 Taşıyıcı Yığma Duvarların Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirilmesi**

Ülkemizde güçlendirme uygulamalarında son yıllarda kullanılmaya başlanan bir tekniktir. Halen bu konu hakkında çalışmalar devam etmektedir. Kendiliğinden yerleşen beton kurulan kalıba homojen bir şekilde dağılarak, vibratör kullanmaksızın dökülebilmektedir. Özellikle donatı oranının yoğun olduğu projelendirmelerde tercih edilir. Ayrıca püskürtme betonun uygulama zorluğundan dolayı bazı güçlendirme çalışmalarında kendiliğinden yerleşen beton kullanılmaktadır. Yığma duvarın yüzeyine hasır çelik konulması ve projede hesaplanan derinlikte kalıp kurularak betonun döküm işlemi gerçekleştirilir. Ancak uygulamalarda; kalıp kurma işlemi, beton dökülmesi, binanın askıya alınması gibi kullanıcıyı etkileyen rahatsızlıklar verebilmektedir. Güçlendirme esnasında yanlış projelendirme, uygulamayı yürütenlerin de uzman kişiler olmaması durumunda sorunlar yaşanabilmektedir. Ayrıca uygulanacak yüzey ile betonun aderansının araştırılması gereklidir.

#### **2.6.4 Taşıyıcı Yığma Duvarların FRP ile Güçlendirilmesi**

Fiber takviyeli plastik (FRP) kompozitlerinin yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanımı son zamanlarda hızla artmaktadır. Bu kompozit malzemeler karbon, cam, aramid fiberleriyle takviye edilmiş reçine karışımından oluşurlar. Fiberler yük taşıyan elemanlardır, reçine karışımı fiberlerin arasına yükün dağılması sağlar ve ayrıca fiberleri çevresel etkenlerden korur. 1940'larda; savunmada, uzay endüstrisi çalışmalarında bu tür kompozit malzemelerin üretimi, uygulaması ve de gelişimi hız kazanmıştır. Uzay mekiği inşasında bu tür malzemeler dayanıklılığı ve hafifliği sebebiyle kullanılmıştır. Günümüzde; özellikle mühendislik uygulamalarında bu türde kompozit malzemeler avantajlarından ötürü kullanılmaktadır. Düşük oranlarına rağmen yüksek dayanım göstermeleri, yorulmaya karşı olan dirençleri, karmaşık şekillerde uygulanabilirliği gibi avantajları vardır [3].

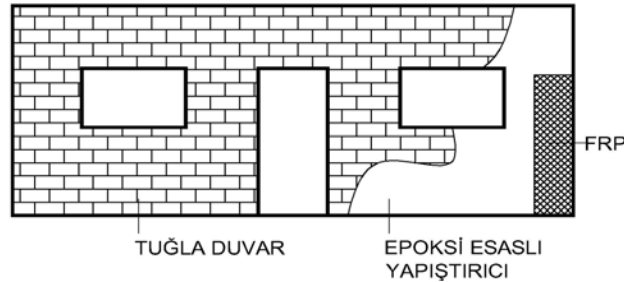
FRP çeliğe göre daha yüksek çekme mukavemeti, ebat ve şekle bağlı çok seçeneklilik, hafiflik, korozyona dayanıklılık gibi özellikleri vardır. FRP malzemesini uygulamak çok kolaydır, çünkü sadece yapının yüzeyine yapıştırılmalarıyla uygulama tamamlanır. Sakıncalı yönleri de vardır halen araştırmakla birlikte: yüksek elastisite modülü, sünmede ve yorulmada yetersiz davranış olarak sayılabilir.

Levha ve dokuma şeklinde üretilen FRP'ler duvar yüzeyine epoksi esaslı yapıştırıcıyla uygulanır. Epoksi esaslı yapıştırıcı sürülmeden önce astar malzemesi duvar yüzeyine uygulanır. Böylece epoksi, FRP ve duvar yüzeyi ile olan aderans artırılmış olur. Yüzey hazırlığı önemli aşamalardan biridir. Bina sistemi içerisinde deprem sırasında davranışı incelenerek, sistemin çeşitli yerlerine FRP'ler uygulanır. Çekme ve eğilme mukavemetlerini alacak şekilde FRP'ler yerleştirilmelidir. Levha FRP'ler 5 ve 10cm genişliğinde plakalardır, dokumalar tek yönde kuvvetli 50cm genişliğinde malzemelerdir. Bina içinde boyutlandırılması bu esaslara göre belirlenmelidir.



**Şekil 2.22:** Yığma Yapıda CFRP Uygulaması [18]

FRP (Fiber Takviyeli Polimerler) isimli kompozitler ile güçlendirme ülkemizde de yaygınlaşmaktadır. Daha çok karbon fiber (karbon lifi) adıyla tanınan bu malzemeler hafif, yüksek mukavemetli, liflerin dizilim yönleri değiştirilerek mukavemeti ayarlanabilen, beton ve çeliğin giremeyeceği yerlere girebilen, ince, uygulaması hızlı ve pratik, korozyona dayanıklı, uzun ömürlü yeni nesil malzemelerdir. Yapı kullanım durumundayken de çevreye zarar vermeden uygulaması yapılabilir. Uygulandığı kesitin formuna olumsuz bir etkisi olmaz. Ancak bu malzemelerin üretim yöntemlerinin zorluğundan dolayı maliyetleri yüksektir. Uygulama uzman kişilerin denetiminde ve uzman ustalar ile yapılmalıdır. Şekil 2.22 ve Şekil 2.23’de yığma bir yapıya CFRP uygulaması görülebilir.



**Şekil 2.23:** Taşıyıcı Tuğla Duvarda CFRP Uygulaması

FRP uygulanarak güçlendirilen duvarın yüzeyine daha sonra sıva, boya gibi uygulamalar yapılabilir. FRP uygulamasından 7 gün sonra tam mukavemetine ulaşacaktır. 7 günlük zamanda FRP yüzey dik gelen UV dalgalarından korunmalıdır. Bu süreçte FRP yüzeyine uygulama yapılmamalıdır.

Uygulamada FRP levha ve dokuma çeşitleri kemer, kubbe gibi yapı elemanlarının güçlendirilmesinde de kullanılmaktadırlar. Şekil 2.24’de ve Şekil 2.25’de FRP’lerin kubbe yüzeyine uygulanması görülebilir.



**Şekil 2.24:** Kemerde FRP  
Uygulaması-1.



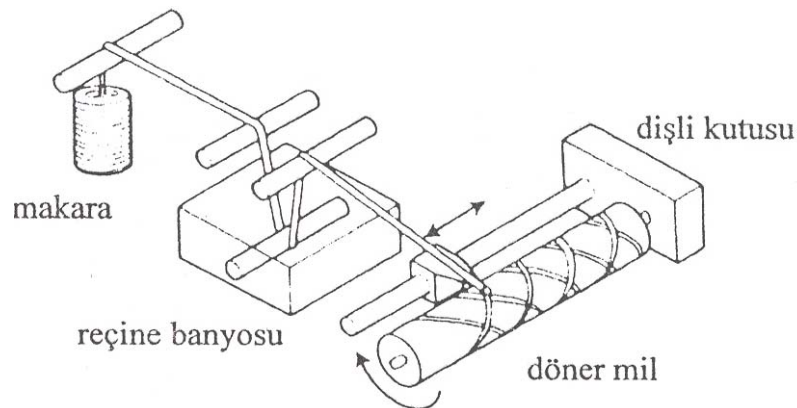
**Şekil 2.25:** Kemerde FRP  
Uygulaması-2.

#### 2.6.4.1 CFRP'nin Üretim Yöntemleri

Güçlendirilmiş karbon elyaf yapımında kullanılmak üzere birçok üretim tekniği geliştirilmiştir. Her bir yöntem bir yönden, diğerlerinde olmayan bir kullanışlılığa sahiptir. Millard ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, fiberle güçlendirilmiş karbon elyaf yapımında en sıklıkla kullanılan 6 yöntem; tel sarma, püskürtme, santrifüjlü dökme, karşılıklı kalıp biçimlendirme, temaslı biçimlendirme ve sürekli pultrusyon işlemi olarak sıralanmaktadır [46].

##### Tel Sarma

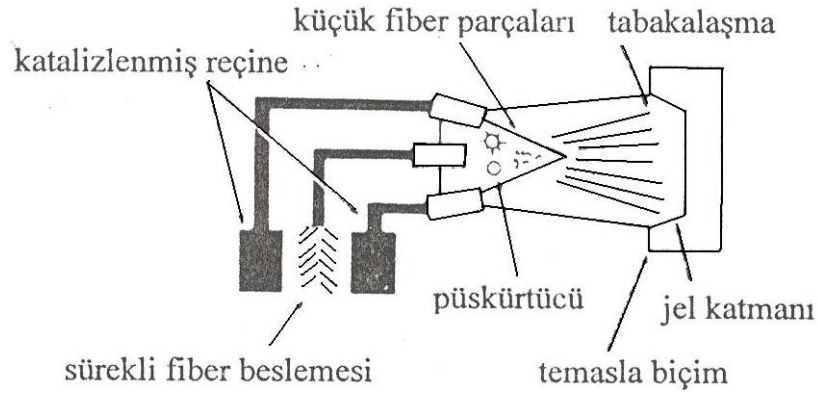
Fiberle sürekli bir şekilde reçine banyosuna batırılır ve iyice emdirilir. Sonra fiber bir milin üzerine sarılır. Normal sarma modeli çoklu daireler şeklindedir. Bu yöntem genellikle karbon fiberi yapımında kullanılır. Tel sarma yöntemiyle üretilen elyaflar birkaç yönde mukavemete sahiptirler ve basınç dayanımları da yüksektir. Yöntemin zayıf tarafı ise üretilmek istenen bütün şekillere uyamaması ve sarma işleminin programlanmasının güç olmasıdır (Şekil 2.26) [46].



**Şekil 2.26:** Tel Sarma Yöntemiyle FRP Üretimi

### Püskürtme

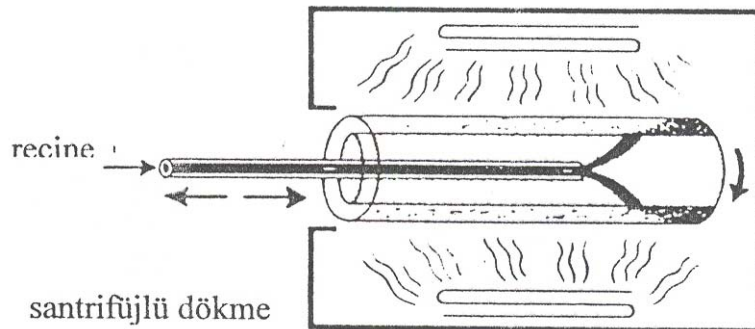
Bükülmüş fiber iplikler püskürtücüye beslenir, ve daha kısa fiberlere bölünerek bir panele püskürtülürler. Reçine üstten fırçalanır. İki boyutlu rasgele fiber konfigürasyonları ortaya çıkar. Bu yöntemle düz yüzeyli ve karmaşık şekiller (tekneler gibi) için istenen sonuç elde edilir(Şekil 2.27) [46].



Şekil 2.27: Püskürtme Yöntemiyle FRP Üretimi

### Santrifüjlü Dökme

Kesilmiş keçe veya elyaf lifleri bir milin içine yerleştirilir. Mil kendi ekseninde dönerken reçine karışımı ilave edilir ve santrifüj kuvvetleri yardımıyla reçine, mil iç yüzeyinde eşit olarak dağıtılır. Bu yöntem oda sıcaklığında işlevsel değildir. Bu nedenden ötürü ya milin fırına konması ya da mil çeperine ısı uygulaması gerekmektedir. Santrifüjlü dökme, güçlendirilmiş plastik boru yapımında çokça kullanılan, oldukça işlevsel bir metoddur (Şekil 2.28) [46].

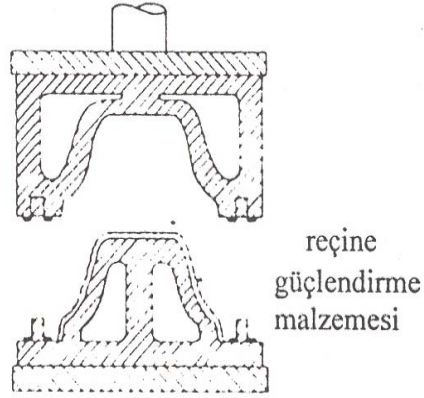


Şekil 2.28: Santrifüjlü Yöntemiyle FRP Üretimi

### Karşılıklı Kalıp Biçimlendirme

Bu metotta malzeme olarak elyaf, keçe veya önceden şekil verilen güçlendirilmiş elyaf, reçine ile beraber kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme ile reçine ısıtılmış

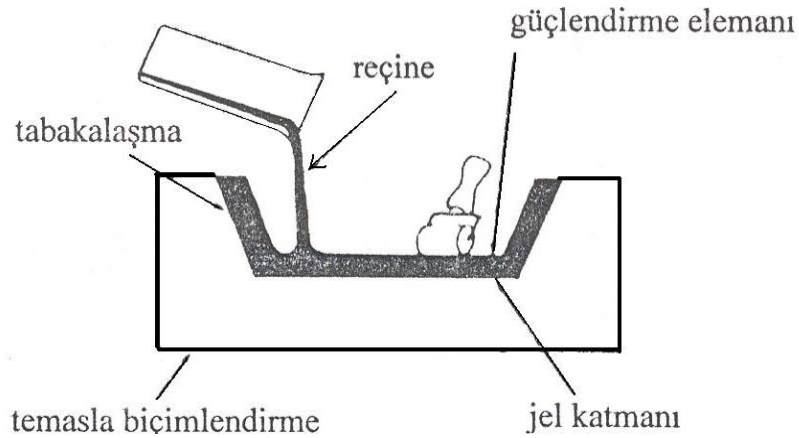
kalıba dökme işleminden önce veya sonra karıştırılır. Yaklaşık 150 °C sıcaklıkta veya 2 MPa'dan yüksek basınçlarda biçimlendirme işlemi yapılır. Biçimlendirme süresi reçine türü, kalıp sıcaklığı, üretilen malzemenin boyutu, şekli ve kalınlığı ile ilişkili olarak, yaklaşık 30 sn. ile 5 dakika arasında değişir. Karşılıklı kalıp biçimlendirme metodu, güçlendirilmiş malzemenin büyük ölçekli üretimine mümkün kılar (Şekil 2.29) [46].



**Şekil 2.29:** Karşılıklı Kalıp Biçimlendirme Yöntemiyle FRP Üretimi

### **Temasla Biçimlendirme**

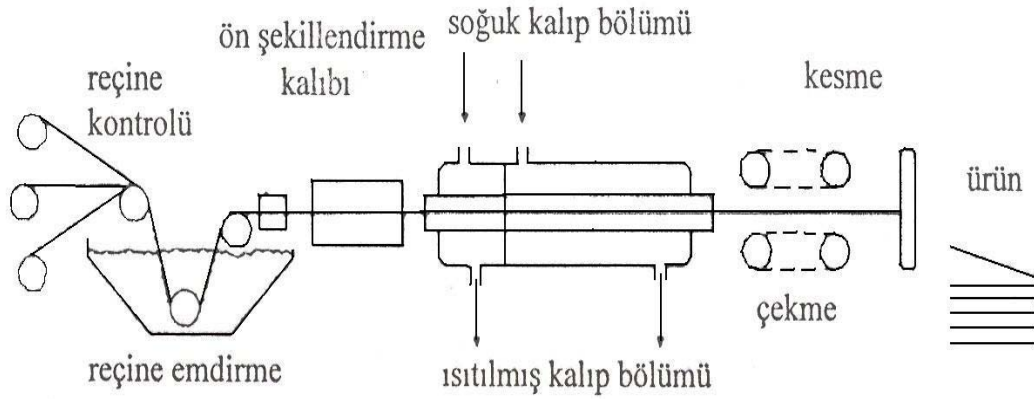
Kalıp üzerine öncelikle bir jel tabakası kaplanır. Fiber ve reçine tabakaları jel örtüsünün üzerine dökülerek sıkılaştırılır. Bu dökme ve sıkılaştırma işlemi istenen kalınlık elde edilene kadar devam eder. Bu metodun üstünlükleri arasında malzeme ebadına bir sınırlama getirmemesi, dökme işleminin karmaşık olmaması ve çok az araç gereç gerektirmesi sayılabilir. Temasla biçimlendirme yönteminin zayıf yönleri ise, çok fazla iş gücü gerektirmesi, pahalı olması ve ürünün kalite kontrolünün yapılmasının zor olmasıdır (Şekil 2.30) [46].



**Şekil 2.30:** Temasla Biçimlendirme Yöntemiyle FRP Üretimi

### Sürekli Pultrusyon İşlemi

Fiber lifler reçine banyosunda reçine karışımına batırılır. Reçine ile kaplanan lifler, bir seri kalıptan geçerek şekillenirler. Son kalıp, elyafın nihai şeklini almasını sağlamak amacıyla ısıtılır. Bu yöntem sürekli pultrusyon işlemi denir. Bu yöntem ile değişik şekilli güçlendirilmiş plastik malzeme üretmek veya tek bir şekli seri halinde üretmek mümkündür. Ancak üretim hatalarını bertaraf etmek için sıcaklığın çok dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca sürekli pultrusyon işleminde kullanılan araç ve gereçler oldukça pahalıdır (Şekil 2.31) [46] .



**Şekil 2.31:** Sürekli Pultrusyon Yöntemiyle FRP Üretimi

Her yöntemin diğerine göre üstün ve zayıf yönlerinin olmasına karşın, her birinin belli türde üretim yöntemlerine ve tasarım kısıtlamalarına uyması söz konusudur. Fiberle güçlendirilmiş elyafın üretimi konusu gelişmeye ve ilerlemeye halen oldukça açık bir konudur [46].

### **3.DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### **3.1. Genel Bilgiler**

Bu çalışma kapsamındaki tüm deneyler İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nın mevcut olanakları ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın deney programı, literatürde tuğla duvar numuneleriyle yapılan çeşitli güçlendirme çalışmaları değişkenleri ve tuğla duvar örnekleri, tuğla duvarın dayanımını arttıran katkı maddelerini konu alan çalışmalar, donatı etkisiyle tuğla duvarın dayanımını konu alan çalışmalarda yapılan deneyler, bu çalışmaların yöntemleri, deney yapılış teknikleri, deney numunesi üretim kriterleri ve standartlarını referans alınarak geliştirilmiştir.

Benzer çalışmaların deneysel çalışmalar bölümlerinde, yapının kendi ağırlığını simule eden düşey yük uygulaması ve deprem yükü gibi etkileri simule eden yatay yük etkisindeki tuğla duvarlara yapılan güçlendirmenin etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu araştırmalarda güçlendirme malzemesi olarak kendiliğinden yerleşen beton, hasır çelik donatılı sıva, farklı oranlarda cam lifi ve karbon lifi takviyeli polimer şerit malzemeler, farklı güçlendirme yöntemleriyle denenmiştir. Bu deneysel çalışma tuğla duvarın dayanımındaki değişime alternatif bir çözüm bulmaya yöneliktir. Bu amaçla deney değişkenleri olarak; CFRP malzemesinin güçlendirme uygulamasındaki şekli, miktarı, çeşitleri (Şerit CFRP ve Dokuma CFRP) kabul edilmiştir. Deney sabitleri ise; tuğla duvar örneklerindeki numune boyutları, harç karışım oranları, yükleme eksen, tuğla cinsidir.

#### **3.2. Deney Programı**

Deneysel çalışmalar, ön deneyler ve ana deneyler olmak üzere iki bölümde planlanmıştır. Ön deneylerde öncelikle tuğla duvarı oluşturan harç malzemesinin oranlarını tespit etmek için farklı oranlarda bileşenler kullanılarak harç basınç dayanımları araştırılmıştır. Çeşitli boyutlarda kesilen dolu tuğla numuneleri üzerinde de testler yapılmış, tuğlanın basınç dayanımı tespit edilmiştir. Ana deneyler 3 adet seriden oluşacak şekilde planlanmıştır. Her bir seri için 12 adet tuğla duvar numunesi üretilmiştir. Bir seri de, 6'şar adet olmak üzere önceden hasar verilmiş ve hasarsız

tuğla duvar numuneleri oluşturulmuştur. Hasarlı duvarlar yalın tuğla duvarların basınç yükü altında yükleme yapılmasıyla oluşturulmuş ve ardından epoksi ile tamir edilmişlerdir. Hasara uğrayan örnekler epoksi ile tamirlerinin ardından eski dayanımlarına ulaşmıştır. Her bir seride farklı güçlendirme metodu uygulanarak, güçlendirilen numunelere tek eksenli yük uygulaması yapılmıştır. Göçme gerçekleşinceye kadar yük uygulaması devam ettirilmiştir. Farklı yük kademelerinde mekanik ekstansometre cihazı ile yer değiştirme miktarları belirlenmiştir.

Deneysel çalışmalar kapsamında aşağıdaki testler uygulanmıştır:

- Şerit CFRP kullanılarak güçlendirilen deney örneklerine basınç kuvveti uygulanmış, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün, yer değiştirme miktarının belirlenmesi.
- Dağınık CFRP kullanılarak güçlendirilen deney örneklerine basınç kuvveti uygulanmış, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün, yer değiştirme miktarının belirlenmesi.
- Dokuma CFRP kullanılarak güçlendirilen deney örneklerine basınç kuvveti uygulanmış, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün, yer değiştirme miktarının belirlenmesi.
- CFRP malzemesinin tuğla duvar yüzeyine yapışmasını sağlayan epoksinin aderansını ölçmek için çekme deneyi yapılması

### **3.3.Deney Ortamı ve Kullanılan Cihazlar**

Deneysel çalışmalar sırasında harç örneklerinin kalıplanması sırasında  $160\pm 4$ mm uzunluğunda,  $40\pm 4$ mm genişliğinde,  $40\pm 4$ mm yüksekliğinde üçlü çelik kalıplar kullanılmıştır. Su emme deneylerinde kronometre, kıvam tayini için titreşim masası, sarsma deney aleti, tuğla duvar örneklerinin örülmesinde dik olarak birleştirilmiş ahşap pano kullanılmıştır. CFRP malzemesinin kesilmesinde demir testere, makas ve maket bıçağı kullanılmıştır. Yalın tuğla duvarlar ve güçlendirilen numunelere 20KN basınç yükü uygulayabilen, ayrıca küp veya silindir şeklindeki beton kontrol örneklerine en fazla 3000 KN basınç yüklemesi yapabilen Alman üretimi Seidner marka test cihazı kullanılmıştır. Yer değiştirme ölçmelerinde 0.01mm hassasiyetli ölçüm yapabilen Sagonomiya markalı mekanik ekstansometre kullanılmıştır. Aderans tespit etmek için çekme deneyi cihazı Pull Off Tester kullanılmıştır. Ayrıca

deneylerde kullanılan epoksi yapıştırıcısının standart mukavemetini tespit etmek için 50mm çapında çelik başlık epoksiyi yapıştırılarak çekme deneyi yapılmıştır. Deneysel ortam koşulları, uygulanan tekniğin şantiyede uygulanabilme amacına bağlı olarak +5°'nin üzerindeki normal ortam koşulları olarak kabul edilmiştir.

### 3.4 Tuğla Duvar Bileşenlerini Oluşturan Malzemeler

#### 3.4.1. Kum

Tuğla duvarların üretiminde derz kalınlıklarının 5mm olması sebebiyle, harcın oluşturulmasında maksimum dane çapı 1mm olan kum kullanılmıştır.

Kum malzemesi İstanbul Kemerburgaz'daki Akça Kum Ocağı'ndan temin edilmiştir.

##### A.Kumun Elek Analizi

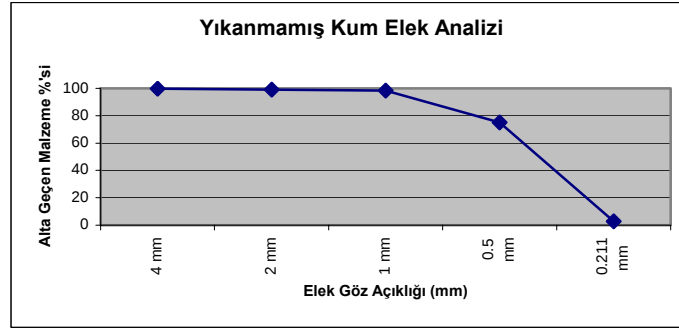
Çeşitli elekler kullanılarak yıkanmış (Tablo 3.1) ve yıkanmamış (Tablo 3.2) kumun elek analizleri verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Yıkanmış Kumun Elek Analizi

| Elek Göz Boyutu | Kalan Malzeme Miktarı(gr) |
|-----------------|---------------------------|
| 4mm             | 2,02                      |
| 2 mm            | 3,80                      |
| 1 mm            | 4,38                      |
| 0,5 mm          | 36,06                     |
| 0,211 mm        | 922,09                    |
| Toplama Kabı    | 30,70                     |

**Tablo 3.2:** Yıkanmamış Kumun Elek Analizi

| Elek Göz Boyutu | Kalan Malzeme Miktarı(gr) |
|-----------------|---------------------------|
| 4mm             | 2,07                      |
| 2 mm            | 6,14                      |
| 1 mm            | 9,10                      |
| 0,5 mm          | 231,65                    |
| 0,211 mm        | 723,83                    |
| Toplama Kabı    | 26,10                     |



**Şekil 3.1:** Kumun Granülometrik Eğrisi

Harç oluşturulmasında kullanılan kumun granülometrik eğrisi şekil 3.1’de görülmektedir.

B. Kumun Birim Ağırlık Tayini Deneyi:

**Tablo 3.3:** Kumun Birim Ağırlık Tablosu

| Su Dolu Kavanoz Ağırlığı (gr) | Malzeme Ağırlığı (gr) | Su Dolu Kavanoz Ağırlığı+malzeme Ağırlığı (gr) | Kumun Birim Ağırlığı (kg/dm <sup>3</sup> ) |
|-------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 341,29                        | 30,00                 | 359,98                                         | 2,65                                       |

### 3.4.2. Çimento

Deneyisel çalışmada harç için PÇ 32,5, tuğla duvar numunelerinin başlıkları için PÇ 52,5 torbalı Lafarge Aslan Çimento malzemesi kullanılmıştır. Bu çimento, Portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. Kullanılan çimento ile ilgili özellikler, çimento fabrikası tarafından çalışmalarla belirlenen standart değerlerdir. Çimento teknik özellikleri Tablo 3.4’de verilmiştir. Çimento birim ağırlığı tablo 3.5’de görülmektedir.

**Tablo 3.4:** Çimento Teknik Özellikleri

| Rilem Harcının Basınç Dayanımları (N/mm <sup>2</sup> ) | 2 günlük | 7 günlük | 28 günlük |
|--------------------------------------------------------|----------|----------|-----------|
| Lafarge Aslan Çimento                                  | 22       | 36       | 34        |

**Tablo 3.5: Çimento Birim Ağırlık Tablosu**

| Su Dolu Kavanoz<br>Ağırlığı (gr) | Malzeme Ağırlığı<br>(gr) | Su Dolu Kavanoz<br>Ağırlığı+Malzeme<br>Ağırlığı (gr) | Çimento Birim Ağırlığı<br>(kg/dm <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 340,76                           | 30,00                    | 361,16                                               | 3,125                                           |

### 3.4.3. Tuğla

Tuğla duvar numunelerinde Çorum Harman Tuğla Fabrikası tarafından üretilen 19cm x 9cm x 5cm boyutlarında olan dolu harman tuğlaları kullanılmıştır. (Şekil 3.2) Model tuğla duvarlar bu dolu tuğlaların 9,5cm x 4,5cm x 2,5cm boyutlarında olacak şekilde kesilmesiyle oluşturulmuştur. Kesimler elmas uçlu testere ile yapılmıştır. Kesim esnasında sapmalar nedeniyle küçük miktarlarda boyut değişimleri olmuştur. Tuğla duvar numuneleri örülmeden önce kesilmiş tuğlalar, harcın suyunu emmemesi için ıslatılmışlardır.



**Şekil 3.2:** Harman Tuğlaları

## 3.5. Ön Deneyler

### 3.5.1. Harç Üzerinde Yapılan Deneyler

Model tuğla duvarların üretilmesinde kullanılan harç için, çimento: kum: su oranı 1:3,5:0,70 olacak şekilde harç karışımları oluşturulmuştur. Bu karışım için 4cm x 4cm x 16 cm' lik, 9 adet numune hazırlanmıştır. Her bir üç numune 7, 14 ve 28 gün sonra kırılmıştır.

A. Harç Basınç Dayanımı Tayini:

Tuğla duvar üretiminde kullanılan harçtan 3 adet numune 7. günde denenmiştir. Ortalamaları alınan bu örnek harçların 7 günlük ortalama basınç dayanımı Tablo 3.6'da verilmiştir.

**Tablo 3.6:** Harcın 7 Günlük Basınç Dayanımı

| Numune No | Kırılma Yüğü (N) | 7 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) | 7 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1         | 13000            | 7,89                                          | 8,22                                                     |
| 2         | 14000            | 8,28                                          |                                                          |
| 3         | 14000            | 8,50                                          |                                                          |

Tuğla duvar üretiminde kullanılan harçtan 3 adet numune 14. günde denenmiştir. Ortalamaları alınan bu örnek harçların 14 günlük ortalama basınç dayanımı tablo 3.7’da verilmiştir.

**Tablo 3.7:** Harcın 14 Günlük Basınç Dayanımı

| Numune No | Kırılma Yüğü (N) | 14 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) | 14 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1         | 20000            | 12,06                                          | 11,65                                                     |
| 2         | 19000            | 11,40                                          |                                                           |
| 3         | 19000            | 11,51                                          |                                                           |

Tuğla duvar üretiminde kullanılan harçtan 3 adet numune 28günde denenmiştir. Ortalamaları alınan bu örnek harçların 28ünlük ortalama basınç dayanımı Tablo 3.8’da verilmiştir.

**Tablo 3.8:** Harcın 28 Günlük Basınç Dayanımı

| Numune No | Kırılma Yüğü (N) | 28 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> ) | 28 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1         | 27000            | 15,72                                          | 15,63                                                     |
| 2         | 26000            | 15,18                                          |                                                           |
| 3         | 27000            | 16,00                                          |                                                           |

#### B. Harç Kıvam Tayini:

Harcın kıvamını belirlemek için sarsma tablası kullanılarak deney yapılmıştır. Deney yatay bir tablayı belli bir yükseklikten düşürmek suretiyle yapılmıştır. Tablanın üzerine sactan yapılmış kesik koni kalıp, çapı küçük olan daire yüzeyi üste gelecek şekilde yerleştirilip, içi kıvamı ölçülecek taze harç ile doldurulur. Daha sonra kalıp şakuli olarak yukarı çekilerek çıkartılır. Kesik koninin yüksekliği küçük olduğu için taze harç kendi ağırlığı altında yıkılmadan koninin şeklini muhafaza eder. Dişliye bağlı olan bir kol yardımıyla tabla 12,5 mm yükseklikten 10 sn.’de 15 kez düşürülür.

Bu işlem sonunda taze harç tabla üzerinde dairesel olarak yayılır. Yayılmış harcın çapı ölçülür ve yayılmamış harcın çapına oranlanılırsa harcın işlenebilme özelliği yani kıvamı bulunur. (Şekil 3.9)

R: Yayılmış Taze Harcın Çapı

r: Yayılmamış Taze Harcın Çapı

Kıvam= R/r

**Tablo 3.9:** Taze Harç Kıvam Deneyi Sonuçları

| Numune No | R1 (cm) | R2 (cm) | R3 (cm) | Rort (cm) | r (cm) | Kıvam | Kıvam ort |
|-----------|---------|---------|---------|-----------|--------|-------|-----------|
| Harç 1    | 14,8    | 14,6    | 14,4    | 14,6      | 10     | 1,46  | 1,48      |
| Harç 2    | 15,2    | 14,8    | 15      | 15,0      | 10     | 1,50  |           |
| Harç 3    | 14,8    | 14,9    | 14,7    | 14,8      | 10     | 1,48  |           |

C. Harcın Birim Ağırlık Tayini Deneyi:

Harcın birim ağırlığını tayin etmek için hacmi belli çelik kalıplar önceden tartılmış, sonra harç ile doldurulup titreşim masasında sıkıştırılmış, üzerindeki fazla harçlar mala ile düzeltilip tekrar tartılmıştır. İki tartım arasındaki farkı hacme (4x4x16x3) bölerek birim hacme isabet eden birim ağırlık bulunmuştur.(Şekil 3.10)

**Tablo 3.10:** Harç Birim Ağırlık Tablosu

| Kalıp No | Boş Kalıp Ağırlığı (kg) | Dolu Kalıp Ağırlığı (kg) | Harcın Birim Ağırlığı (kg/dm <sup>3</sup> ) | Harcın Birim Ağırlığı Ort. (kg/dm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1        | 10,2                    | 11,82                    | 2,11                                        | 2,13                                             |
| 2        | 9,68                    | 11,3                     | 2,11                                        |                                                  |
| 3        | 10,13                   | 11,8                     | 2,17                                        |                                                  |

D. Kapiler Su Emme Tayini Deneyi:

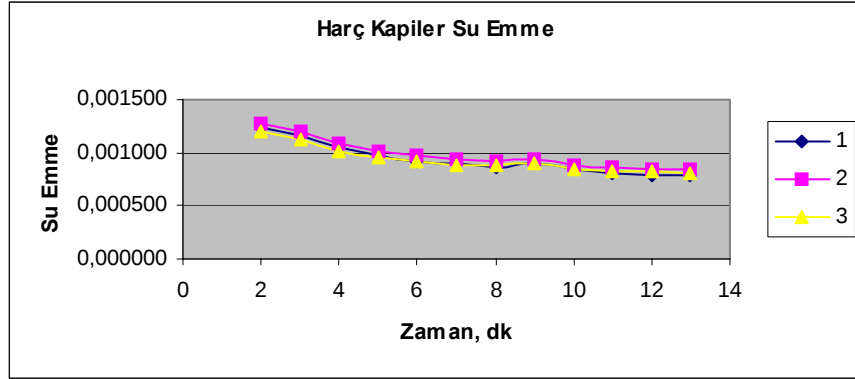
Kapiler (kılcal) su emme tayini, cismin alt yüzeyinden suya değdirilmesi ve kılcallık yoluyla suyun zamana bağlı olarak yükselmesi ile saptanan bir büyüklüktür. Sonuçta malzemenin ağırlık artışı ile kılcal su emme katsayısı belirlenir. Birimi cm<sup>3</sup> /cm<sup>2</sup>√dk ‘dir.

Bu çalışmada 4 x 4 x 16 cm boyutlarında üretilen harç örnekleri 28 günlük iken su emme tayini deneyleri yapılmıştır. Deney sırasında örnekler tartılmış ve bir kaba örneklerin oturtulacağı bagetler yerleştirilmiştir, örneklerin sadece alt yüzleri suya değecek şekilde su ilavesi yapılmıştır. Bir kronometre yardımı ile süre tutulmuş ve

aralıklarla tartımlar yapılmıştır. Deney boyunca su seviyesi kontrol edilmiş, örneklerin tabanından yukarı çıkmasına izin verilmezken, su seviyesi düştüğünde, su ilavesi yapılmıştır.

$$N=(m_1-m_0)/(A\sqrt{t}) \quad (3.01)$$

Harcın ait kapiler su emme değerleri Tablo 3.11’de ve su emme eğrisi Şekil 3.3’de verilmiştir.



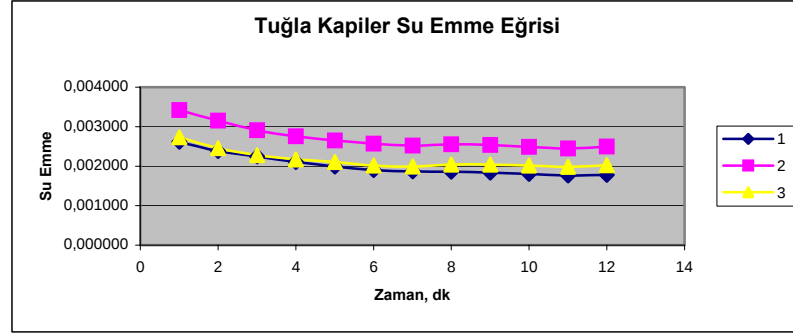
**Şekil 3.3:** Harç Kapiler Su Emme Eğrisi

**Tablo 3.11:** Harç Kapiler Su Emme Değerleri

|                                            | 1       | N        | 2       | N        | 3       | N        |
|--------------------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| a (mm)                                     | 40,05   |          | 40,22   |          | 40,19   |          |
| b (mm)                                     | 40,94   |          | 41,39   |          | 41,48   |          |
| L (mm)                                     | 160,00  |          | 160,00  |          | 160,00  |          |
| A (mm <sup>2</sup> )                       | 1639,65 |          | 1664,71 |          | 1667,08 |          |
| Etüv Kuru Ağırlığı(gr)                     | 484,65  |          | 495,90  |          | 496,79  |          |
| Ortam Nem Ağırlığı(gr)                     | 485,45  |          | 496,63  |          | 497,75  |          |
| İlk Ağırlık(gr)                            | 485,79  |          | 496,96  |          | 498,12  |          |
| 4 dk.                                      | 489,87  | 0,001244 | 501,22  | 0,001280 | 502,09  | 0,001191 |
| 9 dk.                                      | 491,55  | 0,001171 | 502,95  | 0,001199 | 503,70  | 0,001116 |
| 16 dk.                                     | 492,67  | 0,001049 | 504,18  | 0,001084 | 504,82  | 0,001005 |
| 25 dk.                                     | 493,81  | 0,000978 | 505,45  | 0,001020 | 506,04  | 0,000950 |
| 36 dk.                                     | 494,92  | 0,000928 | 506,66  | 0,000971 | 507,25  | 0,000913 |
| 49 dk.                                     | 496,02  | 0,000891 | 507,88  | 0,000937 | 508,51  | 0,000890 |
| 1 sa 4 dk.                                 | 497,19  | 0,000869 | 509,11  | 0,000912 | 509,80  | 0,000876 |
| 1 sa 21 dk.                                | 498,99  | 0,000895 | 511,02  | 0,000938 | 511,70  | 0,000905 |
| 1 sa 40 dk.                                | 499,52  | 0,000837 | 511,65  | 0,000882 | 512,34  | 0,000853 |
| 2 sa 01 dk.                                | 500,47  | 0,000814 | 512,74  | 0,000862 | 513,38  | 0,000832 |
| 2 sa 24 dk.                                | 501,44  | 0,000795 | 513,83  | 0,000844 | 514,51  | 0,000819 |
| 2 sa 49 dk.                                | 502,59  | 0,000788 | 515,04  | 0,000835 | 515,78  | 0,000815 |
| NORT(cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> √dk) |         | 0,000938 |         | 0,000981 |         | 0,000930 |

### 3.5.2. Tuğla Üzerinde Yapılan Deneyler

Bu çalışmada 4 x 4 x 16 cm boyutlarında kesilen tuğla örnekleri su emme tayini deneyleri yapılmıştır. Deney sırasında örnekler tartılmış ve bir kaba örneklerin oturtulacağı bagetler yerleştirilmiştir, örneklerin sadece alt yüzleri suya değecek şekilde su ilavesi yapılmıştır. Bir kronometre yardımı ile süre tutulmuş ve aralıklarla tartımlar yapılmıştır. Örnek tuğlalara ait su emme değerleri Tablo 3.12’de ve su emme eğrisi Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4: Tuğla Kapiler Su Emme Eğrisi

Tablo 3.12: Tuğla Kapiler Su Emme Değerleri

|                                            | 1       | N        | 2       | N        | 3       | N        |
|--------------------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| a (mm)                                     | 41,09   |          | 42,10   |          | 42,61   |          |
| b (mm)                                     | 42,21   |          | 41,15   |          | 45,24   |          |
| L (mm)                                     | 160,00  |          | 160,00  |          | 160,00  |          |
| A (mm <sup>2</sup> )                       | 1734,41 |          | 1732,42 |          | 1927,68 |          |
| Etüv Kuru Ağırlığı(gr)                     | 474,70  |          | 403,61  |          | 464,62  |          |
| Ortam Nem Ağırlığı(gr)                     | 475,60  |          | 404,40  |          | 465,87  |          |
| İlk Ağırlık(gr)                            | 476,33  |          | 405,63  |          | 467,20  |          |
| 4 dk.                                      | 485,40  | 0,002615 | 417,49  | 0,003423 | 477,72  | 0,002729 |
| 9 dk.                                      | 488,74  | 0,002385 | 422,04  | 0,003157 | 481,40  | 0,002455 |
| 16 dk.                                     | 491,90  | 0,002244 | 425,79  | 0,002909 | 484,75  | 0,002276 |
| 25 dk.                                     | 494,60  | 0,002107 | 429,48  | 0,002753 | 488,09  | 0,002167 |
| 36 dk.                                     | 497,06  | 0,001992 | 433,15  | 0,002648 | 491,54  | 0,002104 |
| 49 dk.                                     | 499,44  | 0,001903 | 436,78  | 0,002569 | 494,46  | 0,002020 |
| 1 sa 4 dk.                                 | 502,22  | 0,001866 | 440,61  | 0,002524 | 497,91  | 0,001991 |
| 1 sa 21 dk.                                | 505,43  | 0,001864 | 445,37  | 0,002549 | 502,55  | 0,002038 |
| 1 sa 40 dk.                                | 508,26  | 0,001841 | 449,52  | 0,002533 | 506,53  | 0,002040 |
| 2 sa 01 dk.                                | 510,71  | 0,001802 | 453,07  | 0,002489 | 509,95  | 0,002016 |
| 2 sa 24 dk.                                | 513,02  | 0,001763 | 456,53  | 0,002448 | 513,18  | 0,001988 |
| 2 sa 49 dk.                                | 516,56  | 0,001784 | 461,80  | 0,002494 | 517,89  | 0,002023 |
| NORT(cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> √dk) |         | 0,002014 |         | 0,002708 |         | 0,002154 |

Model tuğlaların mekanik özellikleri laboratuarda yapılan deneylerde tespit edilmiştir. Çeşitli oranlarda kesilerek oluşturulan örneklerle basınç yükü uygulanmıştır. Sonuçlara Tablo3.13’de yer verilmiştir.

**Tablo 3.13: Model Tuğlaların Mekanik Özellikleri**

| Tuğla Numune No | En ( mm ) | Boy ( mm ) | Yükseklik ( mm ) | Basınç Yüğü ( N ) | Basınç Dayanımı ( N/mm <sup>2</sup> ) | Ortalama Basınç Dayanımı ( N/mm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|-----------|------------|------------------|-------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1               | 80.77     | 60.15      | 91.85            | 120.000           | 24,7                                  | 18,92                                          |
| 2               | 74.60     | 53.93      | 78.43            | 80.000            | 20,0                                  |                                                |
| 3               | 75.04     | 55.83      | 70.30            | 82.000            | 19,1                                  |                                                |
| 4               | 47.75     | 61.50      | 70.39            | 35.000            | 11,91                                 |                                                |

### 3.6. Tuğla Duvarların CFRP ile Güçlendirilmesinde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

#### 3.6.1. Şerit CFRP

Deney programı çerçevesince Seri I içinde yer alan hasarlı ve hasarsız tuğla duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan karbon şerit malzemesidir. YKS firması tarafından üretilen ürünün kodu: MBT-MBRACE LAMINATE’dir. 10cm ve 5cm genişliğinde 1.2mm ve 1.4mm kalınlığında üretimleri yapılır. ( Tablo 3.14)

Tuğla duvar numunelerinin boyutlarının küçük olması nedeniyle, güçlendirme kararı alınırken tuğla duvara yapıştırılacak olan CFRP malzemesinin küçük genişlikte olacağı düşünülmüş şerit CFRP uygulamasına karar verilmiştir. Ürünün özellikleri aşağıdaki gibidir.[19]

A-Faydaları:

Geleneksel çelik plaka yapıştırma yöntemlerindeki plakalar yerine uygulaması çok daha kolay ve hafif bir sistemdir. Hesaplamalar sonucu ortaya çıkabilecek ek performansı sağlamak için donatı olarak kullanılabilirler. Çok hızlı şekilde uygulanırlar dolayısıyla maliyeti düşürürler. Servis yükleri nedeniyle oluşan sehimleri azaltırlar (rijitlikte artış). Kesit taşıma kapasitesi artışı sağlar (bina kullanım amacının değişmesi sonucu oluşan yeni yüklemeler için ). Tekrarlayan yüklere karşı dayanım artırır.

### B-Uygulama Esasları:

Uygulama yapılacak yüzey iyi durumda olmalıdır. Eğer yüzeyde herhangi bir bozukluk ya da yapısal hasar varsa giderilmelidir. Yüzeyde bulunan kir, pas, yağ, ve zayıf malzeme temizlenmelidir. Uygun bir solventle LAMINATE yüzeyi temizlenir. Bir kat (1–1,5mm)MBrace LAMINATE ADESIVO her iki yüzeye de sürülür. Yüzeye MBrace LAMINATE uygulanır, uygun bir rulo kullanılarak sabit bir basınçla malzeme fiberler yönünde gerilir ve yüzeye oturması sağlanır. Kullanılan aletler hemen uygun bir aletle temizlenmelidir.

UV ışınlarına maruz kalacak yüzeyler iki gün ( maksimum yedi gün) içinde yüzeyle aderansın tam olarak sağlanabilmesi amacıyla UV dayanımlı bir malzemeyle kaplanmalıdır. Bu malzeme 150m uzunluğunda rulolar halinde ambalajlanır.

Deney numuneleri şerit CFRP uygulamasından sonra bir hafta boyunca, yapılan güçlendirmenin mukavemetini alması için, laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bir hafta sonunda güçlendirilen duvar numuneleri deneye tabii tutulmuştur.

**Tablo 3.14:** Şerit CFRP İçin Tipik Performans Değerleri[19]

| Tip                                             | Mbrace LAMINATE LM |          |           | Mbrace LAMINATE HM |          |           |
|-------------------------------------------------|--------------------|----------|-----------|--------------------|----------|-----------|
|                                                 | LM 5/1,2           | LM10/1,2 | LM 10/1,4 | HM 5/1,2           | HM10/1,2 | HM 10/1,4 |
| Karakteristik çekme mukavemet, $f_{tk}$ (Mpa)   | 3000               | 3000     | 3000      | 2750               | 2750     | 2750      |
| Maksimum Yük, KN                                | 180                | 360      | 420       | 165                | 330      | 385       |
| Karakteristik elastisite modülü, $E_{tk}$ (MPa) | 165 000            | 165 000  | 165 000   | 200 000            | 200 000  | 200 000   |
| Kalınlık s, mm                                  | 1,2                | 1,2      | 1,4       | 1,2                | 1,2      | 1,4       |
| Genişlik L, mm                                  | 50                 | 100      | 100       | 50                 | 100      | 100       |
| Kopmada uzama $\epsilon_u$ %                    | 1,8                | 1,8      | 1,8       | 1,4                | 1,4      | 1,4       |

### 3.6.2. Şerit CFRP Yapıştırıcısı ( Epoksi Esaslı Yapıştırıcı )

Bu malzemeyle Seri I ve Seri II de uygulanan şerit CFRP’lerin tuğla duvar yüzeyine yapıştırılması sağlanmıştır. Bu sistem özel olarak geliştirilmiş epoksi esaslı yapıştırıcıdır. YKS firması tarafından üretilen ürünün kodu: MBT-MBRACE LAMINATE ADESIVO’ dur. (Tablo 3.15) Malzeme teknik özellikleri YKS ürün kılavuzundan alınmıştır. Uygulama bu esaslara göre yapılmıştır.

Hasarlı parçalar temizlenmiş ve mümkün oldukça pürüzsüz, yüzey nemden ve tozdan arındırılmış olmalıdır. Yapıştırıcı uygulanmadan önce yüzeye epoksi esaslı astar uygulanır. Belli bir süre beklenildikten sonra bu yüzeye yapıştırıcı sürülerek uygulanır.

Yapıştırıcı komponent A ve komponent B olmak üzere iki bileşenden oluşur. komponent A yapıştırıcının reçinesidir. Komponent B sertleştiricidir. Bu maddeler tek başlarına etkili değildir. Komponent A'yı B'ye karıştırmadan önce mekanik olarak karıştırılır. Bileşenler karışım oranı ağırlıkça A: 1 B:1 olacak şekilde bir kaba koyulur. Homojen bir karışım elde etmek için yaklaşık bir dakika boyunca karıştırılır. Yapıştırıcı her iki yüzeye de 1-1.5mm olacak şekilde sürülür. Malzemenin cilt ile temas etmemesine özen gösterilmelidir. Kazara temas olursa temas bölgesi hemen su, sabun ya da uygun bir deterjanla yıkanmalıdır. Malzemenin buharı kesinlikle solunmamalıdır, kapalı ortamlarda yapılan uygulamalarda mekân havalandırılmalıdır. Malzeme 6 litre set olarak uygulanır.

**Tablo 3.15:** Şerit CFRP Yapıştırıcısının Teknik Özellikleri[19]

|                                    |                           |
|------------------------------------|---------------------------|
| Basınç Mukavemeti                  | > 6 N/mm <sup>2</sup>     |
| Eğilme Mukavemeti                  | > 30 N/mm <sup>2</sup>    |
| Betona Aderansı                    | > 3,5 N/mm <sup>2</sup>   |
| Çeliğe Aderansı                    | > 5 N/mm <sup>2</sup>     |
| Karışım Oranı (Hacimce, Ağırlıkça) | Komp.A: % 50 Komp.B: % 50 |
| Elektrik direnci                   | 1014W.m                   |

### 3.6.3. Dokuma CFRP

Deney programında yer alan Seri III içinde karbon dokuma malzemesi kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. YKS firması tarafından üretilen ürünün kodu: MBT-MBRACE FIBRE'dir. Bu CFRP sistemi 50cm genişliğinde 165 mikron kalınlığında, tek yönlü karbon fiber donatısıdır. Lifli yapıdan meydana geldiği için numune boyutları düşünülerek şerit CFRP de uygulanan küçük genişlikte uygulanamamıştır. Bunun yerine bu malzeme numune boyutlarının küçük olduğu dikkate alınarak model tuğla duvarların tüm yüzüne uygulanmıştır. Böylece daha küçük oranlarda olan ve dağınık yapılan diğer serilerle karşılaştırma olanağı elde edilmiştir. Malzemenin özellikleri ile ilgili bilgiler firmanın standartlarına göre aşağıdaki gibidir: ( Tablo 3.16)

A-Kullanım Alanları:

Yığma yapıların güçlendirilmesinde, beton kirişlerin eğilme ve kesmeye karşı güçlendirilmesinde, beton döşeme ve kolonların eğilmeye karşı güçlendirilmesinde, ahşap kirişlerin eğilmeye karşı güçlendirilmesinde, çok büyük boyutlardaki betonarme kiriş ve döşemelerin sehimlerini azaltmakta Çarpma sonucu öngerilmesini kaybetmiş betonarme prekast elemanların güçlendirilmesinde kullanılabilirler.

### B-Özellikleri:

Çok hafiftir ve kolay taşınır. İki yönde de az zayıyla istenildiği kadar makas veya maket bıçağı ile kesilebilir. Tek yönlü liflerden oluşur. Bu özellik eğilme ve kesmeye karşı yapılan güçlendirmede tasarım ve uygulama açısından büyük kolaylık sağlar. Yorulma dayanımı yüksektir. Sünme değeri çok düşüktür. Darbelere karşı aşırı dayanım sağlar. Aşınma dayanımı yüksektir. Islak ve agresif kimyasal ortamlarda durabilite sağlar.

**Tablo 3.16: Dokuma CFRP İçin Tipik Performans Değerleri[19]**

| Malzeme Özellikleri                                  | Mbrace Fibre C1-30 C5-30 | Mbrace9 Fibre C8-30 G-60AR | Mbrace9 Fibre EG-60 | Mbrace9 Fibre     | Mbrace9 Fibre     |
|------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| Betona aderansı<br>a) pr EN 1542 (direkt)            | > Gtc (bet kopar)        | > Gtc (bet kopar)          | > Gtc (bet kopar)   | > Gtc (bet kopar) | > Gtc (bet kopar) |
| Betona aderansı<br>b) pr EN 12615 (kayma)            | > Tc (bet kopar)         | > Tc (bet kopar)           | > Tc (bet kopar)    | > Tc (bet kopar)  | > Tc (bet kopar)  |
| Isı geçirgenliği, (50 çevrim, draft EN 104-840-3)    | Pozitif                  | Pozitif                    | Pozitif             | Pozitif           | Pozitif           |
| Çekme Mukavemeti, ASTM 3039 karakteristik,           | >3430                    | >3000                      | >1900               | >1700             | >1700             |
| ftk (MPa) bindirme boyunca (1s D 20 cm), (MPa) birim | >3430                    | >3000                      | >1900               | >1700             | >1700             |
| uzunluk için karakteristik değer, ftkl, (N/mm) > 565 | >495                     | >270                       | >390                | >390              |                   |
| Karakteristik Elastisite Modülü, Etk (MPa)           | 230000                   | 390000                     | 640000              | 65000             | 65000             |
| Kopmada uzama eu, %                                  | 1.5                      | 0.8                        | 0.3                 | 2.8               | 2.8               |
| Su buharı geçirgenliği katsayısı u, DIN 52615        | < 105                    | < 105                      | < 105               | < 105             | < 105             |

### C-Uygulama

Bir kat bu türde fiberin yapıştırıcısı uygulandıktan sonra, fiber gerdirilerek yerine yerleştirilir. Uygun bir rulo ile fiberlerin doğrultusunda bastırılarak yapıştırıcının malzemenin içine işlemesi sağlanır. Bir kat daha yapıştırıcı sürülür. Malzeme 50cm x 1000cm rulo olarak ambalajlanır. Malzeme kapalı, nemden, yangından, alevden ve direkt güneş ışığından uzak tutulmalı, havalandırılmış ve kuru yerde saklanmalıdır. Seri III içinde yer alan numunelerin güçlendirilmesinde kullanılan dokuma CFRP malzemesinin performans değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

#### 3.6.4.Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ( Epoksi Esaslı Yapıştırıcı )

Dokuma CFRP yapıştırıcısıyla Seri III içinde yer alan tuğla duvar numunelerinin dokuma karbon fiberle yapıştırılarak güçlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu

malzeme YKS firmasının ürünü olan MBT-MBRACE ADESIVO (SATURANT)'dır. Malzeme özellikleri Tablo 3.17'de belirtilmiştir.

A-Özellikleri:

Epoksi esaslıdır. Solventsizdir. Rulo ile uygulanır.

B-Uygulama

Komponent A ve component B olmak üzere iki bileşenden meydana gelir. Komponent A yapıştırıcının reçinesidir. Komponent B sertleştiricidir. Komponent B'yi eklemeden önce component A mekanik olarak karıştırılır. Komponent B eklendikten sonra homojen karışım elde etmek için yaklaşık bir dakika kadar karıştırılır. Astardan sonra yüzeye ilk kat olarak uygulanır. Fiber dokuma yapıştırıldıktan sonra tekrar bir kat daha uygulanır. Diğer yapıştırıcıyla benzer güvenlik önlemleri alınmalıdır. Seri III uygulaması yukarıda anlatılan esaslara göre yapılmıştır.

**Tablo 3.17:** Dokuma CFRP Yapıştırıcısının Teknik Özellikleri[19]

|                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Renk                        | Mavi                                 |
| Reçine Tipi                 | Epoksi                               |
| Katı Madde Oranı            | %80                                  |
| Yoğunluk                    | 1,02±0,024kg/lt                      |
| Basınç Mukavemeti           | > 80 N/mm <sup>2</sup>               |
| Çekme Mukavemeti            | > 50 N/mm <sup>2</sup>               |
| Eğilme Mukavemeti           | > 120 N/mm <sup>2</sup>              |
| Çekme Elastisite Modülü     | > 3000 N/mm <sup>2</sup>             |
| Eğilme Elastisite Modülü    | > 3500 N/mm <sup>2</sup>             |
| Betona Aderansı (EN 1542)   | >Gtr (b.kopma)                       |
| Viskozite                   | 1600 mPa.s                           |
| Maksimum Uzama              | % 2.5                                |
| Tava Ömrü                   | 20°C; 30 dak.                        |
| Tam sertleşme               | 20°C; 7 gün                          |
| Karışım Oranı (Hacimce)     | Komp.A: % 75<br>Komp.B: % 25         |
| Karışım Oranı (Ağırlıkça)   | Komp.A: % 76<br>Komp.B: % 24         |
| Üstünün kaplanabilme süresi | Tavsiye edilen: 48 saat Maks.: 7 gün |
| Parlama Sıcaklığı           | 72°C                                 |
| Aletlerin Temizlenmesi      | Metil etil ketonlar veya aseton      |

### 3.6.5. Epoksi Esaslı Astar

CFRP ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerine bu malzeme ve Yapıştırıcı uygulanmadan önce astar uygulanmıştır. Bu astar malzemesi YKS firmasının ürünü olan MBT-MBRACE PRIMER'dir. Malzeme özellikleri tablo 3.18'de verilmiştir. Astar malzemesi iki bileşenli, düşük viskoziteli, yüzey kondisyonunu arttıran, epoksi dolgu/düzeltilme macunu ve yapıştırıcı uygulamaları öncesi yüzey hazırlığında

kullanılan, epoksi esaslıdır. CFRP'nin alt tabaka ile aderansını garanti altına almak için kullanılır.



**Şekil 3.5:** Tuğla Duvar Yüzeyine Astar Uygulaması

**Tablo 3.18:** Astarın Teknik Özellikleri[19]

|                             |                                                              |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Renk                        | Şeffaf                                                       |
| Reçine Tipi                 | Epoksi poliamin                                              |
| Katı Madde Oranı            | % 100                                                        |
| Yoğunluk                    | 1,08±0,024kg/lt                                              |
| Çekme Mukavemeti            | > 12 N/mm <sup>2</sup>                                       |
| Eğilme Mukavemeti           | > 24 N/mm <sup>2</sup>                                       |
| Çekme Elastisite Modülü     | > 700 N/mm <sup>2</sup>                                      |
| Eğilme Elastisite Modülü    | > 580 N/mm <sup>2</sup>                                      |
| Betona Aderansı (EN 1542)   | > Otn (b.kopma)                                              |
| Maksimum Uzama              | %3                                                           |
| Tava Ömrü                   | -1°C; 8 saat<br>7°C; 2 saat<br>21 °C; 45dk<br>32°C; 25 dk    |
| Ele bulaşmama               | -1°C; 20 saat<br>7°C; 9 saat<br>21°C; 5 saat<br>32°C; 3 saat |
| Uygulama Kalınlığı          | 90 m                                                         |
| Karışım Oranı (Hacimce)     | Komp.A: % 75<br>Komp.B: % 25                                 |
| Karışım Oranı (Ağırlıkça)   | Komp.A: % 77<br>Komp.B: % 23                                 |
| Üstünün kaplanabilme süresi | Min. Ele bulaşmadığı zaman<br>Maks. 48 saat                  |
| Parlama Sıcaklığı           | A: 95.4°C ; B: 109°C                                         |

Uygulama yapılacak yüzey pürüzsüz olmalıdır. Herhangi bir yağ, kir, pas bulunmamasına dikkat edilmelidir. Yüzey hazırlığı tamamlandıktan sonra; iki bileşenden oluşan astar (komp. A ve komp. B) malzemesinin B bileşeni A bileşenine eklenerek, 3–4 dakika karıştırılmalıdır. Karışım oranı ağırlıkça %77 A bileşeni, %23 de B bileşenidir. Astar rulo veya fırça yardımıyla yüzeye sürülebilir. Malzemenin cilt ile temasından kaçınılmalı, buharı kesinlikle solunmamalıdır. Kapalı ortamlarda

yapılan uygulamalarda sürekli havalandırma yapılmalıdır. Seriler için yapılan güçlendirme çalışmalarında yukarıdaki esaslar dikkate alınarak uygulamalar yapılmıştır. ( Şekil 3.5 )

### 3.7. Aderans Deneyi Sonuçları

#### 3.7.1. Şerit CFRP Yapıştırıcısı Aderans Deneyi Sonuçları

Deneysel çalışmada tuğla duvarın güçlendirilmesinde kullanılan Şerit CFRP tipinin duvar yüzeyine yapıştırmakta kullanılan epoksi esaslı yapıştırıcısının aderans değerlerini tespit etmek için çeşitli testler yapılmıştır. Dolu tuğla örneklerine, beton ve çelik örneklerine yapıştırıcılar sürülüp 5cm çapındaki standart alüminyum başlığın tabanı bu yüzeye yapıştırılmış, aderans değerlerini bulmak için Pull Off Test cihazı kullanılarak çekme deneyi yapılmıştır. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6: Aderans Deneyi Düzeneği (Pull Off Test cihazı)



Şekil 3.7: Tuğla, Beton Yüzeylerde Astar Uygulaması

Şerit CFRP yapıştırılmasında kullanılan (YKS MBT-Mbrace Laminate Adesivo) epoksi esaslı yapıştırıcıya ait aderans deneyi sonuçları Tablo 3.19’de verilmiştir.

Dolu tuğla yüzeyi zımpara yardımıyla temizlenmiş ve pürüzlendirilmiştir. İlk olarak astar sürülmüş ardından şerit CFRP yapıştırıcısı uygulanmış son olarak alüminyum başlık yapıştırılmıştır. (Şekil 6.30)

**Tablo 3.19:** Şerit CFRP Yapıştırıcısı ve Tuğla Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey | Kopma Yüğü (N) | Ortalama Kopma Yüğü (N) |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Tuğla              | 4860           | 3330                    |
| 2         | Tuğla              | 3350           |                         |
| 3         | Tuğla              | 1780           |                         |

Kopma tuğlanın kendisinde olmuş, alüminyum başlık epoksi ve 1-2cm uzaklığındaki tuğla yüzey ayrılmamıştır. Ayrılma tuğlanın zayıflığından kaynaklanmaktadır. Şekil 3.8’de numunelerin kopma mekanizmaları görülmektedir. Ortalama kopma değeri: ortalama kopma yüğü/alan:  $3330/3.14 \times 625 = 5,32 \text{ N/mm}^2$ ’dir.



**Şekil 3.8:** Şerit CFRP Yapıştırıcısı ile Tuğla Yüzeyin Kopma Mekanizmaları

Şerit CFRP yapıştırıcısının betonla aderansının belirlenmesi amacıyla benzer deney yapılmış ve yapıştırıcının beton yüzeyde nasıl davrandığı araştırılmıştır. Beton kopma deneyi sonuçları Tablo 3.20’de verilmiştir.

**Tablo 3.20:** Şerit CFRP Yapıştırıcısı ve Beton Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey        | Kopma Yüğü (N) | Ortalama Kopma Yüğü (N) |
|-----------|---------------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Beton                     | 5160           | 6520                    |
| 2         | Beton                     | 7880           |                         |
| 3         | Beton + epoksi+Şerit CFRP | 6420           | 6420                    |

Deney sonucunda kopmanın beton yüzeyden olduğı görölmüştür. (Şekil 3.9) Alüminyum başlık çevresindeki beton yüzey kopmamış, diğér alandaki betonu kopararak ayrılma olmuştur. Epoksinin uygulandığı yüzeyi ile olan aderansının oldukça iyi olduğı gözlemlenmiştir. Beton yüzeye Şerit CFRP ile uygulamada da ortalama sonuç oldukça yakın bulunmuştur. Buradan kopmanın yüzeyin durumuna bağılı olduğı sonucuna ulaşabiliriz. Ortalama kopma değeri: beton yüzey için  $6520/625 = 10,43 \text{ N/mm}^2$ , beton+epoksi+CFRP yüzey için  $6420/625 = 10,27 \text{ N/mm}^2$  dir.



**Şekil 3.9:** Şerit CFRP Yapıştırıcısı ile Beton Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları

Şerit CFRP yapıştırıcısının aderansı, çelik bir yüzeyde ayrılma deneyi yapılmak suretiyle de araştırılmıştır. (Şekil 3.10) Yapılan çekme deneyi sonucu ayrılma doğal olarak çelik yüzey ile epoksi arasında gerçekleşmiştir. Ancak yine de bir kısım

epoksi çelik yüzeyde kalmaktadır. Ortalama kopma yükü olarak betona ve tuğlaya göre daha yüksek bir değer elde edilmiştir. Bu da yapıştırıcının yüksek aderansı olduğunu, kopmaların çoğunlukla yapıştırıcıdan değil, uygulanan malzemeden meydana geldiğini göstermiştir. Ortalama kopma değeri:  $20263,33/625=32,42\text{N/mm}^2$ 'dir. Şerit CFRP yapıştırıcı ve çelik yüzey arasında uygulanan numunelere ait kopma yükü ve ortalama kopma yükü Tablo 3.21’de verilmiştir.

**Tablo 3.21:** Şerit CFRP Yapıştırıcı ve Çelik Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey | Kopma Yükü (N) | Ortalama Kopma Yükü (N) |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Çelik              | 17780          | 20263,33                |
| 2         | Çelik              | 21410          |                         |
| 3         | Çelik              | 21600          |                         |



**Şekil 3.10:** Şerit CFRP Yapıştırıcısı ile Çelik Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları

### 3.7.2. Dokuma CFRP Yapıştırıcısı Aderans Deneyi Sonuçları

Dokuma CFRP malzemesinin tuğla duvar yüzeyine yapıştırılmasında Dokuma CFRP uygulamalarında da kullanılan epoksi esaslı yapıştırıcı (MBT-Mbrace Adesivo - Saturant) kullanılmıştır. Benzer şekilde tuğla, beton ve çelik yüzey örnekleri kullanılarak bu yapıştırıcının farklı yüzeylerdeki aderans değerleri araştırılmıştır. Elde edilen veriler Tablo 3.22’de açıklanmıştır.

**Tablo 3.22:** Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ve Tuğla Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey | Kopma Yüğü (N) | Ortalama Kopma Yüğü (N) |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Tuğla              | 4960           | 5760                    |
| 2         | Tuğla              | 6650           |                         |
| 3         | Tuğla              | 5670           |                         |

Tuğla ile yapıştırıcı aderansının araştırıldığı deneyde kopmalar tuğladan meydana gelmiştir. Bir no'lu örnekte tuğla bölünmüştür. Kopma mekanizmaları Şekil 3.11 verilmiştir. Ortalama kopma değeri:  $5760/625 = 9,216 \text{ N/mm}^2$  dir.



**Şekil 3.11:** Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ile Tuğla Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları

Dokuma CFRP yapıştırıcısının beton yüzeyle olan aderansı araştırılırken astarlanan yüzeye epoksi sürülmüş bunun üzerine Dokuma CFRP yapıştırılmış, onun üzerine de bir kat daha epoksi uygulanmış, son olarak da alüminyum başlık uygulanmıştır. Ortalama kopma değeri  $11986,66/625 = 19,17 \text{ N/mm}^2$  dir. Deney sonuçları Tablo 3.23'da açıklanmıştır.

**Tablo 3.23:** Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ve Beton + Epoksi+Dokuma CFRP Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey       | Kopma Yüğü (N) | Ortalama Kopma Yüğü (N) |
|-----------|--------------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Beton+epoksi+Dokuma CFRP | 13400          | 11986,66                |
| 2         | Beton+epoksi+Dokuma CFRP | 11290          |                         |
| 3         | Beton+epoksi+Dokuma CFRP | 11270          |                         |

Beton yüzeyle ilgili test sonuçları Tablo 3.24’de verilmiştir. Ortalama kopma değeri:  $8120/625= 12,99 \text{ N/mm}^2$ ’dir.

**Tablo 3.24:** Dokuma CFRP Yap. ve Beton Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey | Kopma Yüğü (N) | Ortalama Kopma Yüğü (N) |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Beton              | 7710           | 8120                    |
| 2         | Beton              | 7850           |                         |
| 3         | Beton              | 8800           |                         |

Sonuç olarak ayrılma betonda gerçekleşmiştir. (Şekil 3.12) Bu deneyde epoksinin CFRP ile birlikte aderans değeri daha da artmış olduğu görülür. Ancak ayrılma yine betonda meydana gelmiştir.



**Şekil 3.12:** Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ile Beton Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları

Çelik yüzey üzerine epoksi sürülmüş ardından alüminyum başlık uygulanmıştır. Ayrıca epoksi sürüldükten sonra Dokuma CFRP uygulanmış tekrar epoksi sürülmüş olarak da çelik yüzeyde test yapılmıştır. Dokuma CFRP yapıştırıcısının çelik yüzeyle olan aderans değerleri Tablo 3.25 ve Tablo 3.26’da verilmiştir.

**Tablo 3.25:**Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ve Çelik Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey | Kopma Yüğü (N) | Ortalama Kopma Yüğü (N) |
|-----------|--------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Çelik              | 5260           | 6265                    |
| 2         | Çelik              | 7270           |                         |

**Tablo 3.26:**Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ve Çelik+Epoksi+Dokuma CFRP Yüzey Arasındaki Aderans Değerleri

| Numune No | Yapıştırılan Yüzey       | Kopma Yüğü (N) | Ortalama Kopma Yüğü (N) |
|-----------|--------------------------|----------------|-------------------------|
| 1         | Çelik+Epoksi+Dokuma CFRP | 7000           | 6650                    |
| 2         | Çelik+Epoksi+Dokuma CFRP | 6300           |                         |

Çelik yüzeyde ortalama kopma değeri:  $6265/625 = 10,02 \text{ N/mm}^2$ ’dir. Çelik + epoksi+Dokuma CFRP yüzeyde ortalama kopma değeri:  $6650/625 = 10,64 \text{ N/mm}^2$ ’dir. Ayrılma her iki yüzeyde de çelik ile epoksi yüzey arasında gerçekleşmiştir. (Şekil 3.13)



**Şekil 3.13:** Dokuma CFRP Yapıştırıcısı ile Çelik Yüzey Arasındaki Kopma Mekanizmaları

## **4.DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE DENEY PROGRAMI**

### **4.1. Giriş**

Deneysel çalışma amaca uygun olarak seçilen model tuğlalar kullanılarak üretilen model tuğla duvar numuneleri üzerinde yapılmıştır. Deneysel çalışma her biri 12 adet tuğla duvar numunesinden oluşan 3 seriden oluşmaktadır. Ayrıca 3 adet yalın tuğla duvar numunesine güçlendirme olmaksızın yükleme yapılmış, daha sonra hasarlı bu duvar numuneleri epoksi ile onarılarak; yalın tuğla duvar numunelerinin ortalama kırılma yükleri tespit edilmiş ve bu örnekler üzerine yapılan tamirin tuğla duvar dayanımı üzerine etkisi araştırılmıştır. Serilerde farklı oranlar ve şekillerde CFRP malzemesi kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. Her bir serinin ilk 6 numunesi güçlendirme olmaksızın hasara uğratılmış, diğer altı tuğla duvar numunesine ise doğrudan CFRP malzemesi uygulanmıştır. Bir seride hasarsız olarak teşkil edilen 6 adet tuğla duvar numunesinin 3 adeti çift yönlü olarak, 3 adeti tek yönlü olarak CFRP malzemesiyle güçlendirilmiştir. Aynı seri içinde hasarlı olarak teşkil edilen 6 adet numunenin 3 adeti çift yönlü olarak, 3 adeti de tek yönlü olarak teşkil edilmiştir. Yükleme sonucu elde edilen 3 sonucun ortalaması alınarak güçlendirmenin kesin sonucuna ulaşılmıştır.

Numuneler kendi düzlemleri içinde tek eksenli olarak basınç kuvvetine maruz bırakılmıştır. Basınç kuvvetinin uygulanabilmesi için başlıklar yapılmıştır. Yatay ve düşey yük etkisi altındaki kâgir duvarları simule edebilmek için tuğla duvar derzleriyle 45°'lik bir açı oluşacak şekilde yükleme yapılmıştır. Böylelikle kendi ağırlığından ve döşeme yüklerinden dolayı oluşan düşey yükler ile deprem ve rüzgâr gibi yatay yükler beraberce göz önüne alınmıştır. Tek eksenli teşkil edilen basınç kuvveti bu düşey ve yatay yüklerin bileşkesidir.

#### **4.1.1. Tuğla Duvar Numunelerinin Hazırlanması**

Dolu harman tuğlaları (19cm x 9cm x 5cm boyutlarında) elmas uçlu testere ile 9,5cm x 4,5cm x 2,5cm (Şekil 4.1) olarak kesilmişler bu tuğlalarda duvar kalınlığı 2,5cm ve derz aralığı 0,5cm olacak şekilde model tuğla duvarlar üretilmişlerdir. 90°'lik

açısıyla oluşturulan sehpa yardımıyla tuğla duvarların düzgün üretilmesi sağlanmış, üretim sırasında teraziyle kontroller yapılmıştır. Derz aralığının 0,5cm olması harç ile tuğla arasına konan metal çubuklar yardımıyla oluşturulmuş, tuğla duvar örülmesi tamamlandıktan sonra metal çubuklar alınmış ve tekrar numunenin şakülüne bakılmıştır. Şekil 4.2’de model tuğlalar örülmeden önce ıslatılarak suya doyurulup, yapım sırasında hafifçe kurutularak fazla suyu alınmıştır.



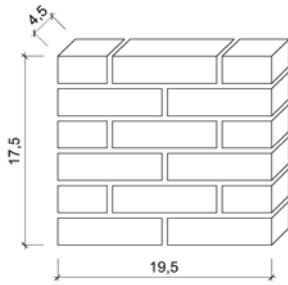
**Şekil 4.1:** Kesilmiş Model Tuğlalar



**Şekil 4.2:** Tuğla Duvar Numunesinin Hazırlanışı

#### **4.1.1.1. Numune Boyutları**

Duvar numunelerinin boyutları, yükleme yapılacak olan makinenin alanına ve boyuna göre belirlenmiştir. Buna göre 19,5cm x 17,5cm numuneler oluşturulmuş, duvar kalınlığı 4,5cm alınmıştır. Tuğla numuneler kesilerek oluşturulduğu için az da olsa ( $\pm 0.5\text{mm}$ ) değişim gösterebilmektedir. ( Şekil 4.3)



**Şekil 4.3:** Numune Boyutları



**Şekil 4.4:** Numunelerin Kürlenmesi

#### **4.1.1.2. Numunelerin Yapımı ve Korunması**

Seri-I’in 6 adet numunesi örülmüş ve kürelemeye bırakılmıştır. Sırasıyla Seri I’in diğer 6 adet numunesi ve diğer serilerin numuneleri örülmüştür. Numunelerin alt yüzlerine tahta parçası konularak yatay ve düzgün hale getirilmiştir. Numunelerin üzeri naylonla kapatılmış laboratuvar ortamında bir hafta bekletilmiştir. Oda sıcaklığı sabit tutulamamıştır. (Şekil 4.4)

#### 4.1.1.3. Numunelerin Başlıklarının Yapılması

Bir haftalık kürleme süresinin sonunda; 6cm x 6cm x 4,5cm boyutlarında çelik kalıp malzemesiyle ile hazırlanan kalıplar kullanılarak numunelerin başlıkları üretildi. Harç için çimento: kum = 1: 2 oranı seçilmiş, başlıkların tuğla duvara daha dayanıklı olması için çimento oranı PÇ 52,5 kullanılmıştır. Şekil 4.5’de numunelere başlık uygulaması görülebilir.



Şekil 4.5: Numunelere Başlık Uygulaması



Şekil 4.6: Deney Düzeneği

Başlıklar bir hafta süreyle kalıpta bekletilmiş, yükleme yapılmadan önce alçı kullanılarak temas yüzeyinin düzgün olması sağlanmıştır.

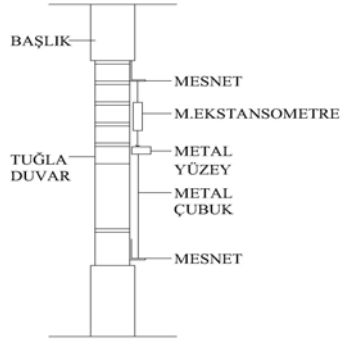
#### 4.1.2. Deneyin Yapılış Şekli

##### 4.1.2.1. Deney Düzeneği

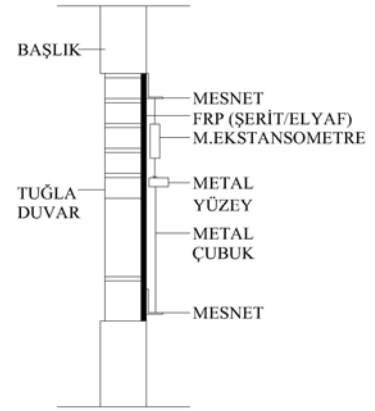
28 günlük mukavemetini dolduran numuneler ile daha sonra güçlendirilen tuğla duvar numuneleri alçı ile şakule alındıktan sonra şekil 4.6’deki düzeneğe konularak tek eksenli basınç kuvvetine maruz bırakılmışlardır.

##### 4.1.2.2. Deformasyon Okumaları

Deformasyon okumaları mekanik ekstansometre kullanılarak yapılmıştır. Yalın tuğla duvar numunelerinde ve güçlendirme sonrası yapılan deneylerde de artan yük kademelerinde okumalar yapılmıştır. Her 1 KN’luk yük artışı sonucu deformasyonlar okunmuştur. Mekanik ekstansometre 1/100mm hassasiyetindedir. Ekstansometre mesnet açıklığı ortalama 19cm olacak şekilde yükleme ekseninde yerleştirilmiştir. CFRP ile güçlendirilen tek yönlü numunelerde okumalar yine tuğla duvar yüzeyinde yapılmıştır. Çift yönlü olarak uygulanan numunelerde ise deformasyonlar okumaları kaçınılmaz olarak CFRP şerit ve elyaf üzerinde yapılmıştır.( Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 )



**Şekil 4.7:** Yalın Duvar Deplasman Okumaları Kesiti



**Şekil 4.8:** CFRP ile Güçlendirilmiş Duvar Deplasman Okumaları Kesiti

## 5.MODEL TUĞLA DUVARLAR ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE MODEL TUĞLA DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ

### 5.1. Güçlendirilmemiş Tuğla Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneyler

Deney programında öngörülen hasarlı yalın tuğla duvarları oluşturmak için 28 günlük mukavemetlerini tamamlayan numunelere tek eksenli basınç kuvveti uygulandı. Seri I'de (Şerit CFRP ile yapılan güçlendirme) 1,2,3,4,5,6 numaralı numuneler, Seri II' de (Ayrık Şerit CFRP ile yapılan güçlendirme) 13,14,15,16,17,18 numaralı numuneler, Seri III' de (Dokuma CFRP ile yapılan güçlendirme) 25,26,27,28,29,30 numaralı numunelere güçlendirme yapılmaksızın hasar meydana gelinceye kadar yük uygulanmıştır. Sonuçta kimi numunelerde çatlak meydana gelirken, kimi numunelerde ise göçme meydana gelmiştir. Yalın tuğla duvarlar ani göçmeye uğramışlardır. Yükleme eksenine yerleştirilen mekanik ekstansometre ile yer değiştirmeler okunmuştur. Numunelerin gevrek davrandığı sonucuna varılmıştır. Kırılma modları çoğunlukla harç ile tuğla arasında derzden meydana gelmiştir. Zaman zaman harçtan başlayan daha sonra tuğlayı kıran modlar da meydana gelmiştir. Yükleme eksenine tuğla duvar derzlerinin yaptığı açı  $45^\circ$  olduğu için duvarlar hem düşey hem de yatay kuvvet etkisine maruz kalmış olmaktadır. Böylelikle deprem gibi yatay yüklerin oluşturduğu hasarlar simule edilmiştir. Serilerin dışında 3 adet tuğla duvar numunesi kırılmış, bu duvarların ortalama kırılma yükü 9.33 KN olarak bulunmuştur. Şekil 5.1'de yalın duvar örneklerinin yükleme durumu görülmektedir.



**Şekil 5.1:** Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Yükleneş

## 5.2. Hasarlı Tuğla Duvar Numunelerinin Tamir Edilmesi

Hasarlı tuğla duvar numuneleri epoksi yapıştırıcısı kullanılarak tamir edilmişlerdir. Çatlak olan numunelere epoksi enjeksiyonu yapılmıştır. Epoksinin çatlakların (Şekil 5.2) içine kadar ilerlemesi sağlanmıştır. Diğer numunelerde tuğla duvar kısmen parçalandığı için parçalanmış yüzeylere epoksi sürülerek uygulanmıştır. Bölüm 4.1. de anlatılan 3 adet yalın tuğla duvar numunesi, serilerde kullanılan numunelerde uygulanan yöntemle epoksi ile tamir edildikten sonra yükleme yapılmıştır. Bu duvarların ortalama kırılma yükü 14.66 KN olarak bulunmuştur.



Şekil 5.2: Tuğla Duvarların Örneklerinin Tamir Edilmesi

## 5.3. Model Tuğla Duvarların CFRP Malzemesi ile Güçlendirilmesi

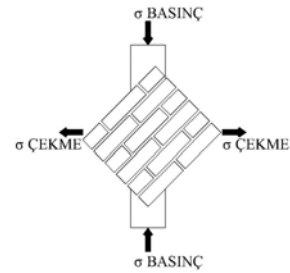
### 5.3.1. Model Tuğla Duvarların Şerit CFRP ile Güçlendirilmesi (Seri I)

#### 5.3.1.1. Genel Bilgiler

Hasarlı ve hasarsız olmak üzere 12 adet tuğla duvar numunesi şerit CFRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmiştir. Numune boyutlarının küçük olmasından dolayı şerit CFRP malzemesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Araştırmanın amacı ve kapsamına uygun olarak; Seri I'de tuğla duvarları güçlendirmek için şerit şeklinde, önceden epoksi reçinesi emdirilmiş, lamine (MBT-MRACE LAMINATE) sistemi kullanılmıştır. Üretici firma tarafından 10cm ve 5cm genişliğinde üretilen şeritlerden 10cm genişliğinde 1.2mm kalınlığında olanı tuğla duvar yüzeyine 2.5cm genişliğinde kesilerek uygulanmıştır. (Şekil 5.3)

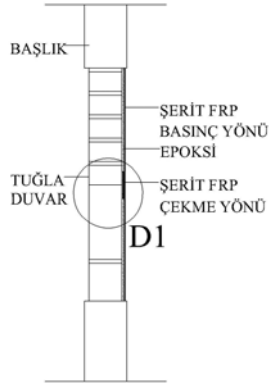


Şekil 5.3: Seri I-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli



Şekil 5.4: Numune Tuğla Duvarın  $\sigma$  basınç - $\sigma$  çekme yönü

Güçlendirmede kullanılan CFRP malzemesi; tek eksenli yüklenen numune de meydana gelecek basınç ve çekme yönleri doğrultusuna göre duvar yüzeyine yapıştırılmıştır. Şekil 5.4’de numune tuğla duvarın basınç ve çekme yönü görülmektedir.



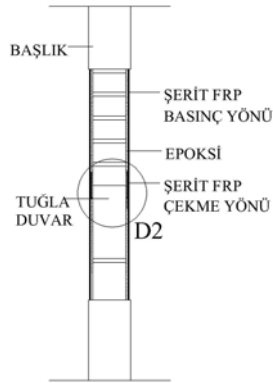
**Şekil 5.5:** Seri I-Tuğla Duvarların

Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti

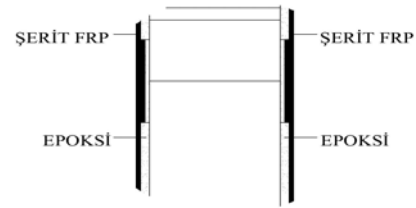


**Şekil 5.6.** Seri I-D1 detayı

Yüzeye ilk olarak çekme yönündeki şerit CFRP’ler yerleştirilmiştir. Basınç yüklerini almak için uygulananlar ise daha sonra yapıştırılmıştır. Şeritler duvarın her iki yüzeyine (Şekil 5.7) ve binaların bitişik nizam yapıldığı düşünülerek tek yüzeyine (Şekil 5.5) uygulanmıştır. Seri I’de şerit CFRP’lerin uygulama detayları Şekil 5.6 ve Şekil 5.8’de görüldüğü gibidir.



**Şekil 5.7.** Seri I-Tuğla Duvarların  
Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti



**Şekil 5.8.** Seri I-D2 detayı

### 5.3.1.2. Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numunelerine Şerit CFRP Uygulaması

Deney programı doğrultusunda Seri I’de güçlendirme şekline karar verilen önceden hasar verilmiş (Şekil 5.9) ve hasarsız tuğla duvar numunelerine Şekil 5.10’daki gibi CFRP malzemesi kendi epoksi yapıştırıcısı kullanılarak tuğla duvar yüzeyine önce

astar uygulaması ardından yapıştırıcı sürülerek gergin bir şekilde uygulanmıştır. Hasarlı ve hasarsız tuğla duvar numunelerine 3 adet çift yönlü ve 3 adet tek yönlü olarak şeritler uygulanmıştır.



**Şekil 5.9.** Hasarlı Numunenin  
Şerit CFRP Uygulaması



**Şekil 5.10.** Numunelere  
Şerit CFRP Uygulaması

### 5.3.2. Model Tuğla Duvarların Ayrık Şerit CFRP ile Güçlendirilmesi (Seri II)

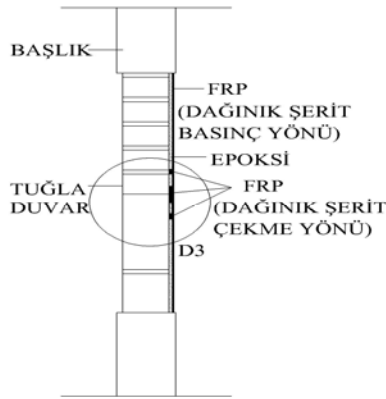
#### 5.3.2.1. Genel Bilgiler

Bu deneysel çalışmanın amaçlarından biri de CFRP ile yapılan güçlendirmenin şekli ve miktarıdır. Bu nedenle Seri I'de yapılan güçlendirmeye benzer bir güçlendirme şekli seçilmiştir. Bu seride güçlendirme yine CFRP şeritleri kullanılarak yapılmaktadır. Ancak CFRP şeritler dağınık bir şekilde tuğla duvar yüzeyine uygulanmıştır. Güçlendirme yönü ve şekli aynı kalarak şeritler dağınık olarak tuğla duvar yüzeyine uygulanmıştır (Şekil 5.11)



**Şekil 5.11.** Seri II-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli

Toplam CFRP genişliği ( 2.5cm ) aynı kalmak üzere; şeritler yine çekme ve basınç yönünde, önce çekme yönünde daha sonra basınç yönünde uygulanmışlardır. Seri II tek yönlü şekil 5.12 ve çift yönlü şekil 5.14 olarak oluşturulmuştur. Ana ekseninde 1.5cm genişliğinde CFRP şeridi çekme yönünde ilk adım olarak uygulanmış, bu ana parçanın sağından ve solundan 1cm uzağına 0.5cm genişliğinde yayılmış donatı etkisi oluşturmak için CFRP şeritler uygulanmıştır. 1.5 ve 0.5cm'lik parçalar 10cm genişliğinde CFRP şeritlerden kesilerek oluşturulmuştur.



**Şekil 5.12.** Seri II-Tuğla Duvarların

Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti



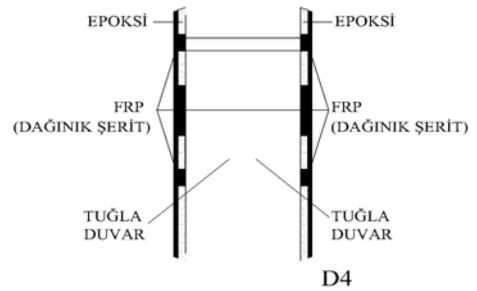
**Şekil 5.13.** Seri II-D3 Detayı

Basınç yönünde 1.5cm'lik ana eksen epoksi yapıştırıcısı kullanılarak tuğla duvar yüzeyine yapıştırılmış, yine donatı etkisi oluşturacak şekilde ana eksenin sağından ve solundan 1cm uzaklıkta 0.5cm genişliğinde CFRP şeritler yapıştırılmıştır. Şekil 5.13 ve Şekil 5.15 Deney numuneleri bir hafta boyunca laboratuvar koşullarında mukavemetlerini alması için bekletilmiştir.



**Şekil 5.14.** Seri II-Tuğla Duvarların

Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti



**Şekil 5.15.** Seri II-D4 Detayı

### 5.3.2.2. Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numunelerine Ayrık Şerit CFRP Uygulaması

Seri II içerisinde yer alan yalın tuğla duvarlardan 6 adedi hasara uğratılıp tamir edilip eski dayanımlarına kazandıktan sonra, CFRP şerit malzemesi kullanılarak dağınık bir şekilde tuğla duvar yüzeyine uygulanmıştır.( Şekil 5.16 )



**Şekil 5.16.** Dağınık Şerit CFRP Uygulama Hazırlığı

Dağınık olarak teşkil edilen CFRP malzemesiyle tuğla duvarda donatının yayılmış olarak etki edeceği öngörülür. Hasarsız olarak üretilen yalın tuğla duvarlardan 3 adedi çift yönlü dağınık CFRP ile 3 adedi tek yönlü dağınık CFRP uygulanarak güçlendirilmişlerdir.(Şekil 5.17 ve Şekil 5.18)



**Şekil 5.17.** Hasarlı Numunenin Ayrık Şerit CFRP Uygulaması

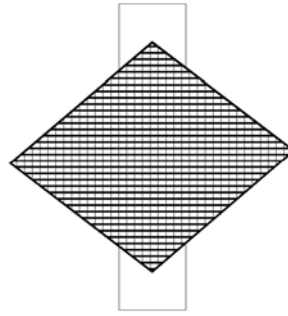


**Şekil 5.18.** Hasarsız Numunenin Ayrık Şerit CFRP Uygulaması

### 5.3.3. Model Tuğla Duvarların Dokuma CFRP Kullanılarak Güçlendirilmesi (Seri III)

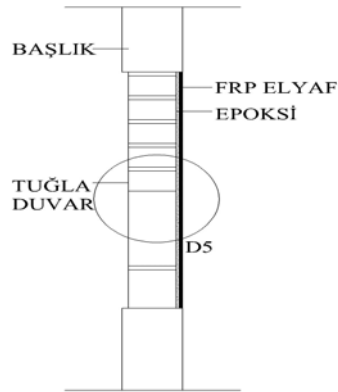
#### 5.3.3.1. Genel Bilgiler

Bu seride 165 mikron kalınlığında tek yönlü elyaf karbon fiberi kullanılmıştır. Numune boyutlarından dolayı karbon fiber liflerinin gerektiği gibi çalışabilmesi için duvarın tüm yüzeyine uygulama yapılmıştır. (Şekil 5.19) Düşük miktarda CFRP şeritleri kullanılarak yapılan diğer serilerle de karşılaştırma yapıp etkin bir güçlendirme miktarı için yorumlar yapılmıştır.

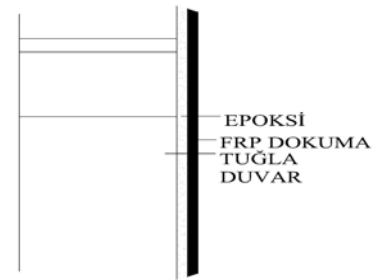


Şekil 5.19. Seri III-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli

CFRP dokuma malzemesi tek yönde kuvvet aktarabildiği için numune yüzeyine yerleştirilirken; dokuma doğrultusu çekme yönünde olacak şekilde uygulama yapılmıştır. (Şekil 5.20 ve Şekil 5.22)



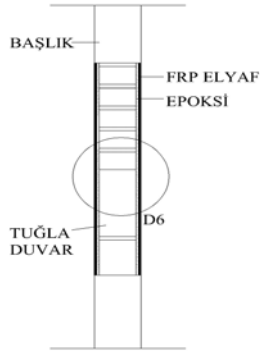
Şekil 5.20. Seri III-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti



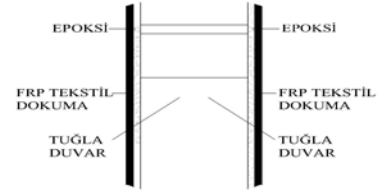
Şekil 5.21. Seri III-D5 Detayı

Dokuma yerleştirilmeden önce tuğla duvar yüzeyi temizlenmiş, kir nemden arındırılmıştır. Temizlik sonrası yüzey astarlanmıştır. Astarlanan yüzeye bir kat

dokuma CFRP'nin kendi epoksi yapıştırıcısı (MBT-MBRACE ADESIVO-SATURANT) sürülmüştür. Daha sonra karbon lifler konularak epoksi reçinesi CFRP (tekstil dokuma) yüzeyine emdirilmiştir. Son olarak bir kat daha yapıştırıcı sürülerek uygulama tamamlanmıştır. 7 gün süreyle güçlendirilmiş tuğla duvar laboratuvar koşullarında bekletilerek mukavemetini alması sağlanmıştır. Seri III uygulama detayı Şekil 5.21 ve 5.23'de verilmiştir.



**Şekil 5.22.** Seri III-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti



**Şekil 5.23.** Seri III-D6 Detayı

### 5.3.3.2. Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numunelerine Dokuma CFRP Uygulaması

Seri III içinde yer alan hasar verilip yeniden epoksi ile tamir edilen 6 adet numunenin 3 adeti çift taraflı olarak, 3 adeti tek taraflı olarak güçlendirilmiştir. Deney programında yer alan Seri III'e göre hasarsız olarak üretilen 6 adet tuğla duvar numunesinin 3 adedi çift taraflı olarak, 3 adedi tek taraflı olarak güçlendirilmiştir.(Şekil 5.24)



**Şekil 5.24.** Dokuma CFRP'nin Uygulama Örneği

### 5.3.3.3. Seri III Başlıklarının Dokuma CFRP ile Takviyesi

Yalın tuğla duvarlar için oluşturulan başlıkların dayanımlarının Seri III için oluşturulan çift taraflı numuneler de yeterli dayanımda olmayacağı tahmin edilerek, bu numunelerin başlıkları da dokuma CFRP malzemesi kullanılarak takviye edilmiştir. (Şekil 5.25)



Şekil 5.25. Seri III Çift Yönlü Numunelerin Başlıklarının Takviye Sonrası Hali

## 5.4. Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler

### 5.4.1. Şerit CFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler (Seri I)

Bir seri olarak güçlendirilen 12 adet tuğla duvar numunesi 7 günlük süre içinde laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra mukavemetlerini kazanmışlardır. Daha sonra Seidner firmasının 10 tonluk (100 KN) yük ve 300 tonluk (3000 KN) yük uygulayabilen Form Test isimli basınç presini kullanarak güçlendirilmiş numuneler test edilmişlerdir.



Arka Yüz



Ön Yüz

Şekil 5.26. Seri I-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Arka Yüz)

Şekil 5.27. Seri I-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Ön Yüz)

Numuneler yükleme öncesi alçı başlık kullanılarak şakule alınmışlardır. Yükleme sırasında farklı yük kademelerinde yer değiştirmeler mekanik ekstansometre ile kayıt

altına alınmıştır. Numune son yük alımına kadar yüklenmiştir. Örnek numunelerin kırılma öncesi, sonrası hali ve kırılma modları Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de görülmektedir.

#### **5.4.2. Dağınık Şerit CFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneyler (SERİ II)**

12 adet güçlendirilmiş tuğla duvar numunesinden oluşan Seri II numunelerine yapılmış deneyler, göçme öncesi ve sonrası ve 15 nolu numunenin göçme modu Şekil 5.28 ve 5.29’da görülmektedir. 12 adet numunenin 6 adeti hasarlı, 6 adeti hasarsız olarak güçlendirilmiştir. Hasarsız ve hasarlı numunelerin 3 adedinde tuğla duvar yüzeyinin her iki yüzüne de güçlendirme yapılmıştır. Hasarsız ve önceden hasar verilmiş numunelerin diğer 3 adedinde ise tuğla duvar yüzeyinin tek yüzüne güçlendirme yapılmıştır.



**Şekil 5.28.** Seri II-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Ön Yüz)



**Şekil 5.29.** Seri II-Güçlendirilen Nu. Yük. Sonrası (Ön Yüz)

#### **5.4.3. Dokuma CFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler (SERİ III)**

CFRP elyaf malzemesi kullanılarak yapılan bu Seride, CFRP malzemesi tüm yüzeye uygulanmıştır. Alçıyla şakule alınan serideki güçlendirilmiş tuğla duvar numuneleri basınç yüküne maruz bırakılmıştır. Düşey yer değiştirmeleri artan yük kademelerinde mekanik ekstansometre yardımıyla kayıt edilmiştir. 25 nolu numunede ekstansometrenin CFRP yüzeyinden kopması sonucu okuma tamamlanamamıştır. Seri III’ deki numunelerin kırılma öncesi ve sonrası, 33 nolu numunenin kırılma modu Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de görülmektedir.



**Şekil 5.30.** Seri III-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi ( Ön Yüz)



**Şekil 5.31.** Seri III-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası ( Ön Yüz)

## 6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 6.1. Genel

Yapılan deneysel çalışmada yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların FRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmesinin, bu türdeki duvarların davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Güçlendirme malzemesi olarak kullanılan CFRP'nin, farklı çeşitleri ve miktarları kullanılarak etkin bir güçlendirme metoduna ulaşmak amaçlanmıştır. Bu bağlamda, tek eksenli basınç yükü, şerit CFRP ve dokuma CFRP kullanılarak güçlendirilen deney örneklerine uygulanmış, numune duvarların dayanımı üzerindeki etkisi, şekil değiştirmeler ve göçme mekanizmaları not edilmiş, deprem yükleri etkisi altında yığma yapıların taşıyıcı duvarlarına yapılan güçlendirmenin etkisi deney verileri kullanılarak incelenmiştir.

Konunun genel olarak araştırılmasından ve deneysel çalışmalardan elde edilen sayısal ve gözleme dayalı verilerin yorumlanmasına bağlı olarak, çalışmanın sonuçları 7 ana başlık altında toplanabilir:

- Seriler içinde yer alan, hasarlı numuneleri oluşturan yalın tuğla duvarların ve bu duvarlara epoksi kullanılarak yapılan iyileştirmenin performansı ve numunelerin yük altındaki davranışları.
- Şerit CFRP (Seri I) kullanılarak güçlendirilen, deney örneklerinin performansları ve yük altındaki davranışları, farklı yük kademelerindeki yer değiştirmeleri, kırılma mekanizmaları.
- Ayrık Şerit CFRP (Seri II) kullanılarak güçlendirilen deney örneklerinin, yük altındaki davranışları, farklı yük kademelerindeki yer değiştirmeleri, kırılma mekanizmaları.
- Dokuma CFRP (Seri III) kullanılarak güçlendirilen deney örneklerinin, yük altındaki davranışları, farklı yük kademelerindeki yer değiştirmeleri, kırılma mekanizmaları.

- Şerit CFRP (Seri I) ve Ayrık Şerit CFRP (Seri II) ile taşıyıcı duvarların güçlendirme yönteminin sonuçlara bağlı olarak karşılaştırılması, yorumlanması ve öneriler.
- Şerit CFRP (Seri I) ve Dokuma CFRP (Seri III) ile taşıyıcı duvarların güçlendirme yönteminin sonuçlara bağlı olarak karşılaştırılması, yorumlanması ve öneriler.
- Ayrık Şerit CFRP (Seri II) ve Dokuma CFRP (Seri III) ile taşıyıcı duvarların güçlendirme yönteminin sonuçlara bağlı olarak karşılaştırılması, yorumlanması ve öneriler.

Numunelerin isimlendirilmesi şu şekilde yapılmıştır: H: hasarlı (tuğla duvar numunelerine güçlendirme yapılmaksızın yükleme yapılmış, hasar alması sağlanmıştır). Ç: çift taraflı olarak yapılan güçlendirmedir. T: tek taraflı olarak yapılan güçlendirmedir. Ş: şerit CFRP (2.5cm genişlikte CFRP'ler kesilerek uygulama yapılmıştır.) kullanılarak yapılan güçlendirmedir. A.Ş: şerit CFRP'ler (1.5cm ve 0.5cm genişliklerinde kesilerek mesafe 0.5cm olacak şekilde uygulama yapılmıştır.) ayrıklı yerleştirilerek yapılan güçlendirmedir. D: dokuma CFRP (tüm tuğla duvar yüzeyine yapılan güçlendirmedir.) kullanılarak yapılan güçlendirme anlamındadır. Buna göre HÇŞ: hasar verilmiş çift taraflı şerit CFRP güçlendirmesi, HTŞ: hasar verilmiş tek taraflı şerit CFRP güçlendirmesi yapılmış numunedir. ÇŞ: çift taraflı şerit CFRP ile güçlendirilmiş duvar numunesidir. TŞ: tek taraflı şerit CFRP ile güçlendirilmiş numunedir. Deneysel programramda yer alan Seri I'in kapsamında yer alan güçlendirme kararları Tablo 6.1'de görülmektedir.

**Tablo 6.1: Seri I'in Genel Özellikleri**

| SERİ I NUMUNELERİ GENEL ÖZELLİKLERİ |                  |                                                                                      |
|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Numune No                           | Güçlendirme Yönü | Güçlendirme Şekli                                                                    |
| HÇŞ-1                               | HASARLI ÇİFT T.  |  |
| HÇŞ-2                               | HASARLI ÇİFT T.  |                                                                                      |
| HÇŞ-3                               | HASARLI ÇİFT T.  |                                                                                      |
| HTŞ-4                               | HASARLI TEK T.   |                                                                                      |
| HTŞ-5                               | HASARLI TEK T.   |                                                                                      |
| HTŞ-6                               | HASARLI TEK T.   |                                                                                      |
| ÇŞ-7                                | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                      |
| ÇŞ-8                                | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                      |
| ÇŞ-9                                | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                      |
| TŞ-10                               | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                      |
| TŞ-11                               | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                      |
| TŞ-12                               | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                      |

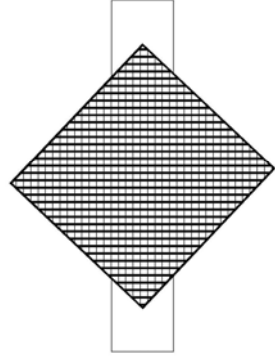
Seri II’ de alınan güçlendirme kararları aşağıdaki tabloda görülmektedir.

**Tablo 6.2:** Seri II’ nin Genel Özellikleri

| SERİ II NUMUNELERİ GENEL ÖZELLİKLERİ |                  |                                                                                     |
|--------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Numune No                            | Güçlendirme Yönü | Güçlendirme Şekli                                                                   |
| HÇAŞ-13                              | HASARLI ÇİFT T.  |  |
| HÇAŞ-14                              | HASARLI ÇİFT T.  |                                                                                     |
| HÇAŞ-15                              | HASARLI ÇİFT T.  |                                                                                     |
| HTAŞ-16                              | HASARLI TEK T.   |                                                                                     |
| HTAŞ-17                              | HASARLI TEK T.   |                                                                                     |
| HTAŞ-18                              | HASARLI TEK T.   |                                                                                     |
| ÇAŞ-19                               | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                     |
| ÇAŞ-20                               | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                     |
| ÇAŞ-21                               | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                     |
| TAŞ-22                               | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                     |
| TAŞ-23                               | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                     |
| TAŞ-24                               | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                     |

Seri III’ de alınan güçlendirme kararları Tablo 6.3’de görülmektedir.

**Tablo 6.3:** Seri III’ ün Genel Özellikleri

| SERİ III NUMUNELERİ GENEL ÖZELLİKLERİ |                  |                                                                                      |
|---------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Numune No                             | Güçlendirme Yönü | Güçlendirme Şekli                                                                    |
| HÇD-25                                | HASARLI ÇİFT T.  |  |
| HÇD-26                                | HASARLI ÇİFT T.  |                                                                                      |
| HÇD-27                                | HASARLI ÇİFT T.  |                                                                                      |
| HTD-28                                | HASARLI TEK T.   |                                                                                      |
| HTD-29                                | HASARLI TEK T.   |                                                                                      |
| HTD-30                                | HASARLI TEK T.   |                                                                                      |
| ÇD-31                                 | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                      |
| ÇD-32                                 | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                      |
| ÇD-33                                 | HASARSIZ ÇİFT T. |                                                                                      |
| TD-34                                 | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                      |
| TD-35                                 | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                      |
| TD-36                                 | HASARSIZ TEK T.  |                                                                                      |

## 6.2.Yalın Tuğla Duvar ve Tamirli Tuğla Duvar Numunelerinin Deney Sonuçları

Deneysel çalışmalarda ilk olarak yalın tuğla duvar numunelerinin test sonuçları irdelenmiştir. Değerlendirmeye almak için 3 adet yalın tuğla duvar hasara uğratılmış ve ardından epoksi ile tamir edilip eski dayanımları kazanmaları sağlanmıştır. Epoksi kullanılarak tamir edilen bu yalın tuğla duvar numuneleri epoksi etkisini incelemek için test edilmiş, seriler içinde hasar verilmiş olan numunelerin ortalama kırılma yükü de böylelikle bulunmuştur. Değerlendirme yapılırken yalın tuğla duvar numunelerinin maksimum kırılma yükleri ve ortalama kırılma değerleri Tablo 6.4’de, maksimum ve ortalama yerdeğiştirmeler Tablo 6.5’de verilmiş, yük yer değiştirme grafikleri çizilmiş, göçme mekanizmaları irdelenmiştir.

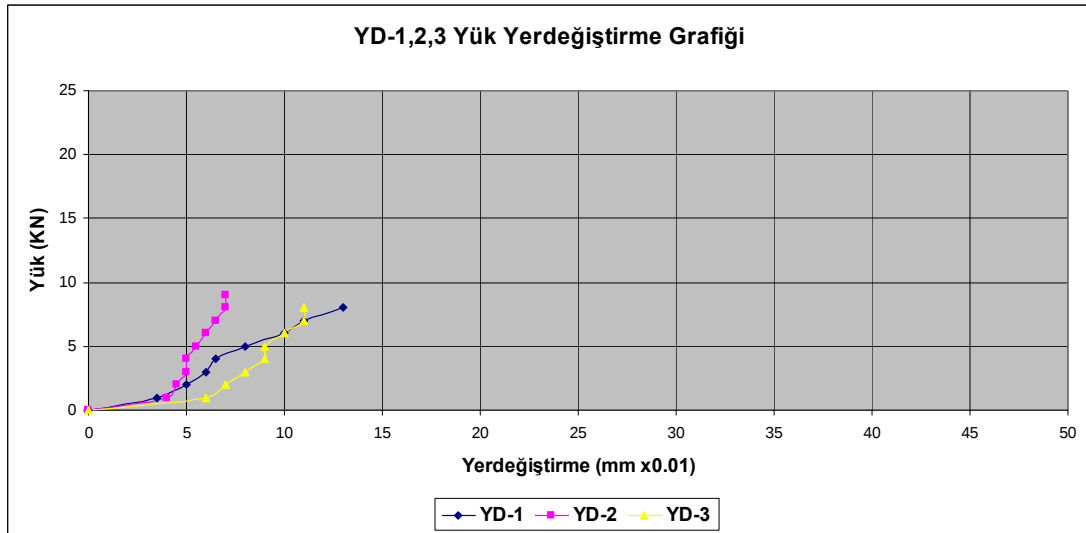
**Tablo 6.4:** Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükü

| <b>YALIN TUĞLA DUVAR NUMUNELERİ<br/>KIRILMA YÜKÜ</b> |                          |                           |
|------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Numune No                                            | Max.Kırılma Yükü<br>(KN) | Ort. Kırılma Yükü<br>(KN) |
| YD-1                                                 | 9                        | <b>9,33</b>               |
| YD-2                                                 | 10                       |                           |
| YD-3                                                 | 9                        |                           |

**Tablo 6.5:** Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yer değiştirmeleri

| <b>YALIN TUĞLA DUVAR NUMUNELERİ<br/>YER DEĞİŞTİRMELERİ</b> |                                               |                                                |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Numune No                                                  | Max.Yerdeğiştirme<br>(mm x 10 <sup>-2</sup> ) | Ort. Yerdeğiştirme<br>(mm x 10 <sup>-2</sup> ) |
| YD-1                                                       | 13                                            | <b>10,33</b>                                   |
| YD-2                                                       | 7                                             |                                                |
| YD-3                                                       | 11                                            |                                                |

Deneysel çalışmanın güçlendirme bölümünde yer alan seriler içindeki hasarlı numunelerde de bu şekilde yalın halde yükleme yapılmıştır. Bu ön çalışma şiddetli depremlerde meydana gelen çatlak ve hasarları aynı zamanda yapı zemininden kaynaklanan oturmalarından dolayı meydana gelen çatlak veya hasarları simule etmek için deneysel programın içinde yer almıştır. Yalın tuğla duvar numunesine ait max. kırılma yükü ve max. yer değiştirmeler deneysel çalışma sonuçlarının ilerleyen aşamalarında güçlendirilerek oluşturulan deney numunelerinin sonuçlarıyla karşılaştırılmış, artan dayanımın yüzde değişimi verilmiştir. Yalın duvarlara ait yük-yerdeğiştirme grafiği şekil 6.1’de verilmiştir.



**şekil 6.1:** Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Hasar verilip epoksi esaslı yapıştırıcı ile tamir edilen tuğla duvar numuneleri oluşturulmasındaki amaç: yapılarda oluşan hasarların tamir edilmesiyle yapının iyileştirme yönteminin yapının dayanımına olan etkisini simule etmek içindir. Epoksi ile tamir edilen numunelere ait kırılma yükleri ve yer değiştirmeleri, ortalama kırılma yükleri Tablo 6.6’da ve ortalama yer değiştirmeler Tablo 6.7’de verilmiştir.

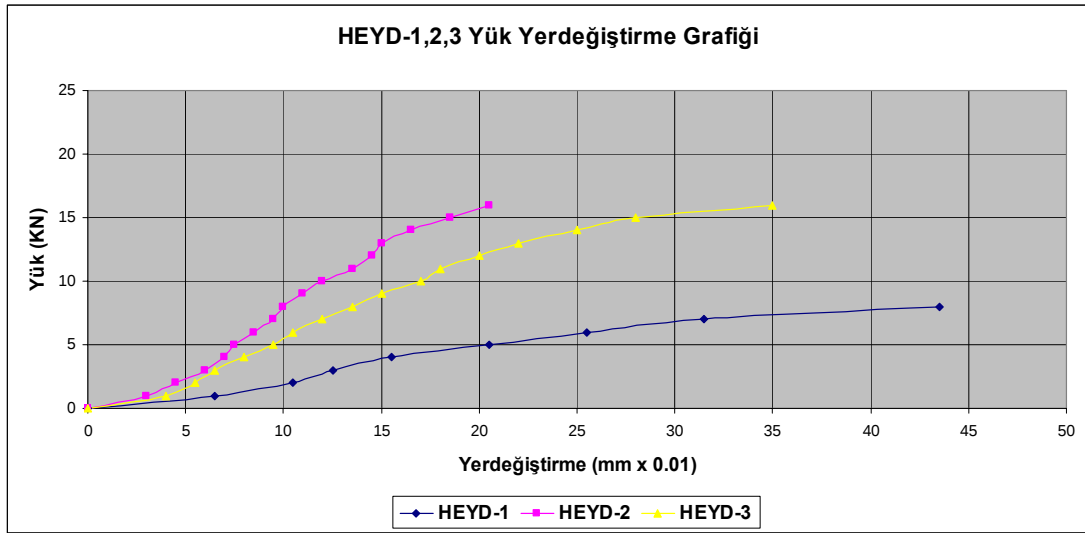
**Tablo 6.6:** Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yüğü

| ONARILMIş T.D. NUMUNELERİNİN<br>KIRILMA YÜKÜ |                           |                           |
|----------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Numune No                                    | Max. Kırılma Yüğü<br>(KN) | Ort. Kırılma Yüğü<br>(KN) |
| HEYD-1                                       | 9                         | <b>14,66</b>              |
| HEYD-2                                       | 18                        |                           |
| HEYD-3                                       | 17                        |                           |

**Tablo 6.7:** Onarılmış T.D. Numunelerinin Max. ve Ortalama Yer değiştirmeleri

| ONARILMIş T.D.NUMUNELERİNİN<br>YER DEĞİşTİRMELERİ |                                               |                                                |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Numune No                                         | Max.Yerdeğiştirme<br>(mm x 10 <sup>-2</sup> ) | Ort. Yerdeğiştirme<br>(mm x 10 <sup>-2</sup> ) |
| HEYD-1                                            | 43,5                                          | <b>33</b>                                      |
| HEYD-2                                            | 20,5                                          |                                                |
| HEYD-3                                            | 35                                            |                                                |

Epoksi ile tamir edilen numunelere ait yük yerdeğiştirme grafiği şekil 6.2’de verilmiştir.



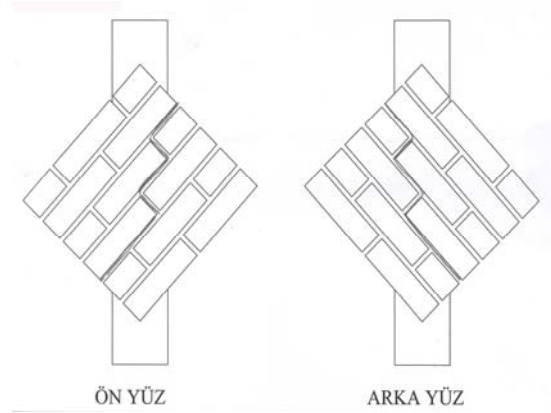
**Şekil 6.2:** Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Yalın tuğla duvarların epoksi esaslı yapıştırıcı ile onarılması sonrasında tuğla duvar örneklerinin yük taşıma kapasiteleri artmıştır. Yer değiştirme miktarların da artış olmuştur. Ortalama kırılma yükü yarım kat artış gösterirken, yer değiştirmelerde de 2 kat artış gerçekleşmiştir. Sonuçta yapılan iyileştirme tuğla duvarın onarım öncesi dayanımını kazandırmış, hatta daha da arttırmıştır.



**Şekil 6.3:** Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Göçme Mekanizması

Yalın tuğla duvar örneklerinde göçme çoğunlukla derz kaynaklı olarak gerçekleşmiştir. Yatay derzde başlayan kırılma düşey derzde ilerlemeyi sürdürmüş, kayma gerilimi yetersizliği şeklinde göçme mekanizmaları oluşmuştur. Zaman zaman da derzden başlayan kırılma tuğlayı da kırarak ilerlemiştir veya tuğladan başlayan kırılma derzde devam etmiştir. Örneklerde meydana gelen ani kırılmalar tuğla duvar numunelerinin gevrek davranış gösterdiğini ortaya koymuştur.(Şekil 6.3 ve Şekil 6.4)



**Şekil 6.4:** Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Tipik Göçme Mekanizması

### 6.3. Tuğla Duvar Numunelerinin Şerit CFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri I)

Deneysel programın ana deneyler bölümünde yer alan Seri I örnekleri önceden hasar verilmiş ve hasarsız olarak teşkil edilmiştir. 6 adet yalın tuğla duvara yük uygulanarak hasar verilmiş ve ardından epoksi esaslı yapıştırıcıyla onarılmıştır. Onarılan bu 6 adet numunenin 3 adedi tek yüzleri, 3 adedi çift yüzlerine olmak üzere şerit CFRP kullanılarak Tablo 6.1’de gösterilen güçlendirme şekli uygulanarak takviye yapılmıştır. Hasarsız olarak da 6 adet yalın tuğla duvar 3 adedi tek yüz, 3 adedi çift yüz olarak güçlendirilmiştir.

**Tablo 6.8:** Seri I Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri

| <b>SERİ I-KIRILMA YÜKLERİ</b> |                   |                       |
|-------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Numune No                     | Kırılma Yüğü (KN) | Ort.Kırılma Yüğü (KN) |
| HÇŞ-1                         | 33                | 41,33                 |
| HÇŞ-2                         | 46                |                       |
| HÇŞ-3                         | 45                |                       |
| HTŞ-4                         | 18,5              | 22                    |
| HTŞ-5                         | 23,5              |                       |
| HTŞ-6                         | 24                |                       |
| ÇŞ-7                          | 28                | 38                    |
| ÇŞ-8                          | 43                |                       |
| ÇŞ-9                          | 43                |                       |
| TŞ-10                         | 17                | 18,67                 |
| TŞ-11                         | 22                |                       |
| TŞ-12                         | 17                |                       |

Güçlendirmedeki amaç, tuğla duvarın dayanımını arttırmak ve bu yöntemle güçlendirilecek yapı elemanlarına uygulamadaki sonuçlarının belirlenmesi ve deprem sırasındaki davranışına referans sağlamaktır. Bu nedenle yükleme sonrası maksimum kırılma yükleri tespit edilmiş (Tablo 6.8), maksimum yer değiştirmeler not edilmiş (Tablo 6.9), yük-yerdeğiştirme grafikleri çizilmiş ve göçme mekanizmalarından (Şekil 6.9 ve Şekil 6.10) sonuçlar çıkarılmıştır. Seri I örneklerinin genel özellikleri Tablo 6.1.’de verilmiştir.

**Tablo 6.9:** Seri I Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yer değiştirmeleri

| <b>SERİ I-YERDEĞİŞTİRME MİKTARI</b> |                              |                                   |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Numune No                           | Yerdeğiştirme<br>(mm x 0.01) | Ort. Yerdeğiştirme<br>(mm x 0.01) |
| HÇŞ-1                               | 54                           | 108,67                            |
| HÇŞ-2                               | 120,5                        |                                   |
| HÇŞ-3                               | 151,5                        |                                   |
| HTŞ-4                               | 91,5                         | 66,83                             |
| HTŞ-5                               | 75,5                         |                                   |
| HTŞ-6                               | 33,5                         |                                   |
| ÇŞ-7                                | 28,5                         | 64,83                             |
| ÇŞ-8                                | 76                           |                                   |
| ÇŞ-9                                | 90                           |                                   |
| TŞ-10                               | 123                          | 66,5                              |
| TŞ-11                               | 50,5                         |                                   |
| TŞ-12                               | 26                           |                                   |

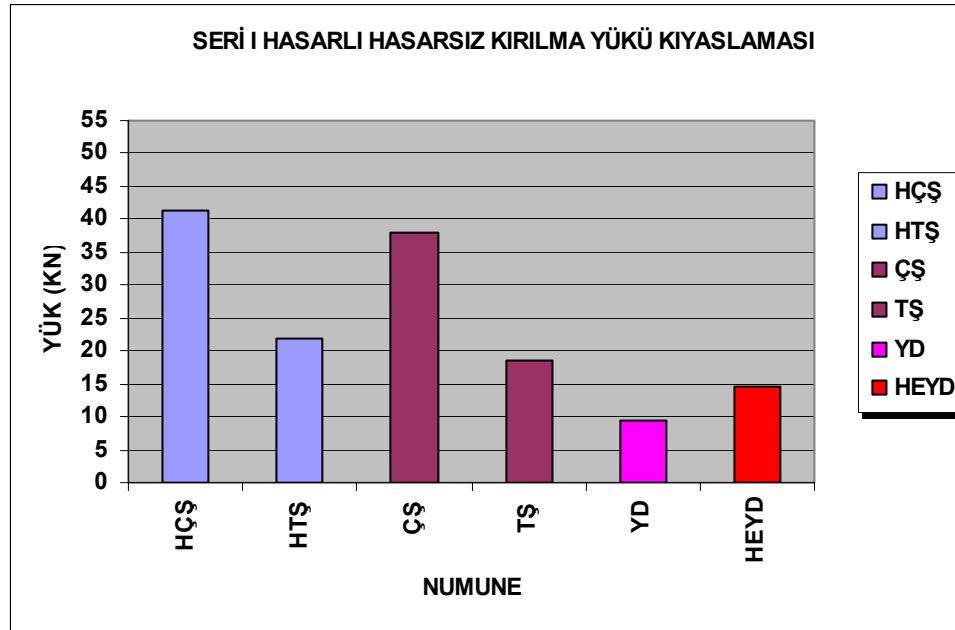
Seri I içinde karar verilen güçlendirme metoduna göre yalın tuğla duvara göre numunelerin dayanımları önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca yer değiştirme miktarları da önemli oranlarda artış göstermiştir. (Tablo 6.10)

**Tablo 6.10:** Seri I Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması

| <b>SERİ I ORTALAMA DENEY SONUÇLARI KIYASLAMASI</b> |                   |                  |                                |                             |                                  |                               |                                                                                       |
|----------------------------------------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Numune No                                          | Kırılma Yüğü (KN) | Dep. (mm x 0.01) | YD'e göre Dayanım Değişimi (%) | YD'e göre Dep. Değişimi (%) | HEYD'e göre Dayanım Değişimi (%) | HEYD'e göre Dep. Değişimi (%) | Güçlendirme Şekli                                                                     |
| HÇŞ                                                | 41,33             | 108,67           | 342,98                         | 951,98                      | 181,92                           | 229,30                        |  |
| HTŞ                                                | 22,00             | 66,83            | 135,80                         | 546,95                      | 50,07                            | 102,52                        |                                                                                       |
| ÇŞ                                                 | 38,00             | 64,83            | 307,29                         | 527,59                      | 159,21                           | 96,45                         |                                                                                       |
| TŞ                                                 | 18,67             | 66,50            | 100,11                         | 543,76                      | 27,35                            | 101,52                        |                                                                                       |
| YD                                                 | 9,33              | 10,33            |                                |                             | -36,36                           | -68,70                        |                                                                                       |
| HEYD                                               | 14,66             | 33,00            | 57,13                          | 219,46                      |                                  |                               |                                                                                       |

Önceden hasar verilmiş çift taraflı güçlendirilen numunelerde dayanım, yalın duvara göre %343 oranında artmış, önceden hasar verilmiş tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise bu oran %135 olmuştur. Hasarsız çift taraflı şerit CFRP

numunelerinde yalın duvara göre dayanım 3 kat artarken, hasarsız tek taraflı numunelerde 1 kat artmıştır.



**Şekil 6.5:** Seri I Hasarlı Hasarsız Kırılma Yüğü Kıyaslama Grafiği

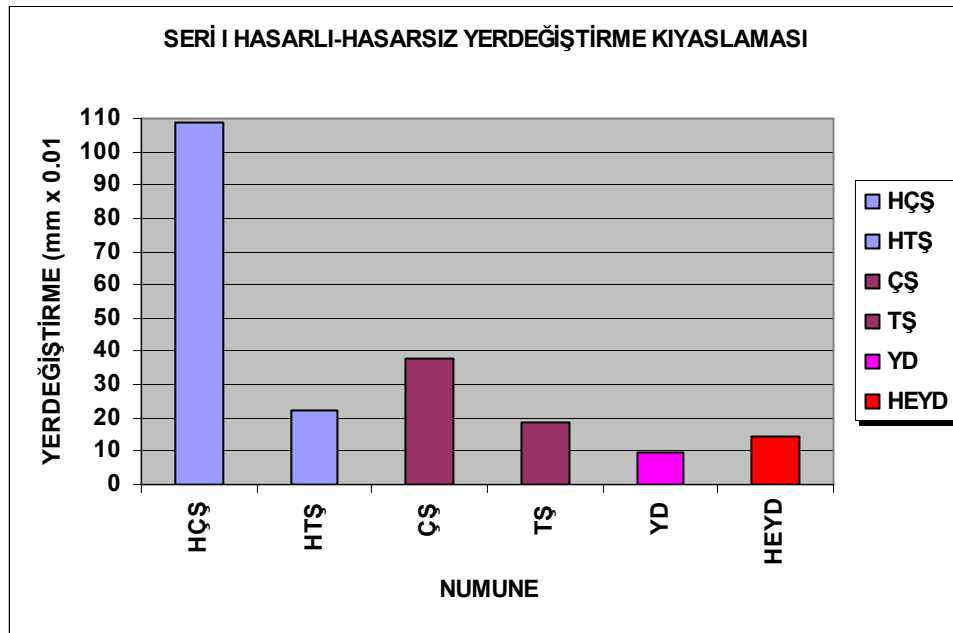
Seri numuneleri içinde en yüksek kırılma yüküne sahip numune HÇŞ yani önceden hasar verilmiş çift taraflı olarak şerit CFRP ile takviye edilmiş numunedir. En düşük kırılma yüküne sahip numune ise TŞ yani hasarsız tek taraflı şerit CFRP ile takviye edilen numunedir. Şekil 6.5'te yalın duvarın (YD) kırılma yükü önceden hasar verilip epoksi ile onarılan duvarın (HEYD) ve seri I içindeki numunelerinin kırılma yükü kıyaslaması görülmektedir. Buna göre gerek önceden hasar almış olsun, gerekse hasarsız olsun taşıyıcı duvarın çift taraflı güçlendirilmesi duvarın davranışını kayda değer bir şekilde arttırmaktadır. Numuneler üzerine yapılan tek taraflı takviyelerde de duvarın davranışı olumlu yönde etkilendiği görülmektedir. Çift taraflı numunelerde yalın duvara göre dayanımın 4 katına çıktığı, tek taraflı numunelerde bu oranın 1.5-2 kat gibi gerçekleştiği görülmektedir.

Gerek tek taraflı numunelerde, gerekse çift taraflı numunelerde önceden hasar verilmiş örnekler hasar verilmemiş örneklerle göre daha yüksek dayanım göstermiştir. Bu numunelerde onarım için kullanılan epoksinin dayanım üzerinde olumlu etkisi gerçekleşmiştir. Önceden göçme seviyesine yakın bir oranda hasara uğrayan yalın duvar (YD) numunesi epoksi ile onarıldıktan sonra eski mukavemetini kazanmış,

dayanımı daha da artmıştır. Yalın duvarlar, hasar oluşturulmak üzere yapılan ön yüklemde en zayıf bölgelerinden çatlayarak hasara uğramaktadırlar. Genellikle basınç diyagonalı üzerinde bulunan bu çatlakların epoksi ile tamir edilmesi bu kısımların diğer yerlere kıyasla daha yüksek dayanım göstermesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, duvarların gerek göçme, gerek deformasyon davranışını, bu durumda etkilemektedir. Bu durum Şekil 6.5’de HÇŞ ve ÇŞ, HTŞ ve TŞ arasında görülebilir.

Tek taraflı güçlendirmelerde taşıma gücündeki artış çift taraflı numunelere göre kayda değer derecede değildir. Tek taraflı numunelerde duvarın bir yüzü oldukça rijit diğer yüzü zayıf kalmaktadır. Böylece tek taraflı güçlendirmelerde meydana gelen dışmerkezlik erken göçmeye neden olmaktadır. Bu durum yerdeğiştirmelerde de açıkça görülmektedir.

Şekil 6.5’e bakıldığında önceden hasar almamış yalın duvar(YD) tek taraflı güçlendirildiğinde dayanım 2 katına çıkmaktadır. Hasar uğrayıp epoksi ile onarılıp tek taraflı güçlendirmesi yalnızca epoksi ile yapılan onarıma (HEYD) göre kayda değer bir dayanım artışına neden olmamaktadır.

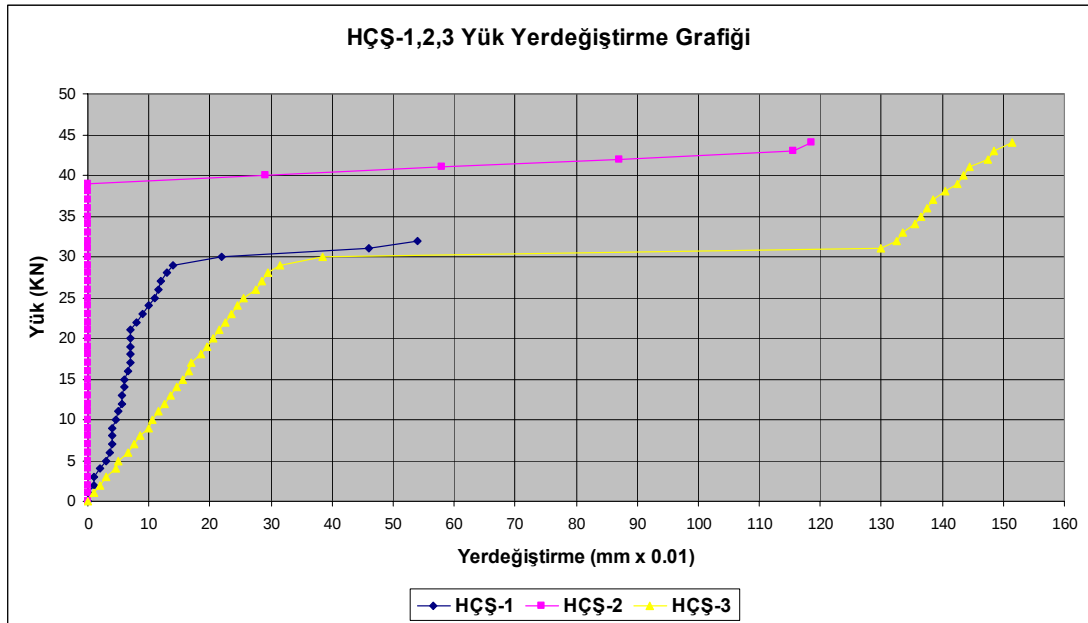


**Şekil 6.6:** Seri I Hasarlı Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği

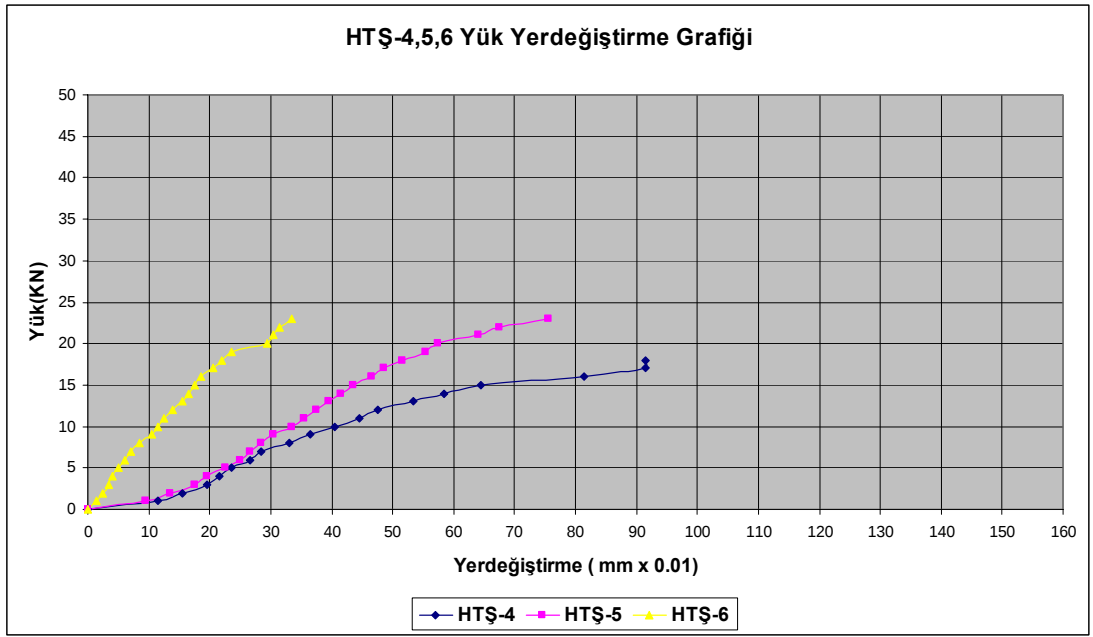
Seri I örneklerine ait yer değiştirmelerde de önemli ölçüde artış olmuştur. (Tablo 6.10) Önceden hasar verilip çift yönlü olarak güçlendirilen örneklerin yalın duvara göre ortalama yerdeğiştirme miktarlarında 9,5 katlık bir artış olmuş, önceden hasar verilip tek yönlü güçlendirme uygulamalarının yerdeğiştirmeleri 1,3 kat oranında artmıştır. Hasarsız örneklerin maksimum yer değiştirmelerinde ise yalın tuğla duvara göre çift yönlü güçlendirmede 5,2 katlık artış, tek yönlü uygulamalarda ise 5,4 kat daha fazla artış olmuştur.

Deney verilerine göre, özellikle çift yönlü olarak uygulanan numunelerde bu güçlendirme yönteminin tuğla duvar dayanımına çok önemli katkısı olurken, göçme öncesinde yer değiştirmesini önemli ölçüde artırdığı ve bu nedenle komposit malzemenin sünek davranış gösterdiği söylenebilir. (Şekil 6.6)

Hasarlı olarak çift yönlü ve tek yönlü olarak uygulanan numunelerin yük yerdeğiştirme grafiği şekil 6.7 ve şekil 6.8’de verilmiştir. Seri I’in tüm numunelerine ait yük yerdeğiştirme karşılaştırmalı grafiği Ek B.1’de görülebilir.

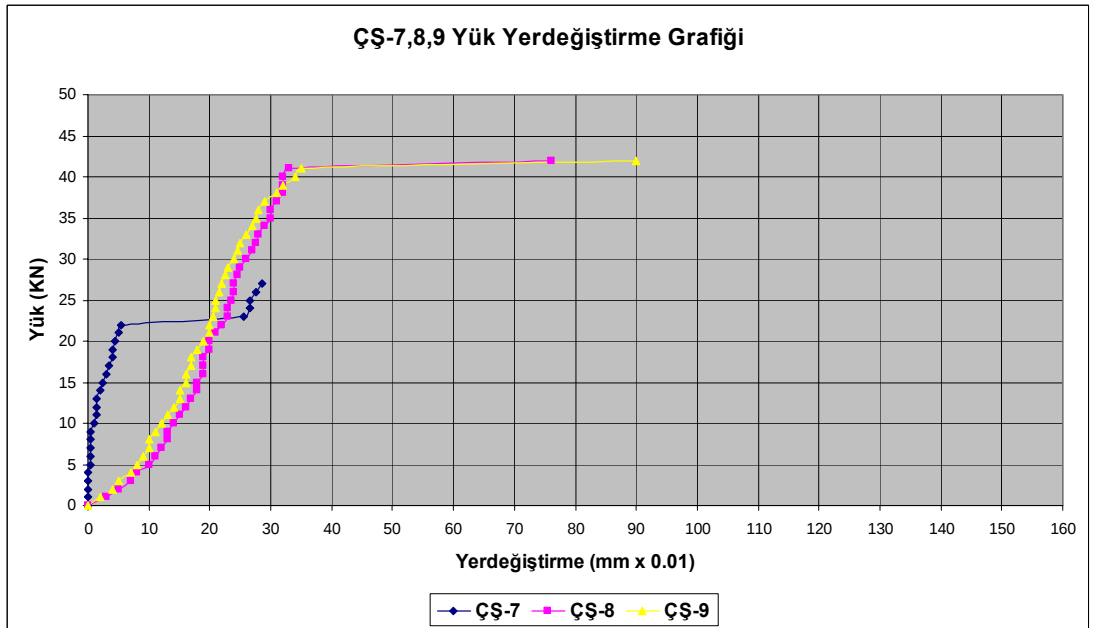


**Şekil 6.7: HÇŞ-1,2,3'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği**

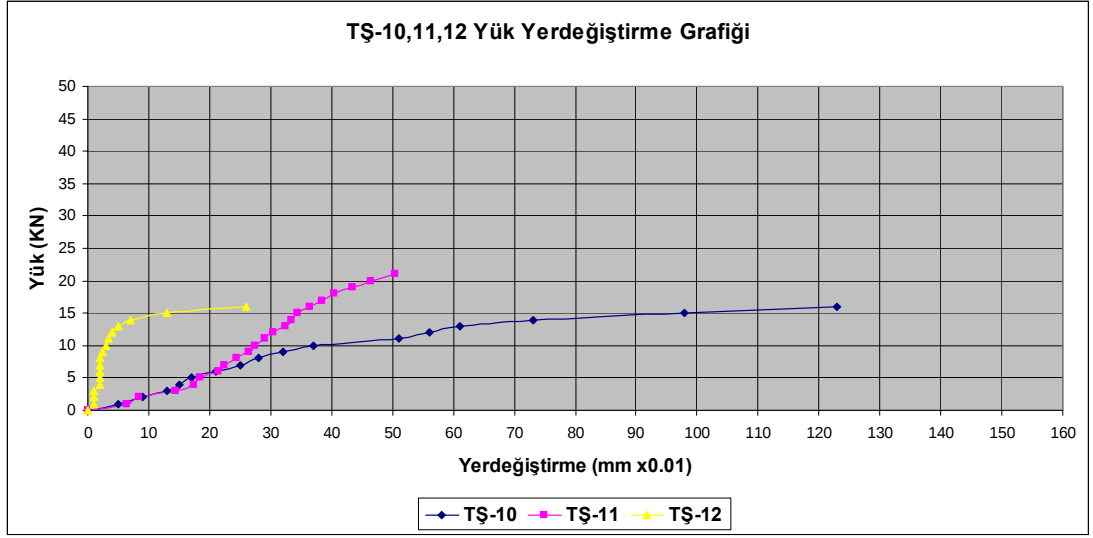


**Şekil 6.8:** HTŞ-4,5,6'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Seri I' de hasarsız olarak teşkil edilen, çift yönlü ve tek yönlü olarak güçlendirilen numunelere ait yük-yerdeğiştirme grafikleri şekil 6.9 ve şekil 6.10'de verilmiştir.



**Şekil 6. 9:** ÇŞ-7.8.9'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği



**Şekil 6.10:** TŞ-10.11.12'nin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Örneklerin tipik göçme mekanizmaları Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de görüldüğü gibidir. Güçlendirilen numunelerde önce çatlaklar oluşmuş daha sonra numune maksimum kırılma yüküne ulaşmış ve bunun ardından yük kesilmiştir. CFRP uygulanan kısımlar da çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Zaman zaman CFRP ile tuğla duvar yüzeyi arasında ayrılmalar olmuştur. Ama tamamen ayrılma gerçekleşmemiştir. Yalın tuğla duvarlar maksimum yükte ani kırılmayla dağılmaya uğrasalar da, CFRP ile güçlendirilen numuneler de çift yönlülerde ve tek yönlü (TŞ numunesi hariç) uygulamalarda herhangi bir dağılma olmamıştır. Yükleme sonrası numuneler bir arada kalmıştır. Bu bağlamda güçlendirilen numunelerin sünek bir davranış içerisinde olduğu söylenebilir.



**Şekil 6.11:** Seri I Numunelerinin Tipik Kırılma Mekanizmaları



**Şekil 6.12:** Seri I Numunelerinin Tipik Kırılma Mekanizması Detayı

#### 6.4. Tuğla Duvar Numunelerinin Ayrık Şerit CFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri II)

Seri II deneyine ait olan önceden hasar verilmiş ve hasarsız olarak 6'şar adet çift ve tek yönlü örnekler tek eksenli olarak basınç kuvveti testi yapılmıştır. Bu serideki güçlendirme şekli ayrıık olarak CFRP malzemesinin tuğla duvar yüzeyine yayılarak oluşturulmuştur. Buradaki amaç donatı etkisi gösteren CFRP şeritlerin dağınık olarak teşkil edilmesiyle dayanımı ve modellerin davranışını nasıl etkidiğini bulmaktır. Yalın tuğla duvar modelleri, epoksi ile tamir edilmiş tuğla duvar modelleri ile dayanımları, davranışları, güçlendirme etkilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Depreme karşı, diğer hasarlara ve etkilere karşı bu seri ile güçlendirilecek tuğla duvar davranışının simule edilmesi istenmiştir. Seri II' ye ait genel özellikler Tablo 6.2' de verilmiştir. Seri II örneklerin maksimum kırılma yükleri, benzer numunelerin ortalama kırılma yükleri Tablo 6.11'da verilmiş, numunelere ait yer değiştirmeleri sonuçları Tablo 6.12'de verilmiştir.

**Tablo 6.11:** Seri II Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri

| SERİ II-KIRILMA YÜKLERİ |                   |                       |
|-------------------------|-------------------|-----------------------|
| Numune No               | Kırılma Yüğü (KN) | Ort.Kırılma Yüğü (KN) |
| HÇAŞ-13                 | 49                | 41,17                 |
| HÇAŞ-14                 | 40                |                       |
| HÇAŞ-15                 | 34,5              |                       |
| HTAŞ-16                 | 29,5              | 27                    |
| HTAŞ-17                 | 25                |                       |
| HTAŞ-18                 | 26,5              |                       |
| ÇAŞ-19                  | 32,5              | 45,67                 |
| ÇAŞ-20                  | 52,5              |                       |
| ÇAŞ-21                  | 52                |                       |
| TAŞ-22                  | 17,5              | 18,83                 |
| TAŞ-23                  | 16,5              |                       |
| TAŞ-24                  | 22,5              |                       |

Seri II güçlendirme metoduna göre yalın tuğla duvara göre numunelerin dayanımları önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca göçme öncesi yer değiştirme miktarlarında da kayda değer artış meydana gelmiştir.

**Tablo 6.12:** Seri II Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yerdeğiştirmeleri

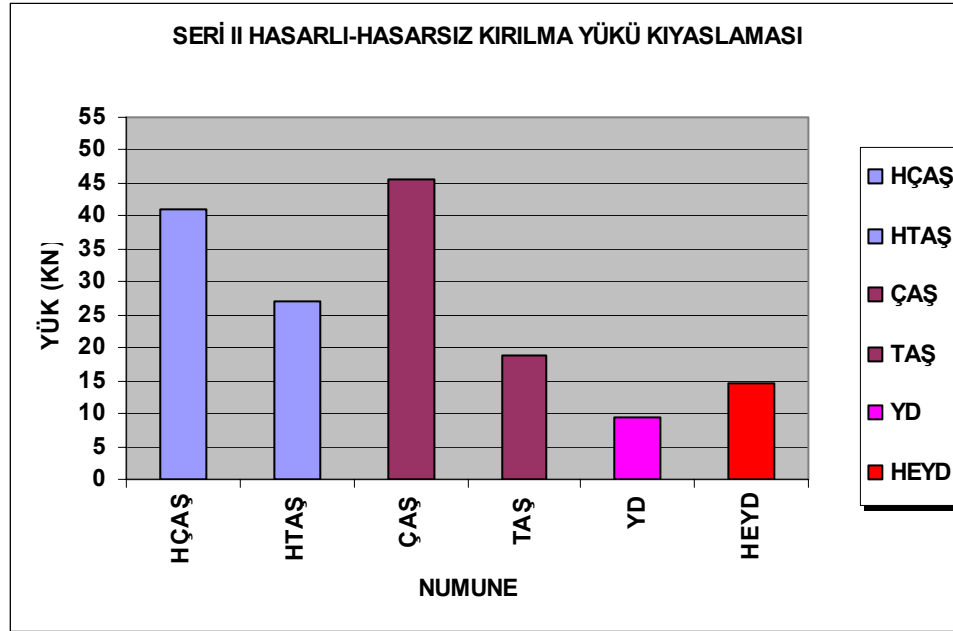
| <b>SERİ II-YERDEĞİşTİRME MİKTARI</b> |                           |                               |
|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Numune No                            | Yerdeğiştirme (mm x 0.01) | Ort. Yerdeğiştirme(mm x 0.01) |
| HÇAŞ-13                              | 19                        | 31,17                         |
| HÇAŞ-14                              | 47                        |                               |
| HÇAŞ-15                              | 27,5                      |                               |
| HTAŞ-16                              | 59                        | 57,17                         |
| HTAŞ-17                              | 60,5                      |                               |
| HTAŞ-18                              | 52                        |                               |
| ÇAŞ-19                               | 40                        | 42,83                         |
| ÇAŞ-20                               | 15                        |                               |
| ÇAŞ-21                               | 73,5                      |                               |
| TAŞ-22                               | 65                        | 69,67                         |
| TAŞ-23                               | 64                        |                               |
| TAŞ-24                               | 80                        |                               |

**Tablo 6.13:** Seri II Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması

| <b>SERİ II ORTALAMA DENEY SONUÇLARI KİYASLAMASI</b> |                   |                  |                                |                             |                                  |                               |                                                                                       |
|-----------------------------------------------------|-------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Numune No                                           | Kırılma Yüğü (KN) | Dep. (mm x 0.01) | YD'e göre Dayanım Değişimi (%) | YD'e göre Dep. Değişimi (%) | HEYD'e göre Dayanım Değişimi (%) | HEYD'e göre Dep. Değişimi (%) | Güçlendirme şekli                                                                     |
| HÇAŞ                                                | 41,17             | 31,17            | 341,26                         | 201,74                      | 180,83                           | -5,55                         |  |
| HTAŞ                                                | 27,00             | 57,17            | 189,39                         | 453,44                      | 84,17                            | 73,24                         |                                                                                       |
| ÇAŞ                                                 | 45,67             | 42,83            | 389,50                         | 314,62                      | 211,53                           | 29,79                         |                                                                                       |
| TAŞ                                                 | 18,83             | 69,67            | 101,82                         | 574,44                      | 28,44                            | 111,12                        |                                                                                       |
| YD                                                  | 9,33              | 10,33            |                                |                             | -36,36                           | -68,70                        |                                                                                       |
| HEYD                                                | 14,66             | 33,00            | 57,13                          | 219,46                      |                                  |                               |                                                                                       |

Önceden hasar verilip çift taraflı güçlendirilen numunelerin ortalama kırılma yüğü, yalın duvar ortalamasına göre % 341 artmış, tek yönlü uygulamalarda yalın duvara göre % 189 artmıştır. Hasarsız çift taraflı güçlendirilen numunelerde ortalama kırılma yüğü yalın duvara göre % 389, tek taraflılarda ortalama dayanım % 102 artış göstermiştir. Önceden hasar verilmiş ve çift taraflı ayrık şerit CFRP ile güçlendirilen numunelerde ortalama dayanım, epoksi ile onarılan duvara göre % 181 artmış, tek taraflı güçlendirmede artış % 84 olmuştur. Hasarsız çift taraflı örneklerde dayanım epoksi ile onarılan duvara göre % 211, tek taraflılarda dayanım % 28 olmuştur. Buna

göre hasarsız bir duvarı, eğer uygulanabiliyorsa, şerit CFRP'leri çift taraflı ve ayırık yapmak taşıyıcı duvar dayanımını önemli ölçülerde artıracaktır.(Şekil 6.13)



**Şekil 6.13:** Seri II Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Kırılma Yükü Kıyaslaması

Seri II güçlendirmesi içinde en yüksek kırılma yüküne sahip numune ÇAŞ yani önceden hasar verilmeyip çift taraflı ayırık şerit CFRP ile takviye edilen numune olmuştur. En düşük kırılma yüküne sahip numune ise TAŞ yani önceden hasar verilmemiş tek taraflı ayırık şerit CFRP kullanılarak yapılan takviyede olmuştur.

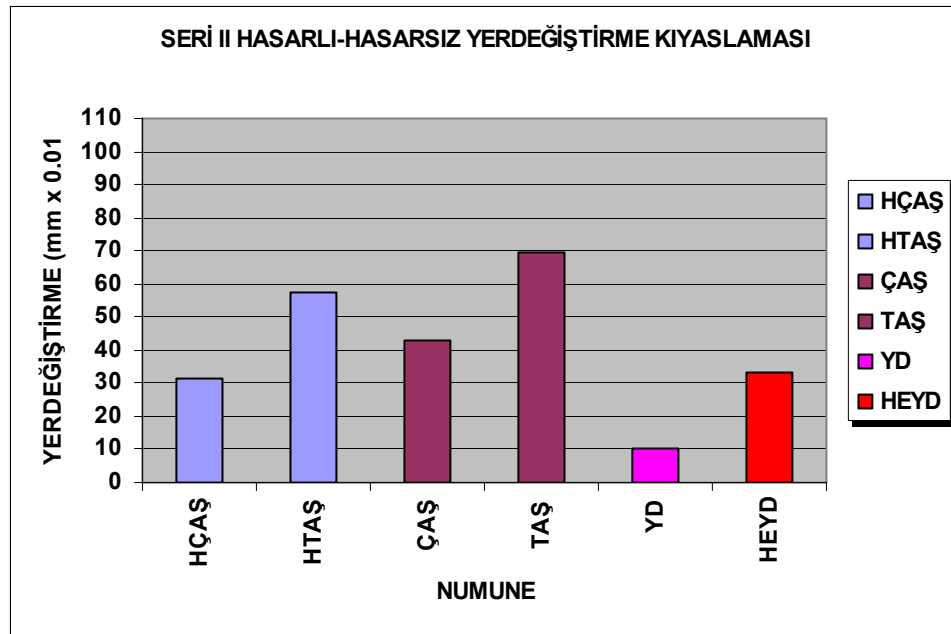
Şekil 6.13'de yalın duvarın (YD) kırılma yükü önceden hasar verilip epoksi ile onarılan duvarın (HEYD) ve seri II numunelerinin kırılma yükü kıyaslaması görülmektedir. Buna göre gerek önceden hasar almış, gerekse önceden hasar verilmemiş olsun taşıyıcı duvarın çift taraflı takviye edilmesi duvarın davranışını önemli ölçülerde artırmıştır. Tek taraflı güçlendirmelerde de duvar dayanımının artışı açıkça görülmektedir.

Çift taraflı numunelerde önceden hasar verilmemiş numunelerde daha yüksek dayanım gösterirken, tek taraflı güçlendirmede önceden hasar verilen numuneler daha dayanıklıdır. Bu sonuç şerit CFRP ile yapılan güçlendirme sonuçlarıyla tam uyuşmamaktadır. Model tuğla duvarların gerek güçlendirme öncesi olsun, gerekse güçlendirme sonrası olsun davranışını etkileyen pek çok faktör vardır. Bu nedenle model tuğla duvarlar homojen davranmamaktadır. Model duvarı oluşturan tuğlanın kendine has özellikleri, harcın özellikleri, uygulama koşulları ve işçilik, hasar verilen duvarlarda çatlakların içine epoksinin fazla etkimemesi gibi nedenlerden ötürü model

duvarlar heterojen davranmaktadır. Bu yüzden epoksi ile onarımın tek taraflı numunelerde dayanımı artırıcı etkisi çift taraflı numunelerde görülmemektedir. Önceden hasar verilmiş ve hasar verilmemiş çift taraflı takviyelerde yalın duvara göre dayanım 4-4.5 kat artmış, tek taraflı numunelerde bu artış 2-2.5 kat olmuştur.

Tek taraflı numunelerde artış çift taraflı numunelere göre kayda değer değildir. Daha önce de ifade edildiği gibi tek taraflı numunelerde takviye ile birlikte duvarın bir yüzü oldukça rijit bir hal almış, kompozitteki dışmerkezlik erken göçmeye neden olmuştur. Şekil 6.13'deki diyagrama bakıldığında önceden hasar verilmemiş yalın duvar tek taraflı takviye edildiğinde dayanım 2 katına çıkmaktadır. Hasara uğramış duvar epoksi ile onarıldığında dayanım 1.5 kat artarken, benzer duvar tek taraflı güçlendirildiğinde dayanım 3 kat artmaktadır.

Önceden hasar verilmiş tek taraflı takviyeli duvarın, hasar verilmemiş numunelere göre fazla dayanım göstermesi epoksi etkisi ile olmuştur. Ancak çift taraflı numunelerde epoksinin etkisinden bu oranda söz etmek mümkün görülmemektedir. Çünkü önceden hasar verilmemiş çift taraflı takviyeler daha yüksek dayanım göstermiştir. Bunda aderans çözülmesi veya hasar sonrası onarım şekli veya duvarın başlangıçta aldığı hasar miktarı rol oynayabilir.



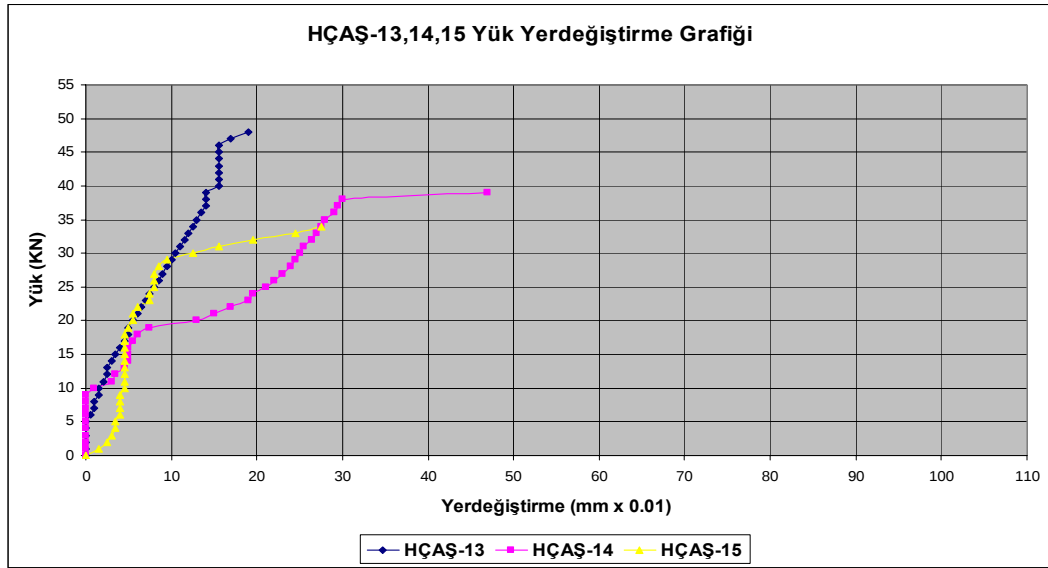
**Şekil 6.14:** Seri II Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslaması

Seri II örneklerine ait ortalama yerdeğiştirme kıyaslama grafiği Şekil 6.14'de görülebilir. Önceden hasar verilmiş çift taraflı örneklerde yerdeğiştirme yalın duvara göre 2 kat, tek taraflı numunelerde 4.5 kat artış olmuştur. Hasarsız çift taraflı

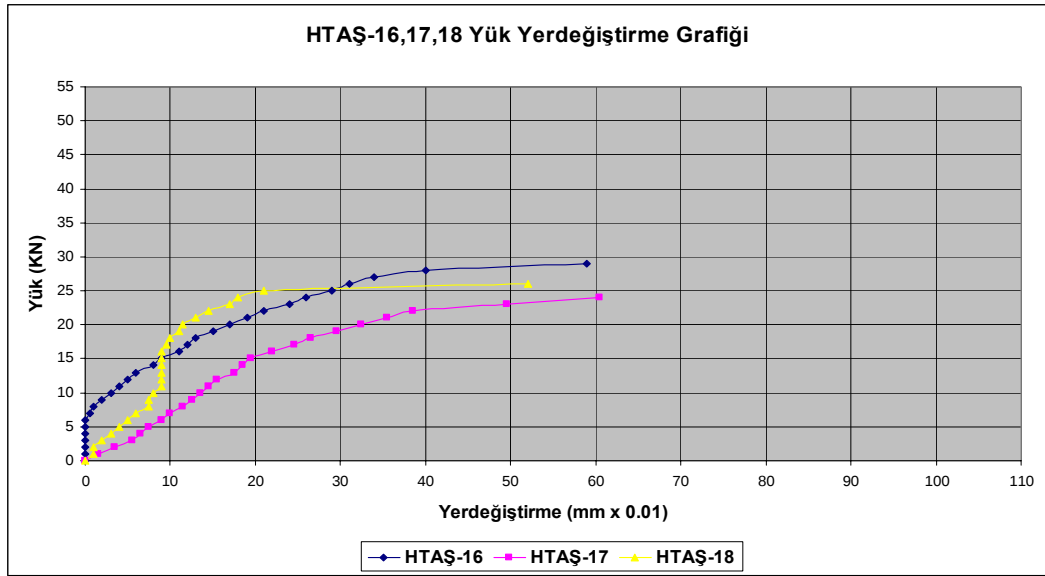
numunelerde yalın duvara göre yerdeğiştirme 3 kat, tek taraflı numunelerde 5.7 kat yükselmiştir. Buna göre ayrıık şerit güçlendirmesiyle ulaşılan dayanım ve yerdeğiştirmedeki artış ile tuğla duvar ve CFRP'den oluşan kompositin sünek davranış gösterdiği söylenebilir.( Tablo 6.13 )

Çift taraflı numunelerde CFRP yüzeyinden tek taraflı numunelerde tuğla duvar yüzeyinden ölçülen göçme anındaki yerdeğiştirme tek taraflı numunelerde daha çok yerdeğiştirme yapmıştır. Yalın duvara göre duvar dayanımı ve yerdeğiştirmelerde artış olmuştur. Çift taraflı numunelerdeki yüksek dayanım yerdeğiştirmelere yansımamıştır. Ancak, taşıma kapasitesindeki artışla birlikte çift taraflı takviyeli duvarlarda fazla parçalanmadan göçtüğü gözlemlenmiştir.

Seri II' de hasarlı çift yönlü ve tek yönlü olarak uygulanan numunelerin yük yerdeğiştirme grafiği şekil 6.15 ve şekil 6.16'de verilmiştir. Seri II'nin tüm numunelerinin karşılaştırmalı grafiği Ek B.2'de çizilmiştir.

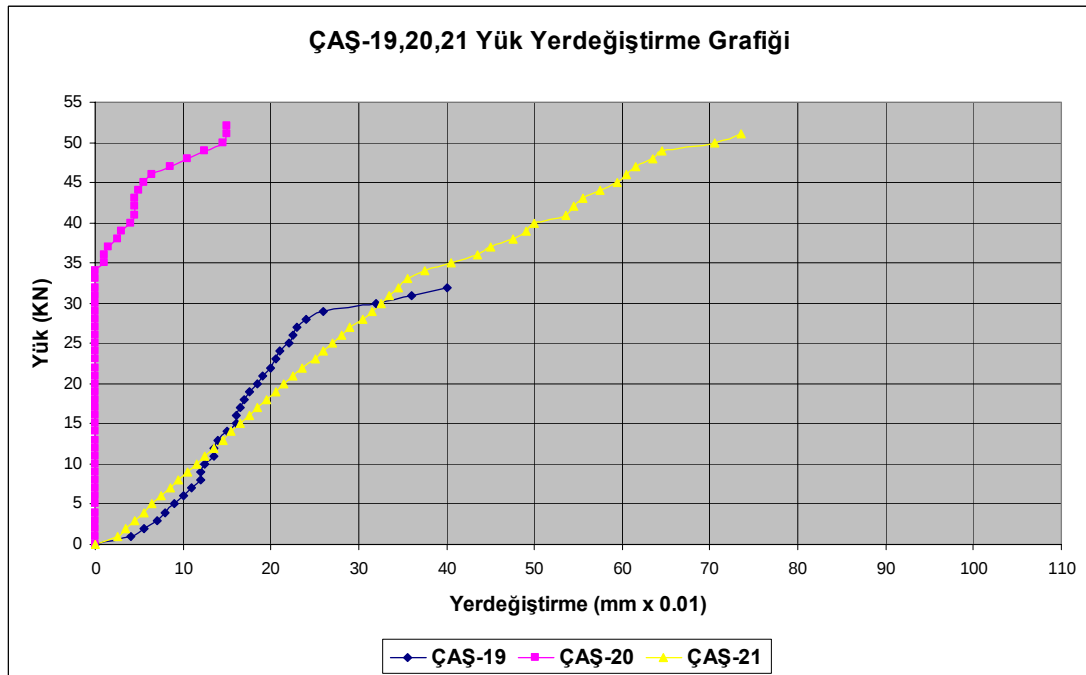


şekil 6.15: HÇAS–13,14,15'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

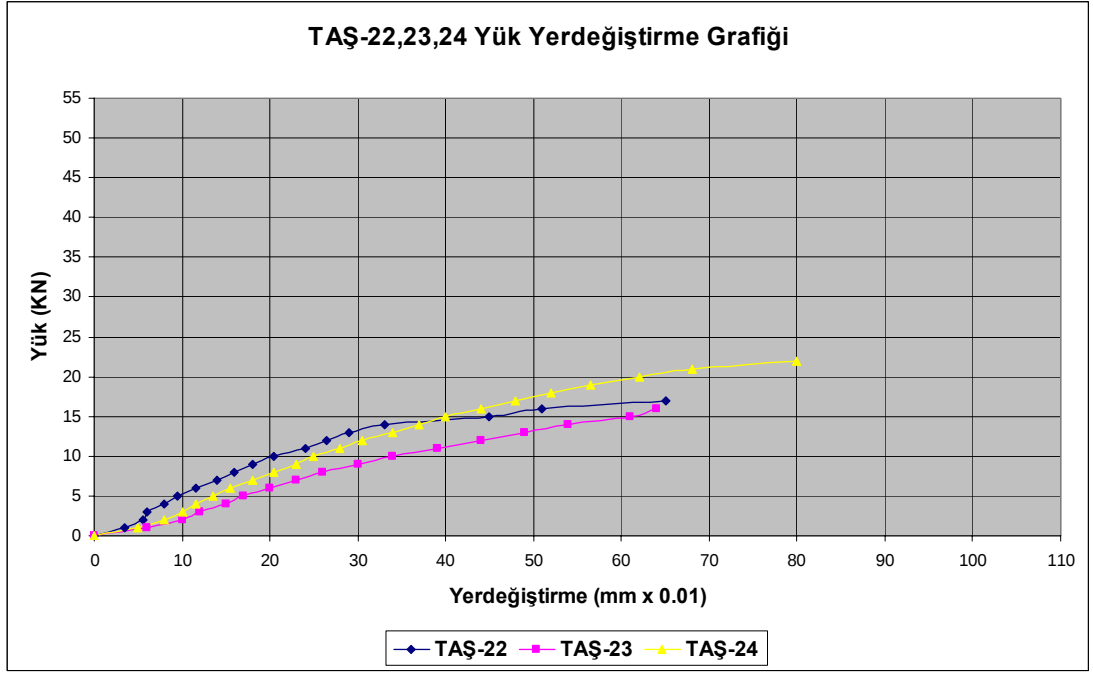


Şekil 6.16: HTAŞ-16,17,18'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Seri II' de hasarsız olarak çift yönlü ve tek yönlü olarak uygulanan numunelerin yük yerdeğiştirme grafiği şekil 6.17 ve şekil 6.18'de verilmiştir.



Şekil 6.17: ÇAŞ-19,20,21'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği



**Şekil 6.18:** TAŞ-22.23.24'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Örneklerin tipik göçme mekanizmaları Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de görüldüğü gibidir. Güçlendirilen numunelerde önce çatlaklar oluşmuş daha sonra numune maksimum kırılma yüküne ulaşmış ve bunun ardından yük kesilmiştir. Yükleme sonrası CFRP ile tuğla duvar yüzeyi arasında ayrılmalar olmuş, ama tamamen ayrılma gerçekleşmemiştir. Yalın tuğla duvarlar maksimum yükte ani kırılmayla dağılmaya uğrasalar da, CFRP ile güçlendirilen numunelerin gerek çift yönlülerinde ve de gerekse tek yönlü uygulamalarında herhangi bir dağılma olmamıştır. Yükleme sonrası numuneler bir arada kalmıştır.



**Şekil 6.19:** Seri II Numunesinin Kırılma Mekanizması



**Şekil 6.20:** Seri II Numunesinin Yükleme Sonrası Görünüşü

### 6.5. Tuğla Duvar Numunelerinin Dokuma CFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri III)

Seri III oluşturan numuneler dokuma CFRP kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. Dokuma CFRP yüzeyin şeklini alan, tek yönde kuvvetli liflerden meydana gelmektedir. Dokuma Liflerin kuvvetli eksenleri çekme yönünde olacak şekilde uygulanmıştır. Hasarsız, önceden hasar verilmiş, çift taraflı ve tek taraflı güçlendirilen numunelere CFRP tüm yüzeyi kaplayacak şekilde uygulanmıştır. Numune boyutlarının küçük olması sebebiyle, tek yönlü karbon fiber donatısının genişliği küçük tutulamamış kendi epoksi esaslı yapıştırıcısı kullanılarak tüm tuğla duvar yüzeyine uygulanmıştır. Böylece farklı oranlarda CFRP kullanımı deney verileriyle değerlendirmeye alınmıştır.

**Tablo 6.14:** Seri III Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri

| SERİ III-KIRILMA YÜKLERİ |                   |                        |
|--------------------------|-------------------|------------------------|
| Numune No                | Kırılma Yüğü (KN) | Ort. Kırılma Yüğü (KN) |
| HÇD-25                   | 74,5              | 62,67                  |
| HÇD-26                   | 61,5              |                        |
| HÇD-27                   | 52                |                        |
| HTD-28                   | 25                | 30                     |
| HTD-29                   | 26                |                        |
| HTD-30                   | 39                |                        |
| ÇD-31                    | 63                | 60,17                  |
| ÇD-32                    | 64                |                        |
| ÇD-33                    | 53,5              |                        |
| TD-34                    | 18                | 19,67                  |
| TD-35                    | 22                |                        |
| TD-36                    | 19                |                        |

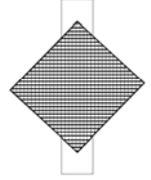
**Tablo 6.15:** Seri III T.D.Numunelerinin Max. ve Ortalama Yerdeğıştirmeleri

| SERİ III-YERDEĞİŞTİRME MİKTARI |                           |                               |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Numune No                      | Yerdeğıştirme (mm x 0.01) | Ort. Yerdeğıştirme(mm x 0.01) |
| HÇD-25*                        | -                         | 151,5                         |
| HÇD-26                         | 335,5                     |                               |
| HÇD-27                         | 119                       |                               |
| HTD-28                         | 53                        | 106,33                        |
| HTD-29                         | 113                       |                               |
| HTD-30                         | 153                       |                               |
| ÇD-31                          | 104                       | 256                           |
| ÇD-32                          | 222                       |                               |
| ÇD-33                          | 442                       |                               |
| TD-34                          | 116                       | 78                            |
| TD-35                          | 39                        |                               |
| TD-36                          | 79                        |                               |

\*not: HÇD-25\* nolu numunede yükleme sırasında ekstansometrenin yüzeyden ayrılması sonucu yer değiştirme miktarı belirlenememiştir.

Seri III' e ait genel özellikler Tablo 6.3' de verilmiştir. Seri III örneklerine ait kırılma yükleri ve ortalamaları Şekil 6.14'de, farklı yük kademelerine ait yerdeğıştirmeler ve ortalama değeri Tablo 6.15'de verilmiştir.

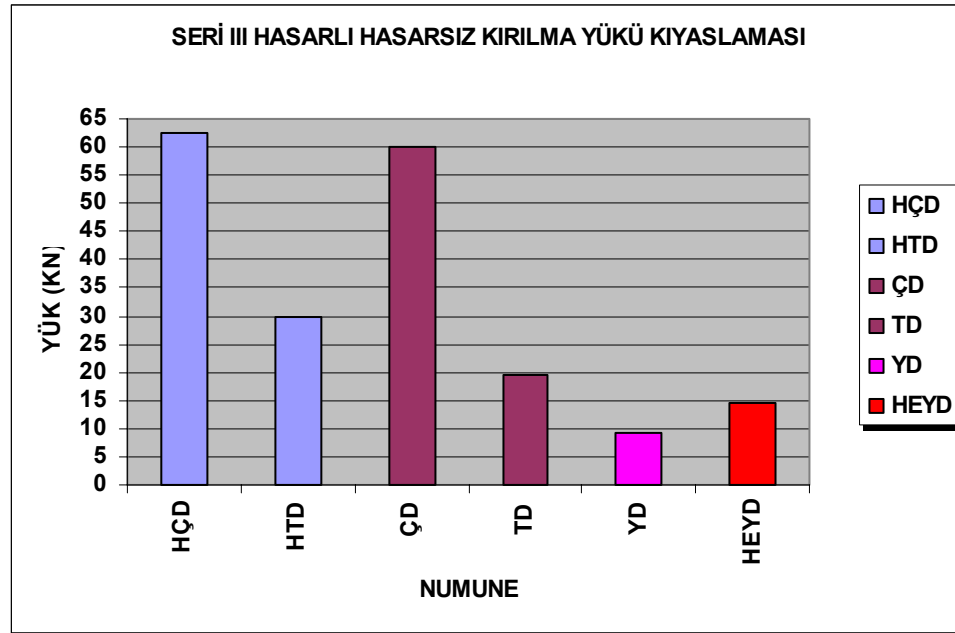
**Tablo 6.16:** Seri III Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması

| <b>SERİ III ORTALAMA DENEY SONUÇLARI KIYASLAMASI</b> |                          |                         |                                       |                                    |                                         |                                      |                                                                                      |
|------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Numune No</b>                                     | <b>Kırılma Yüğü (KN)</b> | <b>Dep. (mm x 0.01)</b> | <b>YD'e göre Dayanım Değışimi (%)</b> | <b>YD'e göre Dep. Değışimi (%)</b> | <b>HEYD'e göre Dayanım Değışimi (%)</b> | <b>HEYD'e göre Dep. Değışimi (%)</b> | <b>Güçlendirme Şekli</b>                                                             |
| <b>HÇD</b>                                           | 62,67                    | 151,50                  | 571,70                                | 1366,60                            | 327,49                                  | 359,09                               |  |
| <b>HTD</b>                                           | 30,00                    | 106,33                  | 221,54                                | 929,33                             | 104,64                                  | 222,21                               |                                                                                      |
| <b>ÇD</b>                                            | 60,17                    | 256,00                  | 544,91                                | 2378,22                            | 310,44                                  | 675,76                               |                                                                                      |
| <b>TD</b>                                            | 19,67                    | 78,00                   | 110,83                                | 655,08                             | 34,17                                   | 136,36                               |                                                                                      |
| <b>YD</b>                                            | 9,33                     | 10,33                   |                                       |                                    | -36,36                                  | -68,70                               |                                                                                      |
| <b>HEYD</b>                                          | 14,66                    | 33,00                   | 57,13                                 | 219,46                             |                                         |                                      |                                                                                      |

Deney verilerinden de incelenebileceğı gibi, gerek çift taraflı örneklerde, gerekse de tek taraflı numunelerde en yüksek dayanım ve yerdeğışirme Seri III güçlendirmesinde elde edilmiştir. Bu nedenle, güçlendirme uygulamalarında kullanılabilecek bir yöntemdir. Ancak gerçek boyutlarında tuğla duvarlar veya yapı örnekleri kullanılarak araştırma yapılmalı, bina sistemi içindeki davranışı deneysel çalışmalarla incelenmelidir. Maliyet analizi yapılarak alternatif uygulamalar değeriendirilmelidir.

Seri III' de hasarlı başlığında oluşturulan tuğla duvar örneklerinden çift yönlü olan numunelerin dayanımı yalın tuğla duvar numunelerine göre % 572 oranında, tek yönlü güçlendirilen önceden hasar verilen numunelerin dayanımı % 221 oranında artmıştır. Hasarsız çift taraflı numunelerde yalın duvara göre dayanım % 545 olmuş, tek taraflı numunelerde %111 artış olmuştur (Tablo 6.16). Şekil 6.21'de Seri III numunelerinin dayanımları çubuk diyagramda karşılaştırmalı olarak görülebilir.

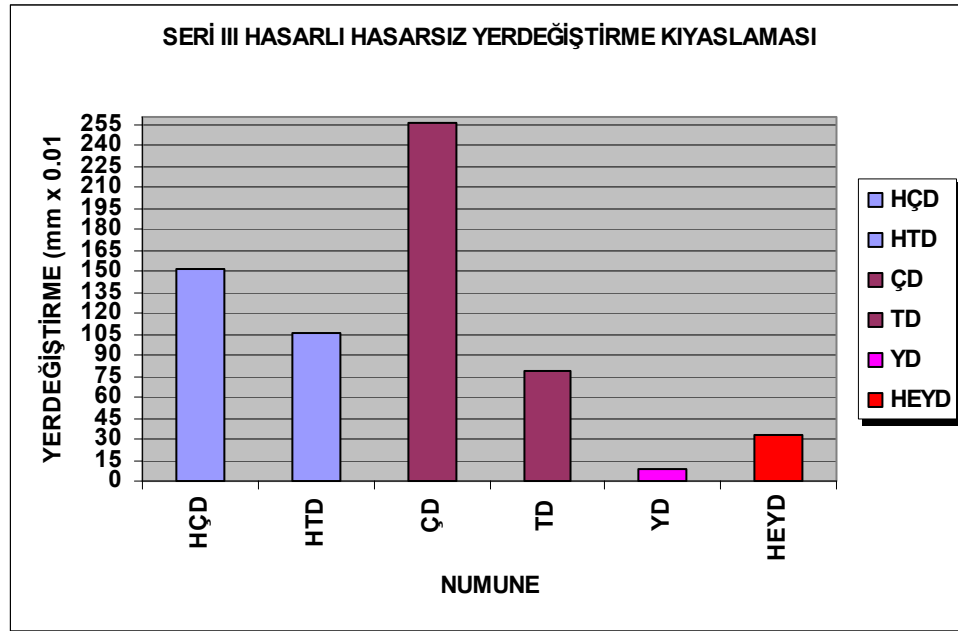
Önceden hasar almış çift taraflı takviye edilen numunelerin yalın duvara göre yerdeğıştirmeleri 13 kat, hasarlı tek taraflı numunelerde 9 kat artmıştır. Hasarsız çift taraflı numunelerin yalın duvara göre yerdeğıştirmeleri 5 kat artış olmuş, hasarsız tek taraflı numunelerde 1 kat artış olmuştur (Tablo 6.16). Şekil 6.22'de deney verilerine göre oluşturulan yerdeğışirme çubuk diyagramı sunulmuştur.



**Şekil 6.21:** Seri III' ün Hasarlı Hasarsız Kırılma Yüğü Kıyaslaması

Seri III içindeki en yüksek kırılma yüküne sahip numune HÇD yani önceden hasar verilmiş çift taraflı dokuma CFRP ile takviye edilmiş numunedir. En düşük kırılma yüküne sahip numune ise TD yani önceden hasar verilmemiş tek taraflı dokuma CFRP ile güçlendirilen numunedir.

Şekil 6.21'de yalın duvar(YD) kırılma yükü hasar verilip epoksi ile onarılan (HEYD) ve seri III numunelerinin kırılma yükü kıyaslaması görülmektedir. Bu kıyaslamadan da anlaşıldığı gibi gerek önceden hasar alıp güçlendirilmiş numunelerde, gerekse hasar verilmeden güçlendirilen tek ve çift taraflı numunelerdeki duvar davranışı önemli oranlarda etkilenmiştir. Önceden hasar verilmiş örneklerin epoksi kullanarak onarılması ve ardından takviye edilmesiyle tek taraflı ve çift taraflı örneklerde dayanımı artırmıştır. Göçme yükü diyagramları incelendiğinde çift taraflı numunelerde dayanım yalın duvara göre 6 kat artarken, tek taraflı takviyelerde bu oran 2-3 kat olmuştur. Diğer serilerle benzer şekilde önceden göçme seviyesine yakın bir şekilde hasara uğrayan yalın duvar en zayıf yerinin kuvvetlenmesiyle dayanımı artırıcı bir etki göstermiştir. Tek taraflı örneklerde diğer zayıf bölgelerden göçmeye uğramıştır. Önceden hasar verilmemiş tek taraflı takviye edilen numuneler yalın duvara göre dayanım artış gösterse de kayda değer derecede değildir. Tek taraflı numunelerdeki dışmerkezlik burada da benzer şekilde erken göçmeye neden olmuştur. Önceden hasar verilmiş tek taraflı takviyeli örneklerde dayanım epoksi ile onarılan numunelere göre benzer şekilde meydana gelmiştir.

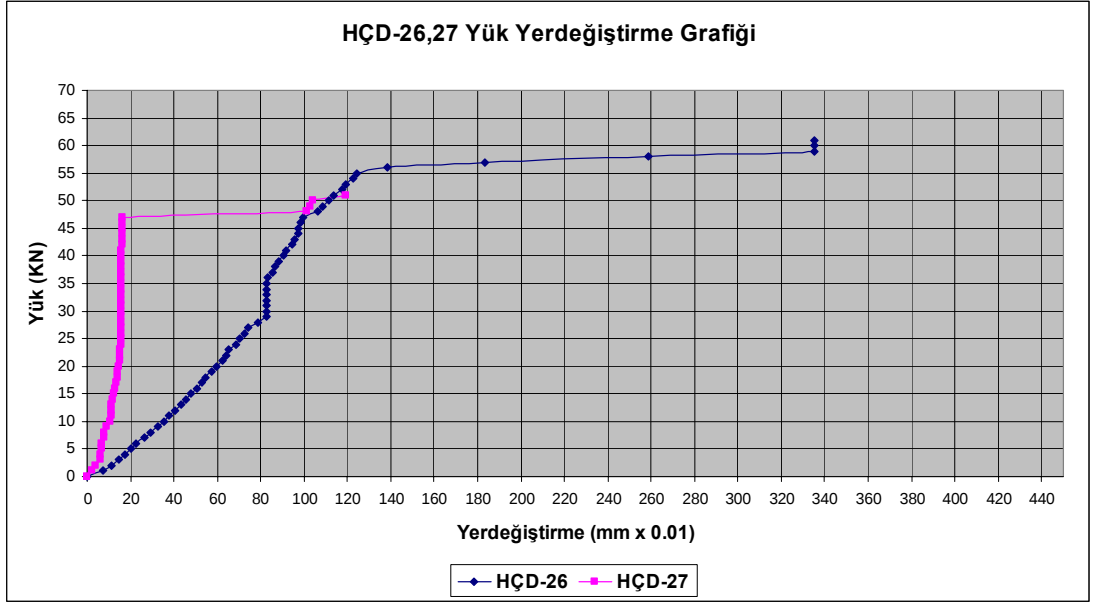


**Şekil 6.22:** Seri III' ün Hasarlı Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslaması

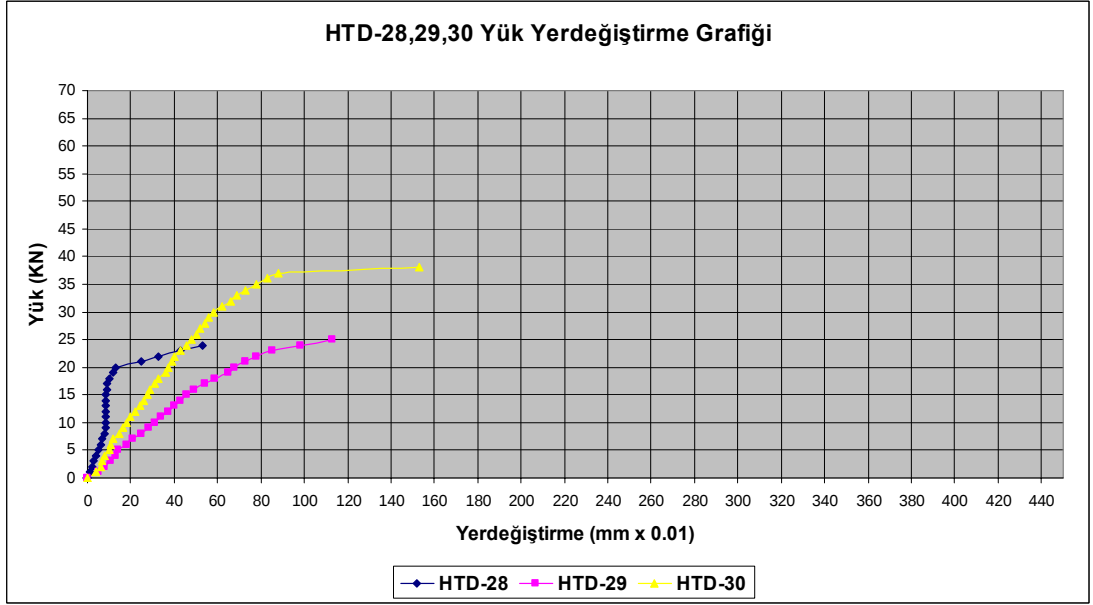
Seri III örneklerine ait ortalama yerdeğiştirme kıyaslama grafiği Şekil 6.22'de görülebilir. Önceden hasar verilmiş çift taraflı takviyeli örneklerde yerdeğiştirme yalın duvara göre 13 kat, tek taraflı takviyeli numunelerde 9 kat artış olmuştur. Hasarsız çift taraflı takviyeli numunelerde yalın duvara göre yerdeğiştirme 23 kat, tek taraflı takviyeli numunelerde 6.5 kat yükselmiştir. Buna göre seri III güçlendirmesinin dayanımı artırdığı gibi büyük şekil değiştirmeler yaparak kompozitin sünek davranmasını sağladığı görülmektedir.

Özellikle çift taraflı takviye edilmiş numunelerde dokuma CFRP'nin tüm tuğla duvar yüzeyine uygulaması kompozitin dayanımını ve yerdeğiştirme miktarını artırarak sünek bir davranış içine sokmuştur. Fiberler tuğla duvar yüzeyine yayılarak yük taşıma kapasitesini artırmış, fiberlerin dokuma CFRP yapıştırıcısı ve tuğla duvar yüzeyi arasındaki aderansın son derece kuvvetli olduğu göçme şeklinden gözlemlenmiştir.

Seri III' de önceden hasar verilmiş çift ve tek yönlü olarak güçlendirilen numunelerin yük yerdeğiştirme grafiği Şekil 6.23'de ve Şekil 6.24'de verilmiştir. Seri III tüm numunelerine ait yük yerdeğiştirme karşılaştırmalı grafiği Ek B.3'de görüldüğü gibidir.

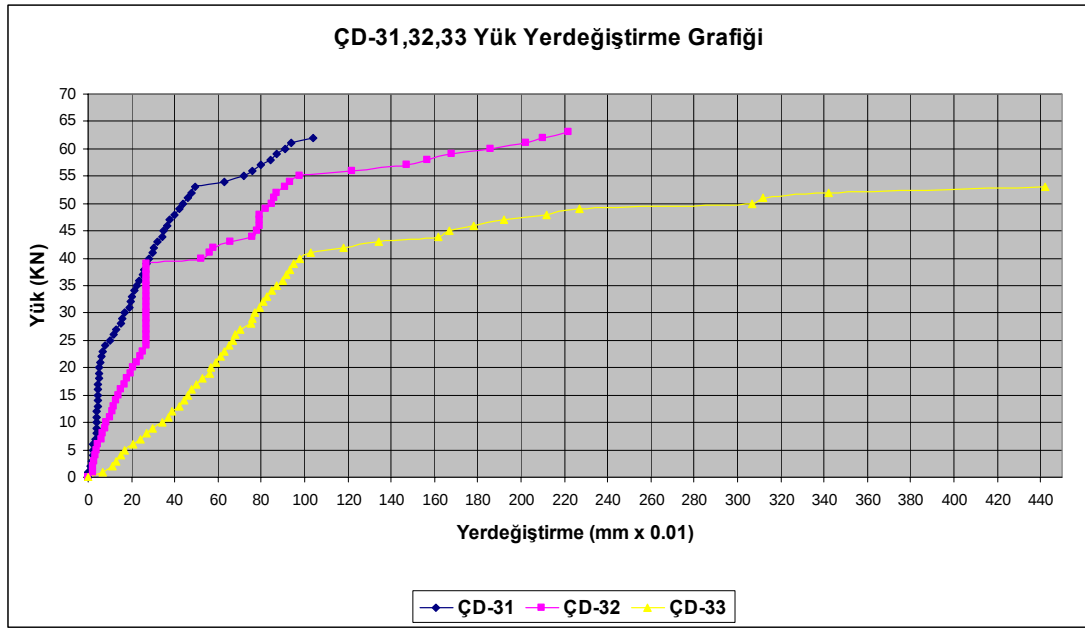


**Şekil 6.23:** HÇD–26,27’nin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

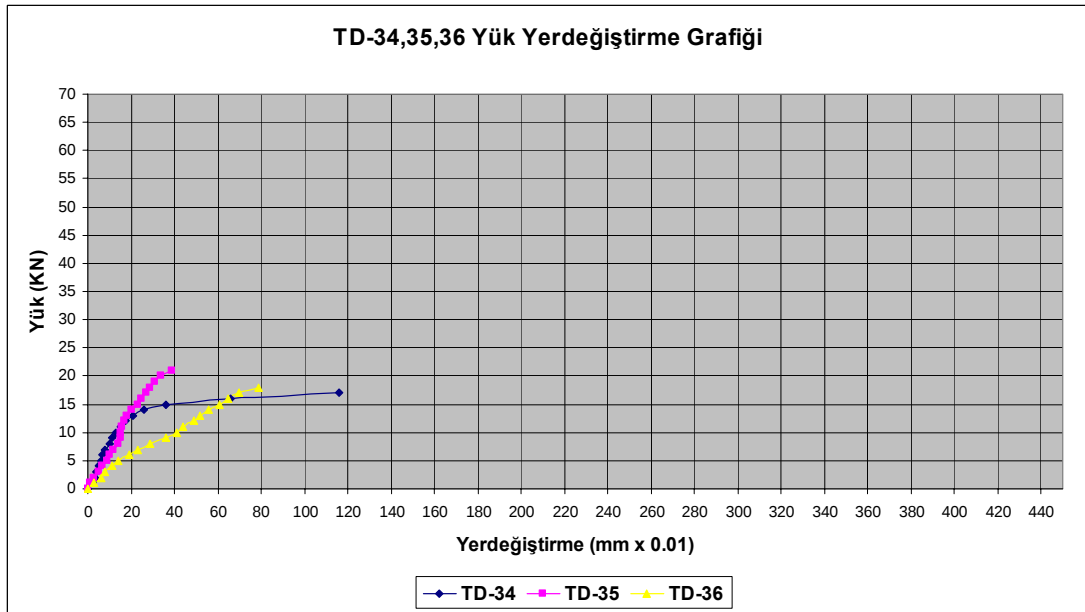


**Şekil 6.24:** HTD–28,29,30’un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Seri III’de hasarsız çift ve tek yönlü olarak uygulanan numunelerin yük yerdeğiştirme grafiği Şekil 6.25’de ve Şekil 6.26’de verilmiştir.



**Şekil 6.25:** ÇD-31,32,33'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği



**Şekil 6.26:** TD-34.35.36'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Seri III örneklerin tipik göçme mekanizmaları Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de görüldüğü gibidir. Dayanımları oldukça artan numunelerin göçme mekanizmalarına baktığımızda epoksi esaslı yapıştırıcıyla uygulanan dokuma CFRP'nin tuğla duvar ile aderansının oldukça iyi olduğu görülür. Göçmelerin tuğla duvarın kendi içinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Güçlendirilen numuneler hiçbir şekilde dağılmaya

uğramamışlardır. Tuğla duvarda oluşan iç gerilmeler sonucu göçme veya çatlaklar buralarda başlamış ve maksimum dayanımda ani kırılmaya uğramıştır.



**Şekil 6.27:** Seri III Numunesinin  
Göçme Mekanizması



**Şekil 6.28:** Seri III Numunesinin  
Yükleme Sonrası

#### 6.6 Seri I Sonuçlarının Seri II Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

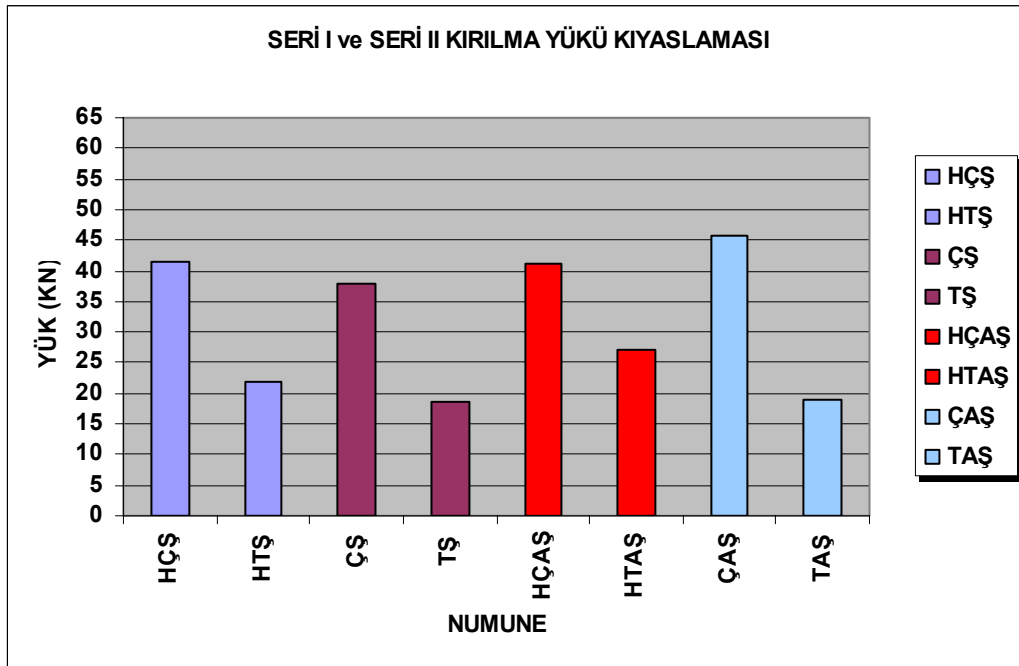
Bu bölümde şerit CFRP (Seri I) ile ayrı şerit CFRP (Seri II) kullanılarak güçlendirilen numunelerin yükleme sonrası oluşan kırılma yükleri ortalaması ve yerdeğiştirme ortalaması dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır.

**Tablo 6.17:** Seri I ve Seri II Ortalama Deney Verileri

| SERİ I ve SERİ II KIYASLAMASI |           |                   |                  |
|-------------------------------|-----------|-------------------|------------------|
| Seri No                       | Numune No | Kırılma Yüğü (KN) | Dep. (mm x 0.01) |
| Seri I                        | HÇŞ       | 41,33             | 108,67           |
|                               | HTŞ       | 22,00             | 66,83            |
|                               | ÇŞ        | 38,00             | 64,83            |
|                               | TŞ        | 18,67             | 66,50            |
| Seri II                       | HÇAŞ      | 41,17             | 31,17            |
|                               | HTAŞ      | 27,00             | 57,17            |
|                               | ÇAŞ       | 45,67             | 42,83            |
|                               | TAŞ       | 18,83             | 69,67            |

Tablo 6.17’de Seri I ve Seri II duvar numunelerinin ortalama deney verileri görülebilir. Buna göre: önceden hasar verilmiş çift taraflı numuneler birbirine yakın davranış içindedir. Önceden hasar verilmiş tek taraflı güçlendirilen numunelerde Seri

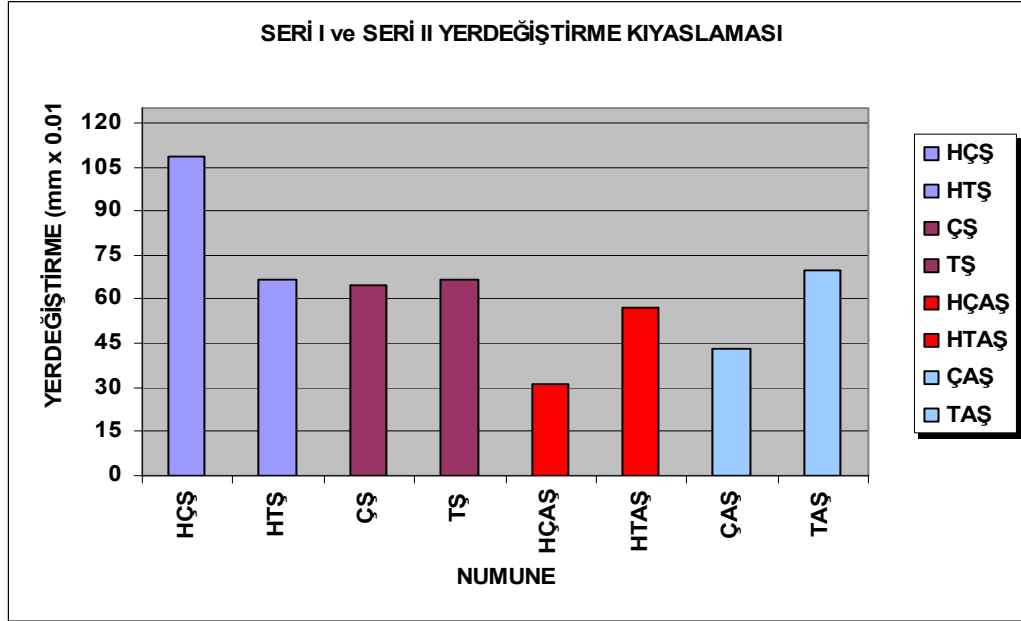
II güçlendirme şekli seri I'e göre %22 daha iyi dayanımlıdır. Hasarsız çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerde Seri II güçlendirme şekli %20 oranında daha iyi sonuç vermiştir. Buna göre deprem hasarı olmayan taşıyıcı duvarlarda, duvar yüzeyine şeritleri yaymak dayanım açısından daha etkili olabilir. Tek taraflı önceden hasar verilmemiş numuneler birbirine yakın değerdedirler. Şeritleri ayırık yapmanın daha zor olduğu düşünülürse, tek taraflı numunelerde şeritleri bütün olarak uygulamak tercih edilebilir bir yöntemdir. Şekil 6.29'da Seri I ve Seri II örneklerinin dayanım kıyaslanması için çubuk diyagram verilmiştir.



**Şekil 6.29:** Seri I ve Seri II Kırılma Yüğü Kıyaslaması

Seri I güçlendirme şekli Seri II güçlendirme şekline kıyasla duvar davranışını kayda değer bir fark oluşturmamıştır. En yüksek kırılma yüküne ÇAŞ yani önceden hasar verilmemiş çift taraflı olarak ayırık şerit (seri II) ile takviye edilen numunedir, benzer numune şerit CFRP ile yapılan takviyede de aynı davranıştaadır. En düşük kırılma yüküne TŞ yani önceden hasar verilmemiş tek taraflı şerit CFRP ile güçlendirilen numunedir. Çift taraflı hasarlı numunelerin hasarsız numunelere göre dayanımı çok yakın sonuçlanmıştır, tek taraflı hasarlı numuneler hasarsız numunelere göre %30 daha fazla yük taşıma kapasitesindedir. Şerit CFRP ile çift taraflı ve tek taraflı takviyelerde epoksi ile iyileştirilen model duvarlar, hasarsız model duvarlara göre daha yüksek dayanımdadır. Ayırık şerit CFRP ile yapılan tek taraflı takviyede aynı

sonuç görülürken çift taraflı takviyelerde bu durum görülmemektedir. Bu durum, model tuğla duvarların standart olarak örülmesi ve de güçlendirilmesi gerçekleştirilse de heterojen özellikte olduğunu kanıtlamaktadır. Güçlendirme kararı alınırken bu durum dikkate alınmalıdır. Diğer yandan gerek önceden hasar verilmiş olsun, gerekse hasar verilmemiş olsun duvarların her iki yüzünün güçlendirilmesi halinde kırılma yükü duvar tek yüzünün güçlendirilmesi göre kıyasla hemen hemen iki katına çıkmaktadır.



**Şekil 6.30:** Seri I ve Seri II Yerdeğiştirme Kıyaslaması

Önceden hasar verilip çift taraflı ve tek taraflı güçlendirilen numunelerde, ayrıca hasarsız çift taraflı numunelerde Seri I'in Seri II'e göre yerdeğiştirmesi daha büyüktür. Hasarsız tek taraflı numunelerde Seri II güçlendirmesinde daha fazla yerdeğiştirme olmuştur. Buna göre Seri I ile yapılan güçlendirmede, yerdeğiştirmelerin yüksek olması kompositin daha sünek davrandığı gösterir. Şekil 6.30'da Seri I ve Seri II örneklerinin yerdeğiştirme kıyaslanması çubuk diyagram ile sunulmuştur.

### 6.7 Seri I Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

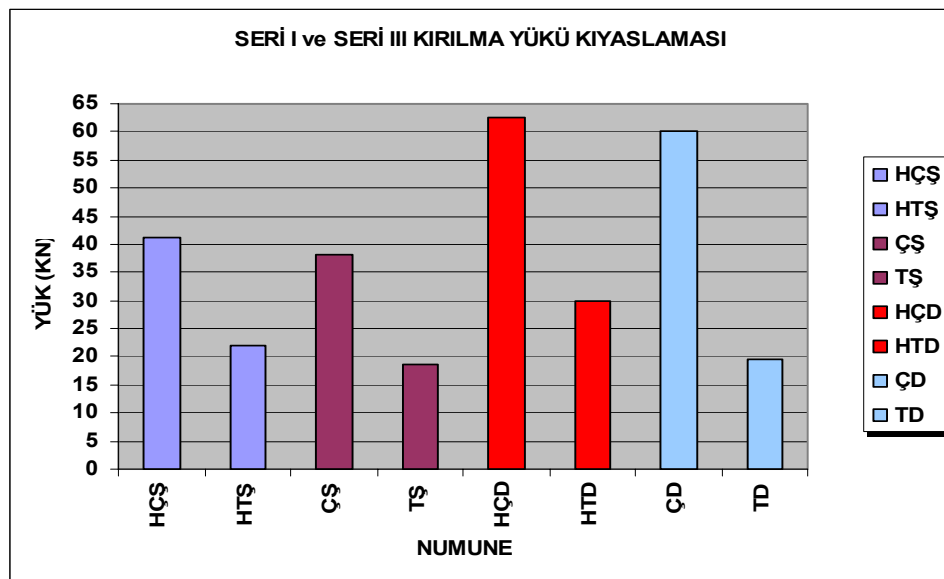
Şerit CFRP (Seri I) ile dokuma şerit CFRP (Seri III) kullanılarak güçlendirilen numunelerin yükleme sonrası oluşan kırılma yükleri ortalaması ve yerdeğiştirme

ortalaması dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Deney verilerinden elde edilen sonuçlar Tablo 6.18’de düzenlenmiştir

**Tablo 6.18:** Seri I ve Seri III Ortalama Deney Verileri

| SERİ I ve SERİ III KIYASLAMASI |           |                   |                  |
|--------------------------------|-----------|-------------------|------------------|
| Seri No                        | Numune No | Kırılma Yüğü (KN) | Dep. (mm x 0.01) |
| Seri I                         | HÇŞ       | 41,33             | 108,67           |
|                                | HTŞ       | 22,00             | 66,83            |
|                                | ÇŞ        | 38,00             | 64,83            |
|                                | TŞ        | 18,67             | 66,50            |
| Seri III                       | HÇD       | 62,67             | 151,50           |
|                                | HTD       | 30,00             | 106,33           |
|                                | ÇD        | 60,17             | 256,00           |
|                                | TD        | 19,67             | 78,00            |

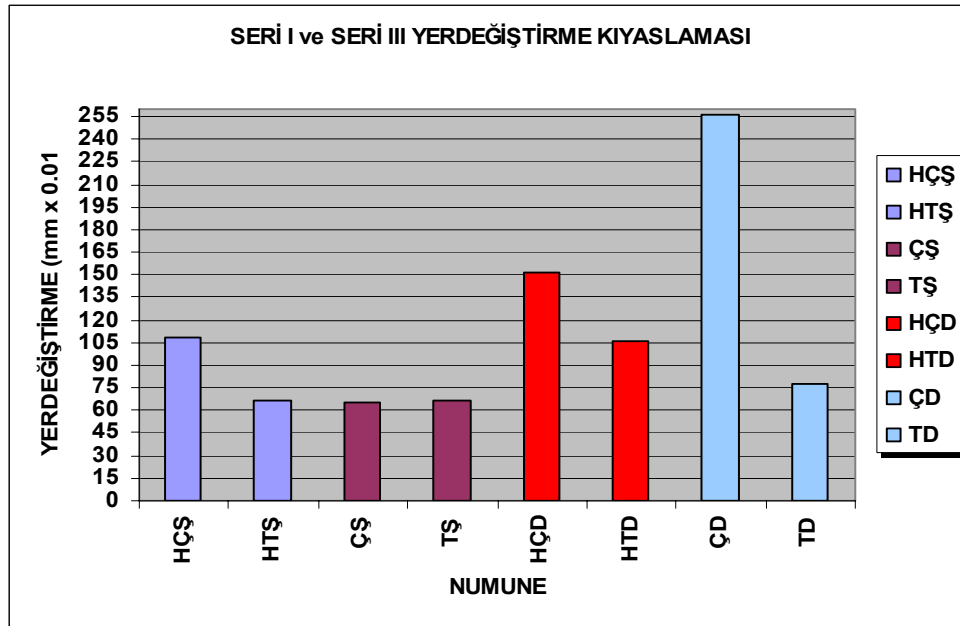
Önceden hasar verilirip çift yönlü Seri III ile güçlendirilen numuneler Seri I’e göre %51 daha fazla yük altında kırılmıştır. Hasarlı tek taraflı numunelerde Seri III’ ün Seri I’e göre dayanımı %36 daha fazla olmuştur. Hasarsız çift taraflı güçlendirilen numunelerde Seri III Seri I’e göre %57 daha fazla dayanım göstermiş, tek taraflı örneklerde dayanım %5 arttırmıştır. Buna göre çift yönlü uygulamalarda Seri III, Seri I’e göre daha avantajlı bir uygulamadır. Tek taraflı numuneler birbirine yakın dayanım göstermişse de Seri III dayanımı daha fazladır. Ancak yapılacak maliyet analizine göre Seri I’in şerit miktarının artırılmasıyla Seri III ile aynı sonuç alınabilir. Epoksiyle yapılan tamirat benzer özellikteki hasarsız duvara göre dayanımı arttırmıştır.



**Şekil 6.31:** Seri I ve Seri III Kırılma Yüğü Kıyaslaması

Şekil 6.31’de Seri I ve Seri III’ ün kırılma yüklerinin kıyaslaması çubuk diyagramlar ile gösterilmiştir. Gerek önceden hasar verilmiş olsun, gerekse hasar verilmemiş olsun Seri III güçlendirme şekli ile takviye edilen duvarların davranışı en iyi sonucu vermiştir. Bu kıyaslamada en yüksek kırılma yüküne HÇD yani önceden hasar verilip çift taraflı olarak dokuma CFRP ile güçlendirmede karşılaşılmaktadır. En düşük kırılma yüküne sahip numune ise TŞ yani hasarsız tek taraflı şerit CFRP ile yapılan güçlendirmedir. Seri III ile yapılan güçlendirme çift taraflı numunelerde dayanımı Seri I e göre 1.5 kat arttırmıştır. Tek taraflı numunelerde HTD hariç yakın kırılma yüklerine ulaşmışlardır. Aslında hiç hasar verilmeden takviye edilmiş duvarların daha iyi davranış göstermesi beklenmekle birlikte burada da önceki kıyaslamalardaki duruma benzer bir durum ortaya çıkmaktadır. Yani hasarlı duvarlardaki epoksi ile yapılan onarım, duvar mukavemetini arttırmaktadır. Bununla birlikte ister hasarlı ister hasar verilmemiş olsun duvarların her iki yüzünün güçlendirilmesi halinde kırılma yükü, tek yüzünün güçlendirilmesi haline kıyasla hemen hemen iki katına çıkmaktadır.

Şekil 6.32’de Seri I ve Seri III numunelerinin ortalama yerdeğiştirme kıyaslaması çubuk diyagram oluşturularak düzenlenmiştir. Dokuma CFRP ile güçlendirmede gerek önceden hasar verilmiş olsun, gerekse hasarsız olsun numunelerin yerdeğiştirme miktarlarını arttırmıştır.



**Şekil 6.32:** Seri I ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması

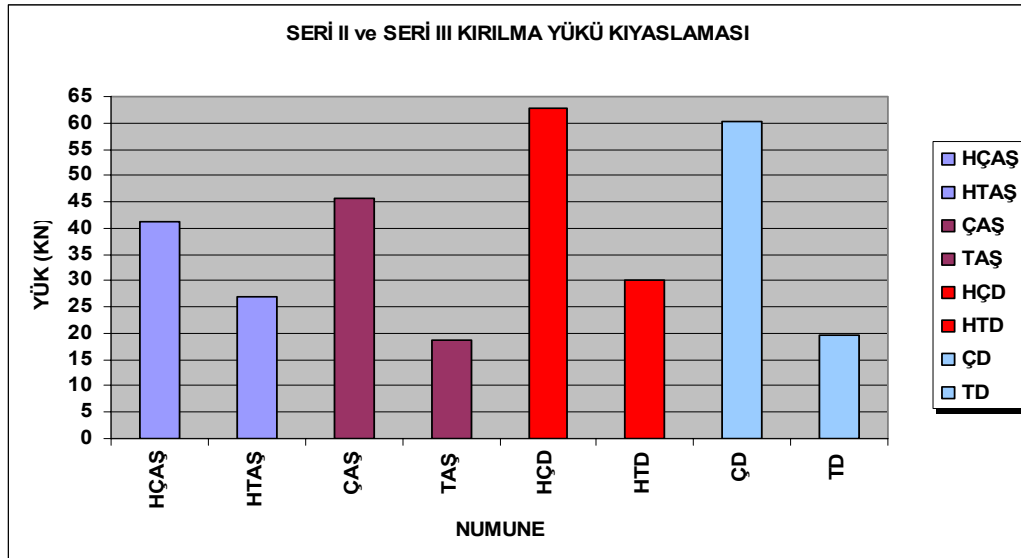
### 6.8 Seri II Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

Ayrık şerit CFRP (Seri II) ile dokuma şerit CFRP (Seri III) kullanılarak güçlendirilen numunelerin yükleme sonrası oluşan kırılma yükleri ortalaması ve yerdeğiştirme ortalaması dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Oluşan deney verileri Tablo 6.19’da verilmiştir.

**Tablo 6.19: Seri II ve Seri III Ortalama Deney Verileri**

| SERİ II ve SERİ III KIYASLAMASI |           |                   |                  |
|---------------------------------|-----------|-------------------|------------------|
| Seri No                         | Numune No | Kırılma Yüğü (KN) | Dep. (mm x 0.01) |
| Seri II                         | HÇAŞ      | 41,17             | 31,17            |
|                                 | HTAŞ      | 27,00             | 57,17            |
|                                 | ÇAŞ       | 45,67             | 42,83            |
|                                 | TAŞ       | 18,83             | 69,67            |
| Seri III                        | HÇD       | 62,67             | 151,50           |
|                                 | HTD       | 30,00             | 106,33           |
|                                 | ÇD        | 60,17             | 256,00           |
|                                 | TD        | 19,67             | 78,00            |

Önceden hasar verilip çift taraflı güçlendirilen numunelerde dayanım Seri III’de Seri II’e göre %52 artma olmuş, tek taraflı numunelerde %11 artış olmuştur. Hasarsız çift taraflı numunelerde dayanım Seri III’de Seri II’e göre %31 daha iyi sonuç vermiş, tek taraflı numunelerde dayanım birbirine yakın olmuştur. Buna göre tek yönlü uygulamalarda maliyet faktörünü göz önünde tutarsak, tüm duvar yüzeyini dokuma CFRP ile kaplamaktansa, duvar yüzeyine şeritleri yaymak daha ekonomik ve olumlu sonuç verecektir.

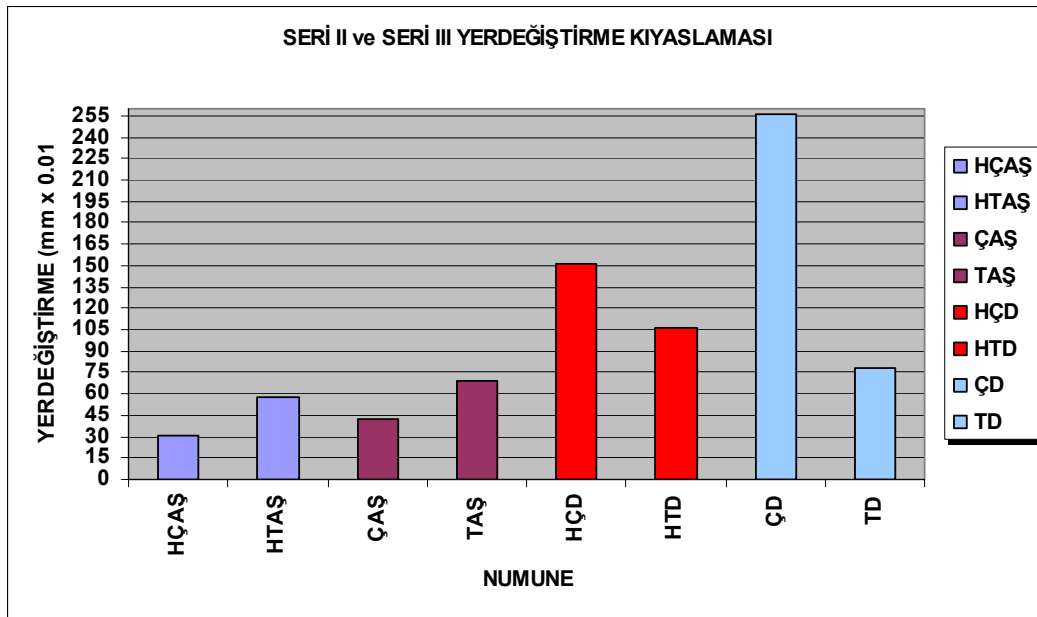


**Şekil 6.33: Seri II ve Seri III Kırılma Yüğü Kıyaslaması**

Şekil 6.33’de Seri II ve Seri III’ ün kırılma yüklerinin kıyaslaması çubuk diyagramlar ile gösterilmiştir. Gerek önceden hasar verilmiş olsun, gerekse hasar verilmemiş olsun Seri III güçlendirme şekli ile takviye edilen duvarların davranışı en iyi sonucu vermiştir. Bu kıyaslama en yüksek kırılma yüküne HÇD yani önceden hasar verilip çift taraflı olarak dokuma CFRP ile güçlendirmedir. En düşük kırılma yüküne sahip numune ise TAŞ yani hasarsız tek taraflı ayırık şerit CFRP ile yapılan güçlendirmedir. Seri III ile yapılan güçlendirme çift taraflı numunelerde dayanımı Seri I e göre 1.5 kat arttırmıştır. Tek taraflı numuneler birbirine yakın değerler vermiştir.

Numunelerde onarım için kullanılan epoksinin dayanım üzerinde olumlu etkisi bu kıyaslamada da karşımıza çıkmaktadır. Yalın duvarlar, hasar oluşturulmak üzere yapılan ön yüklemde en zayıf bölgelerinden çatlayarak hasara uğramakta, genellikle basınç diyagonali üzerinde bulunan bu çatlakların epoksi ile tamir edilmesi bu kısımların diğer yerlere kıyasla daha yüksek dayanım göstermesine neden olmaktadır. Dolayısıyla bu kıyaslamada da tek taraflı numunelerin önceden hasar verdirilmiş olanlarında duvarların gerek göçme, gerek deformasyon davranışı artmaktadır.

Seri II ve Seri III numunelerinin Şekil 6.34’de yerdeğiştirme kıyaslaması çubuk diyagramlarla verilmiştir. Seri III’ün tüm numunelerinin yerdeğiştirme miktarı Seri II’e göre yüksektir. Yerdeğiştirmeler %140 oranında artış göstermiştir.



**Şekil 6.34:** Seri II ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması

## 7.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

CFRP malzemesi kullanılarak tuğla duvarların güçlendirilmesi deneysel olarak incelenmiş, konuya ilişkin geniş kaynak taraması yapılmıştır. Deneysel çalışmanın verilerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesinin ardından genel olarak CFRP malzemesi ve epoksi esaslı yapıştırıcısı kullanılarak yapılan onarım ve güçlendirme deneyi sonuçları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

1. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerdeki sonuçlar, CFRP ile tuğla duvarlara uygulanacak güçlendirilmenin verimli bir şekilde kullanılabileceğini doğrulamaktadır.
2. Bu çalışmada elde edilen verilerden varılan temel sonuç: CFRP ile yapılan güçlendirme uygulamalarının, özellikle tuğla duvarın iki yüzeyine yapıldığı takdirde, yığma yapıların ana taşıyıcı elemanı olan duvarların dayanımını yüksek oranlarda arttırdığı, normal şartlarda yapılan bu uygulamaların yapının deprem sırasındaki performansını arttıracağını göstermektedir.
3. CFRP şerit ve dokumalar kullanılarak güçlendirilen duvarlarda bu malzemeler donatı etkisi göstererek duvarların parçalanmasını önlediği ve hasar miktarını azaltıcı bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.
4. Önceden hasar verilmiş çift taraflı örneklerde ortalama olarak en yüksek dayanımı Dokuma CFRP ile yapılan takviye göstermiştir. Şerit CFRP ve Ayrık CFRP uygulamalarından elde edilen sonuçlar birbirine yakındır. Dokuma CFRP Ayrık şerit ve şerit CFRP uygulamalarına göre 1.5 kat daha iyi sonuç vermiştir. Önceden hasar verilen tek taraflı örneklerde ortalama olarak en yüksek dayanımı Dokuma CFRP uygulaması göstermiştir. Ancak Ayrık şerit CFRP güçlendirmesiyle Şerit CFRP güçlendirmesi birbirine yakındır. Dokuma CFRP güçlendirmesini yapmak daha maliyetli olduğu düşünülürse CFRP lamineleri tek taraflı uygulamalarda Ayrık şerit (dağınık) olarak uygulamak daha ekonomik bir çözüm olabilir. Şerit CFRP takviyesi en düşük değerdedir.
5. Hasarsız ve önceden hasar verilmiş olsun çift taraflı ve tek taraflı model tuğla duvarlarda ortalama en yüksek dayanımı Dokuma CFRP ile yapılan güçlendirme ile sağlanmıştır. Ancak tek taraflı numunelerde Dokuma CFRP en yüksek

dayanımı vermişse de, ayırık şerit ve şerit CFRP ile yapılan tek taraflı uygulamalar birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Yapılacak maliyet analizine göre tek taraflı duvarlarda ayırık şerit veya şerit takviyesinin duvar alanındaki miktarı arttırılarak uygulanması daha uygun bir sonuç verebilir. Dokuma CFRP takviyesinden sonra model duvarlarda en iyi davranışı ayırık şerit CFRP uygulamasında görülür. Şerit CFRP uygulamasında duvar ayırık şerit ile yakın dayanım ve davranış göstermiştir.

6. CFRP ile yapılan tüm tek taraflı güçlendirme uygulamalarında duvar dayanımı artmıştır. Yığma yapılarda yapılacak CFRP ile güçlendirmede, yapı bitişik nizam olsa bile, taşıyıcı duvarlarının tek taraflı olarak takviye edilmesi hiç güçlendirme yapılmamasından daha iyi sonuç vermiştir.
7. Yapılan güçlendirme çalışmalarında tüm serilerde yer değiştirmeler artmıştır. Tüm güçlendirme durumları içinde Dokuma CFRP uygulaması en yüksek yer değiştirmeleri vermektedir. Buna göre CFRP ile yapılan tuğla duvar güçlendirmesinin kompozitin sünekliğini arttırdığı sonucuna varılabilir.
8. Güçlendirilmemiş tuğla duvarlar gevrek bir davranış gösterdiği, CFRP ile güçlendirilen tuğla duvarların dayanımlarının ve enerji yutma kapasitelerinin arttığı görülmüştür. Güçlendirilmemiş model tuğla duvarlar dağılarak göçerken, CFRP ile güçlendirilen model duvarlarda göçme duvarda çatlak oluşmasıyla gerçekleşmiş, herhangi bir dağılma olmamıştır.
9. Yığma yapıların güçlendirilmesi için CFRP malzemesi alternatif güçlendirme metodu olabilir. CFRP'nin uygulamasındaki kolaylık, azalmış montaj maliyeti, gerek betonarme güçlendirmede gerekse çelik güçlendirmelerde görülen duvar kesintindeki artış FRP ile yapılan güçlendirmelerde görülmemesi, uygulama süresindeki düşüş bu güçlendirme yönteminin kullanılması için yeter sebeplerdir.

Yığma yapıların performansları deprem gibi yatay yüklere karşı oldukça zayıftır. Son depremlerde insanlar hayatını depreme karşı zayıf binalarda kaybetmiştir. Hasarlar; zemin koşullarının yetersizliği, yönetmeliklere uyulmaması, projelendirme veya uygulama hataları, şiddetli deprem yükleri ve depreme dayanıklı yapı yapma ilkelerine uyulmaması gibi çeşitli nedenlerden ötürü meydana gelir. Bununla birlikte deprem yükleri yapının ağır hasar almasına ya da göçmesine neden olabilir. Olası büyük bir deprem öncesi taşıyıcı sistemi yetersiz yapıların ve önceki depremlerde hasar görmüş yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesi deneysel olarak

incelenmiştir. Bu bilimsel araştırmanın sonuçları dikkate alınarak aşağıdaki önerilere ulaşılmıştır:

1. Tuğla duvarların güçlendirilmesiyle ilişkili uygulamalar püskürtme beton, kendiliğinden yerleşen beton, çelik elemanlar ve CFRP kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu doğrultudaki deneyler başka bir çalışmanın konusu olabilir.
2. Deney programına bağlı olarak yapılan güçlendirme çalışmalarının yöntemi, uygulamada yığma yapıların güçlendirilmesi konusu üzerinde bir referans çalışma oluşturabilir.
3. Çalışma kapsamında yapılacak güçlendirme çalışmalarında bu konunun uzmanı deneyimli elemanlar ve ekipler tarafından uygulama yapılması ve malzeme üreten firmaların fikirleri ve düşünceleri alınmalıdır. Uygulamanın teknik danışmanlar (Mimar, Mühendis gibi) kontrolünde gerçekleştirilmesi zorunludur.
4. Mevcut bir yapıdan alınacak olan birebir duvar modelleri üzerinde yapılacak olan güçlendirmenin deneysel incelemesi bilimsel açıdan önemli veriler oluşturacaktır.
5. Yapılan bu deney programı dikkate alınarak daha büyük model duvarlar inşa edilerek inceleme yapılabilir.
6. Deney sonuçlarından Dokuma CFRP'nin en iyi dayanım ve davranış gösterdiği görülmektedir. Ancak ayrıık şerit ve şerit CFRP ile yapılan güçlendirmeler kayda değer derecededir. Dokuma CFRP'nin maliyetli olduğu düşünülürse, duvar yüzeyindeki şerit oranları arttırılması duvar dayanım ve davranışını etkileyerek benzer sonuç daha az maliyetli elde edilebilir.
7. Bu deneysel incelemede taşıyıcı duvara etkiyen kuvvetin yatay ve düşey yük bileşkesi çalışmanın kapsamını sınırlı tutmak için duvar derzleriyle 45°'lik bir açı yapacak şekilde uygulanmıştır. Benzer uygulama farklı açısai değişimlerle, farklı deney düzeneğiyle incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Albert, M.L., Elwi, A.E. and Cheng, R.J.J.** 2001. Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using FRPs, *Journal of Composites for Construction*, vol. 5, no. 2, May, p:170-178.
- [2] **Begimgil, M.** 1990. Aderans Artırıcı Katkı Maddelerinin İki Eksenli Yükleme Altındaki Tuğla Duvarların Davranışına Etkisi”, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Ehsani, M.R., Saadatmanesh, H. and Al-saidy, A.** 1997. Shear Behavior of URM Retrofitted with FRP Overlays, *Journal of Composites for Construction*, vol. 1, no. 1, February, p:17-25.
- [4] **Ehsani, M.R., Saadatmanesh, H. and Velazquez-Dimas, J.I.** 1999. Behavior of Retrofitted URM Walls Under Simulated Earthquake Loading, *Journal of Composites for Construction*, vol. 3, no. 3, August, p:134-142.
- [5] **Erol, G.** 2001. Yüksek Mukavemetli Özel Tuğlalardan Yapılmış Duvarlarda Kayma Dayanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Hamid, A. A., El-Akhakhni, W. W., Hakam, Z. H. R. and Elgaaly, M.,** 2005. Behavior of Composite Unreinforced Masonry-Fiber-Reinforced Polymer Wall Assemblages Under In-Plane Loading. *Journal of Composites for Construction*, vol. 9, no.1, january/february, p:73–83.
- [7] **Hamilton ,H.R. and Dolan, C. W.,** 2001. Flexural Capacity of Glass FRP Strengthened Concrete Masonry Walls. *Journal of Composites for Construction*, vol. 5, no. 3, August, p:170-178.
- [8] **Hamoush, S. A., McGinley, M. W., Mlakar, P., Scott, D. and Murray, K.,** 2001. Out-of-Plane Strengthening of Masonry Walls With Reinforced Composites. *Journal of Composites for Construction*, vol. 5, no. 3, August, p:139-145.
- [9] **Krevaikas, T. D. and Triantafillou, T. C.** 2005. Masonry Confinement with Fiber-Reinforced Polymers. *Journal of Composites for Construction*, vol. 9, no. 2 ,April, p:128-135.
- [10] **Şimşek, A.** 1993. Tuğla Duvarların Taşıma Gücüne Donatı Etkisinin Deneysel İncelenmesi, *Doktora Tezi*, M.S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

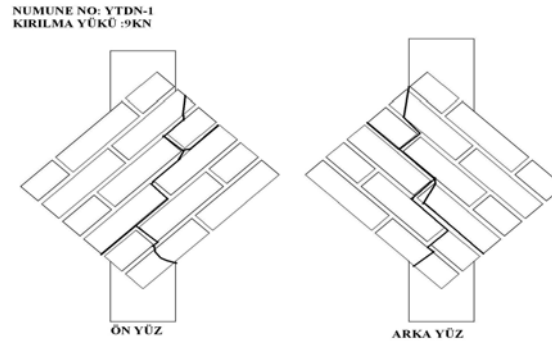
- [11] **Tan, K.H. and Patoary, M. K. H.** 2004. Strengthening of Masonry Walls against Out-of-Plane Loads Using Fiber-Reinforced Polymer Reinforcement. *Journal of Composites for Construction*, vol. **9**, no.1, january/february, p:79–87.
- [12] **Yorulmaz, M. ve Atan, Y.T.,** 1971. Çeşitli Forme Yapı Taşlarıyla Yapılmış Duvar Numunelerinin İki İstikametli Yükleme Altında Davranışları, *İstanbul Teknik Üniversite Matbaası*, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [13] **Zijl, G. P. A. G. and De Vries P. A.,** 2005. Masonry Wall Crack Control with Carbon Fiber Reinforced Polymer. *Journal of Composites for Construction*, vol. **9**, no.1, january/february, p:84–89.
- [14] **Celep, Z., Kumbasar, N.,** 1993. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- [15] **Köse, M.** Betonarme Yapı Elemanlarının Çelik Lamalarla Güçlendirilmesi ve Birleştirilmesi; Deneysel İnceleme, *Doktoro Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mart 2003.
- [16] **Kuzik, M. D., Elwi, A. E. and Cheng, J. J. R.,** 2003. Cyclic Flexure Tests of Masonry Walls Reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer Sheets. *Journal of Composites For Construction*, vol. **7**, no.1, February, p:20-30.
- [17] **Triantafillou, T.C.** 1998. Strengthening of Masonry Structures Using Epoxy-Bonded FRP Laminates. *Journal of Composites for Construction*, vol. **2**, no. 2 , May, p:96-104.
- [18] <http://www.quakewrap.com/images>
- [19] **Ürün Kılavuzu,** YKS. 2005.
- [20] **Saraç, N. M.** 2003. Tarihi Yığma Kargir Yapıların Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [21] **Zhuge, Y. and Hunt, S.** 2003. Numerical Simulation of Masonry Shear Panels with Distinct Element Approach, *Structural Engineering and Mechanics*, vol. **15**, no. 4, p:477–493.
- [22] **Shing, P. B., Noland, J. L., Klamers, E. and Spaeh, H.** 1989. Inelastic Behavior of Concrete Masonry Shear Walls. *Journal of Structural Engineering*, vol. **115**, no. 9, september, p:2204–2225.
- [23] **Orton, A.,** 1993. Structural Design of Masonry, Longman, London.
- [24] **Batur, A.,** 1999. Donatısız Yığma Binaların Yatay Yükler Altındaki Davranışı ve Bazı Ülkelerin Şartnamelerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [25] **Hendry, A.W.,Sinha,B.P.,Davies, S.R.** 1997. Design of Masonry Structure, University of Edinburg, UK.
- [26] **Üstündağ,C., 2000.** İki Katlı Yığma Binaların Yatay Yükler Altındaki Davranışı ve Kesme Güvenliliğinin Sağlanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Paulay,T., Priestley, M.J.N.,** 1992. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings,John Wiley and Sons Inc.,America.
- [28] **Drysdale, R.G., Hamid, A.A., Baker, L.R.,** 1994. Masonry Structures Behavior and Design, Brick Institute of America National- Concrete Masonry Association, Prentice Hall, New Jersey.
- [29] **TS 2510,** 1977. Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [30] **Kahyaoglu, O.,** 1985. Yapı Bilgisi- Kaba İnşaat İşleri, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Teknik El Kitapları 7, 11-55.
- [31] **TS-705,** 1985. Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [32] **Bayülke, N.,** 1978. Depremler ve Depreme Dayanıklı Yapılar, İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- [33] **Gülkan, P., Sucuoğlu, H.,** 1988. Kırsal Yapılarda Deprem Hasarlarının Tayini, Deprem Araştırma Bülteni, 62, 5-44, Ankara.
- [34] **TS-2514,** 1977. Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [35] **Eldem, S. H.,** Yapı, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [36] **Toydemir,N., Tanaçan, L.,** 2001. Taşıyıcı ve Taşıyıcı Olmayan Duvarlar, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri, İTÜ, İstanbul, 14-16 Mart.
- [37] **Bayülke, N.,** 1980. Yığma Yapılar, İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.
- [38] **Karaesmen, E.,** 1996. Deprem ve Sonrası, Türkiye Mühendisler Birliği, Ankara.
- [39] **Mertol, A., Mertol, C.,** 2002. Deprem Mühendisliği- Depreme Dayanıklı Yapı Tasarım, S.D.Ü. Mühendislik Fakültesi, Ankara.
- [40] **Yorulmaz, M., Convenor, F., Vintzeleou, E., 1984.** Design and Const. of Stone and Brick masonry Buildings, Building Construction Under Siesmic Conditions in the Balkan Region Project, Volume 3, United Nations Development Programmes, Viyana.

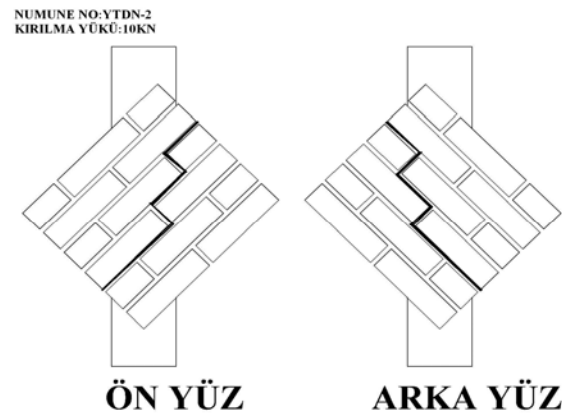
- [41] **Demir, H., Polat, Z.,** 1985. 30 Ekim 1983 Erzurum Depremi Hakkında Rapor, İ.M.O. Yayınları, İstanbul.
- [42] **Çamlıbel, N.,** 2000. Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, İstanbul.
- [43] **Akgündüz, N.,** 2004. Deprem Bölgelerinde Yığma Yapı Tasarımının Yönetmeliğe Göre İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [44] **Bayülke, N.,** 1995. Depremde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.
- [45] **Celep, Z.,** 1998. Post –Earthquake Rehabilitation of Moderately Damaged Masonry Structures. Repair and Strengthening of Existing Buildings.
- [46] **Ökten, M.,** 2003. Betonarme Kirişlerin Karbon Elyafı Güçlendirilmesi Üzerine DeneySEL Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**EK A**

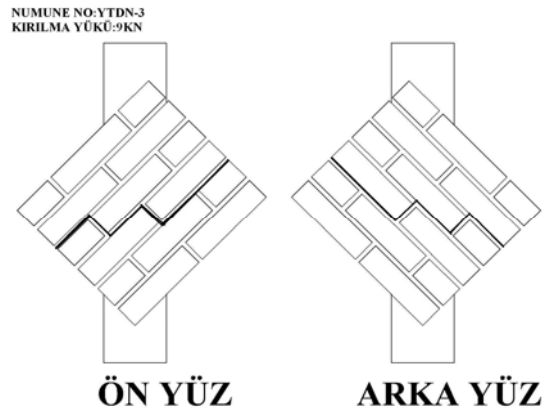
Yalın tuğla duvarlara ait kırılma şekli rölöveleri aşağıdaki belgelerde sunulmuştur.



**Şekil A.1** YD-1'in Kırılma Şekli



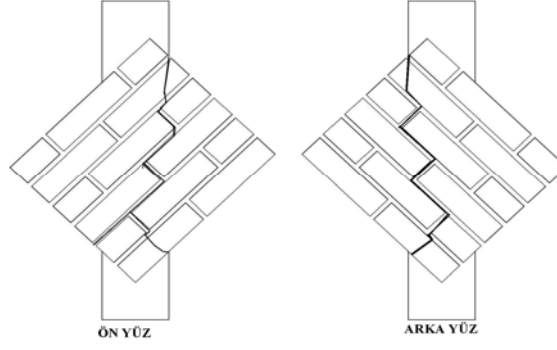
**Şekil A.2** YD-2'nin Kırılma Şekli



**Şekil A.3** YD-3'ün Kırılma Şekli

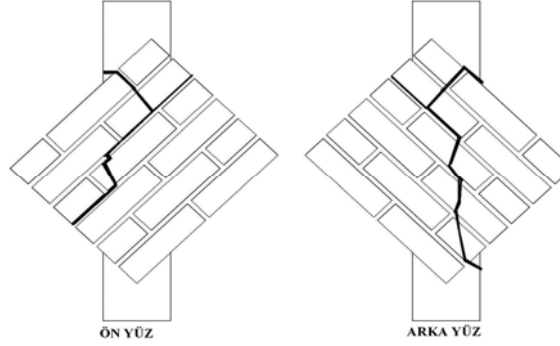
Epoksi ile onarılan tuğla duvar numunelerine ait kırılma şekli rölöveleri aşağıdaki belgelerde sunulmuştur.

NUMUNE NO:EOTDN-1  
KIRILMA YÜKÜ:9KN



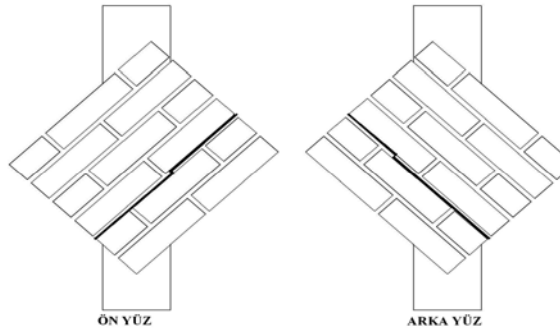
**Şekil A.4** HEYD-1'in Kırılma Şekli

NUMUNE NO:EOTDN-2  
KIRILMA YÜKÜ:18KN



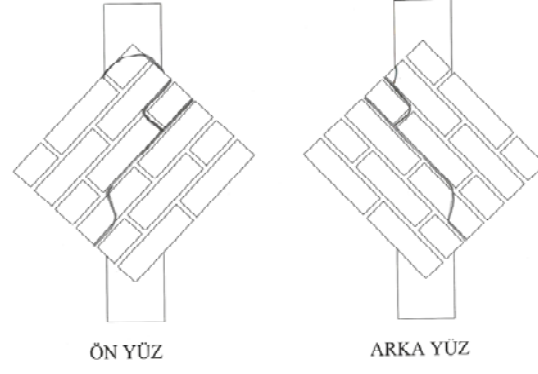
**Şekil A.5** HEYD-2'nin Kırılma Şekli

NUMUNE NO:EOTDN-3  
KIRILMA YÜKÜ:17KN



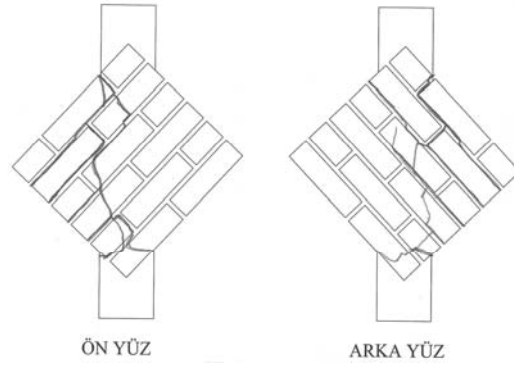
**Şekil A.6** HEYD-3'ün Kırılma Şekli

Seri I için hasara uğratılan yalın tuğla duvarların kırılma rölöveleri aşındaki belgelerde sunulmuştur.



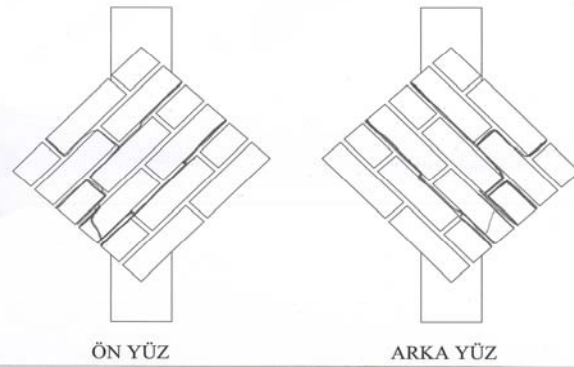
**Şekil A.7 HÇŞ -1'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)**

NUMUNE NO:YTD -2  
KIRILMA YÜKÜ:16KN

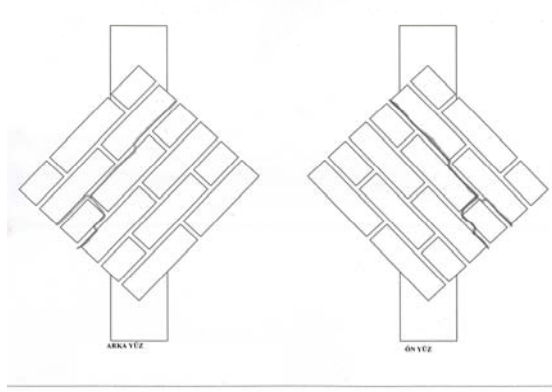


**Şekil A.8 HÇŞ -2'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)**

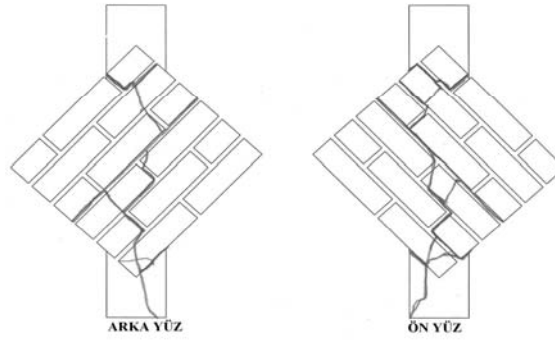
İNÖNÜ YTD -3  
MA YÜKÜ:198KN



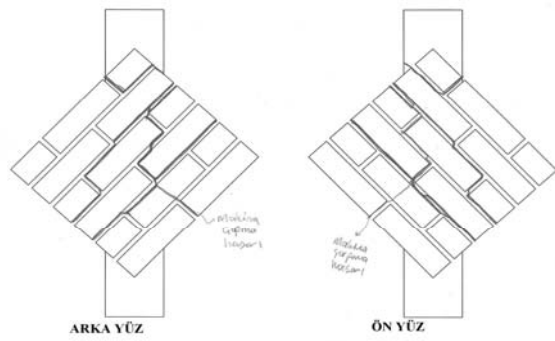
**Şekil A.9 HÇŞ -3'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)**



**Şekil A.10** HTŞ -4'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



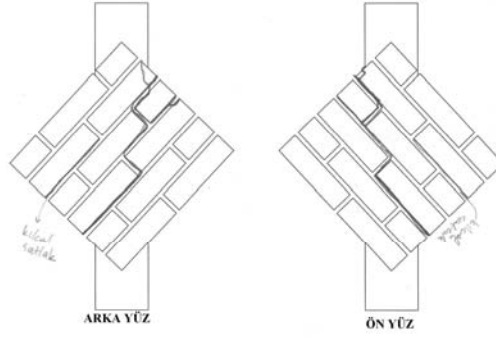
**Şekil A.11** HTŞ -5'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



**Şekil A.12** HTŞ -6'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

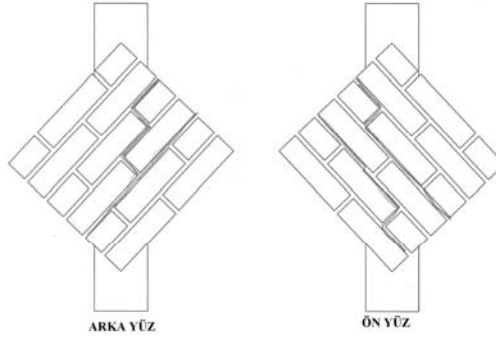
Seri II için hasara uğratılan yalın tuğla duvarların kırılma rölöveleri aşındaki belgelerde sunulmuştur.

NUMUNE NO:YTD -13  
KIRILMA YÜKÜ:196KN



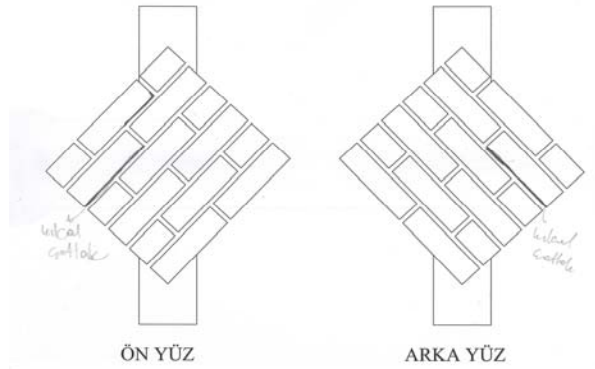
Şekil A.13 HÇAŞ -13'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

NUMUNE NO:YTD -14  
KIRILMA YÜKÜ:126KN

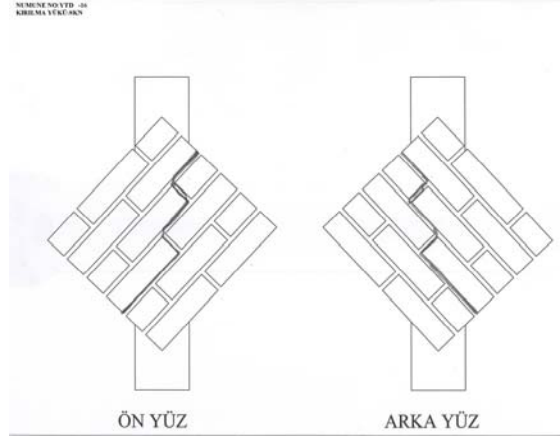


Şekil A.14 HÇAŞ -14'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

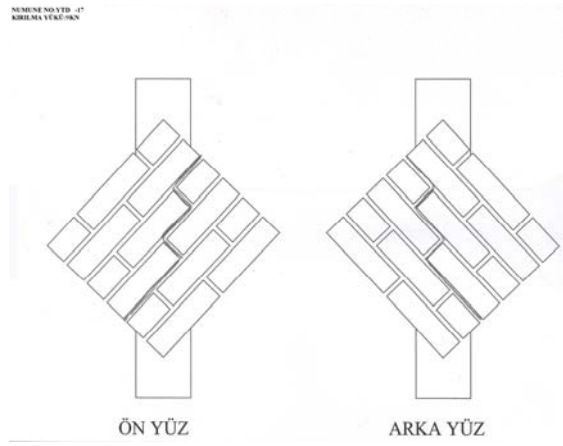
NUMUNE NO:YTD -15  
KIRILMA YÜKÜ:118KN



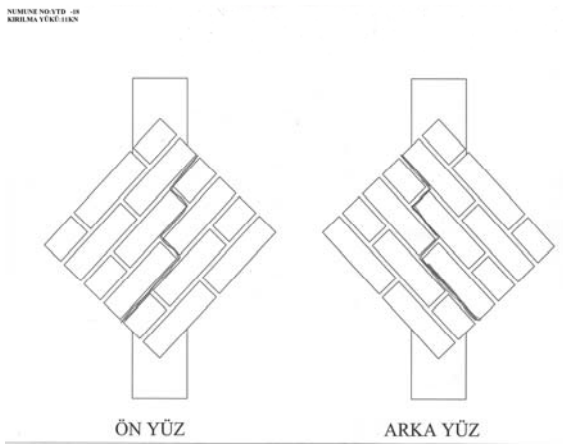
Şekil A.15 HÇAŞ -15'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



**Şekil A.16 HTAŞ -16'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)**



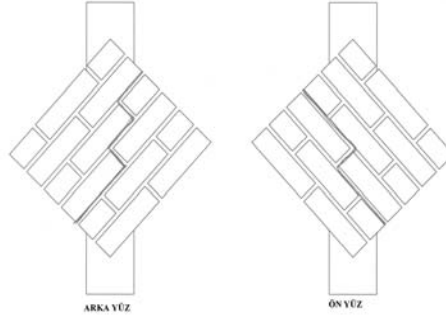
**Şekil A.17 HTAŞ -17'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)**



**Şekil A.18 HTAŞ -18'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)**

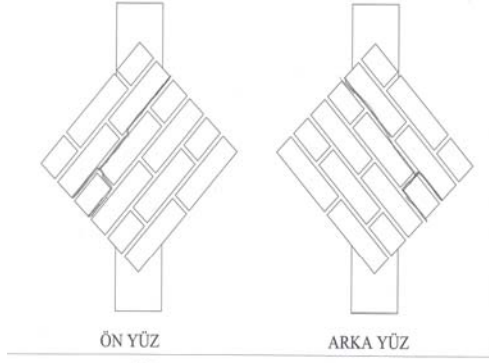
Seri III için hasara uğratılan yalın tuğla duvarların kırılma rölöveleri aşındaki belgelerde sunulmuştur.

NUMUNE NO:YTD -25  
KIRILMA YÜKÜ:11KN



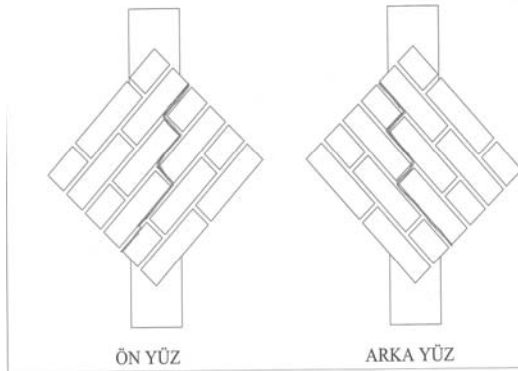
**Şekil A.19** HÇD -25'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

NUMUNE NO:YTD -26  
KIRILMA YÜKÜ:11KN



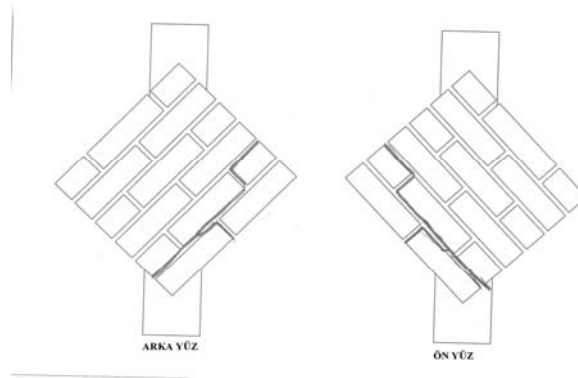
**Şekil A.20** HÇD -26'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

NUMUNE NO:YTD -27  
KIRILMA YÜKÜ:12KN



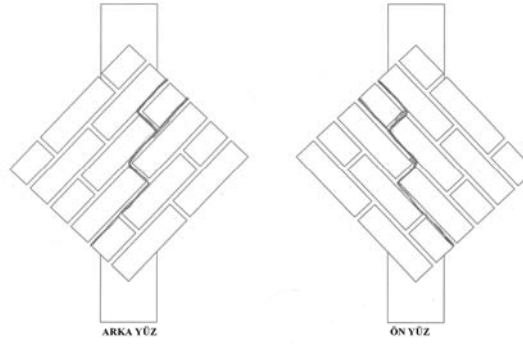
**Şekil A.21** HÇD -27'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

NUMUNE NO:YTD -28  
KIRILMA YÜKÜ:6KN



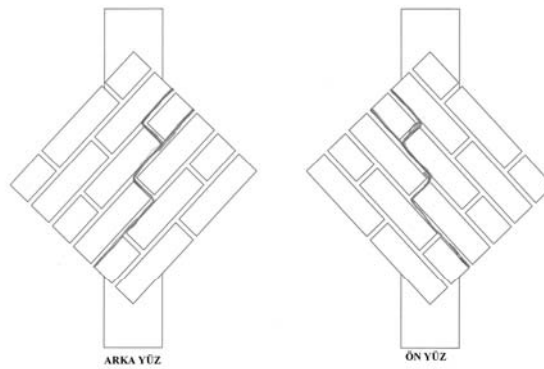
**Şekil A.22** HTD -28'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

NUMUNE NO:YTD -29  
KIRILMA YÜKÜ:16KN



**Şekil A.23** HTD -29'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

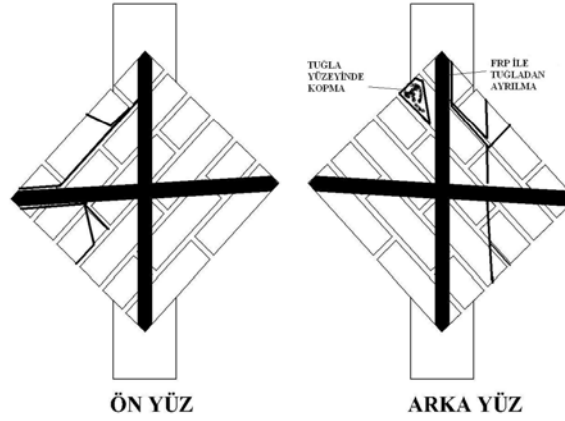
NUMUNE NO:YTD -30  
KIRILMA YÜKÜ:10KN



**Şekil A.24** HTD -30'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

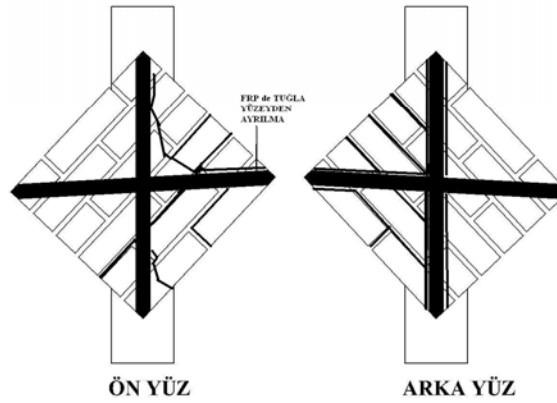
Seri I içerisinde yer alan ve şerit FRP ile güçlendirilen örneklerin çatlak rölöveleri aşağıdaki belgelerde sunulmuştur.

NUMUNE NO :ŞFRPHN-1  
KIRILMA YÜKÜ :33KN



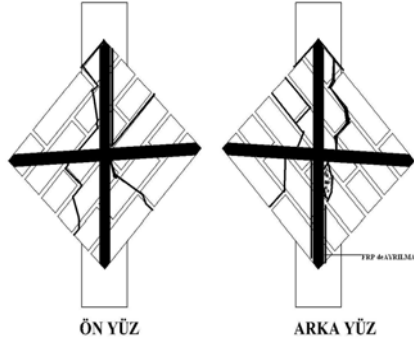
Şekil A.25 HÇŞ-1'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO : ŞFRPHN-2  
KIRILMA YÜKÜ : 46KN



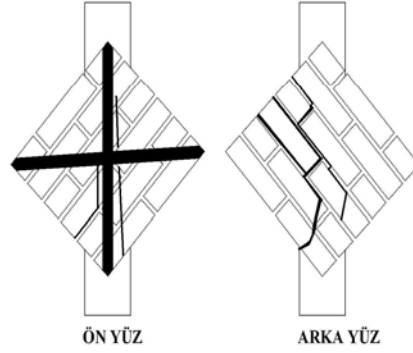
Şekil A.26 HÇŞ-2'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO : ŞFRPHN-3  
KIRILMA YÜKÜ :45KN



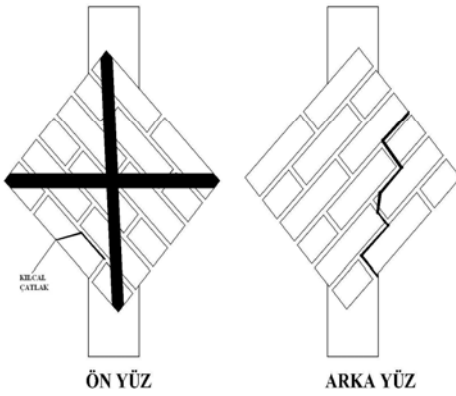
**Şekil A.27** HŞ-3'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO :ŞFRPHN-4  
KIRILMA YÜKÜ :18,5 KN



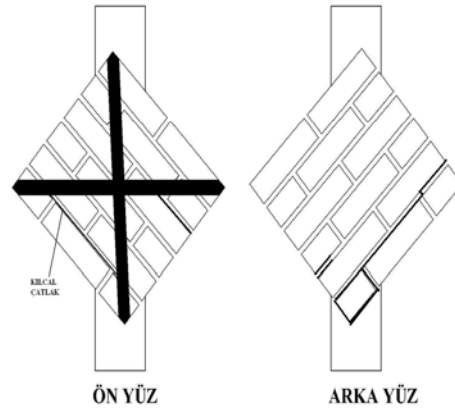
**ŞekilA.28** HTŞ-4'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO : ŞFRPHN-5  
KIRILMA YÜKÜ :23,9KN



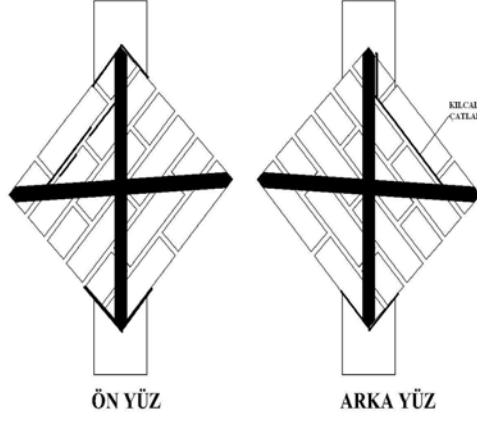
**Şekil A.29** HTŞ-5'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO : ŞFRPHN-6  
KIRILMA YÜKÜ :24 KN



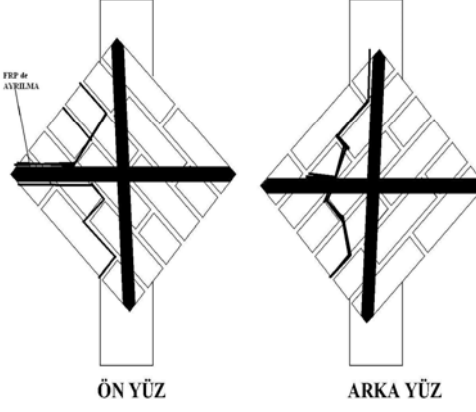
**Şekil A.30** HTŞ-6'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO :ŞFRPN-7  
KIRILMA YÜKÜ :28KN  
NOT:TUĞLA DUVARDA KILCAL ÇATLAK  
GÖZLEMLENDİ. DAĞILMA OLMADI.



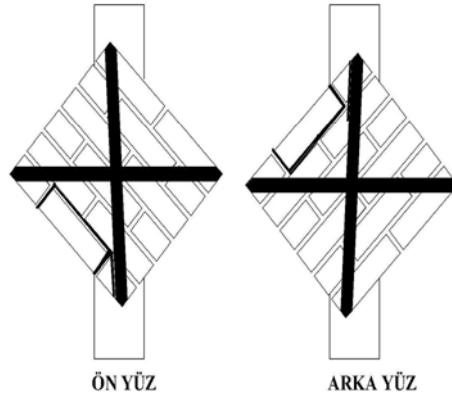
**Şekil A.31** ÇŞ-7'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO :ŞFRPN-8  
KIRILMA YÜKÜ :43KN



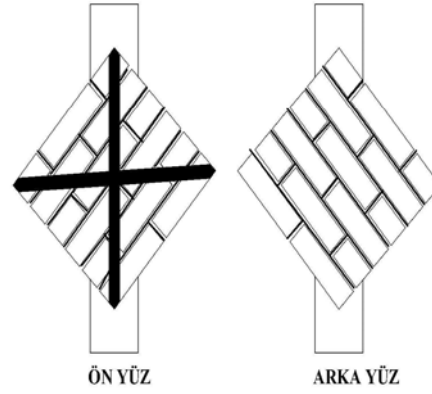
**Şekil A.32** ÇŞ-8'in Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO :ŞFRPN-9  
KIRILMA YÜKÜ :43KN



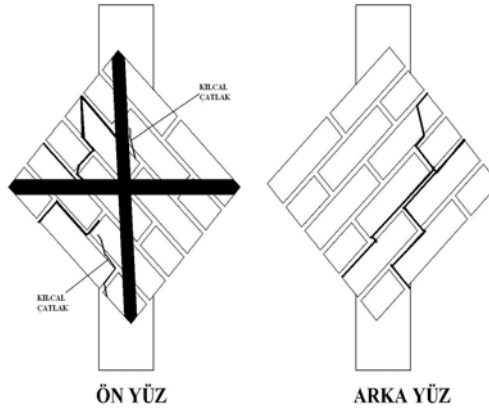
**Şekil A.33** ÇŞ-9'un Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO :ŞFRPN-10  
KIRILMA YÜKÜ :17KN



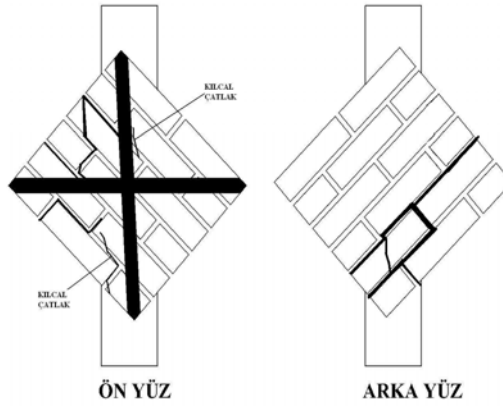
**Şekil A.34** TŞ-10'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO : ŞFRPN-11  
KIRILMA YÜKÜ :22KN



**Şekil A.35** TŞ-11'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

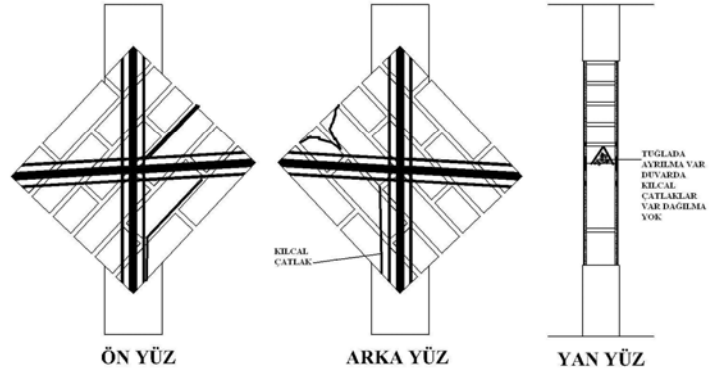
NUMUNE NO :12  
KIRILMA YÜKÜ : 17KN



**Şekil A.36** TŞ-12'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

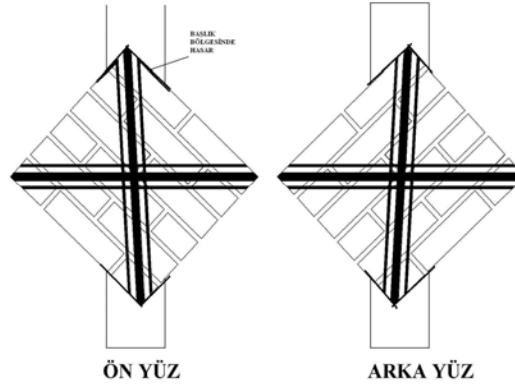
Seri II içerisinde yer alan ve dağınık şerit FRP ile güçlendirilen örneklerin çatlak rölöveleri aşağıdaki belgelerde sunulmuştur.

NUMUNE NO:DSFRPGHN-13  
KIRILMA YÜKÜ:49KN



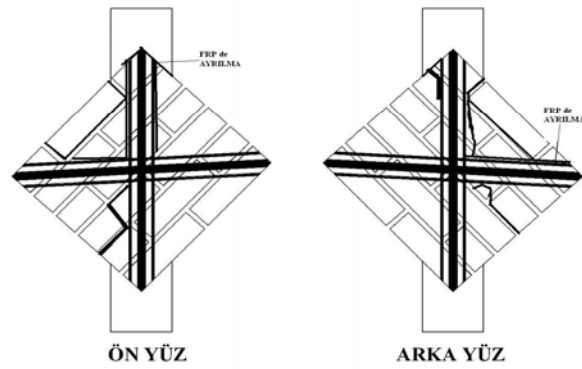
Şekil A.37 HÇAŞ-13'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO:DSFRPGHN-14  
KIRILMA YÜKÜ:40KN



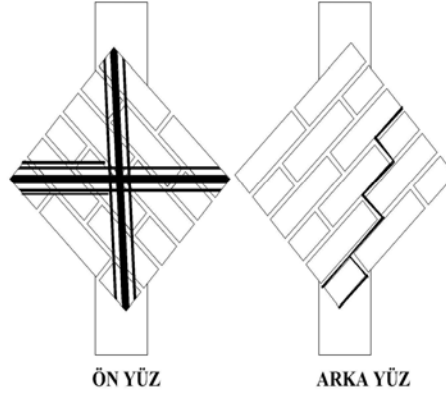
Şekil A.38 HÇAŞ -14'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO:DSFRPGHN-15  
KIRILMA YÜKÜ:34,5KN



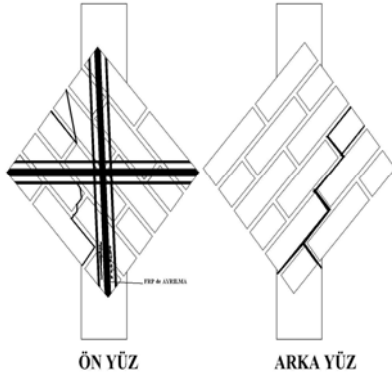
Şekil A.39 HÇAŞ -15'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO:DSFRPGHN-16  
KIRILMA YÜKÜ:29,5KN



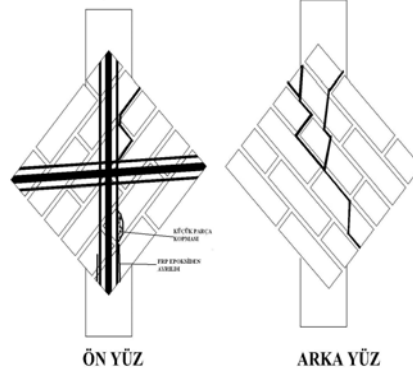
**Şekil A.40** HTAŞ -16'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO:DSFRPGHN-17  
KIRILMA YÜKÜ:25KN



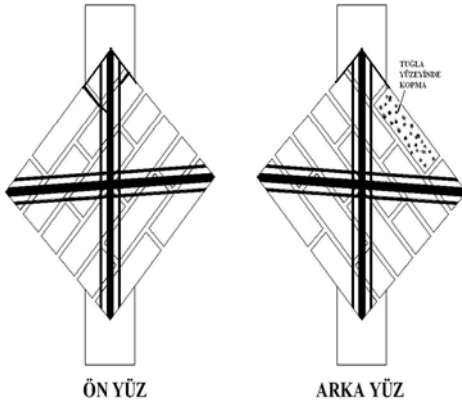
**Şekil A.41** HTAŞ-17'nin Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: DSFRPGHN-18  
KIRILMA YÜKÜ:26,5



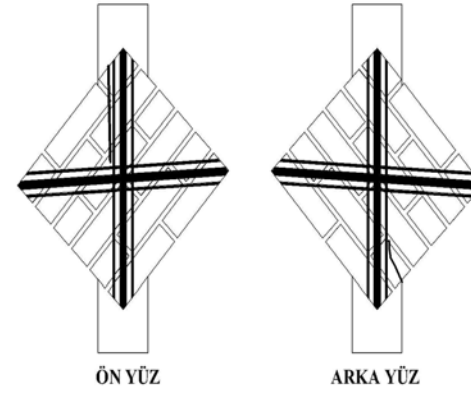
**Şekil A.42** HTAŞ-18'İN Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: DSFRPGN-19  
KIRILMA YÜKÜ: 32,5KN



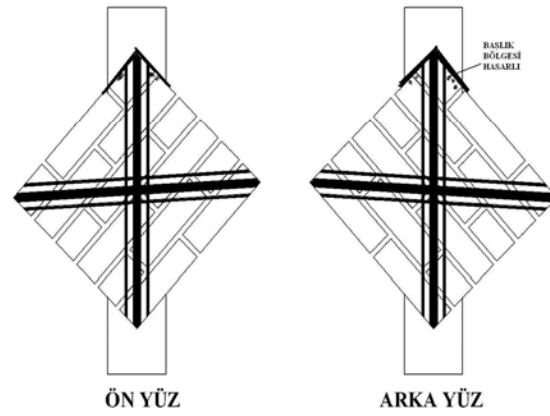
**Şekil A.43** ÇAŞ-19'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: DSFRPGN-20  
KIRILMA YÜKÜ: 52,5KN



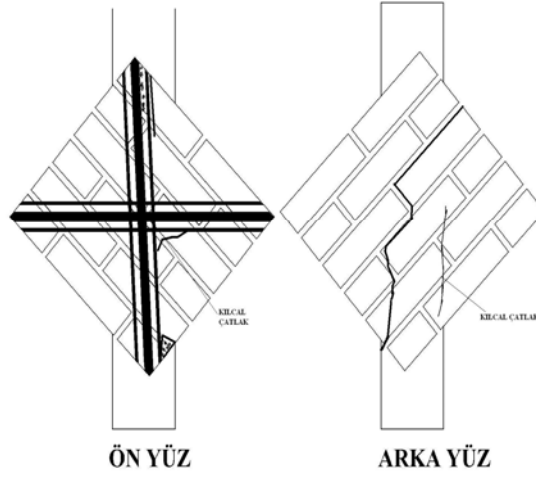
**Şekil A.44** ÇAŞ-20'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: DSFRPGN-21  
KIRILMA YÜKÜ: 52KN



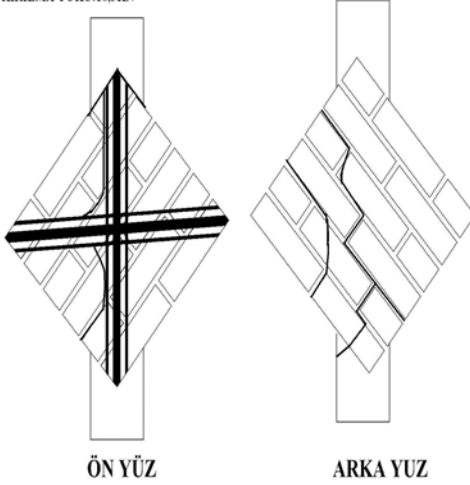
**Şekil A.45** ÇAŞ'ın Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO:DSFRPGN-22  
KIRILMA YÜKÜ:17,5KN



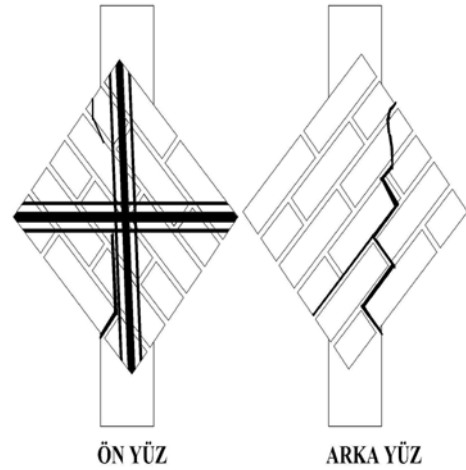
**Şekil A.46** TAŞ-22'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO:DSFRPGN-23  
KIRILMA YÜKÜ:16,5KN



**Şekil A.47** TAŞ-23'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

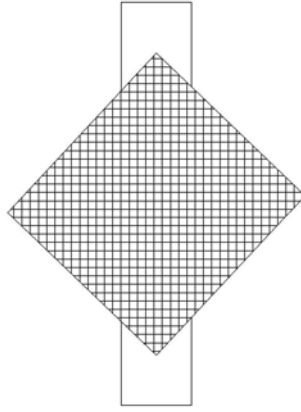
NUMUNE NO:DSFRPGN-24  
KIRILMA YÜKÜ:22,5KN



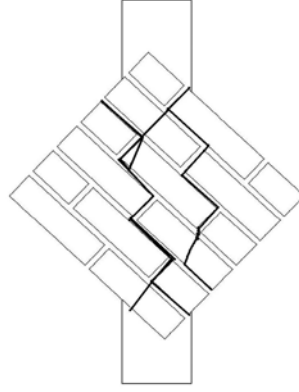
**Şekil A.48** TAŞ-24'ün Kırılma Şekli  
(Güçlendirme Sonrası)

Seri III içerisinde yer alan ve elyaf FRP ile güçlendirilen örneklerin çatlak rölöveleri aşağıdaki belgelerde sunulmuştur. Çift tarafı güçlendirilen örneklerin rölöveleri alınmamıştır. Fotoğraf çekilerek göçme mekanizmaları belgelenmiştir.

NUMUNE NO : EFRPGHN-28  
KIRILMA YÜKÜ: 25KN



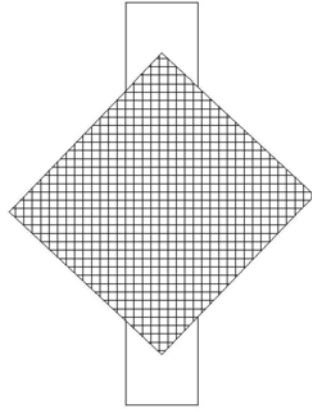
ÖN YÜZ



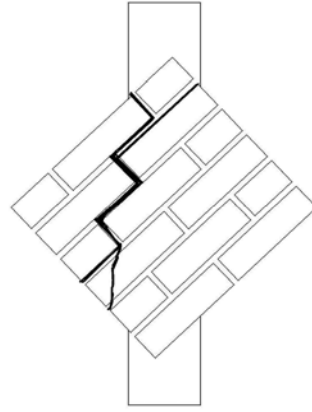
ARKA YÜZ

Şekil A.49 HTD-28'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: EFRPGHN-29  
KIRILMA YÜKÜ: 26KN



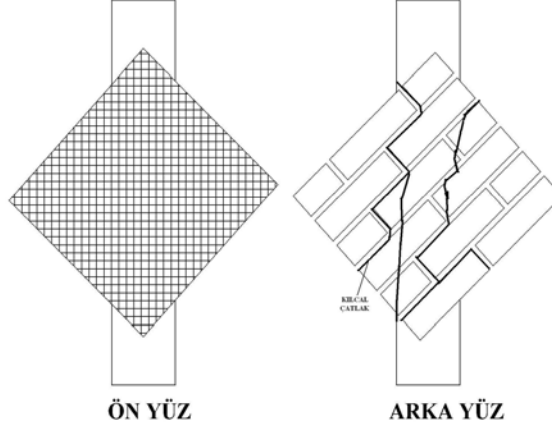
ÖN YÜZ



ARKA YÜZ

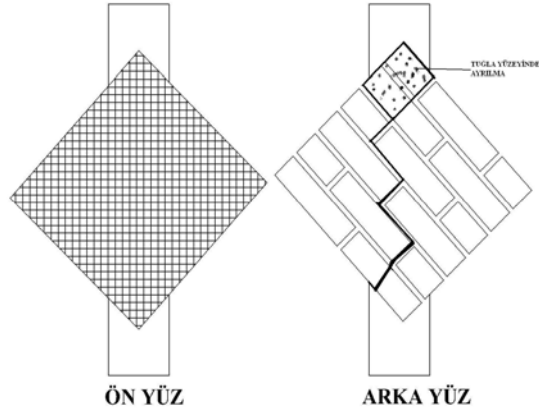
Şekil A.50 HTD-29'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: EFRPGHN-30  
KIRILMA YÜKÜ: 39KN



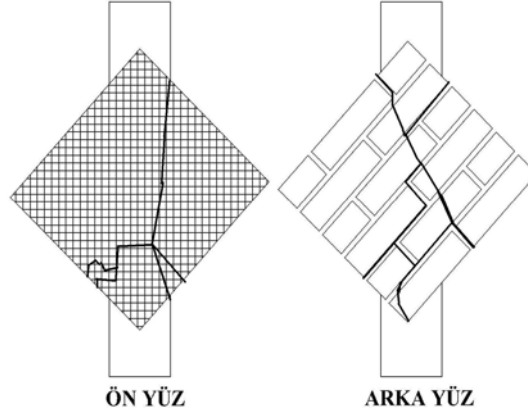
**Şekil A.51** HTD-30'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: EFRPGN-34  
KIRILMA YÜKÜ: 18KN



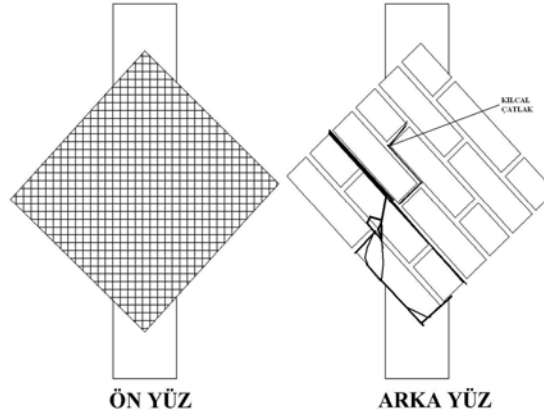
**Şekil A.52** TD-34'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: EFRPGN-35  
KIRILMA YÜKÜ: 22KN



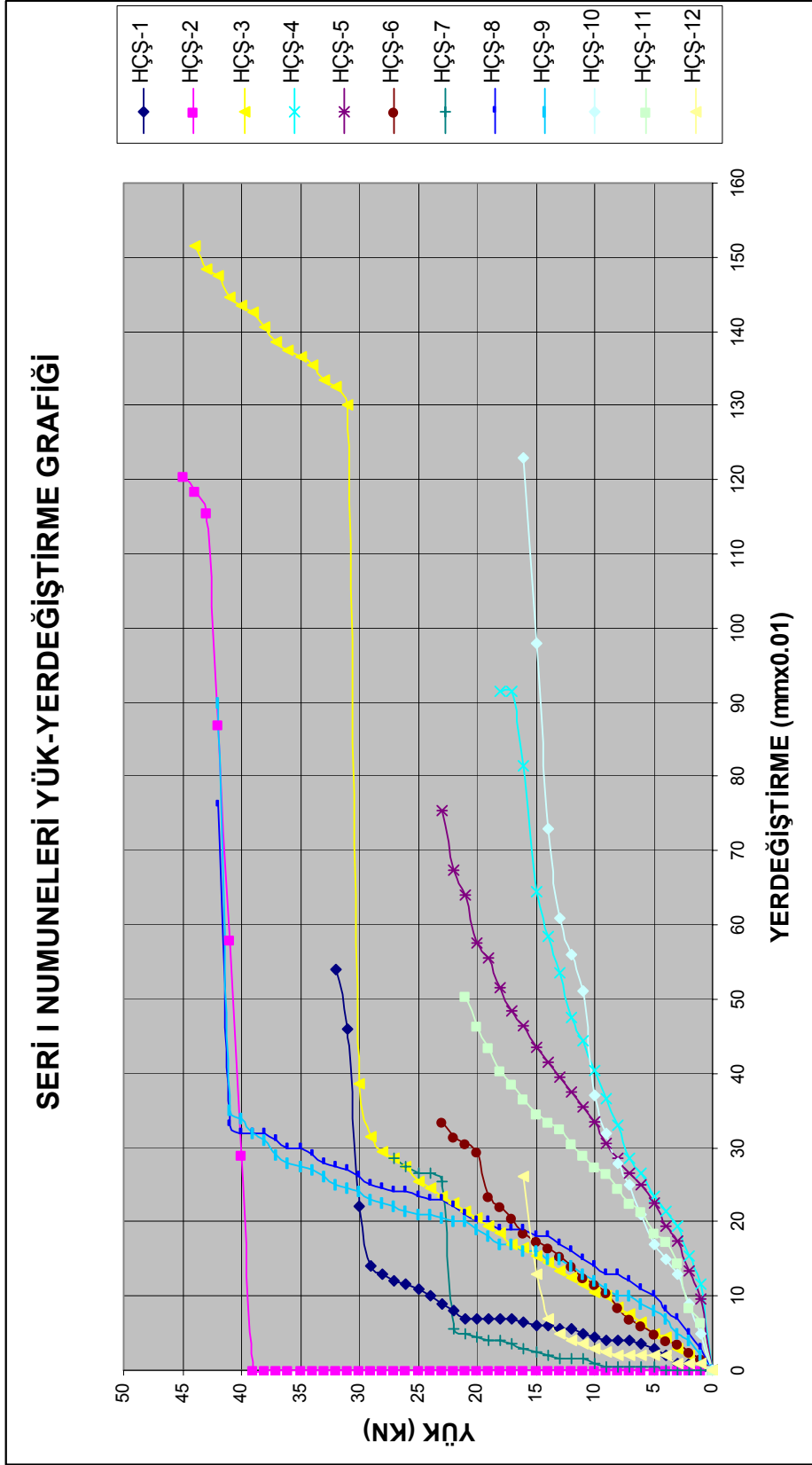
**Şekil A.53** TD-35'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

NUMUNE NO: EFRPGN-36  
KIRILMA YÜKÜ: 19KN

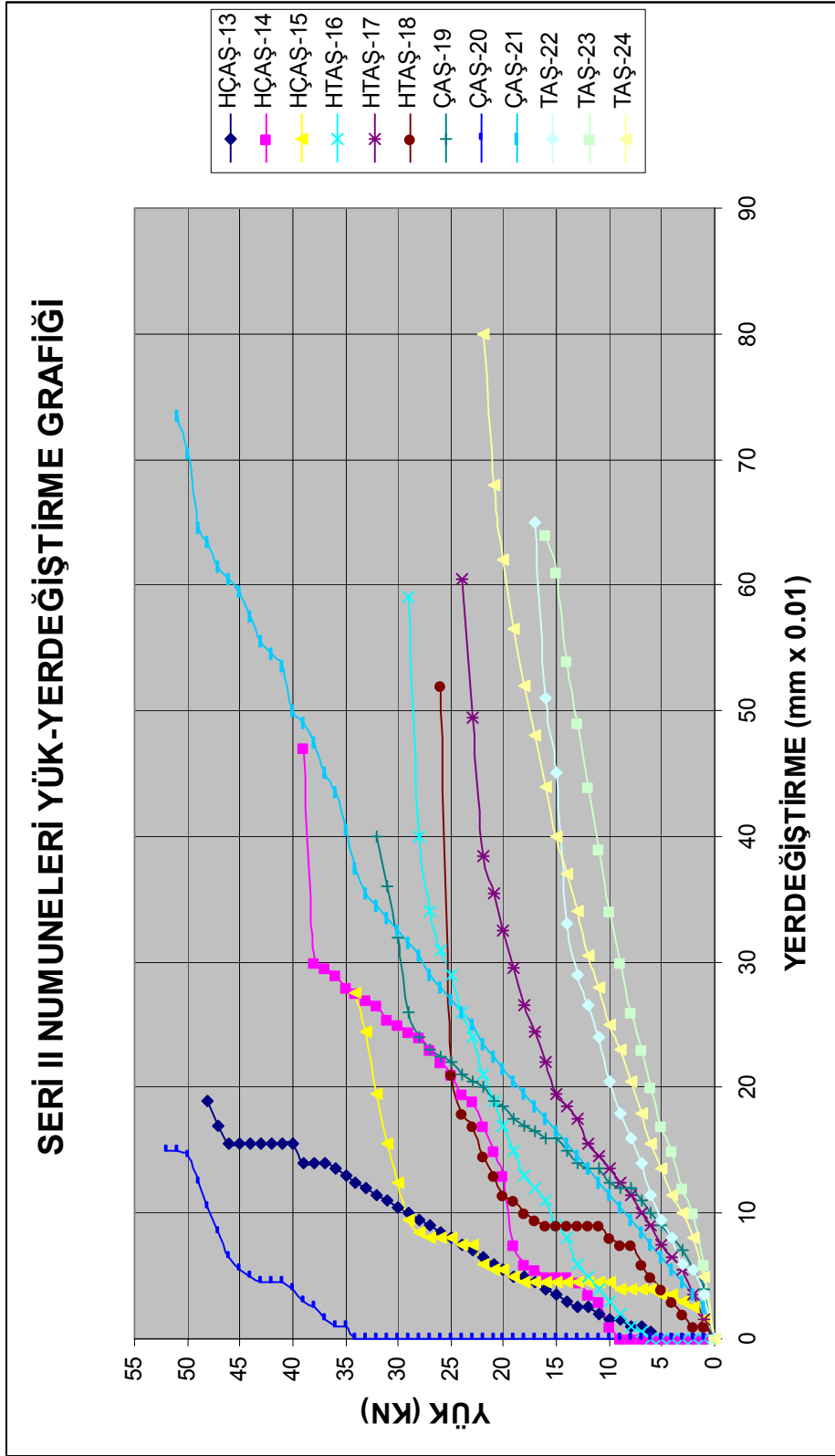


**Şekil A.54** TD-36'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

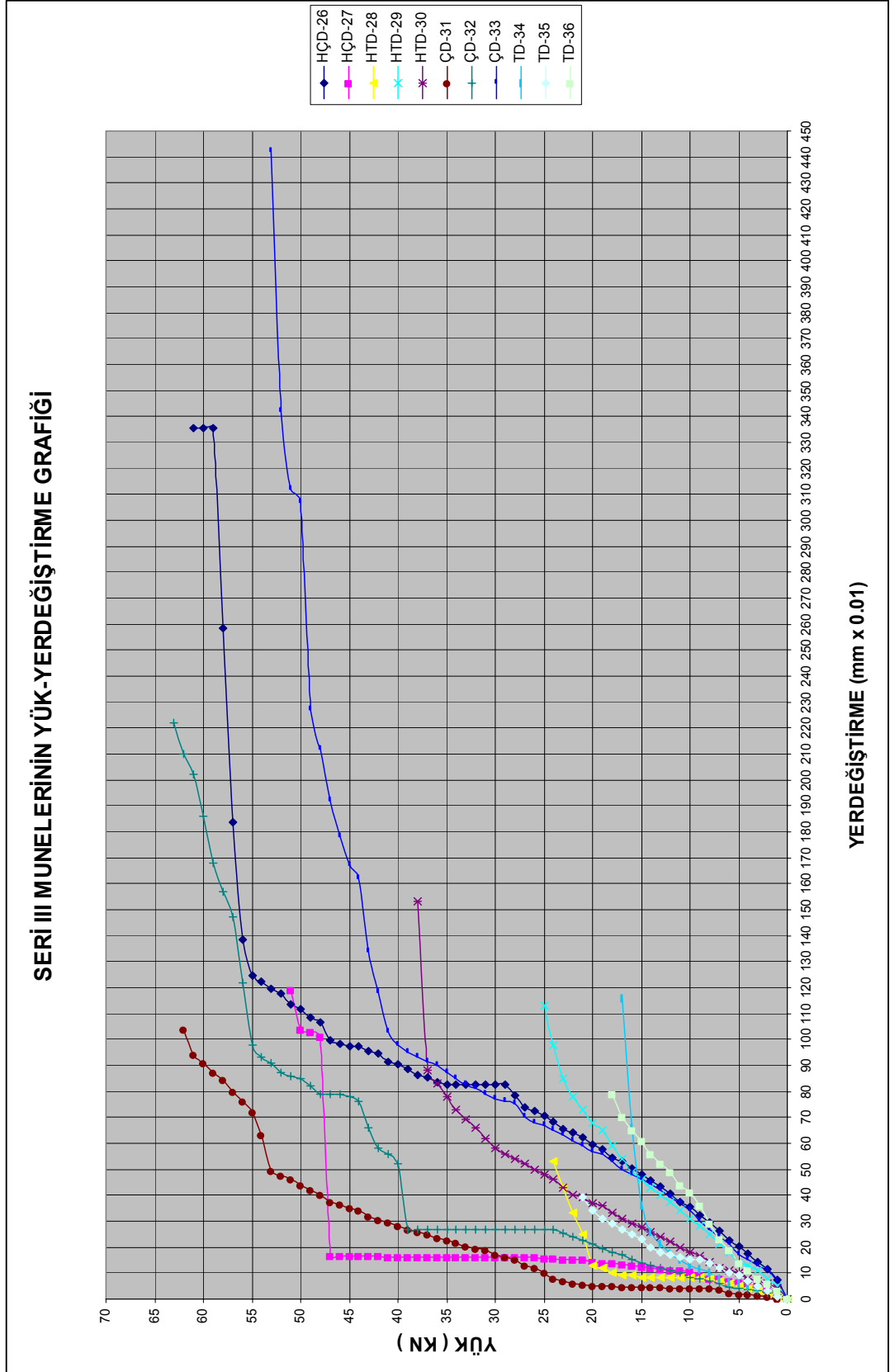
**EK B**



Şekil B.1 Seri 1 Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği



**Şekil B.2** Seri 2 Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği



**Şekil B.3** Seri 3 Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ertan ONAR 8 Eylül 1980 tarihinde Akhisar’da doğdu. İlk öğrenimini Altıeylül İlkokulu, ortaokulu Ali Şefik Ortaokulunda, Lise öğrenimini Akhisar Lisesi’nde tamamladı. 1998 yılında İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümünü kazanarak lisans öğrenimine başladı. 2003 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak mimar unvanı almaya hak kazandı. Aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi yüksek lisans programına kabul edildi. Çeşitli mimarlık bürolarında, şantiye ofislerinde çalıştı.

Mail: ertanonar@gmail.com