İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA YAPILARDA TAŞIYICI TUĞLA DUVARLARIN GFRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Sadi ÖZSARAÇ

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği
Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YIĞMA YAPILARDA TAŞIYICI TUĞLA DUVARLARIN GFRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Sadi ÖZSARAÇ
501041099

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kaya ÖZGEN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Ercan YÜKSEL (İTÜ)

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Tez çalışmam sırasında yapıcı eleştirileri ile çalışmalarıma yön veren, her konuda bana destek olan tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI hocama teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında malzeme gereksinimlerimi karşılayan YKS firmasına, deneyleri gerçekleştirmeme yardımcı olan İTÜ Mimarlık Fakültesi Arş. Gör. Fatih SÜTÇÜ'ye ve İTÜ Mimarlık Fakültesi Laboratuvar Sorumlusu İbrahim ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Tüm eğitim, öğretim hayatım boyunca bana destek olan ve her zaman yanımda olduklarını hissettiren Annem Hafize ÖZSARAÇ'a, Babam Mehmet ÖZSARAÇ'a, Kardeşlerim İlyas ÖZSARAÇ ve Selin ÖZSARAÇ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca sevgi, destek ve özveriyle bana kuvvet veren ve sabır gösteren sevgili Eşim Burcu ÖZSARAÇ'a teşekkür ederim.

Aralık 2008 **Sadi ÖZSARAÇ**

İnş. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR vi
ÇİZELGE LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ ix
SEMBOL LİSTESİ xiii
ÖZET xiv
SUMMARY xv
1. GİRİŞ 1
1.1. Genel Bilgiler 1
1.2. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı 3
1.3. Araştırmada İzlenen Yol 4
1.4. Konu İle İlgili Çalışmalar 5
2. YIĞMA YAPILARDAKİ HASARLAR VE YIĞMA YAPILARIN GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİ 11
2.1 Yığma Yapılardaki Hasar Nedenleri 11
2.2. Yığma Yapılardaki Hasar Türleri 12
2.2.1 Temel Oturmalarına Bağlı Hasarlar 12
2.2.2 Depreme Bağlı Hasarlar 13
2.3 Yığma Yapılarda Göçme Mekanizmaları 14
2.4 Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarların Sınıflandırılması 17
2.4.1 Az Hasarlı Taşıyıcı Duvarlar 17
2.4.2 Orta hasarlı Taşıyıcı Duvarlar 18
2.4.3 Ağır Hasarlı Taşıyıcı Duvarlar 18
2.4.4 Yığma Yapılar İçin Hasar Ölçüt Çizelgesi 19
2.5 Yığma Yapıların Güçlendirme Yöntemleri 20
2.5.1 Püskürtme Beton ile Taşıyıcı Yığma Duvarların Güçlendirilmesi 20
2.5.2 Taşıyıcı Yığma Duvarların Çelik Elemanlarla Güçlendirilmesi 22
2.5.3 Taşıyıcı Yığma Duvarların Normal Beton ile Güçlendirilmesi 24
2.5.4 Taşıyıcı Yığma Duvarların Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirilmesi 24
2.5.5 Taşıyıcı Yığma Duvarların FRP ile Güçlendirilmesi 25
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 27
3.1. Genel Bilgiler 27
3.2. Deney Programı 27
3.3. Deney Ortamı ve Kullanılan Cihazlar 28
3.4. Tuğla Duvar Bileşenlerini Oluşturan Malzemeler 29
3.4.1 Kum 29
3.4.2 Çimento 31
3.4.2.1 Çimento kıvam deneyi ve priz süresinin bulunması 32
3.4.3 Tuğla 34
3.5 Ön Deneyler 35
3.5.1 Harç Üzerinde Yapılan Deneyler 35

3.5.2. Tuğla Üzerinde Yapılan Deneyler 40
3.6. Tuğla Duvarların GFRP ile Güçlendirilmesinde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri 43
3.6.1. Epoksi Esaslı Astar 43
3.6.2. Dokuma GFRP Yapıştırıcısı (Epoksi Esaslı Yapıştırıcı) 45
3.6.3 Epoksi Esaslı Tamir Harcı 46
3.6.4. Dokuma GFRP 48
4. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE DENEY PROGRAMI 51
4.1. Giriş 51
4.1.1. Tuğla Duvar Numunelerinin Hazırlanması 51
4.1.1.1. Numune Boyutları 52
4.1.1.2. Numunelerin Yapımı ve Korunması 52
4.1.1.3. Numunelere Alçı Başlık Yapılması 53
4.1.2. Deneyin Yapılış Şekli 54
4.1.2.1. Deney Düzeneği ve Deney Programı 54
4.1.2.2. Deformasyon Okumaları 54
4.1.2.3 Deney Programı 55
5. MODEL TUĞLA DUVARLAR ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER VE MODEL TUĞLA DUVARLARIN GÜÇLENDİRİLMESİ 56
5.1. Güçlendirilmemiş Tuğla Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneyler 56
5.2. Hasarlı Tuğla Duvar Numunelerinin Tamir Edilmesi 57
5.3. Model Tuğla Duvarların GFRP Malzemesi ile Güçlendirilmesi 58
5.3.1. Model Tuğla Duvarların Şerit GFRP ile Güçlendirilmesi (Seri I) 58
5.3.1.1. Genel Bilgiler 58
5.3.1.2. Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numunelerine Şerit GFRP Uygulaması 60
5.3.2. Model Tuğla Duvarların Ayrık Şerit GFRP ile Güçlendirilmesi (Seri II). 61
5.3.2.1. Genel Bilgiler 61
5.3.2.2. Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numunelerine Ayrık Şerit GFRP Uygulaması 62
5.3.3. Model Tuğla Duvarların Tüm Yüzey GFRP Kullanılarak Güçlendirilmesi (Seri III) 64
5.3.3.1. Genel Bilgiler 64
5.3.3.2. Hasarlı ve Hasarsız Tuğla Duvar Numunelerine Tüm Yüzey GFRP Uygulaması 66
5.4. Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler 67
5.4.1. Şerit GFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler (Seri I) 67
5.4.2. Ayrık Şerit GFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneyler (Seri II) 68
5.4.3. Tüm Yüzey GFRP ile Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler (Seri III) 69
6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ 71
6.1. Genel 71
6.2. Yalın Tuğla Duvar ve Tamirli Tuğla Duvar Numunelerinin Deney Sonuçları 75
6.3. Tuğla Duvar Numunelerinin Şerit GFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri I) 78
6.4. Tuğla Duvar Numunelerinin Ayrık Şerit GFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri II) 85

6.5. Tuğla Duvar Numunelerinin Tüm Yüzey GFRP ile Güçlendirilme Sonuçları (Seri III) 92
6.6 Seri I Sonuçlarının Seri II Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi 99
6.7 Seri I Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi 101
6.8 Seri II Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi 104
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 107
KAYNAKLAR 111
EK A 113
EK B 132
ÖZGEÇMİŞ 137

KISALTMALAR

FRP : Fiber-Reinforced Polymer
CFRP : Carbon Fiber-Reinforced Polymer
GFRP : Glass Fiber-Reinforced Polymer
HÇŞ : Hasar verilmiş çift taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
HTŞ : Hasar verilmiş tek taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
ÇŞ : Çift taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
TŞ : Tek taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
HÇAŞ : Hasar verilmiş çift taraflı olarak ayrık şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
HTAŞ : Hasar verilmiş tek taraflı olarak ayrık şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
ÇAŞ : Çift taraflı olarak ayrık şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
TAŞ : Tek taraflı olarak ayrık şerit GFRP ile güçlendirilmiş numune
HÇD : Hasar verilmiş çift taraflı olarak dokuma GFRP ile güçlendirilmiş numune
HTD : Hasar verilmiş tek taraflı olarak dokuma GFRP ile güçlendirilmiş numune
ÇD : Çift taraflı olarak dokuma GFRP ile güçlendirilmiş numune
TD : Tek taraflı olarak dokuma GFRP ile güçlendirilmiş numune
YD : Yalın duvar
HEYD : Hasar verilmiş epoksi ile onarılmış yalın duvar
KN : Kilonewton
Ort : Ortalama
DBYBHY : Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DİE : Devlet İstatistik Enstitüsü
dk : Dakika

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Cam ve Karbon FRP'nin Kıyaslanması 4
Çizelge 2.1 : Yığma Yapılar İçin Hasar Kriterleri. 19
Çizelge 3.1 : Kum Elek Analizi. 29
Çizelge 3.2 : Kumun Birim Ağırlık Çizelgesi. 30
Çizelge 3.3 : Çimento Teknik Özellikleri. 32
Çizelge 3.4 : Çimento Birim Ağırlık Çizelgesi. 32
Çizelge 3.5 : Çimento Kıvam Deneyi Çizelgesi. 33
Çizelge 3.6 : Çimento Priz Başlama ve Bitiş Süreleri Çizelgesi. 34
Çizelge 3.7 : Harcın 7 Günlük Basınç Dayanımı. 35
Çizelge 3.8 : Harcın 7 Günlük Eğilme Dayanımı. 35
Çizelge 3.9 : Harcın 14 Günlük Basınç Dayanımı 36
Çizelge 3.10 : Harcın 14 Günlük Eğilme Dayanımı. 36
Çizelge 3.11 : Harcın 28 Günlük Basınç Dayanımı. 36
Çizelge 3.12 : Harcın 28 Günlük Eğilme Dayanımı. 37
Çizelge 3.13 : Taze Harç Kıvam Deneyi Sonuçları. 37
Çizelge 3.14 : Harç Birim Ağırlık Çizelgesi. 38
Çizelge 3.15 : Harç Kapiler Su Emme Değerleri. 40
Çizelge 3.16 : Model Tuğlaların Mekanik Özellikleri. 41
Çizelge 3.17 : Tuğla Kapiler Su Emme Değerleri. 43
Çizelge 3.18 : Astarın Teknik Özellikleri. 44
Çizelge 3.19 : Dokuma GFRP Yapıştırıcısının Teknik Özellikleri. 46
Çizelge 3.20 : Epoksi Esaslı Tamir Harcının Teknik Özellikleri. 48
Çizelge 3.21 : Dokuma GFRP İçin Tipik Performans Değerleri 50
Çizelge 6.1 : Seri I Numuneleri'nin Genel Özellikleri. 73
Çizelge 6.2 : Seri II Numuneleri'nin Genel Özellikleri. 73
Çizelge 6.3 : Seri III Numuneleri'nin Genel Özellikleri. 74
Çizelge 6.4 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükü ..75
Çizelge 6.5 : Yalın Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Yer Değiştirmeleri 75
Çizelge 6.6 : Onarılmış Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Kırılma Yükü 76
Çizelge 6.7 : Onarılmış Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Yer Değiştirmeleri. ..76
Çizelge 6.8 : Seri I Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri. 78
Çizelge 6.9 : Seri I Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Yer Değiştirmeleri 79
Çizelge 6.10 : Seri I Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması 80
Çizelge 6.11 : Seri II Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri 86
Çizelge 6.12 : Seri II Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Yerdeğiştirmeleri 86
Çizelge 6.13 : Seri II Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması. 87
Çizelge 6.14 : Seri III Tuğla Duvar Num. Max. ve Ortalama Kırılma Yükleri 93
Çizelge 6.15 : Seri III T.D Numunelerinin Max. ve Ortalma Yer Değiştirmeleri 93
Çizelge 6.16 : Seri III Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması. 94
Çizelge 6.17 : Seri I ve Seri II Ortalama Deney Verileri. 99
Çizelge 6.18 : Seri I ve Seri III Ortalama Deney Verileri. 102

Çizelge 6.19 : Seri II ve Seri III Ortalama Deney Verileri..... 104
Çizelge 6.20 : Cam ve Karbon FRP m^2 Uygulama Maliyeti Kıyaslaması..... 110

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Temel Oturmalarından Dolayı Oluşan Çatlaklar.....13
Şekil 2.2 : Yığma Yapı Plan Örnekleri.....13
Şekil 2.3 : Yığma Duvarlarda Oluşan Tek Yönlü Eğik Çatlaklar ….....14
Şekil 2.4 : Deprem X çatlakları α=45° … 14
Şekil 2.5 : Deprem X çatlakları α>45° ….....14
Şekil 2.6 : Serbest Duvarın Göçme Mekanizması. 15
Şekil 2.7 : Yığma Yapıda Hasarlar.....16
Şekil 2.8 : Tavan Bitişleri Yeterince Detaylandırılmamış Yığma Duvarlarda Hasar Biçimleri. 16
Şekil 2.9 : Az Hasarlı Duvar Örnekleri … 18
Şekil 2.10 : Orta Hasarlı Duvar Örnekleri … 18
Şekil 2.11 : Ağır Hasarlı Duvar Örnekleri … 19
Şekil 2.12 : Tek Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması 21
Şekil 2.13 : İki Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması 22
Şekil 2.14 : Pencere Boşlukları Arasında Kalan Duvarların Gergi Demirleri İle Güçlendirilmesi. 23
Şekil 2.15 : Gergi Demirlerinin Duvarın Dış Yüzüne Yerleştirilmesi. 23
Şekil 2.16 : Hasarlı Duvar Bölümünün Çelik Köşebentlerle Çerçeve İçine Alınarak Güçlendirilmesi.....23
Şekil 2.17 : Yığma Duvarları Gergi Demirleri İle Güçlendirme… 24
Şekil 2.18 : Taşıyıcı Tuğla Duvarda GFRP Uugulaması….....26
Şekil 2.19 : Kemerde FRP Uygulaması -1.....26
Şekil 2.20 : Kemerde FRP Uygulaması -2.....26
Şekil 3.1 : Kumun Granülometrik Eğrisi.....30
Şekil 3.2 : Çökelme Hunisi Deneyi… 31
Şekil 3.3 : Çimento Kıvam Deneyi… 33
Şekil 3.4 : Çimento Priz Süresi Deneyi… 33
Şekil 3.5 : Harman Tuğlaları….....34
Şekil 3.6 : Harç Kapiler Su Emme Tayini Deneyi… 39
Şekil 3.7 : Harç Kapiler Su Emme Eğrisi… 39
Şekil 3.8 : Tuğla Kapiler Su Emme Tayini.....42
Şekil 3.9 : Tuğla Kapiler Su Emme Eğrisi. 42
Şekil 3.10 : Tuğla Duvar Yüzeyine Astar Uygulanması. 45
Şekil 4.1 : Kesilmiş Model Tuğlalar. 52
Şekil 4.2 : Tuğla Duvar Numunesinin Hazırlanışı. 52
Şekil 4.3 : Numune Boyutları… 53
Şekil 4.4 : Numunelerin Kürlenmesi… 53
Şekil 4.5 : Alçı Başlık Kalıbı. 53
Şekil 4.6 : Alçı Başlıklı Numuneler.....53
Şekil 4.7 : Deney Düzeneği 54
Şekil 4.8 : Yalın Duvar Deplasman Okumaları Kesiti. 55

Şekil 4.9 : GFRP İle Güçlendirirlmiş Duvar Deplasman Okumaları Kesiti. 55
Şekil 5.1 : Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Yüklenmesi..... 57
Şekil 5.2 : Tamir Edilen Tuğla Duvar Numuneleri. 57
Şekil 5.3 : Şerit GFRP Uygulaması. 58
Şekil 5.4 : Seri I- Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli..... 59
Şekil 5.5 : Tuğla Duvar Numunesinin Gerilme Durumu. 59
Şekil 5.6 : Seri I- Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti..... 59
Şekil 5.7 : Seri I- D1 Detayı. 59
Şekil 5.8 : Seri I-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti..... 60
Şekil 5.9 : Seri I- D2 Detayı. 60
Şekil 5.10 : Çekme ve Basınç Yönünde GFRP Uygulaması…..... 61
Şekil 5.11 : Şerit GFRP Uygulanmış Numuneler..... 61
Şekil 5.12 : Seri II- Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli. 61
Şekil 5.13 : Seri II-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti 62
Şekil 5.14 : Seri II- D3 Detayı..... 62
Şekil 5.15 : Seri II-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti 62
Şekil 5.16 : Seri II- D4 Detayı..... 62
Şekil 5.17 : Tuğla Duvar Yüzeyine Astar Uygulaması…..... 63
Şekil 5.18 : Ayrık Şerit GFRP Uygulaması…..... 63
Şekil 5.19 : Numunelere Alçı Başlık Uygulaması…..... 64
Şekil 5.20 : Seri III- Tuğla Duvarların Güçlendirilme Şekli..... 64
Şekil 5.21 : Seri III- Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti 65
Şekil 5.22 : Seri III- D5 Detayı..... 65
Şekil 5.23 : Seri III- Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti 65
Şekil 5.24 : Seri III- D6 Detayı..... 65
Şekil 5.25 : Tüm Yüzey Dokuma GFRP Uygulaması 66
Şekil 5.26 : Numunelere Alçı Başlık Uygulaması..... 66
Şekil 5.27 : Seri I Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Ön Yüz)..... 67
Şekil 5.28 : Seri I Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Arka Yüz)..... 67
Şekil 5.29 : Seri I Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Ön Yüz)..... 68
Şekil 5.30 : Seri I Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Arka Yüz)..... 68
Şekil 5.31 : Seri II Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Arka Yüz)..... 69
Şekil 5.32 : Seri II Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Arka Yüz)..... 69
Şekil 5.33 : Seri III Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi 70
Şekil 5.34 : Seri III Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası 70
Şekil 6.1 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği..... 75
Şekil 6.2 : Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği..... 77
Şekil 6.3 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Göçme Mekanizması..... 77
Şekil 6.4 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Tipik Göçme Mekanizması 77
Şekil 6.5 : Seri I Hasarlı Hasarsız Kırılma Yükü Kıyaslama Grafiği. 80
Şekil 6.6 : Seri I Hasarlı Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği..... 82
Şekil 6.7 : HÇŞ 1-2-3'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği..... 83
Şekil 6.8 : HTŞ 4-5-6'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği 83
Şekil 6.9 : ÇŞ 7-8-9'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği …..... 84
Şekil 6.10 : TŞ 10-11-12'nin Yük-Yer Değiştirme Grafiği…..... 84
Şekil 6.11 : Seri I Numunelerinin Tipik Kırılma Mekanizmaları..... 85
Şekil 6.12 : Seri I Numunelerinin Tipik Kırılma Mekanizması Detayı. 85
Şekil 6.13 : Seri II Hasarlı Hasarsız Kırılma Yükü Kıyaslama Grafiği..... 88
Şekil 6.14 : Seri II Hasarlı Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği 89
Şekil 6.15 : HÇAŞ 13-14-15'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği 90

Şekil 6.16 : HTAŞ 16-17-18'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....90
Şekil 6.17 : ÇAŞ 19-20-21'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği 91
Şekil 6.18 : TAŞ 22-23-24'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....91
Şekil 6.19 : Seri II Numunesinin Kırılma Mekanizması. 92
Şekil 6.20 : Seri II Numunesinin Yükleme Sonrası Görünüşü 92
Şekil 6.21 : Seri III Hasarlı Hasarsız Kırılma Yükü Kıyaslama Grafiği 95
Şekil 6.22 : Seri III Hasarlı Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği 96
Şekil 6.23 : HÇD 25-26-27nin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği 97
Şekil 6.24 : HTD 28-29-30'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği 97
Şekil 6.25 : ÇD 31-32-33'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....98
Şekil 6.26 : TD 34-35-36'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği.....98
Şekil 6.27 : Seri III Numunesinin Göçme Mekanizması.....99
Şekil 6.28 : Seri III Numunesinin Yükleme Sonrası.....99
Şekil 6.29 : Seri I ve Seri II Kırılma Yükü Kıyaslaması 100
Şekil 6.30 : Seri I ve Seri II Yerdeğiştirme Kıyaslaması.....101
Şekil 6.31 : Seri I ve Seri III Kırılma Yükü Kıyaslaması.....103
Şekil 6.32 : Seri I ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması 103
Şekil 6.33 : Seri II ve Seri III Kırılma Yükü Kıyaslaması 105
Şekil 6.34 : Seri II ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması.....106
Şekil A.1 : YD-1'in Kırılma Şekli. 114
Şekil A.2 : YD-2'nin Kırılma Şekli 114
Şekil A.3 : YD-3'ün Kırılma Şekli.....114
Şekil A.4 : HEYD-1'in Kırılma Şekli 115
Şekil A.5 : HEYD-2'nin Kırılma Şekli 115
Şekil A.6 : HEYD-3'ün Kırılma Şekli 115
Şekil A.7 : HÇŞ-1'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi) 116
Şekil A.8 : HÇŞ-2'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi) 116
Şekil A.9 : HÇŞ-3'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi) 116
Şekil A.10 : HTŞ-4'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....117
Şekil A.11 : HTŞ-5'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....117
Şekil A.12 : HTŞ-6'nın Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....117
Şekil A.13 : HÇAŞ-13'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....118
Şekil A.14 : HÇAŞ-14'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....118
Şekil A.15 : HÇAŞ-15'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....118
Şekil A.16 : HTAŞ-16'nın Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....119
Şekil A.17 : HTAŞ-17'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....119
Şekil A.18 : HTAŞ-18'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....119
Şekil A.19 : HÇD-25'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....120
Şekil A.20 : HÇD-26'nın Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....120
Şekil A.21 : HÇD-27'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....120
Şekil A.22 : HTD-28'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....121
Şekil A.23 : HTD-29'un Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....121
Şekil A.24 : HTD-30'un Kırılma Şekli(Güçlendirme Öncesi).....121
Şekil A.25 : HÇŞ-1'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 122
Şekil A.26 : HÇŞ-2'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 122
Şekil A.27 : HÇŞ-3'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası).....122
Şekil A.28 : HTŞ-4'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası).....123
Şekil A.29 : HTŞ-5'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası).....123
Şekil A.30 : HTŞ-6'nın Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası).....123
Şekil A.31 : ÇŞ-7'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 124

Şekil A.32 : ÇŞ-8'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 124
Şekil A.33 : ÇŞ-9'un Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 124
Şekil A.34 : TŞ-10'nun Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 125
Şekil A.35 : TŞ-11'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 125
Şekil A.36 : TŞ-12'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 125
Şekil A.37 : HÇAŞ-13'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 126
Şekil A.38 : HÇAŞ-14'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 126
Şekil A.39 : HÇAŞ-15'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 126
Şekil A.40 : HTAŞ-16'nın Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 127
Şekil A.41 : HTAŞ-17'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 127
Şekil A.42 : HTAŞ-18'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 127
Şekil A.43 : ÇAŞ-19'un Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 128
Şekil A.44 : ÇAŞ-20'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 128
Şekil A.45 : ÇAŞ-21'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 128
Şekil A.46 : TAŞ-22'nin Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 129
Şekil A.47 : TAŞ-23'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 129
Şekil A.48 : TAŞ-24'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 129
Şekil A.49 : HTD-28'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 130
Şekil A.50 : HTD-29'un Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 130
Şekil A.51 : HTD-30'un Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 130
Şekil A.52 : TD-34'ün Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 131
Şekil A.53 : TD-35'in Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası) 131
Şekil A.54 : TD-36'nın Kırılma Şekli(Güçlendirme Sonrası)..... 131
Şekil B.1 : Seri I Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği..... 133
Şekil B.2 : Seri II Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği 134
Şekil B.3 : Seri III Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği 135
Şekil B.4 : Seri1-2-3 Kırılma Yükleri Toplu Karşılaştırma Grafiği 136

SEMBOL LİSTESİ

σ	**:** Gerilme
r	**:** Yarıçap
R	**:** Çap
N	**:** Kılcallık katsayısı
m	**:** Örneklerin ortam nemi ağırlıkları
m_0	**:** Örneklerin belli bir zaman dilimi sonrası ağırlıkları
A	**:** Örneklerin suya 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^2)
Gpa	**:** Gigapascal (KN/mm^2)
Ew	**:** Elastisite modülü
Gw	**:** Kesme modülü
%	**:** Yüzde
°C	**:** Santigrat derece
f_b	**:** Tuğlanın basınç dayanımı ($kg/cm^{2)}$
Uv	**:** Ultraviole
Pk	**:** Kırılma anındaki yük (kg)

YIĞMA YAPILARDA TAŞIYICI TUĞLA DUVARLARIN GFRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Türkiye'deki mevcut yapıların büyük bir çoğunluğunu yığma yapılar oluşturmaktadır. Yığma yapılarda taşıyıcı duvarlarda en fazla kullanılan malzeme ise tuğladır. Yığma tuğla duvarların düşey yük taşıma kapasitelerinin yüksek olması yanında, deprem gibi yatay yüklere karşı zayıf oldukları bilinmektedir. Ülkemizde bulunan fay hatlarının aktifliği ve topraklarımızda sık sık büyük depremlerin oluştuğu göz önüne alındığında yığma tuğla duvarların ve dolayısıyla yığma yapıların güçlendirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Günümüzde yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu güçlendirmede yeni malzemelerden de yararlanılmaktadır. Bunlardan biri de kompozit bir malzeme olan ve Türkiye'de de üretimi bulunan GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymer) malzemesidir. Bu araştırmada, dokuma GFRP malzemesinin güçlendirmede, değişik formlarda ve miktarda kullanılmasının, yığma tuğla duvarların dayanım ve sünekliğine olan etkisi araştırılmıştır.

Bu amaçla dolu harman tuğlasından 9.5x4.5x2.5 cm boyutlarında kesilerek üretilmiş model tuğlalar kullanılarak üretilen 19.5x17.5x4.5 cm boyutlarında model duvarlar üzerinde çalışılmıştır. Her birinde 12 adet model duvar bulunan 3 seri oluşturularak toplam 39 adet duvar numunesi örülmüştür. Seri I numuneleri, dokuma GFRP malzemesinden 2.5 cm genişliğinde iki adet şerit kesilerek, model duvar yüzeyine çaprazlar halinde yapıştırılması şeklinde güçlendirilmiştir. Seri II'de şerit kesit alanı aynı kalacak şekilde duvar numunesinin her bir köşegenine bir adet 1.5cm ve iki adet 0.5 cm genişliğinde olmak üzere 3 adet şerit yapıştırılarak güçlendirme uygulaması yapılmıştır. Seri III'de ise model duvarların tüm yüzeyini kaplayacak şekilde dokuma GFRP ile güçlendirme uygulanmıştır. Her bir serideki numunelerin 6 adedine önceden hasar verilmiş ve epoksi ile onarıldıktan sonra güçlendirme uygulanmış, diğer 6 adedi ise hasar verilmeden güçlendirilmiştir. Bu model duvarların da 3'er adedi tek yüzünden, 3'er adedi ise her iki yüzünden güçlendirilmiştir.

Model duvarlara, kendi düzlemi içerisinde, düşey yük ve deprem kuvvetinin birlikte etkimesi durumunu temsil etmesi için, bu yüklerin bileşkesi olarak, duvar derzleriyle 45° açı yapacak şekilde tek eksenli basınç yükü uygulanmıştır. Yüklemenin duvar köşegeniyle paralel şekilde düzgün etkimesi için model duvarların köşelerine başlık yapılmıştır. Yükleme sonrasında duvarların göçme yükleri, kırılma modları ve artan yük altındaki yerdeğiştirmeleri kaydedilmiştir. Bütün numunelerin yük-yerdeğiştirme grafikleri çizilmiş, kırılma şekilleri fotoğraflarla belgelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiş ve en yüksek dayanım artışının tüm yüzey dokuma GFRP ile yapılan güçlendirmeden (Seri III) elde edildiği görülmüştür. Şerit şeklinde, dokuma GFRP ile yapılan güçlendirmede de (Seri I) kayda değer bir artış meydana gelmiştir. Ayrıca bütün numunelerin sünekliklerinin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Tek taraflı güçlendirilen model duvarların da azımsanmayacak ölçüde dayanım ve süneklik artışı gösterdiği belirlenmiştir.

THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CONSTRUCTIVE BRICK WALLS STRENGTHENED WITH GLASS FIBER REINFORCED POLYMER IN MASONRY BUILDINGS

SUMMARY

The majority of buildings in Turkey are masonry structures and the masonry walls are mostly made of bricks. Although masonry brick walls are known to have high vertical load bearing capacity, they are weak for lateral loading such as earthquakes. Considering the fact that our country is in a risk region in the means of earthquakes, it's essential to strengthen the structural masonry walls.

Recently masonry brick walls are strengthened by various methods using new types of materials. One of these methods is using GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) which is a composite type of material and manufactured in Turkey. This study aims to investigate the effects of strengthening by GFRP in different amounts and forms on the strength and ductility of masonry brick walls.

The experiments are consisted of 3 series with 12 brick wall specimens in the size of 19.5x17.5x4.5cm provided for each series. The brick wall specimens are loaded uni-axially in such a way that the resultant force of in-plane horizontal and vertical loads acting along an inclination of 45° on the steel shoes putting on the specimens and overall displacements are measured by a transducer placed with 170 mm nominal length. Half of each series are subjected to pre-damaging process almost up to the level of the collapse. These specimens are then repaired by the epoxy materials. Together with non-damaged specimens, these pre-damaged-and-epoxy-repaired specimens are then loaded until the occurrence of the failure in three different strengthening series.

In Series I, 2.5cm strips are applied first in the direction of the tensile stresses and then compressive stresses of brick wall specimens. In Series II brick wall specimens, the FRP strips are again applied first in the direction of the tensile stresses and then compressive stresses of brick wall specimens. For this case, however, GFRP strips of 0.5cm wide are used at a distance of 1cm at both sides of GFRP strips of 1.5cm wide to provide further spread reinforcement effect on a wider wall surface. For Series III, textile GFRP is used on the overall surface of specimens. During the experiments, the collapse loads, cracking patterns and incremental displacement values are recorded.

The highest strengths are is obtained in GFRP textile strengthening applied either on one side or both side of the brick wall specimens(Series III), irrespective whether pre-damaged and non-damaged specimens are used. The improvements obtained by Series I are remarkable as well. It is also observed that in all cases the ductility values improved to a great deal. Load bearing capacity and ductility of specimens increased even in the case of one-sided strengthening.

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

İnsanlık tarihinin en eski devirlerinden bu yana ülkemiz toprakları sık sık büyük depremler yaşamıştır. Bu depremler ülke ekonomisine çok ağır yükler getirmiş ve binlerce insanın evsiz kalmasına ve hayatlarını kaybetmesine sebep olmuştur. Özellikle kırsal kesimlerde ve gecekondu bölgelerinde sıkça inşa edilen yığma türü yapılar, depremlerde risk altında bulunan yapı türlerinin başında gelmektedir. DİE 2000 yılı verilerine göre; Ankara, İstanbul, İzmir ve Adana gibi büyük şehirlerimizde bulunan yığma yapıların, bu şehirlerdeki toplam yapı sayısına oranı, %40-45'ler gibi önemli seviyelere ulaşmaktadır. 2000 yılı bina sayımı, belediyelerin mücavir alanlarına da uygulanmış ve bu bölgelerde toplam 224.971 bina tespit edilmiştir. Taşıyıcı sistemine göre, binaların %51.1'i yığma, %48.4'ü karkas olarak inşa edilmişlerdir. Mevcut yığma yapıların ise yaklaşık %60'ında taşıyıcı malzeme olarak tuğla kullanılmıştır. Depremlerde meydana gelen can kayıplarının önemli bir kısmı da kırsal bölgelerde genellikle mühendislik hizmeti görmeden inşa edilen yığma yapıların hasar görmesi sonucu meydana gelmektedir.

Günümüzde, gerek bilimsel çalışmalarda, gerek meslek odalarında ve gerekse basında, betonarme, prefabrike ve çelik taşıyıcı sistemli yapılar üzerine birçok bilimsel ve toplumsal araştırmalar yapılmakta, yeni güçlendirme ve takviye metotları geliştirilmekte ve önerilmektedir. Ülkemizdeki yapıların büyük bir yüzdesini oluşturan yığma yapıların güçlendirilmesi konusunda ise yeterince çalışma yapılmamaktadır. 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. Bu durumda, inşa edilmiş yığma yapılar son deprem yönetmeliği DBYYHY2007 ye göre tekrar gözden geçirilerek muhtemel depremlere dayanacak şekilde güçlendirilmelidir.

Yığma yapılarda tuğla duvarların güçlendirilmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Örneğin, tüm duvar yüzeyine hasır donatı üzerine püskürtme beton ya da kalın harç sıva veya kendiliğinden yerleşen beton uygulanması ile duvar dayanımı arttırılmaktadır. Çelik elemanlar kullanılarak da duvarın dayanımı artırılabilir. Diğer bir seçenek de FRP kullanılarak yapılan güçlendirmedir. Uygulama kolaylığı, süre avantajı, yatay yüklere karşı etkinliğinin fazlalığı, kesit kalınlığının az olması ve binaya ek yük getirmemesi, korozyona olan dayanıklılığı, tuğla duvara olan aderansının iyi olması, uygulama sırasında kullanıcıya en az düzeyde rahatsızlık verilmesi gibi nedenlerden ötürü FRP ile yapılan güçlendirme çalışmalarının diğerlerine göre, 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 çözümlemelerinin yapılması gereklidir.

İnşaat mühendisliğinde üç çeşit lif ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Bunlar karbon, cam (glass) ve aramid lifleridir. Her birinin farklı özellikleri ve fiyatları olduğu için birbirinden daha uygun oldukları kullanım alanları vardır. Güçlendirme uygulamalarında en çok tercih edilen lifler karbon lifleridir. Cam liflerinin diğer liflere göre ucuz olması ve yerel üretiminin mevcut olması dolayısıyla dışarıya bağımlılığı azaltması, bu liflerin kullanımının araştırılmasının ve yaygınlaştırılmasının ülke ekonomisi açısından da daha faydalı olduğunu göstermektedir. Bu deneysel çalışmada; tuğla duvarların Cam Lif Takviyeli Polimer (GFRP) kullanılarak onarımı ve güçlendirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla güçlendirme sonrası duvar numunelerinin dayanımları, artan yük altındaki şekil değiştirmeleri ve kırılma mekanizmaları incelenmiştir. Deneylerde kullanılan model duvarlar standart harman tuğlasından küçük boyutlarda kesilerek elde edilen tuğlalardan üretilmiştir. Tuğla duvar numunelerinin belli bir kısmına önceden hasar verilip sonra hasarlı numuneler tamir edilmiştir. Tamir edilen duvar numunelerinin ve hasarsız numunelerin yüzeylerine dokuma GFRP ile çeşitli şekillerde güçlendirme yapılmıştır. Dokuma GFRP duvar numunelerinin tüm yüzeyine uygulandığında sadece çekme yönünde, şerit ve birkaç şerit halinde (ayrık şerit) uygulandığında hem çekme hem basınç yönünde uygulanmıştır. Numune kırılma modları incelenerek FRP malzemesinin güçlendirme uygulamalarına olan etkisi incelenmiştir.

1.2. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Yapıların dayanımının artırılması gerekliliği değişik sebeplere dayanmaktadır. Projesinde veya yapımında hata olan yapılarda zaman içerisinde hasar veya zayıflık belirtileri ortaya çıkabilir. Yapının kullanım amacında meydana gelen değişiklikler sebebiyle de yapının taşıyıcı sistemine birtakım takviyeler yapılması gerekebilir. En önemlisi de yapının ömrü boyunca bir kez meydana gelmesi beklenen büyük bir depremde can kaybını önleyecek şekilde dayanmasıdır. Bu amaçla taşıyıcı sistemi yetersiz yapıların ve önceki depremlerde hasar görmüş yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde bulunan mevcut binaların önemli bir kısmı yığma yapılardır. Bu yapıların en önemli taşıyıcı elemanı ise tuğla duvarlardır. Günümüzdeki yeni güçlendirme malzemelerinin üstün kimyasal ve fiziksel özelliklerini de göz önünde bulundurursak tuğla duvarların güçlendirilmesinde bu malzemelerin kullanılmasının deneysel ve teorik olarak araştırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Elyaf takviyeli polimerler içerisinde kullanımı en yaygın olan ve en çok tercih edilen polimer türü CFRP'dir (Carbon Fiber Reinforced Polymer). Ancak bu malzemenin yurtdışından ithal edilmesi ve pahalı olması sebebiyle dışa bağımlılığın azaltılması için, ona kıyasla daha ucuz olan ve yerel üretimi mevcut bulunan GFRP'nin (Glass Fiber Reinforced Polymer) kullanımının incelenmesine karar verilmiştir. Cam ve Karbon FRP malzemelerinin teknik özelliklerine göre kıyaslanması Çizelge 1.1'de verilmiştir. Özellikle yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvar malzemesinin dayanımının düşük olması sebebiyle, yüksek elastisite modülüne ve dayanıma sahip olan CFRP ile güçlendirme yerine, nispeten daha düşük dayanımlı ve daha sünek bir malzeme olan GFRP ile güçlendirmenin, daha ekonomik ve daha etkin olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmada, hasarlı ve hasarsız tuğla duvar numuneleri değişken miktarda GFRP ile güçlendirilerek, elde edilen dayanım ve süneklilik gibi davranışların tespit edilmesi ve GFRP'nin diğer güçlendirme yöntemlerine göre avantaj ve dezavantajlarının belirlenerek yöntemin alternatif bir güçlendirme metodu olarak kullanılmasının araştırılması amaçlanmıştır.

Çizelge 1.1: Cam ve Karbon FRP'nin Kıyaslanması

	GFRP	**CFRP**
Çekme Mukavemeti (MPa)	1800-3500	3800
Elastisite Modülü (GPa)	70-85	200-250
Kopmada Uzama (%)	2.8	1.5
Yoğunluk (kg/m^3)	2270	1965

Model tuğla duvarlar üzerine yapılan GFRP ile güçlendirmenin; formunun, miktarının ve duvarın GFRP ile olan aderans özelliğinin, bu tür duvarların dayanımına olan etkisi, ayrıca model tuğla duvarların deney verilerine göre kırılma yükleri, yer değiştirmeleri 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 oluşmaktadır. Serilerin güçlendirme şekilleri ve kullanılan dokuma GFRP miktarları farklılık göstermektedir. Dokuma GFRP malzemesi Seri I'de tuğla duvar numunelerinin yüzeyine çapraz şerit halinde, Seri II'de tuğla duvar numunelerinin yüzeyine yine çapraz ancak birden fazla şerit (Ayrık şerit) halinde, Seri III'de ise tuğla duvar numunelerinin tüm yüzeyine uygulanmıştır.

Numunelere, yatay derzleri yükleme ekseni ile 45°'lik açı yapacak şekilde düşey basınç kuvveti uygulanmıştır. Bu eksenel basınç kuvveti yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerin bileşkesini temsil etmektedir. Bir seri içindeki numunelerden 6 adedi güçlendirme olmaksızın yalın halde hasara uğratılmış, sonra bu hasarlı numuneler epoksi yapıştırıcısı ile onarılmış daha sonra güçlendirilmiştir. Diğer 6 adedi hasarsız olarak güçlendirilmiştir.

Deney programının birinci aşamasında; 19.5 x 9 x 5 cm boyutlarındaki dolu tuğlalar kesilerek 9.5 x 4.5 x 2.5 cm boyutlarında, duvar örümünde kullanılacak olan tuğlalar

elde edilmiştir. Kesilen tuğlaların ve karışım oranına göre duvar örülmesinde kullanılacak olan harcın dayanımı belirlenmiştir.

İkinci aşamada; kesilen model tuğlalar kullanılarak 0.5 cm kalınlığında derzli duvar örümü gerçekleştirilmiştir. Duvar numuneleri örümden sonra 7 gün kürde bekletilmiştir. Kürden çıkarıldıktan sonra numunelerin basınç uygulanacak köşelerine alçı başlık yapılarak köşelerin düzgünlüğü ve yüklemenin eksenel olması sağlanmıştır.

Üçüncü aşamada; hasar verilecek numunelerin pres altındaki ilk basınç deneyleri yapılmış daha sonra bu numuneler epoksi ile onarılmıştır.

Dördüncü aşamada; her bir serideki numuneler uygulanacak güçlendirme şekline ve miktarına göre dokuma GFRP ile güçlendirilmiştir.

Araştırmanın beşinci ve son aşamasında ise güçlendirilen duvar numunelerine taşıma gücü sona erinceye kadar tek eksenli basınç kuvveti uygulanmış ve kırılmaya kadar gerçekleşen yük-deformasyon değerleri bulunmuştur.

1.4. Konu İle İlgili Çalışmalar

ElGawady (2005) [1], bu çalışmada FRP ile güçlendirilmiş yığma duvarların üzerinde dinamik testler yapmıştır. Burada yığma duvarların güçlendirilmesi ve iyileştirilmesi için bir alternatif olarak FRP'nin denenmesi amaçlanmıştır. Bunun için 5 adet ½ ölçekli duvar yapılmış ve tek yüzüne güçlendirme uygulanmıştır. İki moment/kayma oranı (1.4/0.7) İki harç tipi, M2.5 ve M9, üç kompozit malzeme (karbon, aramid, cam), üç lif yapısı (plates, loose fabric, grids) ve iki güçlendirme şekli (X çaprazlama şekilli ve tüm yüzeye yayılı şekil) bu 5 numune üzerinde denenmiştir. Numuneler artan yoğunluklu, tek eksenli yapay bir deprem etkisinde deneye tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneyler tek yüzlü güçlendirmenin geçerliliğini ve etkililiğini onaylamıştır. Yığma duvarların yanal dayanımları 1.3 ila 2.9 kat artmış, bununla birlikte yatay deformasyon kabiliyetinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Tek yüzlü güçlendirmeden doğan düzlem dışı veya inişli çıkışlı tepkiler görülmemiştir. Fabrics ve grids gibi duvarın bütün yüzeyine uygulanan çift yönlü malzemeler, yığma duvarın 3 klasik göçme modunu ertelemeye yardımcı olabilmektedir. (eğilme göçmesi, kademeli kırılma ve kayma göçmesi) Ayrıca bazı durumlarda tuğlaları bir arada tutarak büyük sismik yer değiştirmelerde bütünüyle

göçmeyi ertelemektedir. Diğer taraftan X şekilli güçlendirme yeterince başarılı olamamış ve test sırasında erken göçme yaşanmıştır.

ElGawady (2007) [2], bu çalışmada 4 adet ½ ölçekli yığma duvarın FRP kullanılarak güçlendirilmesinden önceki ve sonraki davranışlarını araştırmıştır. Bu duvarlarla 7 deney gerçekleştirilmiştir. Numuneler 20.yy'ın ortalarında Orta Avrupa'da yapılan yığma duvarları temsil etmeleri amacıyla ½ ölçekli, boşluklu killi tuğlalar ve düşük dayanımlı harç kullanılarak imal edilmiştir. Bunların 3'ü öncelikle güçlendirilmemiş yığma duvarlar olarak test edilmiş ve hasar gören numunelerden ikisi GFRP ile, biri ise AFRP ile güçlendirilmiştir. 4. numune imal edildikten sonra hasar verilmeden FRP ile güçlendirilmiştir. Bütün numuneler tek taraflı ve tüm yüzey olarak güçlendirilmiş, numunelere sabit düşey yük yanında artan yanal yük uygulanmıştır. Deneyde moment/kesme kuvveti oranı 0.50 ve 0.70 olarak alınmış ve FRP'nin eksenel rijitliği (FRP oranı x Elastisite modülü) değişken parametre olarak incelenmiştir. Tek yüzlü güçlendirmenin; yanal dayanımı, rijitlik ve enerji sönümlemeyi artırdığı görülmüştür. Yanal dayanımdaki artış FRP eksenel rijitliğiyle doğru orantılı olmuştur. Bununla birlikte FRP'nin eksenel rijitliğini artırmak gevrek kırılmalara sebep olmaktadır. Sonuç olarak numunelerin yanal dayanımlarında ciddi bir artış görülmüştür.

Ehsani ve diğ. (1999) [3], tarafından yapılan deneysel çalışmada 3 adet tuğla duvar numunesi 0.71 m yüksekliğinde, 1.22 m uzunluğunda örülmüştür. Tüm numunelerin iki yüzeyi GFRP malzemesi kullanılarak güçlendirilmiş ve epoksi reçinesiyle yapıştırma işlemi gerçekleşmiştir, (Şekil 1.1). Cam fiberlerinin genişlikleri, birinci numunede ön yüzey 3.4 cm, arka yüzey 10.1 cm olacak şekilde yapılmıştır. İkinci numunede ön yüzey 5.4 cm, arka yüzey 2.7 cm genişliğinde, üçüncü numunede ön yüzey ve arka yüzey 8.1 cm genişliğinde uygulanmıştır. Bu numuneler tekrarlı düzlem dışı yüklere maruz bırakılmıştır.

Güçlendirme yapılmaksızın bir adet kontrol numunesi denenmiştir. Kontrol numunesi 4.13 kPa kadar dayanım göstermiştir. Numune 1 ön yüzde ilk çatlak 6.9 kPa'da, arka yüzde ilk çatlak 12.6 kPa'da gerçekleşmiştir. Numune 2 ön yüzde ilk çatlak 9.6 kPa'da, arka yüzde ilk çatlak 5.1 kPa'da gerçekleşmiştir. Numune 3 ön yüzde ilk çatlak 9 kPa'da, arka yüzde ilk çatlak 10.3 kPa'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.

Almusallam (2007) [4], bu çalışmada GFRP'nin (Glass Fiber Reinforced Polymer) yatay düzlemsel çevrimsel yükleme altında yığma dolgu duvarların güçlendirilmesi ve tamirinde kullanılmasının etkililiğini ve uygunluğunu araştırmıştır. Bu amaçla 2 adet numune hazırlanmış ve 3 test yapılmıştır. İlk numune kontrol amaçlı olarak hazırlanmış ve 20x40 cm boyutlarında kolon ve kirişlerden oluşan betonarme bir çerçevenin içine tuğla dolgu duvar örülmüştür. Betonarme çerçeve açıklığı 2.5 m, yüksekliği 1.55 m dir. Dolgu duvarın kalınlığı 10 cm dir. İlk numune, dolgu duvarda çaprazlama kırılmalar oluşana kadar çevrimsel yüklemeye tabi tutulmuştur. Kırılma oluştuktan sonra aynı numune GFRP plakalar ile güçlendirilmiş ve aynı şekilde çevrimsel yükleme ile test edilmiştir. Burada kullanılan GFRP plakalar 1.3 mm kalınlığında ve 30x210 cm boyutlarındadır. Bu plakalar dolgu duvara çift taraflı ve yatay şeritler halinde uygulanmıştır. İkinci numune GFRP plakalarla güçlendirilmiş ve test edilmiştir. Sonuçta GFRP ile güçlendirme ve tamirin, dolgu duvarın dayanım ve sünekliliğini beraberce artırdığı görülmüştür. GFRP uygulaması dolgu duvarın tek parça halinde çalışmasını sağlamış ve deformasyon kapasitesini artırmıştır.

Krevaikas ve diğ. (2005) [5] , 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. 55 x 40 x 15 mm boyutunda tuğlalar kullanılarak duvar numuneleri örülmüştür. Numune kesitlerinin boyutları ilk ve ikinci seride 115 x 115 mm, üçüncü seride 172.5 x 115 mm dördüncü seride 230 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 güçlendirmeyle 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.

Albert ve diğ. (2001) [6], 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 oranlarını göstermiştir ve daha ucuz malzemedir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, güçlendirilmemiş yığma duvarın FRP kullanılarak güçlendirilmesinin duvarın yük taşıma kapasitesini etkileyerek arttırdığı belirlenmiştir.

Hamid ve diğ. (2001) [7], 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 α olmak üzere α:0°, α:30°, α:45°, α:60°, α:90° 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.

Aş (2007) [8], bu tez çalışmasında, Osmanlı Mimarisi'nde sıraev konut tipinin ilk örneği olan Akaretler Sıraev Grubu taşıyıcı duvarlarından alınan tuğlalar ile örülen duvar numunelerinin, GFRP ve tamir harcıyla güçlendirilmesi öncesi ve sonrasında, diyagonal çekme etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla 40x40x26 cm

boyutlarında 12 adet tuğla duvar numunesi örülmüştür. Bunlardan 2 adedi güçlendirilmeksizin, 2 adedi tamir harcıyla, 8 adedi ise GFRP ile güçlendirilerek monoton artan veya tekrarlı yükler altında diyagonal çekme deneyine tabi tutulmuştur. GFRP ile güçlendirilen numunelerde kompozit kalınlığı, kompozitlerin duvar numunelerine ankrajı ve tekrarlı yüklemenin davranışa etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmanın sonucunda, GFRP kullanılarak güçlendirme uygulaması ile duvar numunelerinin dayanımlarında belirgin bir artış meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca ankraj uygulamasının da, numunelerinin göçme dayanımını ve şekil değiştirme kapasitelerini artırdığı görülmüştür. Tekrarlı yükler altında denenen numunelerin davranışı ile monotonik yükler altında denenen numunelerin davranışı arasında belirgin bir fark görülmemiştir.

Onar (2007) [9], bu tez çalışmasında, yığma yapılardaki taşıyıcı tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesini incelemiştir. Bu amaçla 19.5x17.5x4.5 cm boyutlarında 36 adet tuğla duvar numunesi üretilmiştir. Bu numuneler, her biri 12 adet model duvar içeren 3 seri halinde düzenlenmiştir. Önceden her bir serideki numunelerin yarısına, göçme yüküne kadar yükleme yapılarak hasar verilmiş ve sonra epoksi ile tamir edilmiştir. Serilerdeki, önceden hasar verilip tamir edilmiş ve hasarsız numunelerin yarısı tek yüzünden, diğer yarısı ise her iki yüzünden güçlendirmeye tabi tutulmuştur. Serilerde model duvarlara, çekme ve basınç doğrultusunda diyagonal şeklinde şerit (lamine) CFRP, şerit kesiti aynı kalacak şekilde 3 şeritten oluşan ayrık şerit (lamine) CFRP ve duvar yüzünün tamamını kaplayacak şekilde, sadece çekme yönünde uygulanan, dokuma CFRP uygulanmıştır. Yüklemede, yatay ve düşey yüklerin birlikte etkimesi durumunu temsil edecek şekilde, tek eksenli basınç kuvveti uygulanmıştır. Deneylerin sonucunda, 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 şekil değiştirme kapasiteleri de kayda değer derecede artmıştır.

Malekkianie (2006) [10], bu tez çalışmasında, dolgu duvarların ve karbon lif ile güçlendirilmiş dolgu duvarların betonarme çerçeve davranışına etkilerinin bulunmasını incelemiştir. Bu amaçla bir dizi deney yapılmış ve bu deney sonuçları ile numunelerin bilgisayar ortamında modellenmesinden ortaya çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Öncelikle dolgu duvarların çerçeve sistem içerisinde nasıl davranacağının bulunması ve yük taşıma kapasitelerinin önceden anlaşılabilmesi için

her çerçeve içine dolgu duvarlar oluşturulmuş ve bunlara basit kayma deneyleri uygulanmıştır. Bu basit kayma deneylerinden elde edilen sonuçlar numunelerin modellenmesinde dolgu duvar karakteristikleri olarak kullanılmıştır. Çerçeve deneyleri için iki katlı, tek açıklıklı üç adet betonarme çerçeve oluşturulmuş ve bunlar tekrarlı yatay yükler altında, yer değiştirme kontrollü olarak test edilmiştir. Birinci numune dolgu duvarsız, ikinci numune dolgu duvarlı, üçüncü numune ise karbon lifler ile çaprazlı olarak güçlendirilmiş dolgu duvarlı olarak oluşturulmuştur. Numuneler 2.36 m açıklığında ve 1.49 m yüksekliğindedir. Sonuçların gerçeği yansıtması açısından numuneler, düşük beton kalitesi ve düz donatı gibi özelliklere sahiptir.

Deney sonucunda elde edilen verilere göre dolgu duvarlı çerçevenin yanal rijitliği ve dayanımı çıplak çerçeveye göre önemli derecede artmaktadır. Karbon lif ile güçlendirme sonucunda dolgu duvar köşe kırılmaları ve çapraz çatlaklar dolgu duvarın tamamına yayılarak, hasarın belirli bölgelerde toplanmasını önlemektedir. Bu sayede dolgu duvarların tümden göçmesi engellenmektedir. Ayrıca dolgu duvarların yatay yük taşıma kapasitesini çıplak çerçeveye göre yaklaşık 4 kat artırdığı görülmüştür. Karbon lif takviyesi, dolgu duvarlı çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini yaklaşık 1.3 kat artırmıştır. Karbon lif ile güçlendirme, uygulamanın kolaylığı ve yapı kullanım alanının olumsuz etkilenmemesinden dolayı büyük bir avantaja sahip olmaktadır. Bu sayede yapılar boşaltılmadan yapının depreme karşı güçlendirilmesi sağlanabilmektedir.

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; düşük deformasyon kabiliyeti, zayıf süneklilik ve gevrek kırılmaya yatkınlık gibi edilgen ve olumsuz niteliklere sahiptirler. **[12]**

Yığma yapılardaki duvarlar temel oturmalarına karşı çok duyarlıdır. Yığma duvarlar zemin oturmalarına uyum sağlayamaz. Duvarlar elastik deformasyon yapamadıkları için gerilmeler meydana gelir. 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 yönetmeliği esaslarına göre yapılmaması,

•Tasarımda deprem etkileri göz önüne alınarak projelendirme yapılmasına rağmen uygulamada projenin çeşitli nedenlerle uygulanmaması; 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 mesnetlenmesinin iyi yapılamaması, duvar birleşimlerinin ve köşelerin iyi

düzenlenmemesi. Dik olarak kesişen iki duvarın birleşiminde kenetlenmenin gerektiği gibi sağlanamaması.

• 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 boşluklara tam olarak doldurulmaması,

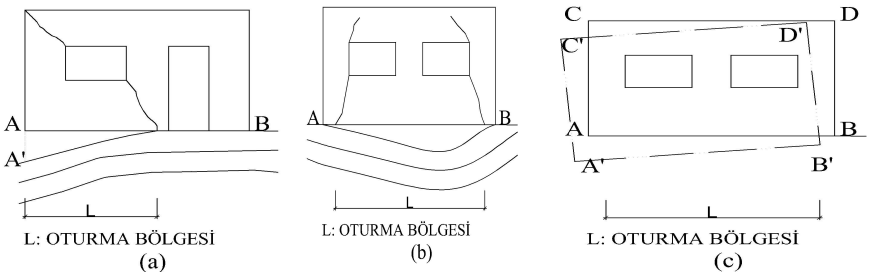
•Yapım kalitesinin yetersiz olması, malzeme ve işçiliğin kötü olması, kontrolün olmayışı,

• Deprem doğrultusuna dik doğrultudaki uzun ve mesnetlenmemiş duvarlarda görülen büyük duvar deplasmanları.

2.2. Yığma Yapılardaki Hasar Türleri

2.2.1 Temel oturmalarına bağlı hasarlar

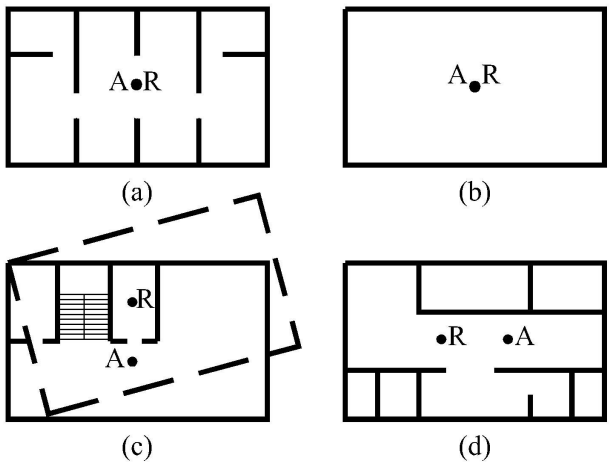
Yapı temelleri altında bölgesel oturmalar sonucu yapı duvarlarında çatlaklar oluştuğu gibi, farklı oturmalar sonucu da çatlaklar meydana gelir. Çatlakların yeri, temel oturmasının olduğu bölümü belirler. Yeraltı sularının etkisi ile zemin parametrelerinin azalması ve temel zemininin taşıma gücünün azalması sonucu, temel oturmaları oluşur. Özellikle yüksek plastisiteli 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 2.1a'da yapının A noktasında oluşan oturma sonucu yapı çatlamıştır. Bu durumda B noktasında bir oturma oluşmaz. Şekil 2.1b'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 2.1c'de görüldüğü gibi yer değiştirmeler oluşur.



Şekil 2.1: Temel Oturmalarından Dolayı Oluşan Çatlaklar

2.2.2 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 2.2).

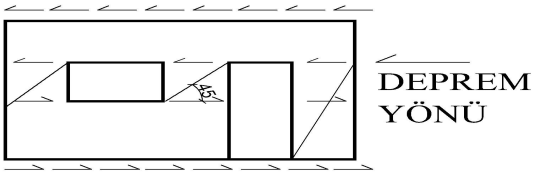


Şekil 2.2: Yığma Yapı Plan Örnekleri **[12]**

Şekil 2.2a ve Şekil 2.2b'de yapı planı, ağırlık merkezi rijitlik merkezine çakışacak biçimde tasarlanmış ve burulma nedeniyle depremden hasar görmesi daha tasarım aşamasında önlenmiştir. Şekil 2.2c'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 2.2d'de ise deprem doğrultusuna dik doğrultudaki duvarın bir rijitliği olmadığı için deprem kuvvetleri etkisi ile duvarlar büyük deplasmanlar yapmaya zorlanarak çatlayabilir.

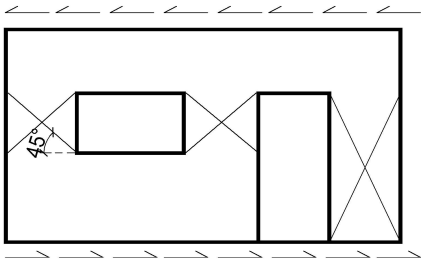
Yığma yapılarda duvarlar deprem anında kesme kuvvetleri ile zorlanır. Duvarlardaki pencere ve kapıların oluşturduğu boşlukların alanı duvar alanının üçte birinden

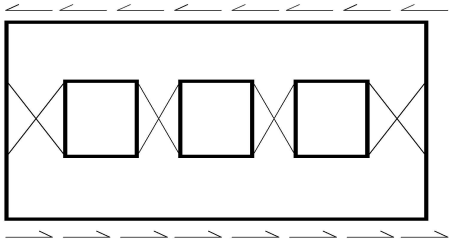
büyük olması durumunda boşluklar arasındaki bölümlerde 45 derecelik eğimli çatlakların oluşma riski artmaktadır, (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: 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 yapar, (Şekil 2.4). Cephe duvarlarında boşluklar büyük, duvar parçaları küçük ise büyük düşey gerilmelerin varlığı sonucu, kesme çatlaklarının doğrultusu 45°'den büyük olur, (Şekil 2.5).





Şekil 2.4: Deprem X çatlakları α=45° **Şekil 2.5:** Deprem X çatlakları α >45° **[12]**

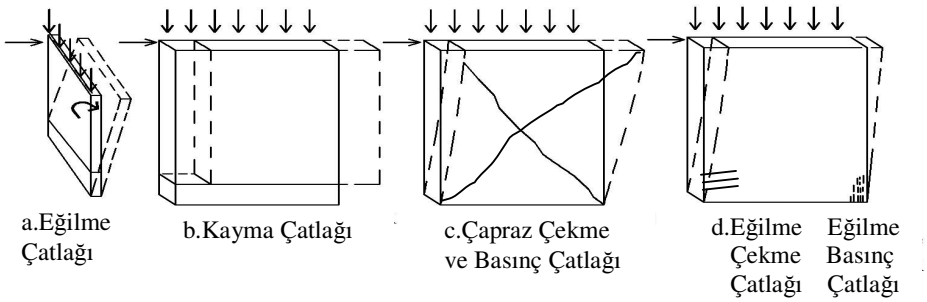
2.3 Yığma Yapılarda Göçme Mekanizmaları

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, deprem süresince de yatay kuvvetleri taşımak zorunda kalırlar. Bunun sonucunda duvarlarda eğilme ve kesme gerilmeleri meydana gelir.

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.

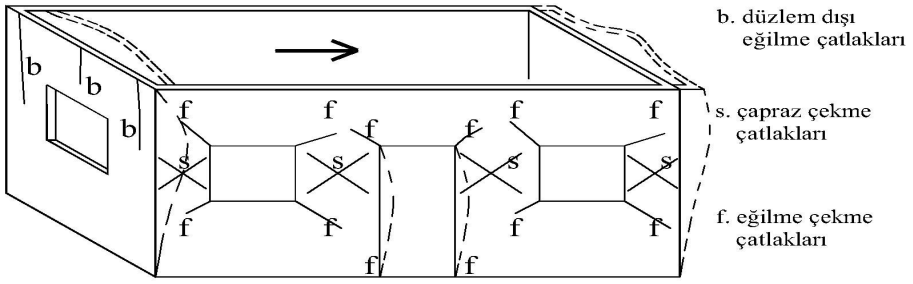
Konsol gibi çalışan kalkan duvar da, çatının atalet kuvvetine karşı koyamayıp yatay olarak çatlayabilmekte veya devrilme sonucu yıkılabilmektedir.

Tek başlarına duran duvarlar stabil değildir, (Şekil 2.6). 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 2.6b). Harç birleşimlerinden sonra ya da duvar boyunca çapraz çatlaklar oluşursa, çapraz çekme ya da kesme kuvveti sonucu göçme olur, (Şekil 2.6c). Yatay yükler sonucunda, duvarda basınç kuvveti ile ezilme ve çekme çatlakları oluşması ile eğilme göçmesi meydana gelir, (Şekil2.6d).



Şekil 2.6: Serbest Duvarın Göçme Mekanizması

Yapının iç kuvvetleri zemin ivmesine bağlı olarak yapının formunu değiştirmeye çalışır, (Şekil 2.7). 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.

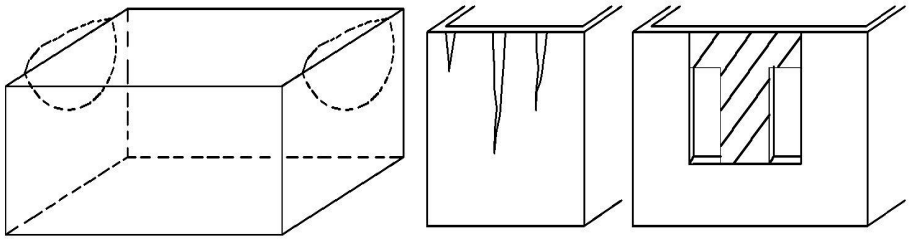


Şekil 2.7: Yığma Yapıda Hasarlar

Eğik çekme çatlakları 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 çatlaklarından sonra düşey basınç çatlakları da oluşmaktadır. **[13]**

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. **[13]**

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 2.8'de verilen biçimde hasar oluşmaktadır.



Şekil 2.8: Tavan Bitişleri Yeterince Detaylandırılmamış Yığma Duvarlarda Hasar 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 önlenebilir. Çatı için üçgen şeklinde devam eden kalkan duvar, eğer bağlantısı iyi yapılmadıysa serbest duvar gibi davranır. Ek yükler doğması ile yıkılabilir.

2.4 Taşıyıcı Duvarlarda Oluşan Hasarların Sınıflandırılması

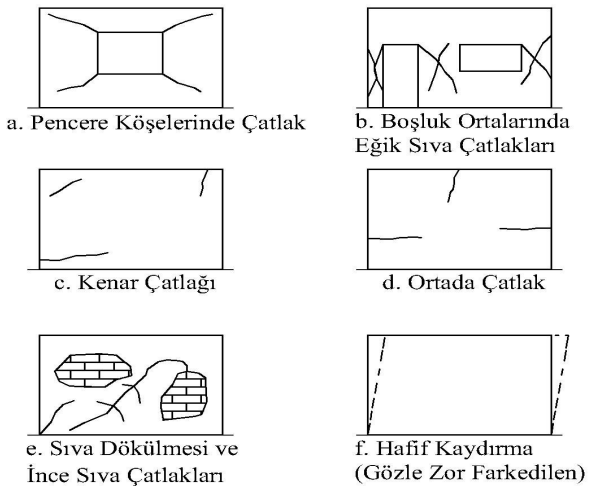
Deprem hasarlarını, yapı tipleri için hafif, orta ve ağır olarak üç sınıfta toplayabiliriz. Az hasarlı yapılar genel olarak bir yapısal tamirata gerek olmaksızın kullanılmaya devam edilebilecek yapılardır. Orta hasarlı yapılarda hasar gören yapı elemanları tamir edilerek ve güçlendirilerek tekrar kullanılır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

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

2.4.1 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 2.9a). Boşluklar arasındaki duvar kısımlarında da eğik ince çatlaklar meydana gelebilir, (Şekil 2.9b).

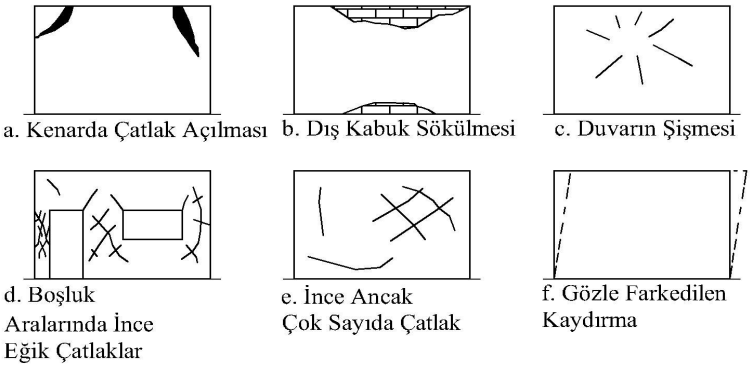
Deprem hareketinin duvara dik yönde etki etmesi durumunda duvarda yatay ve düşey çatlaklar meydana gelir. Düşey çatlaklar duvarın kendisine dik olarak bağlanan duvarlarla birleştiği kenarlarda ve duvarın orta kısmında görülür, (Şekil 2.9c,d). Bunlar duvarın düzleminden dışarıya doğru eğilmek istemesinden kaynaklanan eğilme çatlaklarıdır. Aynı şekilde düzlem dışı eğilme duvarın orta ve alt kısımlarında yatay çatlaklara da neden olur, (Şekil 2.9c,d). Tuğla ve kerpiç duvarlarda dışa eğilme ise sıva dökülmesi şeklinde kendini gösterir, (Şekil 2.9e). **[11]**



Şekil 2.9: Az Hasarlı Duvar Örnekleri **[11]**

2.4.2 Orta hasarlı taşıyıcı duvarlar

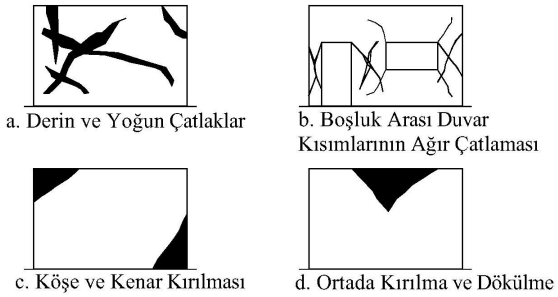
Yığma duvarlarda orta dereceli hasarlar, az hasarlı durumda anlatılan ince çatlakların büyümesiyle veya artmasıyla meydana gelir, (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Orta Hasarlı Duvar Örnekleri **[11]**

2.4.3 Ağır hasarlı taşıyıcı duvarlar

Ağır derecede hasarlı yığma duvarlarda çatlaklar geniş ve duvar derinliğindedir. Duvarın bazı kısımlarında kısmen dökülmeler ve yıkılmalar da oluşur. Hareketin hâkim yönü duvara paralel ise duvar gövdesinde geniş çatlaklar meydana gelir, (Şekil 2.11a). 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 2.11b).



Şekil 2.11: Ağır Hasarlı Duvar Örnekleri **[11]**

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 2.11c). Duvarın ortası ise fazlaca eğileceğinden duvar bu eğilmeye ancak kırılarak uyum sağlayabilecektir, (Şekil 2.11d).

2.4.4 Yığma yapılar için hasar ölçüt çizelgesi

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 etkime süresine bağlıdır. Depremden sonra yığma yapılarda hasar tespitinde kullanılmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Uygulama Merkezi tarafından hazırlanan çizelge, Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1: Yığma Yapılar İçin Hasar Kriterleri

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. O mm ~ 2. O mm	Orta	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir.
2.0mm ~ 5.0 mm	Orta	Taşıyıcı sistem etkilenir. Dış duvarlardan içeriye gelen hava akımı hissedilir. Yapının kullanımı etkilenir.
5.0mm~ 15.0 mm	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.

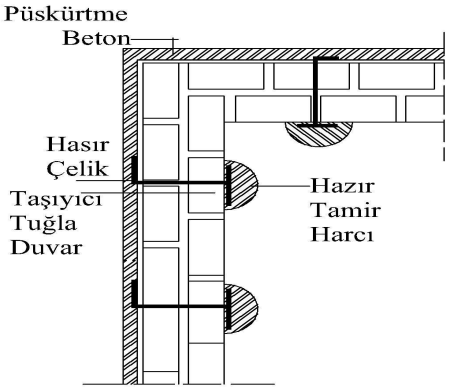
2.5 Yığma Yapıların Güçlendirme Yöntemleri

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 kıstaslarını ve sınırlarını belirleyen, ayrıca alternatif yöntemler ile karşılaştırmayı mümkün kılan çalışmalara ihtiyaç olduğu açıktır.

2.5.1 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 edilmelidir. Daha sonra püskürtme beton uygulanır.



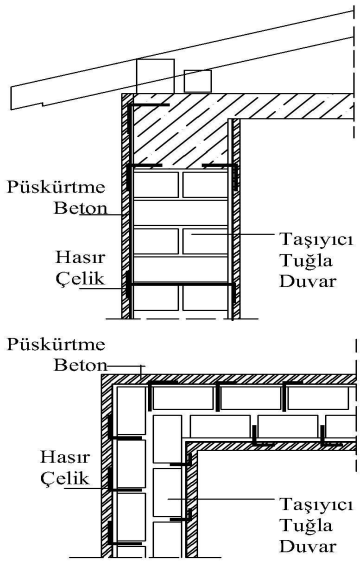
Şekil 2.12: Tek Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması **[15]**

Güçlendirmenin duvarın iki tarafında yapılması tercih edilmelidir, (Şekil 2.13). Ancak, üst katlarda kat kesme kuvveti azaldığı için, güçlendirme boyları azaltılabilir ve duvarların bir taraflı güçlendirilmesi de kabul edilebilir, (Şekil 2.12).

Püskürtme betonu yapacak kişinin tecrübeli olması, uygulamanın başarılı olmasında son derece önemlidir. Püskürtme tabancası yüzeye imkân nispetinde dik ve 1 – 1.5 m uzaklıkta tutulmalıdır. Uzak tutulan tabanca, donatının arkasını yeterli betonla dolduramayacağı için, zayıf 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 yer yazılmalıdır.



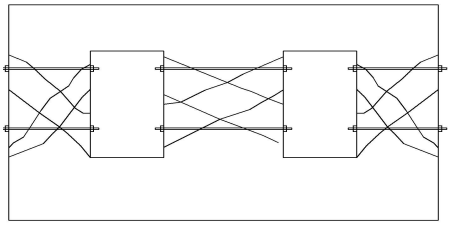
Şekil 2.13: İki Taraflı Hasır Çelik ve Püskürtme Beton Uygulaması **[15]**

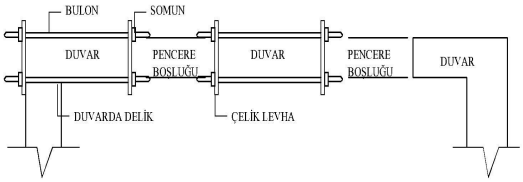
Püskürtme beton kuru karışım ve ıslak karışım olmak üzere iki şekilde uygulanır. Kuru sistemde çimento, kum ve agrega homojen olarak karıştırılır, bu karışım dağıtım elemanına gönderilir ve basınçlı hava ile büyük bir hızla uygulama yüzeyine püskürtülür. Islak püskürtme de pompalanarak püskürtme başlığa 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.

2.5.2 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 2.14'de depremde pencere boşlukları arasında oluşmuş eğik çekme çatlaklarını kesen donatılarda yapılan bir sağlamlaştırma işlemi gösterilmiştir. Burada dolu duvarda açılan deliklerden çapı 16 mm olan gergi çubukları geçirilmekte ve bu gergi çubuklarının uçlarında açılan dişlere somunlar geçirilmekte ve duvarlar sıkıştırılarak çatlağın büyümesi önlenmektedir. Delik açma işleminin yapılamaması durumlarında, gergi çubukları duvarın iç ve dış yüzüne yerleştirilir. Uçlarına çelik levhalar konularak bulonlarla sıkıştırılabilir, (Şekil 2.15).

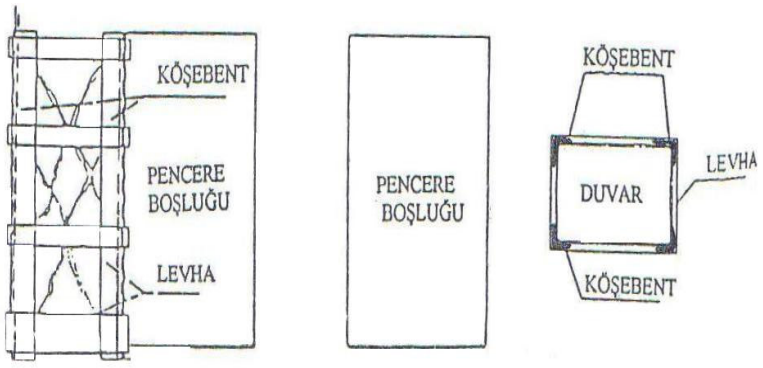




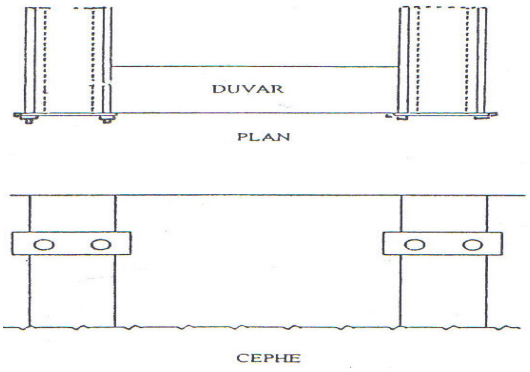
Şekil 2.14: Pencere Boşlukları Arasında Kalan duvarların Gergi Demirleri ile Güçlendirilmesi

Şekil 2.15: Gergi Demirlerinin Duvarın Dış Yüzüne Yerleştirilmesi **[16]**

Ayrıca boşluk arası duvarda, çelik levha ve köşebentlerle bir çerçeve oluşturularak da çatlakların büyümesi önlenebilir, (Şekil 2.16). Paslanmaya karşı tüm çelik elemanlar bir sıva tabakası ile örtülmelidir. Yığma yapı duvarlarının sağlamlaştırılmasında kullanılan bir başka yöntem, duvarları üst başlarının donatı ile Şekil 2.17'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 duvarla kesiştiği yerde duvar delinir.



Şekil 2.16: Hasarlı Duvar Bölümünün Çelik Köşebentlerle Çerçeve İçine Alınarak Güçlendirilmesi **[16]**



Şekil 2.17: Yığma Duvarları Gergi Demirleri ile Güçlendirme **[16]**

Duvara yerleştirilen bu gergi demirlerinin depremde oluşacak çekme gerilmelerinin belli bir bölümünü alabileceği kabul edilir. Böylece duvara bir ön gerilme verilmiş olmaktadır.

2.5.3 Taşıyıcı yığma duvarların normal beton ile güçlendirilmesi

Taşıyıcı duvarlara ek mukavemet kazandırmak amacıyla yığma duvarın yüzeyine hasır çelik konulması ve projede hesaplanan kalınlıkta kalıp kurularak normal betonun dökülmesi şeklinde uygulanır. Dökülen beton kalınlığının fazla olması sebebiyle yer kaybı diğer güçlendirme yöntemlerine göre daha fazla olur. Uygulama esnasında kalıp kurma işlemi, beton dökülmesi, binanın askıya alınması gibi kullanıcıyı etkileyen rahatsızlıklar verebilmektedir. Ayrıca döküm sırasında vibratörle sıkıştırma yapılmasının zorluğu da görülmektedir. Güçlendirme esnasında yanlış projelendirme, uygulamayı yürütenlerin de uzman kişiler olmaması durumunda sorunlar yaşanabilmektedir. Ayrıca uygulanacak yüzey ile betonun aderansının araştırılması gereklidir.

2.5.4 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. Uygulama şekli normal beton dökümüyle aynı şekildedir. Normal betondan farklı olarak kendiliğinden yerleşen betonun yığma duvar yüzeyi ile aderansı daha yüksektir.

Normal betona göre daha düşük kalınlıklarda kullanılabilmesinden dolayı yer kaybı azaltılmış olur. **[14]**

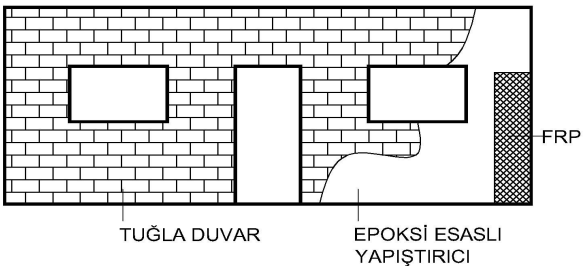
2.5.5 Taşıyıcı yığma duvarların FRP ile güçlendirilmesi

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.

FRP, çeliğe göre daha yüksek çekme mukavemeti, ebat ve şekle bağlı çok seçeneklilik, hafiflik, korozyona dayanıklılık gibi özelliklere sahiptir. FRP malzemesini uygulamak çok kolaydır, çünkü sadece yapının yüzeyine yapıştırılmasıyla uygulama tamamlanır. Sakıncalı yönleri, halen araştırılmakla 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 arttırılmış 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. Dokuma CFRP malzemesi tek yönlü, dokuma GFRP ise hem tek hem de çift yönlü olarak üretilmektedir.

FRP (Fiber Takviyeli Polimerler) isimli kompozitler ile güçlendirme uygulaması 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 işçiler ile yapılmalıdır. Şekil 2.18'de yığma bir yapıya GFRP uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.18: Taşıyıcı Tuğla Duvarda GFRP 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 yüzeye 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 2.19'da ve Şekil 2.20'de FRP'lerin kubbe yüzeyine uygulanması görülebilir.



Şekil 2.19: Kemerde FRP Uygulaması–1



Şekil 2.20: Kemerde FRP Uygulaması–2

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Genel Bilgiler

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deneylerin amacı yığma duvarların cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) ile değişik şekillerde güçlendirilmesi ve güçlendirme şekli ve miktarının dayanıma etkisinin araştırılmasıdır. Deney programının ve yönteminin belirlenmesinde, literatürde tuğla duvar numuneleriyle yapılan çeşitli güçlendirme çalışmaları ve bu çalışmalarda kullanılan tuğla duvar örnekleri, tuğla duvar yüzeyine uygulanan çeşitli güçlendirme yöntemlerini ve malzemelerini konu alan çalışmalar, yığma dolgu duvarların tamiri ve cam ve karbon elyaf takviyeli polimerler ile güçlendirilmesini konu edinen çalışmaların deney yöntemleri, deney numunesi üretim kriterleri ve standartları kullanılmıştır.

Benzer deneysel çalışmalarda düşey yükler altında ve deprem ya da rüzgâr gibi yatay yükler etkisinde bulunan yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinin dayanıma etkisini göz önüne alan deneyler yapılmıştır. Bu araştırmalarda güçlendirme malzemesi olarak hasır çelikli sıva, püskürtme beton, cam ve karbon elyaf takviyeli polimer malzemeler ve ön üretimli paneller kullanılmıştır. Bu çalışmada dolu harman tuğlasından duvar numuneleri örülmüş ve bununla yığma yapılardaki tuğla duvarlar temsil edilmiştir. Deney değişkenleri olarak cam elyaf takviyeli polimerin (GFRP) tuğla duvara uygulanış şekli, miktarı, yüzeyi ve yüzeydeki dağılımı ele alınmıştır. Deney sabitleri ise tuğla duvar numunesi boyutları, tuğla cinsi, yükleme ekseni ve harç karışım oranlarıdır.

3.2. Deney Programı

Deneysel çalışma ön deneyler ve ana deneyler olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Öncelikle deneyde kullanılacak malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmıştır. Tuğla duvarların örülmesinde kullanılacak harç için basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kıvam tayini ve kapiler su

emme tayini deneyleri, tuğla numuneleri için basınç, eğilme, kapiler su emme tayini ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Harçta kullanılan kum için elek analizi ve çökme hunisi deneyi, çimento için priz süresi ve kıvamı deneyleri yapılmıştır.

Ana deneyler 3 seriden oluşmaktadır. Her seride 12'şer adet numune bulunmaktadır. Her serideki numunelerin yarısı hasar verilip onarıldıktan sonra, yarısı hasar verilmeden güçlendirilmiştir. Her bir serideki güçlendirme şekli farklıdır (şerit, ayrık şerit, dokuma). Ayrıca 3 adet duvar numunesi de hasar verilip epoksi esaslı tamir harcı ile onarıldıktan sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Bütün numunelerde iki eksenli yüklemeyi temsil edecek şekilde tek eksenli basınç kuvveti uygulanmıştır. Numune derzleriyle 45°'lik açı yapacak şekilde uygulanan yük ile hem yatay hem de düşey yükler temsil edilmiş olmaktadır. Model duvarlara taşıma gücü sona erinceye kadar basınç uygulanmasına devam edilmiştir. Mekanik ekstensometre cihazı ile belli yük kademelerinde deformasyonlar ölçülmüştür.

Deneysel çalışmalar kapsamında aşağıdaki testler uygulanmıştır:

- Şerit GFRP kullanılarak güçlendirilen deney örneklerine basınç kuvveti uygulanmış, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün, yer değiştirme miktarının belirlenmesi.
- Ayrık şerit GFRP kullanılarak güçlendirilen deney örneklerine basınç kuvveti uygulanmış, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün, yer değiştirme miktarının belirlenmesi.
- Dokuma GFRP kullanılarak güçlendirilen deney örneklerine basınç kuvveti uygulanmış, kırılma mekanizmasının, kırılma yükünün, yer değiştirme miktarının belirlenmesi.
- GFRP 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 kalıplanmasında 40x40x160 mm lik 3 gözlü çelik kalıplar kullanılmıştır. Su emme deneylerinde kronometre, kıvam tayini için titreşim masası, sarsma deney aleti, tuğla duvar örneklerinin örülmesinde dik olarak birleştirilmiş ahşap pano, alçı başlık yapılmasında, yüzeyine dik açılı ahşap

tahta çakılmış pano kullanılmıştır. GFRP malzemesinin kesilmesinde makas ve maket bıçağı kullanılmıştır. Epoksi yapıştırıcının duvar yüzeyine uygulanabilmesi için düz kestirme fırçası rulo fırça kullanılmıştır. Basınç deneylerinde, yalın dolgu tuğla duvarlar ve güçlendirilen numunelere 100 KN 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 marka mekanik ekstensometre kullanılmıştır. Aderans tespit etmek için çekme deneyi cihazı Pull Off Tester kullanılmıştır.

3.4. Tuğla Duvar Bileşenlerini Oluşturan Malzemeler

3.4.1 Kum

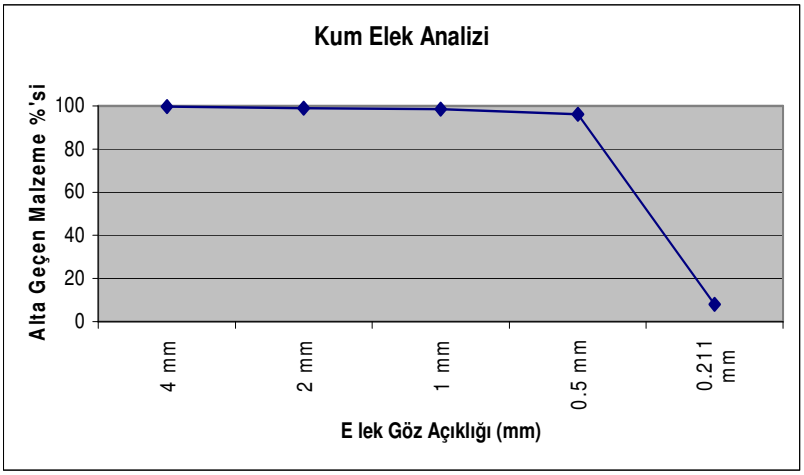
Deneyde kullanılan kum malzemesi İstanbul Kemerburgaz'da Akça Kum Ocağı'ndan temin edilmiştir. Kum sarı renklidir. Tuğla duvar örülmesinde bırakılacak derz aralıkları 5 mm olduğu için ince granülometrili kum kullanılması tercih edilmiştir. Kumun özelliklerinin belirlenmesi için çeşitli deneyler yapılmıştır.

A. Kumun Elek Analizi

Yapılan elek analizinde ASTM C-136 standartlarına göre elek takımı kullanılmıştır. Elek analizi sonuçları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Ayrıca kumun elek analizi sonucu çıkarılan granülometrik eğrisi Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Kum Elek Analizi

Elek Göz Boyutu	Kalan Malzeme Miktarı(gr)
4 mm	3.2
2 mm	6.7
1 mm	2.8
0.5 mm	23.1
0.211 mm	881.9
Toplama Kabı	80.4



Şekil 3.1: Kumun Granülometrik Eğrisi

B. Kumun Birim Ağırlık Tayini Deneyi:

Bu deneyde kum, hacmi belli olan 2 lt'lik kaba önce sıkıştırılmadan daha sonra sıkıştırılmış olarak doldurulmuş ve ağırlıkları ölçülerek bulunmuştur. Böylece kumun sıkışmış ve sıkışmamış birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.

Buna göre;

Sıkışmamış kumun birim hacim ağırlığı

2784.6 gr / 2000 cm3=1.39 gr/cm3

Sıkışmış kumun birim hacim ağırlığı

3022.2 gr / 2000 cm3=1.51 gr/cm3 olarak bulunmuştur.

Ayrıca 40 gr. kum su dolu kavanoz içine atılmış, kavanozdan taşırdığı su miktarı ölçülerek kumun hava boşluğu olmaksızın birim ağırlığı da belirlenmiştir, (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2: Kumun Birim Ağırlık Çizelgesi

Su Dolu Kavanoz Ağırlığı (gr)	Malzeme Ağırlığı (gr)	Su Dolu Kavanoz Ağırlığı+malzeme Ağırlığı (gr)	Kumun Birim Ağırlığı (g/cm^3)
341.30	40.00	366.49	2.70

C. Çökelme Hunisi Deneyi

Kullanılan kumdaki kil ve silt oranını belirlemek için çökelme hunisi adı verilen 1000 ml taksimatlı bir cam kap kullanılmıştır. 1000 gr. kum, su dolu kaba yavaş yavaş yukarıdan serpiştirilerek atıldıktan sonra kap çalkalanarak durulmaya bırakılmıştır. Su durulunca dibe çöken kumun üstünde çökelen kil ve silt tabakasının kalınlığının, üzerinde çökeldiği kum tabakasının kalınlığına oranı belirlenmiştir, (Şekil 3.2). Bu oran 15/6500 yani %2.3 olarak bulunmuştur. Bu oranın beton yapımında 1/15 den yani %6.7 den fazla olmaması istenmektedir. Buna göre mevcut kum bu şartı sağlamaktadır.



Şekil 3.2: Çökelme Hunisi Deneyi

3.4.2 Çimento

Deneysel çalışmada tuğla duvarların örülmesinde kullanılan harç yapımında CEM IV/B (P) 32.5 R torbalı puzolanik çimento kullanılmıştır. Bu çimento, standardlarında tanımlanmış oranda (en çok % 55) mineral katkı maddeleri (puzolan) ile portland çimentosu klinkerinin belirli miktarda priz düzenleyici (alçıtaşı) ile beraber öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. Portland çimento (CEM

I 42.5 R ve CEM I 52.5 N) ile portland kompoze çimentoya (CEM II/A-M 42.5 R) göre daha geç dayanım kazanır. Su/çimento oranları da göreceli olarak daha yüksektir. Alkali-agrega reaksiyonuna ve kimyasal dış etkilere karşı daha dayanıklıdır. Genel olarak yapılarda tamirat işlerinde, sıva yapımı ve yapı kimyasalları üretiminde kullanılır. Çimento teknik özellikleri Çizelge 3.3 de verilmiştir. Çimento birim ağırlık çizelgesi, Çizelge 3.4 de verilmiştir.

Çizelge 3.3: Çimento Teknik Özellikleri

Rilem Harcının Basınç Dayanımları (N/mm2)	2 günlük	7 günlük	28 günlük
CEM IV/B P32.5 R	15	-	40

Çizelge 3.4: Çimento Birim Ağırlık Çizelgesi

Boş Kavanoz Ağırlığı (gr)	Su Dolu Kavanoz Ağırlığı (gr)	Gazyağı Dolu Kavanoz Ağırlığı (gr)	Çimento Ağırlığı (gr)	Gazyağı Dolu Kavanoz+Çimento Ağırlığı (gr)	Çimento Birim Ağırlığı (kg/dm³)
161.15	341.30	300.50	40.00	330.60	3.125

3.4.2.1 Çimento kıvam deneyi ve priz süresinin bulunması

Çimento kıvam deneyi için su/çimento oranı %30'dan başlanarak ilk çimento harcı yapılmıştır. İlk olarak 300 g çimento ile 90 g su 3 dk boyunca karıştırılmış, daha sonra altında 12x12 cm boyutlarında cam bir levha bulunan vicat halkasının içine yerleştirilerek bir spatula yardımıyla harcın üst yüzeyi düzlenmiştir. Aletin sondası camın üzerine konulmuş ve gösterge sıfırlanmıştır. Sondanın ucu harcın üst yüzeyine ayarlandıktan sonra yandaki vida gevşetilerek yavaşça serbest bırakılmış ve yarım dakika sonra sonda ucuyla cam arasında kalan mesafe ölçülmüştür. Deneye farklı su oranlarında cam-sonda arası mesafe 5-7 mm kalana kadar devam edilmiştir, (Şekil 3.3). Su oranlarına göre ölçülen değerler Çizelge 3.5 de verilmiştir.

Çizelge 3.5: Çimento Kıvam Deneyi Çizelgesi

Çimento miktarı (g)	Su miktarı (g)	Su/Çimento oranı	Sondanın cama mesafesi	Kıvam
300	90	%30	40	Çok katı
300	114	%38	0	Çok sulu
300	105	%35	28	Katı
300	111	%37	7	Normal

Normal kıvamdaki su/çimento oranı %37 olarak tespit edildikten sonra normal kıvamda hazırlanan çimento harcı vicat halkası içerisine yerleştirilmiş ve vicat iğnesi camın üzerinde sıfırlanarak harcın üst yüzeyine dokunacak şekilde ayarlanmıştır. Priz başlangıç süresinin tayini için her 5 dakikada bir iğne yavaşça serbest bırakılarak harcın içine batması beklenmiştir. Cam levhaya mesafesi 3-5 mm kaldığı an prizin başladığı an olarak kaydedilmiştir. Priz başladıktan sonra vicat iğnesinin harcın içine 1 mm'den daha az battığı zamana kadar her 15 dakikada bir ölçüm yapılmıştır.(Şekil 3.4) Çizelge 3.6 da görüldüğü üzere çimentonun priz başlangıcı 120. dk, priz sonu ise 190. dk. olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.3: Çimento Kıvam Deneyi



Şekil 3.4: Çimento Priz Süresi Deneyi

Çizelge 3.6: Çimento Priz Başlama ve Bitiş Süreleri Çizelgesi

Süre (dk)	İğne-Cam Arası Mesafe (mm)	Durum	Süre (dk)	İğne-Cam Arası Mesafe (mm)	Durum
5	0		70	0	
10	0		75	0	
15	0		80	0	
20	0		85	0	
25	0		90	0	
30	0		100	0	
35	0		110	0	
40	0		115	1	
45	0		120	5	Priz Başlangıcı
50	0		135	13	
55	0		150	21	
60	0		165	26	
65	0		180	37	
70	0		185	38	
75	0		190	39	Priz Sonu

3.4.3 Tuğla

Tuğla duvar numunelerinde Çorum Harman Tuğla Fabrikası tarafından üretilen 19cm x 9cm x 5cm boyutlarında olan dolu harman tuğlası kullanılmıştır, (Şekil 3.5). Tuğla duvarlarda kullanılan tuğlalar bu tuğlaların 9.5cm x 4.5cm x 2.5cm boyutlarında kesilmesiyle oluşturulmuştur. Tuğla kesimleri elmas uçlu testere ile yapılmıştır. Kesim sırasında küçük miktarlarda boyut sapmaları olmuştur. Tuğlaların harcın suyunu emmemesi için duvar numuneleri örülmeden önce tuğlalar ıslatılmıştır.



Şekil 3.5: Harman Tuğlaları

3.5 Ön Deneyler

3.5.1 Harç üzerinde yapılan deneyler

Model tuğla duvarların üretilmesinde kullanılan harç malzemeleri, çimento:kum:su karışım oranı 1:3.5:0.70 olacak şekilde kullanılmıştır. Bu karışım oranında 40x40x160 mm boyutlarında 12 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler 7 gün kürde bekletilmiştir. Her bir 3'lü numune grubu 7, 14 ve 28. günde kırılmıştır. Ayrıca 3 adet numune de 28. günde kılcallık deneyine tabi tutulmuştur.

A. Harç Basınç Dayanımı Tayini:

Tuğla duvar üretiminde kullanılan harçtan üretilen 3 adet numune 7. günde eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Bu numunelerin ortalama eğilme ve basınç dayanımları Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.7: Harcın 7 Günlük Basınç Dayanımı

Numune No	Kırılma Yükü (N)	7 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm²)	7 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm²)
1	12500	7.81	8.23
2	13500	8.44	
3	13500	8.44	

Çizelge 3.8: Harcın 7 Günlük Eğilme Dayanımı

Numune No	Kırılma Yükü (N)	7 Günlük Eğilme Dayanımı ($\sigma e=3Pl/2bh^2$) (N/mm^2)	7 Günlük Eğilme Dayanımı Ortalaması (N/mm²)
1	850	1.99	2.12
2	910	2.13	
3	950	2.23	

Tuğla duvar üretiminde kullanılan harçtan üretilen 3 adet numune 14. günde eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Bu numunelerin ortalama eğilme ve basınç dayanımları Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10'da verilmiştir.

Çizelge 3.9: Harcın 14 Günlük Basınç Dayanımı

Numune No	Kırılma Yükü (N)	14 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm²)	14 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm²)
4	19500	11.98	11.87
5	19000	11.58	
6	19500	12.05	

Çizelge 3.10: Harcın 14 Günlük Eğilme Dayanımı

Numune No	Kırılma Yükü (N)	14 Günlük Eğilme Dayanımı ($\sigma e=3Pl/2bh^2$) (N/mm^2)	14 Günlük Eğilme Dayanımı Ortalaması (N/mm²)
4	1300	3.05	3.23
5	1450	3.40	
6	1500	3.52	

Tuğla duvar üretiminde kullanılan harçtan üretilen 3 adet numune 28. günde eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Bu numunelerin ortalama eğilme ve basınç dayanımları Çizelge 3.11 ve Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.11: Harcın 28 Günlük Basınç Dayanımı

Numune No	Kırılma Yükü (N)	28 Günlük Basınç Dayanımı (N/mm²)	28 Günlük Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm²)
7	28000	16.94	16.09
8	26000	15.46	
9	26000	15.88	

Çizelge 3.12: Harcın 28 Günlük Eğilme Dayanımı

Numune No	Kırılma Yükü (N)	28 Günlük Eğilme Dayanımı ($\sigma e=3Pl/2bh^2$) (N/mm^2)	28 Günlük Eğilme Dayanımı Ortalaması (N/mm^2)
7	1800	4.21	4.21
8	1850	4.33	
9	1750	4.10	

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 yerleştirilerek 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, (Çizelge 3.13).

R: Yayılmış Taze Harcın Çapı

r: Yayılmamış Taze Harcın Çapı

Kıvam= R/r

Çizelge 3.13: Taze Harç Kıvam Deneyi Sonuçları

Numune No	R1 (cm)	R2 (cm)	R3 (cm)	Rort (cm)	r (cm)	Kıvam	Kıvam ort
Harç 1	13.4	13.6	13.4	13.5	10	1.35	1.33
Harç 2	13.2	13.4	13	13.2	10	1.32	
Harç 3	13.1	13.3	13.7	13.3	10	1.33	

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, (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14: Harç Birim Ağırlık Çizelgesi

Kalıp No	Boş Kalıp Ağırlığı (kg)	Dolu Kalıp Ağırlığı (kg)	Harcın Birim Ağırlığı (kg/dm³)	Harcın Birim Ağırlığı Ort. (kg/dm³)
1	9.8	11.3	1.95	2.08
2	9.9	11.5	2.08	
3	10.1	11.8	2.21	

D. Kapiler Su Emme Tayini Deneyi:

Kapiler su emme tayini deneyi cismin alt yüzeyinden suya değdirilmesi ve zamana bağlı olarak kılcallık yoluyla suyun, cisim tarafından emilmesi şeklinde yapılır. Belli zaman aralıklarıyla cismin ağırlığı ölçülerek kılcal su emme katsayısı belirlenir. Bu katsayı ifade olarak suyun, cismin belirli bir alanından zamana bağlı olarak cisim boyunca yaptığı yükselme miktarıdır. Birimi $cm^3/cm^2\sqrt{dk}$ 'dir.

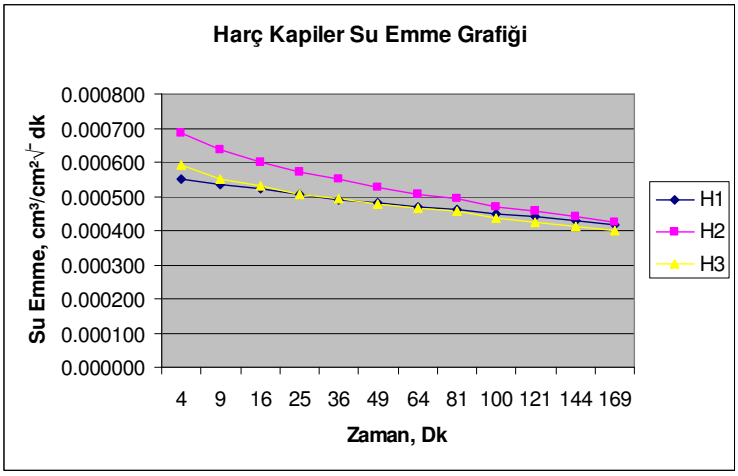
Bu çalışmada 4x4x16 cm boyutlarındaki harç numuneleri 28 günlük iken su emme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sırasında numunelerin ilk ağırlığı tartılmış ve numunenin oturacağı kaba (numune altlarının kabın tabanına değmemesi için) file yerleştirilmiştir. Numuneler bu filenin üzerine oturtulmuş ve belli dakikalarda numune tartımları yapılmıştır. Süre kronometre yardımıyla tutulmuştur. Su seviyesi devamlı kontrol altında tutulmuş ve eksildiğinde su ilavesi yapılmıştır, (Şekil 3.6).

$$N=(m1-m0)/(A\sqrt{t}) \qquad \textbf{3.1}$$

Harcın kapiler su emme değerleri Çizelge 3.15'de, su emme eğrisi Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.6 : Harç Kapiler Su Emme Tayini Deneyi



Şekil 3.7: Harç Kapiler Su Emme Eğrisi

Çizelge 3.15 : Harç Kapiler Su Emme Değerleri

	1	N	2	N	3	N
a (mm)	41.63		42.12		42.22	
b (mm)	40.27		39.93		40.14	
L (mm)	160.35		159.9		160.06	
A (mm²)	1676.4401		1681.8516		1694.7108	
Etüv Kurusu Ağırlığı(gr)	481.52		475.39		482.39	
Ortam Nem Ağırlığı(gr)	485.19		478.95		485.99	
İlk Ağırlık(gr)	485.47		479.16		486.16	
4 dk.	487.32	0.000552	481.46	0.000684	488.17	0.000593
9 dk.	488.16	0.000535	482.37	0.000636	488.96	0.000551
16 dk.	488.98	0.000523	483.21	0.000602	489.76	0.000531
25 dk.	489.7	0.000505	483.97	0.000572	490.46	0.000507
36 dk.	490.4	0.000490	494.7	0.000549	491.19	0.000495
49 dk.	491.11	0.000481	485.36	0.000527	491.83	0.000478
1 sa 4 dk.	491.79	0.000471	485.99	0.000508	492.48	0.000466
1 sa 21 dk.	492.43	0.000461	486.65	0.000495	493.14	0.000458
1 sa 40 dk.	493.02	0.000450	487.08	0.000471	493.55	0.000436
2 sa 01 dk.	493.57	0.000439	487.63	0.000458	494.05	0.000423
2 sa 24 dk.	494.06	0.000427	488.05	0.000440	494.53	0.000412
2 sa 49 dk.	494.55	0.000417	482.84	0.000426	494.96	0.000399
NORT(cm³/cm²√‾dk)		0.000479		0.000531		0.000479

3.5.2. Tuğla üzerinde yapılan deneyler

A. Tuğla Basınç Dayanımı Tayini:

Model tuğlaların mekanik özellikleri laboratuarda yapılan deneylerde tespit edilmiştir. 4x4x16 mm boyutlarında kesilen örneklere önce eğilme sonra da kırılan parçalarına basınç deneyi uygulanmıştır. Sonuçlara Çizelge 3.16'da yer verilmiştir.

Çizelge 3.16 : Model Tuğlaların Mekanik Özellikleri

Numune	**T4**		**T5**	
En (mm)	38.18		42.38	
Boy (mm)	40.26		41.89	
Yükseklik (mm)	160.68		165.77	
Eğilme Kuvveti (N) (100 mm için)	3000		2200	
Parçalar	1	2	1	2
Basınç Alanı (mm2)	38.18x40.00	40.26x40.00	42.38x40.00	42.38x40.00
Basınç Kuvveti (N)	24500	42000	32000	52000
Basınç Dayanımı (N/mm2)	16.04	26.08	18.88	30.67
Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm2)	22.91			

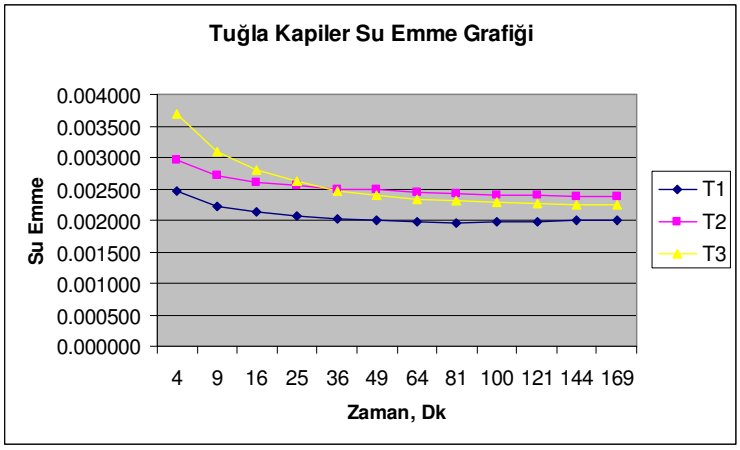
B. Kapiler Su Emme Tayini Deneyi:

Bu çalışmada 4x4x16 cm boyutlarında kesilen tuğla örnekleri su emme deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sırasında numunelerin ilk ağırlığı tartılmış ve numunenin oturacağı kaba, numune altlarının kabın tabanına değmemesi için file yerleştirilmiştir. Numuneler bu filenin üzerine oturtulmuş ve belli dakikalarda numune tartımları yapılmıştır. Süre kronometre yardımıyla tutulmuştur. Su seviyesi devamlı kontrol altında tutulmuş ve eksildiğinde su ilavesi yapılmıştır, (Şekil 3.8).

Örnek tuğlaların kapiler su emme değerleri Çizelge 3.17'de, su emme eğrisi Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.8 Tuğla Kapiler Su Emme Tayini Deneyi



Şekil 3.9 Tuğla Kapiler Su Emme Eğrisi

Çizelge 3.17: Tuğla Kapiler Su Emme Değerleri

	1	N	2	N	3	N
a (mm)	42.25		43.2		41.71	
b (mm)	41.62		42.03		41.31	
L (mm)	162.12		160.6		160.05	
A (mm²)	1758.44		1815.69		1723.04	
Etüv Kurusu Ağırlığı(gr)	421.01		424.48		438.76	
Ortam Nem Ağırlığı(gr)	421.79		425.46		439.3	
İlk Ağırlık(gr)	422.94		426.56		440.57	
4 dk.	431.64	0.002474	437.26	0.002947	453.28	0.003688
9 dk.	434.72	0.002233	441.31	0.002708	456.49	0.003080
16 dk.	437.92	0.002130	445.45	0.002601	459.84	0.002796
25 dk.	441.14	0.002070	449.68	0.002547	463.14	0.002620
36 dk.	444.28	0.002023	453.77	0.002498	466.17	0.002476
49 dk.	447.56	0.002000	458.07	0.002479	469.52	0.002400
1 sa 4 dk.	450.71	0.001974	462.2	0.002454	472.87	0.002343
1 sa 21 dk.	453.95	0.001959	466.23	0.002428	476.36	0.002308
1 sa 40 dk.	457.66	0.001974	470.27	0.002407	480	0.002288
2 sa 01 dk.	461.25	0.001981	474.3	0.002390	483.37	0.002258
2 sa 24 dk.	465.03	0.001995	478.22	0.002371	486.97	0.002244
2 sa 49 dk.	468.81	0.002007	482.84	0.002384	490.7	0.002238
NORT(cm³/cm²√‾dk)		0.002068		0.002518		0.002562

3.6. Tuğla Duvarların GFRP ile Güçlendirilmesinde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.6.1. Epoksi esaslı astar

Tuğla duvar numunelerinin yüzeyine dokuma GFRP yapıştırılmadan önce yüzeyi yapışmaya elverişli hale getirmek için astar kullanılmıştır. Astar malzemesi olarak YKS firmasının bir ürünü olan MBT-MBRACE PRIMER kullanılmıştır. Astar malzemesi çift bileşenli, düşük viskoziteli, lifli polimer kumaş ve şerit yapıştırılacak yüzeylerde kondisyon ve aderans artırıcı olarak kullanılan epoksi esaslı malzemedir. Astarın teknik özellikleri Çizelge 3.18 de verilmiştir.

Çizelge 3.18: Astarın Teknik Özellikleri **[17]**

Renk	Şeffaf
Reçine Tipi	Epoksi poliamin
Katı Madde Oranı	% 100
Karışım Yoğunluğu	1.08±0.024kg/lt
Çekme Mukavemeti	> 12 N/mm²
Eğilme Mukavemeti	> 24 N/mm²
Çekme Elastisite Modülü	> 700 N/mm²
Eğilme Elastisite Modülü	> 580 N/mm²
Betona Aderansı (EN 1542)	> Otn (b.kopma)
Maksimum Uzama	%3
Tava Ömrü	-1°C; 8 saat 7°C; 2 saat 21 °C; 45dk 32°C; 25 dk
Ele bulaşmama	-1°C; 20 saat 7°C; 9 saat 21°C; 5 saat 32°C; 3 saat
Uygulama Kalınlığı	0.1-0.2 mm
Karışım Oranı (Hacimce)	Komp.A: % 75 Komp.B: % 25
Karışım Oranı (Ağırlıkça)	Komp.A: % 77 Komp.B: % 23
Üstünün kaplanabilme süresi	Min. Ele bulaşmadığı zaman 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 sürülebilinir. Malzemenin cilt ile temasından kaçınılmalı, buharı kesinlikle solunmamalıdır. Kapalı ortamlarda yapılan uygulamalarda sürekli havalandırma yapılmalıdır, **[17].** Seriler için yapılan güçlendirme çalışmalarında yukarıdaki esaslar dikkate alınarak uygulamalar yapılmıştır, (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : Tuğla Duvar Yüzeyine Astar Uygulanması

3.6.2. Dokuma GFRP yapıştırıcısı (Epoksi esaslı yapıştırıcı)

Dokuma GFRP malzemesinin tuğla duvar yüzeyine yapıştırılmasında epoksi esaslı FRP yapıştırıcısı kullanılmıştır.Bu malzeme YKS firmasının ürettiği MBT-MRACE ADESIVO (SATURANT)'dır. Malzeme özellikleri Çizelge 3.19'da verilmiştir. Malzeme teknik özelikleri YKS ürün kılavuzundan alınmıştır. Uygulama bu esaslara göre yapılmıştır.

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

Malzeme Epoksi esaslıdır. Solventsizdir. Rulo ile uygulanır. Komponent A ve komponent B olmak üzere iki bileşenden meydana gelir. Komponent A yapıştırıcının reçinesidir. Komponent B sertleştiricidir. Komponent B'yi eklemeden önce komponent A mekanik olarak karıştırılır. Komponent B eklendikten sonra homojen karışım elde etmek için yaklaşık 1 dakika kadar karıştırılır. Astardan sonra yüzeye ilk kat olarak uygulanır. Fiber dokuma yapıştırıldıktan sonra tekrar bir kat daha uygulanır. Malzeme 5 litre set olarak uygulanır. Malzemenin cilt ile temas etmemesine özen gösterilmelidir. Kazara temas oluşursa temas bölgesi hemen su, sabun ya da uygun bir deterjanla yıkanmalıdır. Malzemenin buharı kesinlikle solunmamalıdır, kapalı ortamlarda yapılan uygulamalarda mekân havalandırılmalıdır, **[17].** Serilerdeki uygulamalar yukarıda anlatılan esaslara göre yapılmıştır.

Çizelge 3.19: Dokuma GFRP Yapıştırıcısının Teknik Özellikleri **[17]**

Renk	Mavi
Reçine Tipi	Epoksi
Katı Madde Oranı	%80
Yoğunluk	1.02±0.024kg/lt
Basınç Mukavemeti	> 80 N/mm²
Çekme Mukavemeti	> 50 N/mm²
Eğilme Mukavemeti	> 120 N/mm²
Çekme Elastislte Modülü	> 3000 N/mm²
Eğilme Elastislte Modülü	> 3500 N/mm²
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 Komp.B: % 25
Karışım Oranı (Ağırlıkça)	Komp.A: % 76 Komp.B: % 24
Üstünün kaplanabilme süresi	Tavsiye edilen: 48 saat Maks.: 7 gün
Parlama Sıcaklığı	72°C
Aletlerin Temizlenmesi	Metil etil ketonlar veya aseton

3.6.3 Epoksi esaslı tamir harcı

Hasarlı tuğla duvar numunelerini tamir etmek amacıyla YKS firmasının ürettiği CONCRESIVE 1406 kodlu malzeme kullanılmıştır. 1406 iki bileşenli, solventsiz, pasta kıvamında epoksi esaslı dolgu macunudur. Malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.20'de verilmiştir. Ürün broşüründe verilen bilgilere göre malzemenin kullanım alanları, özellikleri ve uygulama şekli aşağıda belirtilmiştir.

A-Kullanım Alanları:

Beton ve taş duvarlarda filiz ekimlerinde, geniş çatlakların onarımında ve izolasyonunda, her tür metal ve çelik aksamın beton ve çelik yapı elemanlarına montajında ve yapıştırılmasında, çatlak enjeksiyonunda dış yüzeylerin kapatılması ve enjeksiyon pakerlerinin sabitlenmesinde, köprü ve viyadüklerde korkuluk ve deprem sönümleyicilerin sabitlenmesinde, ankraj elemanlarının sabitlenmesinde kullanılır.

B-Özellikleri:

Pasta kıvamındadır, kolay uygulanır ve tavan uygulamalarında sarkma yapmaz. Betona ve çeliğe mükemmel aderans sağlar. Mekanik dayanımlarını çabuk kazanır.

Kimyasallara dayanıklıdır. Su ve gaz geçirimsizdir. Dolgu kaldırma kapasitesi yüksektir. Nemli yüzeylere aderans sağlar. Solvent içermez.

C-Uygulama Şekli:

Uygulama yapılacak beton yüzeyi temiz, toz, yağ ve inşaat atığından arındırılmalıdır. Çelik yüzeyler kumlanarak temizlenmeli, varsa pas alınmalıdır. Teknik özellikler çizelgesinde az miktarlar karıştırılması durumunda uyulması gereken karışım oranları verilmiştir. Hasarlı, gevşek beton parçaları temizlenmeli, kalan sağlam yüzey pürüzlendirilmelidir. Uygulama yapılacak beton, hava koşullarına bağlı olarak en az 21 gün önce dökülmüş olmalıdır. Kırılarak oluşturulan yüzeyin kenarları mümkün olduğunca dik kesilmeli, donatıdaki pas temizlenmeli, gerekiyorsa yeni donatı eklenmelidir. Yüzeyde su akıntısı varsa, drene edilmeli veya uygun bir tıkaç ile kapatılmalıdır. Yüzeydeki yağ, boya, kireç v.b. kalıntılar temizlenmelidir. Malzeme spatula veya mala ile hazırlanan yüzeye tatbik edilmelidir. Minimum uygulama kalınlığı 7 mm olmalıdır. Maksimum uygulama kalınlığı tek katta 30 mm'yi geçmemelidir, **[17].**

Çizelge 3.20: Epoksi Esaslı Tamir Harcının Teknik Özellikleri **[17]**

Malzemenin yapısı CONCRESIVE 1406 Bileşen A CONCRESIVE 1406 Bileşen B	Epoksi Reçine Epoksi Sertleştirici
Renk	Gri
Karışım Yoğunluğu	1.70±0.05 kg/litre
Basınç Dayanımı (TS EN 196) 1 gün 7 gün	 30 N/mm² 75 N/mm²
Eğilme Dayanımı (TS EN 196) 1 gün 7 gün	 17 N/mm² 25 N/mm²
Yapışma Dayanımı (28 gün) Betona Çeliğe	 3.0 N/mm² 3.5 N/mm²
Uygulama Kalınlığı	Min. 2 mm Maks. 30 mm
Uygulanacak Zeminin Sıcaklığı	+5°C +30°C
Kullanma Süresi (+20°C)	40 dak.
Yeniden Kaplanabilme Süresi (+20°C)	18-24 saat
Üzerinde Yürünebilme Süresi (+20°C)	24 saat
Servis Sıcaklığı	-15°C +90°C
Tam Kürlenme Süresi (+20°C)	7 gün

3.6.4. Dokuma GFRP

Dokuma GFRP malzemesi olarak YKS firmasının ürettiği MBT-MBRACE FIBER kodlu malzeme kullanılmıştır. Malzeme 50 cm genişliğinde, 100 m uzunluğunda üretilmektedir. 165 mikron kalınlığındaki tek yönlü liflerden oluşan lif toplarının hasır şeklinde örülmesiyle oluşturulmaktadır. Malzeme teknik özellikleri Çizelge 3.21'de verilmiştir. Ürün broşüründe verilen bilgilere göre kullanım alanları özellikleri ve uygulama şekli aşağıda belirtilmiştir.

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 zayiatla 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.

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 kapalı, nemden, yangından, alevden ve direkt güneş ışığından uzak, havalandırılmış ve kuru bir yerde saklanmalıdır, **[17].** Tuğla duvar numunelerinin güçlendirilmesinde kullanılan dokuma GFRP malzemesinin performans değerleri Çizelge 3.21'de verilmiştir.

Çizelge 3.21: Dokuma GFRP İçin Tipik Performans Değerleri **[17]**

Malzeme Özellikleri	Mbrace Fibre C1-30	Mbrace Fibre C5-30	Mbrace Fibre C8-30	Mbrace Fibre G-60AR	Mbrace Fibre EG-60
Betona aderansı a) pr EN 1542 (direkt)	> Gtc (bet kopar)	> Gtc (bet kopar)	> Gtc (bet kopar)	> Gtc (bet kopar)	> Gtc (bet kopar)
Betona aderansı 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, ftk (MPa)	>3430	>3000	>1900	>1700	>1700
Bindirme boyunca (ls D 20 cm), (MPa)	>3430	>3000	>1900	>1700	>1700
Birim uzunluk için karakteristik değer, ftkl, (N/mm)	> 565	>495	>270	>390	>390
Karakteristik Elastisite Modülü, Etk (MPa)	230000	390000	640000	65000	65000
Kopmada uzama E_u, %	1.5	0.8	0.3	2.8	2.8
Su buharı geçirgenliği katsayısı u, DIN 52615	< 100000	< 100000	< 100000	< 100000	< 100000

4.DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI VE DENEY PROGRAMI

4.1. Giriş

Deneysel çalışmada, taşıyıcı yığma tuğla duvarları temsil edecek şekilde küçük ölçekli model tuğla duvarlar kullanılmıştır. Serilerin tamamında Dokuma GFRP malzemesi kullanılmıştır. Çalışma, her biri 12 tuğla duvar numunesi içeren 3 seriden oluşmaktadır. Ayrıca 3 adet yalın tuğla duvar numunesi de yüklemeye tabi tutulmuş ve numunelere hasar verilmiş, daha sonra hasarlı numuneler epoksi ile tamir edilerek hem yalın duvarların ortalama dayanımları tespit edilmiş hem de bu örnekler üzerine yapılan tamirin tuğla duvarların dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. Serilerde Dokuma GFRP malzemesi kullanılarak farklı güçlendirme şekilleri ve oranlarının uygulanması araştırılmıştır. Her bir serinin ilk 6 numunesi güçlendirilmeksizin yüklemeye tabi tutulmuş ve hasara uğratılmış, diğer 6 numunesine hasarsız olarak doğrudan GFRP ile güçlendirme uygulanmıştır. Serilerde hasar verilen ilk 6 model duvarın 3 adeti tek yüzünden, diğer 3 adedi ise her iki yüzünden de güçlendirilmiştir. Benzer şekilde aynı seride hasarsız olarak güçlendirilen diğer 6 model duvarın 3 adedi tek yüzünden, 3 adeti ise her iki yüzünden güçlendirilmiştir. Yükleme sonunda elde edilen 3 sonucun ortalaması alınarak güçlendirmenin kesin sonucuna ulaşılmıştır.

Yığma tuğla duvarların hem düşey yükler hem de yatay yükler altındaki davranışını araştırmak amacıyla duvar numunelerine uygulanan yükleme kendi düzlemleri içerisinde tek eksenli olarak ve tuğla duvar derzleriyle 45°'lik bir açı oluşturacak şekilde uygulanmıştır. Böylece hem düşey yüklerin, hem de deprem ve rüzgâr gibi yatay yüklerin beraberce etkimesi durumu temsil edilmiştir. Uygulanan tek eksenli kuvvet yatay ve düşey yüklerin bileşkesini oluşturmaktadır.

4.1.1. Tuğla duvar numunelerinin hazırlanması

Yığma tuğla duvar numunelerinin üretilmesinde kullanılmak için dolu harman tuğlaları (19cm x 9cm x 5cm boyutlarında) elmas uçlu testere ile 9.5cm x 4.5cm x 2.5cm olarak kesilmişler bu tuğlalarla duvar kalınlığı 2.5cm ve derz aralığı 0.5cm

olacak şekilde model tuğla duvarlar üretilmişlerdir, (Şekil 4.1). Model tuğla duvarlarda kullanılan tuğlalar örülmeden önce suyun içerisinde bekletilerek suya doyurulmuş böylece tuğlaların harcın suyunu çekmesi önlenmiştir. Duvarların örülmesinde düzgünlüğün sağlanabilmesi için 90°'lik açıya sahip bir sehpa oluşturulmuş ve duvar numunesi bu sehpaya yaslanarak örülmüştür. Numunenin altının düzgünlüğünün sağlanabilmesi için numune düz bir tahta parçasının üzerinde örülmüştür. Derz aralıklarının 0.5 cm sabit tutulabilmesi amacıyla derz aralıklarına metal çubuklar konularak örüm yapılmıştır. Örüm tamamlandıktan sonra metal çubuklar alınarak duvarın şakülü tekrar kontrol edilmiştir, (Şekil 4.2).



Şekil 4.1: Kesilmiş Model Tuğlalar



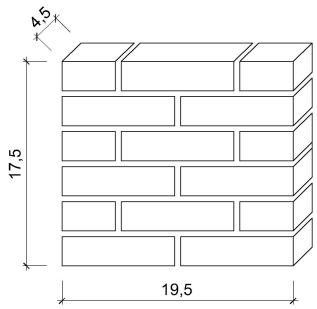
Şekil 4.2: Tuğla Duvar Numunesinin Hazırlanışı

4.1.1.1. Numune boyutları

Duvar numune boyutları yükleme yapılacak olan pres makinesinin yükleme ağzının ebatlarına göre belirlenmiştir. Buna göre duvar boyutları 19.5 cm x 17.5 cm ve kalınlığı da 4.5 cm olacak şekilde üretilmesi planlanmıştır. Duvar numunesini oluşturan tuğlalar elmas uçlu testereyle kesilerek oluşturulduğu için numune boyutlarında az da olsa (±0.5mm) sapma olabilmektedir, (Şekil 4.3).

4.1.1.2. Numunelerin yapımı ve korunması

Duvar numuneleri 6 adetlik gruplar halinde örülmüştür. Örüldükten sonra bir hafta laboratuar ortamında kürde bırakılmıştır. Kürleme için kapaklı plastik bir sepet kullanılmıştır, (Şekil 4.4).





Şekil 4.3: Numune Boyutları

Şekil 4.4: Numunelerin Kürlenmesi

4.1.1.3. Numunelere alçı başlık yapılması

Numune boyutlarının tam kare olmamasından dolayı yüklemede meydana gelecek eksen kaçıklığını önlemek ve yüklemenin düzgün bir yüzeyden yapılmasını sağlamak amacıyla bir haftalık kürleme süresinin sonrasında numunelere alçı başlık yapılmıştır. Bunun için önce bir platform üzerine 90°'lik açıyla monte edilmiş iki tahta parçası kalıp olarak kullanılmıştır. Duvar numunesinin köşegeninde geçecek ve bu kalıbı 45° ile tam ortadan bölecek şekilde bir tahta parçası şakülünde olarak platformun arkasına monte edilmiştir, (Şekil 4.5). Öncelikle kalıbın üzerine alçının kalıba yapışmasını önlemek amacıyla kağıt parçaları yerleştirilmiş daha sonra üzerine bir miktar alçı konulmuştur. Duvar numuneleri, karşılıklı köşeleri ortadaki tahta ile aynı hizada olacak şekilde hazırlanan alçının üzerine oturtulmuştur. Aynı işlemler diğer köşe için de uygulanmıştır, (Şekil 4.6).





Şekil 4.5: Alçı Başlık Kalıbı

Şekil 4.6: Alçı Başlıklı Numuneler

4.1.2. Deneyin yapılış şekli

4.1.2.1. Deney düzeneği ve deney programı

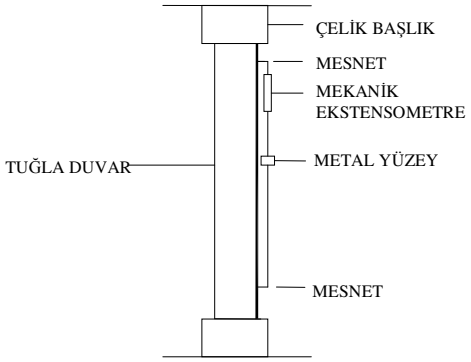
Güçlendirilmeden kırılacak numunelerin 28 günlük mukavemetini alması beklenmiştir. Güçlendirilen ve tamir edilen numuneler de güçlendirme sonrasındaki 7 günlük mukavemetini aldıktan sonra Şekil 4.7'deki düzeneğe konularak tek eksenli basınç kuvvetine tabi tutulmuştur. Yüklemede başlık yatağı 6.5 cm olan çelik başlıklar kullanılmıştır.



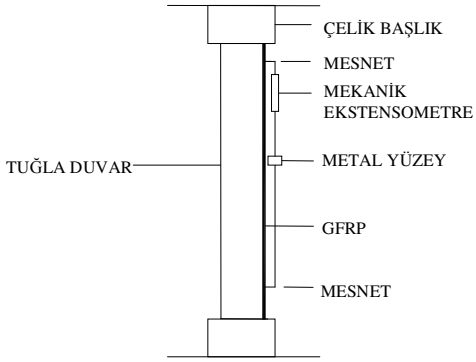
Şekil 4.7: Deney Düzeneği

4.1.2.2. Deformasyon okumaları

Yükleme esnasında duvar numunelerinin yüzeylerinde meydana gelen deformasyonların belirlenmesi amacıyla deformasyon okumaları yapılmıştır. Bu okumalarda Japon malı Saginomiya marka 1/100 mm hassasiyetli mekanik ekstensometre kullanılmıştır. Her 1 KN'luk yük artışında okuma yapılmıştır. Ekstensometre ayakları, aralıkları ortalama 18 cm olacak şekilde epoksi kullanılarak yükleme ekseninde önceden numune üzerine yapıştırılmıştır. Güçlendirilmemiş ve tek taraflı olarak güçlendirilmiş tuğla duvar numunelerinde deformasyon okumaları tuğla duvar yüzeyinden yapılmıştır. Her iki yüzü birden güçlendirilen model duvarlarda ise deformasyon okumaları kaçınılmaz olarak GFRP elyaf güçlendirme malzemesi üzerinde yapılmıştır, (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).



Şekil 4.8: Yalın Duvar Deplasman Okumaları Kesiti



Şekil 4.9: GFRP ile Güçlendirilmiş Duvar Deplasman Okumaları Kesiti

4.1.2.3 Deney programı

Özetle belirtmek gerekirse deneylerde sırasıyla şu aşamalar gerçekleştirilmiştir.

1- Duvar numunelerinin örülmesi

2- Duvar numunelerinin 7 gün kürde bekletilmesi

3- Numunelere alçı başlık yapılması

4- Numunelere 28. günde güçlendirme öncesi tek eksenli basınç deneyi yapılarak hasar verilmesi (Serilerdeki hasarlı numuneler için)

5- Numunelerin tamir edilecek parçalarına epoksi esaslı astar uygulanması (Serilerdeki hasarlı numuneler için)

6- Numune parçalarının epoksi ile birleştirilerek tamir edilmesi ve alçı başlıklarının yenilenmesi (Serilerdeki hasarlı numuneler için)

7- Numunelerin GFRP malzemesi uygulanacak kısımlarına epoksi esaslı astar uygulanması

8- Numunelerin GFRP malzemesi ile güçlendirilmesi

9- 7 gün güçlendirme sonrası mukavemetin alınması için beklenmesi

10- Güçlendirme sonrası tek eksenli basınç deneyinin yapılması

Burada bütün numunelerin geçirdikleri süreç maddeler halinde sıralanmıştır. Bunlardan 4, 5 ve 6 numaralı maddeler, seriler içerisindeki hasarlı numunelere uygulanan programdır.

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

5.1. Güçlendirilmemiş Tuğla Duvarlar Üzerinde Yapılan Deneyler

Öncelikle deney programına belirtilen hasarlı deney numunelerini oluşturmak için 28 günlük mukavemetlerini tamamlayan numunelere tek eksenli basınç kuvveti uygulanmıştır. Seri I'de (Şerit GFRP ile güçlendirilen seri) 1,2,3,4,5,6 numaralı numunelere, Seri II'de (Ayrık şerit GFRP ile güçlendirilen seri) 7,8,9,10,11,12 numaralı numunelere, Seri III'de (Tüm yüzey GFRP ile güçlendirilen seri) 13,14,15,16,17,18 numaralı model duvarlara güçlendirilme yapılmaksızın göçme meydana gelinceye kadar eksenel yük uygulanmıştır. Tuğla duvar numunelerinin tamamı ani kırılma ve göçmeye uğramıştır. Yükleme eksenine yerleştirilen mekanik ekstensometre ile tuğla duvar numuneleri üzerinde deformasyon okumaları yapılmıştır. Bunun sonucunda yalın tuğla duvar numunelerinin gevrek davranış gösterdikleri belirlenmiştir. Kırılma şekilleri numunelerde genellikle tuğla ile harç arasında derzden meydana gelmiştir. Zaman zaman numunelerde derzden başlayan kırılma tuğlaları da çatlatarak ve kırarak devam etmiştir. Genelde tuğla duvar numunelerinin yükleme ekseni doğrultusundaki köşegeni üzerinde ve ona yakın bir çizgi izleyen kırılmalar oluşmuştur. Bazı numuneler iki parçaya ayrılırken bazı numunelerin ikiden fazla parçaya ayrıldığı görülmüştür.

Yükleme ekseniyle tuğla duvar derzleri arasında 45°'lik bir açı bulunduğundan dolayı tuğla duvarlar hem yatay hem de düşey yüklere maruz bırakılmıştır. Böylece yığma tuğla duvarlara etki eden düşey yüklerin etkisiyle beraber deprem ve rüzgar yükü gibi yatay yüklerin de temsil edilmesi amaçlanmıştır. Yalın tuğla duvarların ortalama kırılma yükü olarak, güçlendirilmeksizin sadece tamir edilecek olan 3 adet numunenin tamir edilmeden önceki kırılma yüklerinin ortalaması alınmıştır. Bu numunelerin ortalama kırılma yükü 11.33 KN olarak bulunmuştur. Şekil 5.1'de yalın tuğla duvar numunelerinin yükleme durumu görülmektedir.



Şekil 5.1: Yalın Tuğla Duvar Örneklerinin Yüklenmesi

5.2. Hasarlı Tuğla Duvar Numunelerinin Tamir Edilmesi

Hasar verilen tuğla duvar numuneleri GFRP ile güçlendirilmeden önce epoksi esaslı tamir harcı kullanılarak tamir edilmiştir. Parçalanan yüzeylere epoksi sürülerek parçalar birleştirilmiştir, (Şekil 5.2). Daha sonra tamir edilen duvarların GFRP ile güçlendirilmeleri yapılmış ve 7 gün süreyle mukavemetini alması beklenmiştir. 3 adet yalın tuğla duvar numunesi epoksi ile tamir edildikten sonra güçlendirilmeksizin tekrar yüklemeye tabi tutulmuş ve hasarlı tuğla duvar numunelerinin tamir edilmiş durumlarının ortalama kırılma yükleri bulunmuştur. Bu duvarların kırılma yükleri ortalaması 16.33 KN olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.2: Tamir Edilen Tuğla Duvar Numuneleri

5.3. Model Tuğla Duvarların GFRP Malzemesi ile Güçlendirilmesi

5.3.1. Model tuğla duvarların şerit GFRP ile güçlendirilmesi (Seri I)

5.3.1.1. Genel bilgiler

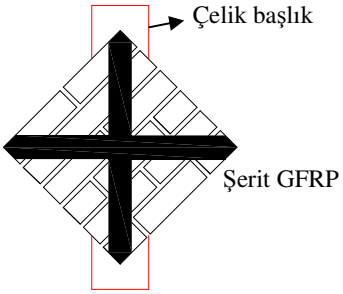
6 adedi hasarlı 6 adedi hasarsız olmak üzere 12 adet tuğla duvar numunesi yüzeyine dokuma GFRP malzemesi çapraz şekilde yapıştırılarak Seri I'deki numuneler güçlendirilmiştir. Üretici firma tarafından 50 cm genişliğinde ve 100 m uzunluğunda üretilen, birbirine tutturulmuş, yaklaşık 0.5 cm genişliğinde lif demetlerinden oluşan dokuma GFRP malzemesi, makasla 2.5 cm (5 lif demeti) genişliğinde ve duvar numunesinin köşegeni kadar uzunlukta, şerit halinde kesilerek tuğla duvar numunesinin iki köşegeni boyunca numune yüzeyine yapıştırılmıştır. Böylece tek eksenli yükleme durumunda basınç ve çekme yönleri doğrultusunda numuneye yapıştırılmış bulunmaktadır. Yapıştırılmadan önce köşegen boyunca 2.5 cm'lik genişlikte bir alanın kenarları çizilerek belirlenmiş ve bu alana önce epoksi esaslı astar ve daha sonra da dokuma GFRP yapıştırıcısı uygulanmıştır. İlk olarak yükleme eksenine göre çekme yönündeki şerit GFRP daha sonra da basınç yönündeki şerit GFRP numune yüzeyine yapıştırılmıştır, (Şekil 5.3). Daha sonra yapıştırılan GFRP yüzeyine tekrar epoksi esaslı yapıştırıcı sürülmüştür.



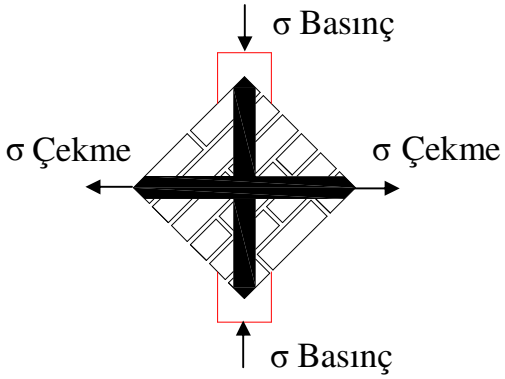
Şekil 5.3: Şerit GFRP Uygulaması

Seri I içerisindeki tuğla duvarlara şerit GFRP uygulaması tek taraflı ve çift taraflı olarak uygulanmıştır. Böylece yığma binalarda hem çift taraflı tuğla duvarların güçlendirilmesi hem de bitişik nizam yığma binalardaki bitişik duvarların tek taraflı olarak güçlendirilmesi araştırılmıştır. Şerit GFRP ile tuğla duvarların güçlendirilmesinin modellemesi Şekil 5.4'de verilmiştir. Şerit GFRP malzemesinin

yapıştırılma yönüne ve yükleme eksenine göre numune yüzeyindeki σ basınç ve σ çekme yönleri Şekil 5.5'de gösterilmiştir.

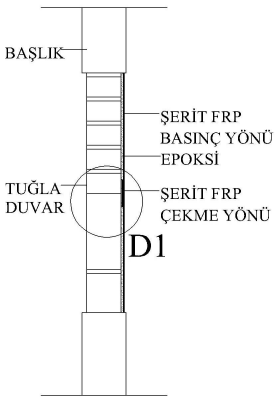


Şekil 5.4: Seri I-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli

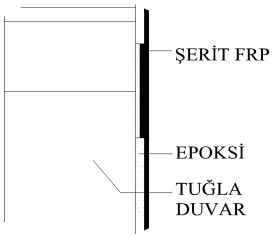


Şekil 5.5: Tuğla Duvar Numunesinin Gerilme Durumu

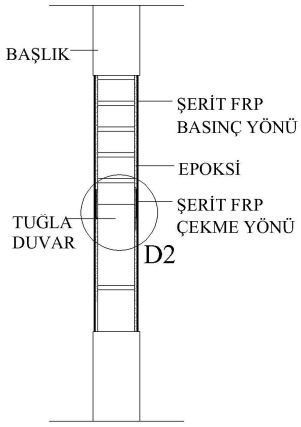
Çift yönlü olarak güçlendirilecek olan duvar numunelerinde GFRP tek yüzeye çapraz şekilde yapıştırıldıktan sonra yapıştırıcının donması için bir süre beklenmiş daha sonra diğer yüze uygulama yapılmıştır. Böylece bütün GFRP uygulamalarının aynı gün içerisinde tamamlanmasına dikkat edilmiştir. Tuğla duvar yüzeylerine uygulanan GFRP malzemesinin tek taraflı uygulama kesiti Şekil 5.6'da, çift taraflı uygulama kesiti Şekil 5.8'de, detay görünüşleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.9'da görüldüğü şekildedir.



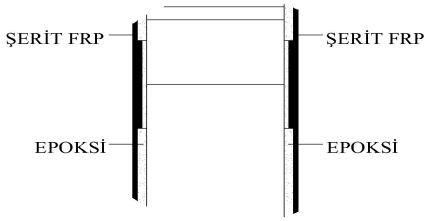
Şekil 5.6: Seri I-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti



Şekil 5.7. Seri I-D1 detayı



Şekil 5.8. Seri I-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti



Şekil 5.9. Seri I-D2 detayı

5.3.1.2. Hasarlı ve hasarsız tuğla duvar numunelerine şerit GFRP uygulaması

Seri I içerisindeki hasarlı numunelerin tek eksenli basınç deneyleri yapıldıktan ve epoksi esaslı tamir harcıyla tamiratları gerçekleştirildikten sonra duvar numunelerinin güçlendirilecek yüzeylerinde 2.5 cm genişliğindeki alan çizilerek belirlenmiş ve güçlendirme öncesi astar uygulaması yapılmıştır. Astarın kurumasından sonra belirlenen alana öncelikle GFRP malzemesinin kendi epoksi yapıştırıcısı sürülmüştür. Daha sonra 2.5 cm genişliğinde şeritler halinde hazırlanan GFRP malzemesi önce çekme eksenine paralel olmak üzere epoksi sürülen alana serilmiş ve üzerine bastırmak suretiyle yapışması sağlanmıştır. GFRP yüzeye yapıştıktan sonra üzerine tekrar epoksi yapıştırıcısı uygulanmıştır. Sonra aynı işlemler basınç yönündeki GFRP şeridi için uygulanmıştır, (Şekil 5.10). Seri I'deki tuğla duvar numunelerinden 6 adet hasarsız numunenin 3 adedi tek yönlü olarak, 3 adedi ise çift yönlü olarak güçlendirilmiştir. Kalan 6 adet hasarlı numunenin ise yine 3 adedi tek yönlü olarak, 3 adedi çift yönlü olarak güçlendirilmiştir.



Şekil 5.10. Çekme ve Basınç Yönünde GFRP Uygulaması

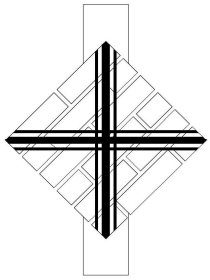


Şekil 5.11. Şerit GFRP Uygulanmış Numuneler

5.3.2. Model tuğla duvarların ayrık şerit GFRP ile güçlendirilmesi (Seri II)

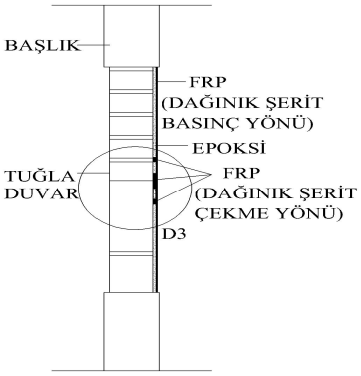
5.3.2.1. Genel bilgiler

Bu deneysel çalışmada araştırılmak istenenlerden biri de GFRP malzemesinin tuğla duvar numunesi yüzeyine uygulanış şekli ve miktarıdır. Bu amaçla Seri I'de tuğla duvar numuneleri yüzeyine dokuma GFRP malzemesinin çapraz şeritler halinde uygulanmasına benzer olarak Seri II'de, uygulanan GFRP malzemesinin kesit alanı ve güçlendirme yönü aynı kalacak şekilde şeritler dağınık olarak yerleştirilmiştir. Bu yöntemle Seri I'de 2.5 cm genişliğinde şerit olarak uygulanan dokuma GFRP malzemesi, duvarın köşegen merkezine 1.5 cm genişliğinde ve bu şeridin 2 tarafına paralel olarak 1'er cm açığa iki adet 0.5 cm genişliğinde şeritler halinde yerleştirilmiştir, (Şekil 5.12).

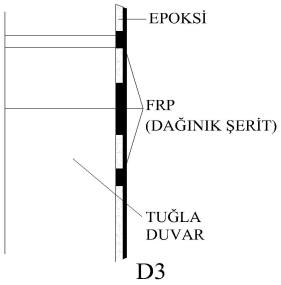


Şekil 5.12. Seri II-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli

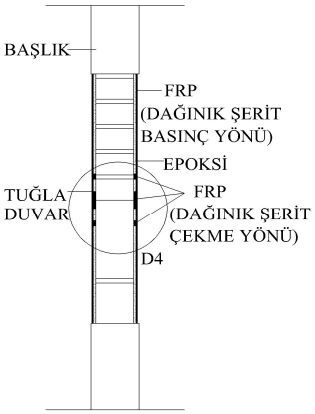
Seri I'de olduğu gibi yine öncelikle çekme eksenindeki GFRP şeridi tuğla duvar numunesi yüzeyine yapıştırılmış, sonra basınç yönündeki GFRP şeridi yapıştırılmıştır. Bunun üzerine 0.5 cm'lik şeritler yine aynı sıralamayla önce çekme daha sonra basınç doğrultusundaki olmak üzere yapıştırılmıştır. Seri II içerisindeki 12 adet numuneden 6 adedi tek yönlü olarak, (Şekil 5.13 ve Şekil 5.14) 6 adedi ise çift yönlü olarak (Şekil 5.15 ve Şekil 5.16) güçlendirilmiştir.



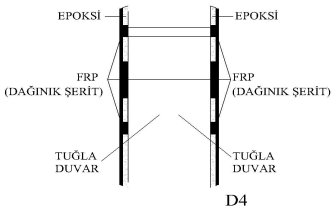
Şekil 5.13. Seri II-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti



Şekil 5.14. Seri II-D3 Detayı



Şekil 5.15. Seri II-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirilme Kesiti



Şekil 5.16. Seri II-D4 Detayı

5.3.2.2. Hasarlı ve hasarsız tuğla duvar numunelerine ayrık şerit GFRP uygulaması

Seri II içerisindeki bulunan 12 adet numunenin 6 adedine hasar verildikten sonra tamir edilmiş ve sonra dokuma GFRP malzemesiyle ayrık şeritli olarak güçlendirilmiştir. Diğer 6 adedi ise hasar verilmeden doğrudan güçlendirilmiştir.

Hasar verilen numuneler tamir edildikten sonra, 7 gün boyunca laboratuar ortamında bekletilerek mukavemetini alması sağlanmıştır. Hasarlı ve hasarsız model duvarlardan 3'er adedi tek yüzünden, 3'er adedi ise çift yüzünden güçlendirilmiştir. Bu amaçla önce tuğla duvar numunelerinin yüzeyine dokuma GFRP uygulanacak alanlar çizilerek belirlenmiş daha sonra bu alanlara epoksi esaslı astar uygulaması yapılmıştır, (Şekil 5.17). Daha sonra gereken ölçülerde kesilerek hazırlanan dokuma GFRP malzemesi önce çekme yönündeki 1.5 cm'lik şerit, sonra basınç yönündeki 1.5 cm'lik şerit, sonra çekme yönündeki 0.5 cm'lik şeritler ve daha sonra da basınç yönündeki 0.5 cm'lik şeritler olmak üzere epoksi esaslı dokuma GFRP yapıştırıcısı kullanılarak uygulanmıştır. Bu şekilde şeritler birbiri içerisinden geçirilerek basınç yönündeki şeritlerin burkulması da zorlaştırılmış olmaktadır, (Şekil 5.18). Şeritler yapıştırıldıktan sonra üzerine tekrar epoksi yapıştırıcısı uygulanmıştır.



Şekil 5.17. Tuğla Duvar Yüzeyine Astar Uygulaması



Şekil 5.18. Ayrık Şerit GFRP Uygulaması

Tuğla duvar numuneleri yüklenmeden önce başlıkların geleceği yerdeki fazlalık GFRP malzemeleri kesilerek temizlenmiştir. Bu kısımlara alçı başlık yapılarak çelik başlıkların oturacağı yerlerin düzgünlüğü sağlanmıştır, (Şekil 5.19). Deney numuneleri güçlendirildikten sonra 7 gün boyunca mukavemetlerini almaları için laboratuar koşullarında bekletilmiştir.

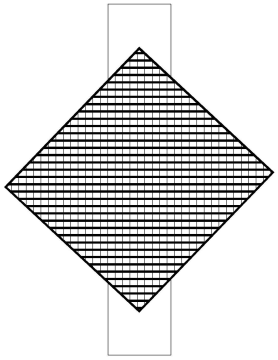


Şekil 5.19. Numunelere Alçı Başlık Uygulaması

5.3.3. Model tuğla duvarların tüm yüzey GFRP kullanılarak güçlendirilmesi (Seri III)

5.3.3.1. Genel bilgiler

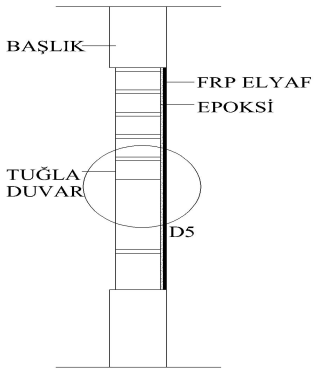
Seri III'de GFRP malzemesinin en üst sınırda kullanıldığında yani duvarın tamamına uygulandığı zaman, duvarın mukavemetini ne kadar artırdığının tespiti ve bu güçlendirme şeklinin diğer güçlendirme şekillerine göre etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla dokuma GFRP malzemesi tuğla duvar numunelerine tüm yüzeylerini kaplayacak şekilde uygulanmıştır, (Şekil 5.20). Seri III'de araştırılan 12 adet numunenin 6 adedi önceden hasar verilmiş olarak, 6 adedi ise hasar verilmeden güçlendirilmiştir. Hasarlı ve hasarsız numunelerin 3'er adedine tek taraflı, 3'er adedine ise çift taraflı olarak güçlendirme uygulanmıştır.



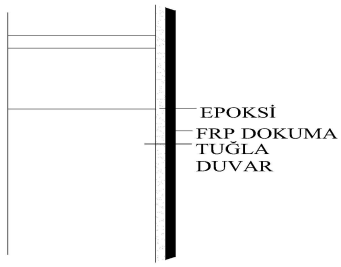
Şekil 5.20. Seri III-Tuğla Duvarların Güçlendirme Şekli

Dokuma GFRP lifleri yükleme eksenine göre çekme yönünde olacak şekilde tuğla duvar numunesi yüzeyine yapıştırılmıştır. Öncelikle tuğla duvar numunelerinin yüzeyinde, lifleri çekme doğrultusuna gelecek şekilde işaretlenen dokuma GFRP

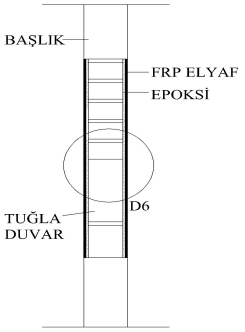
malzemesi kesilerek hazırlanmıştır. Duvar numunesi yüzeyi temizlenerek yüzeyine astar sürülmüştür. Astarlanma işleminin ardından epoksi esaslı dokuma GFRP yapıştırıcısı bir kat tuğla duvar üzerine uygulanmıştır. Dokuma GFRP malzemesi tuğla duvar yüzeyine yapıştırılmış, üzerine bastırılarak epoksi esaslı yapıştırıcıyı emmesi sağlanmıştır. Bunun üzerine bir kat daha epoksi esaslı yapıştırıcı uygulanarak mukavemetini alması için 7 gün boyunca laboratuar ortamında bekletilmiştir. Tek yönlü, (Şekil 5.21 ve Şekil 5.22) ve çift yönlü (Şekil 5.23, Şekil 5.24) olarak uygulanan numunelerin, uygulama detayları aşağıda verilmiştir.



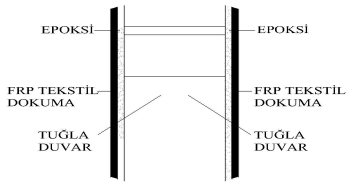
Şekil 5.21. Seri III-Tuğla Duvarların Tek Yönlü Güçlendirilme Kesiti



Şekil 5.22. Seri III-D5 Detayı



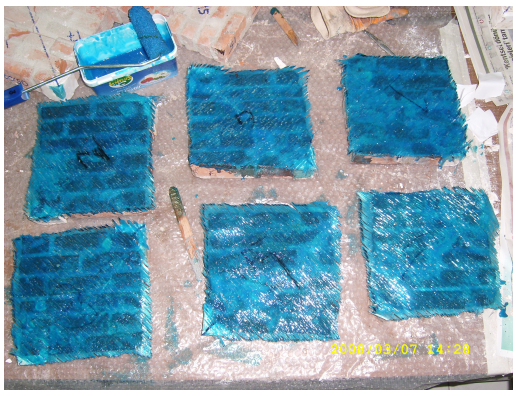
Şekil 5.23. Seri III-Tuğla Duvarların Çift Yönlü Güçlendirme Kesiti



Şekil 5.24. Seri III-D6 Detayı

5.3.3.2. Hasarlı ve hasarsız tuğla duvar numunelerine tüm yüzey GFRP uygulaması

Seri III içerisinde yer alan 12 adet tuğla duvar numunesinin 6 adedi hasar verildikten sonra, 6 adedi ise hasarsız olarak güçlendirilmiştir. Hasar verilen numuneler tamir edildikten sonra 7 gün laboratuar ortamında bekletilmiş ve mukavemetlerini alması beklenmiştir. Hasarlı ve hasarsız numunelerin 3'er adedi tek yüzünden ve 3'er adedi ise çift yüzünden güçlendirilmiştir. Öncelikle gerekli sayıda dokuma GFRP malzemesi numune yüzeyinin tamamını kaplayacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. GFRP malzemesi uygulanacak olan yüzeylere epoksi esaslı astar uygulaması yapılmıştır. Numune yüzeyine bir kat epoksi esaslı GFRP yapıştırıcısı uygulandıktan sonra hazırlanan GFRP malzemesi numune yüzeyine yapıştırılmıştır. GFRP üzerine elle baskı uygulanarak yüzeye iyice yapışması ve epoksi esaslı yapıştırıcıyı iyice emmesi sağlanmıştır. Daha sonra yüzey üzerine bir kat daha epoksi yapıştırıcısı sürülmüş ve numune mukavemetini alması için 7 gün boyunca laboratuar ortamında bekletilmiştir, (Şekil 5.25).



Şekil 5.25. Tüm Yüzey Dokuma GFRP Uygulaması



Şekil 5.26. Numunelere Alçı Başlık Uygulaması

Tuğla duvar numuneleri yüklenmeden önce numune kenarlarından taşan fazlalık GFRP malzemeleri kesilerek temizlenmiştir. Yükleme eksenine göre yüklemenin yapılacağı köşelere alçı başlık yapılarak çelik başlıkların oturacağı yerlerin düzgünlüğü sağlanmıştır, (Şekil 5.26).

5.4. Güçlendirilmiş Tuğla Duvarlar Üzerine Yapılan Deneyler

5.4.1. Şerit GFRP ile güçlendirilmiş tuğla duvarlar üzerine yapılan deneyler (Seri I)

Tuğla duvar numuneleri güçlendirildikten ve mukavemetlerini alması için 7 gün laboratuar koşullarında bekletildikten sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuşlardır. Bunun için Seidner firmasının 10 ton (100 KN) ve 300 ton (3000 KN) yük uygulayabilen 2 adet prese sahip olan Form Test isimli basınç makinesi kullanılmıştır. Tek taraflı güçlendirilmeye tabi tutulan numunelerde mekanik ekstensometre güçlendirilmemiş yüzeye, tuğla duvarın yüzeyine, direkt olarak monte edilmiştir. Çift taraflı güçlendirilen model duvarlarda ise GFRP güçlendirme malzemesinin üzerine yapıştırılmıştır. Model duvarlar, basınç ekseni tam köşegenden geçecek şekilde prese yerleştirilmiştir. Yükleme esnasında her 1 KN'luk yük artışında ekstensometre üzerinden deformasyon okuması yapılmıştır. Model duvar numunelerinde yük alımı sona erene kadar yüklemeye devam edilmiştir. Duvar numunelerinin yükleme öncesi durumları Şekil 5.27 ve Şekil 5.28'de, yükleme sonrası kırılma modları ise Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da verilmiştir. Duvar numunelerinde deney sonrasında genellikle GFRP malzemesi ile tuğla duvar birbirini bırakmamış ve kırılma ve ayrılmanın GFRP üzerinde bir miktar duvar parçası kalarak meydana geldiği gözlemlenmiştir.



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



Şekil 5.28. Seri I-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Arka Yüz)



Şekil 5.29. Seri I-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Ön Yüz)



Şekil 5.30. Seri I-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası (Arka Yüz)

5.4.2. Ayrık şerit GFRP ile güçlendirilmiş tuğla duvarlar üzerinde yapılan deneyler (Seri II)

Seri II'de bulunan 12 adet tuğla duvar numunesi ayrık şerit şeklinde uygulanan dokuma GFRP malzemesi ile güçlendirildikten sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. 12 adet numuneden 6 adedi hasarlı, 6 adedi hasarsız olarak güçlendirilmiştir. Ayrık şerit GFRP malzemesi bu numunelerden 3'er adedine tek yönlü, 3'er adedine ise çift yönlü olarak uygulanmıştır. Her 1 KN'luk yük artışında deformasyon okuması yapılmıştır. Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de bir tuğla duvar numunesinin göçme modu verilmiştir.



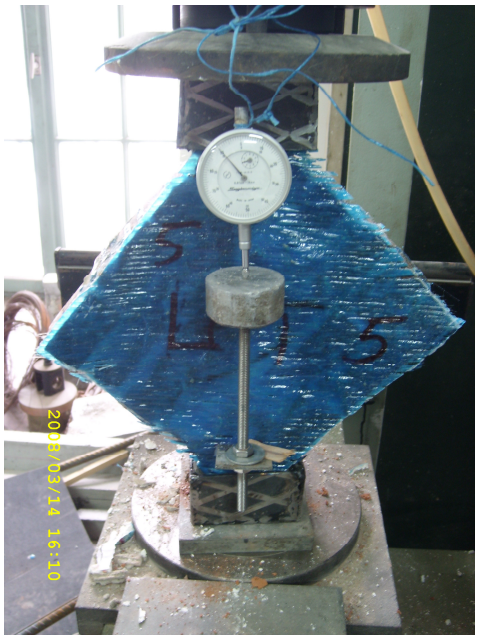
Şekil 5.31. Seri II-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi (Arka Yüz)



Şekil 5.32. Seri II-Güçlendirilen Numunenin Yük. Sonrası (Arka Yüz)

5.4.3. Tüm yüzey GFRP ile güçlendirilmiş tuğla duvarlar üzerine yapılan deneyler (Seri III)

Seri III'de dokuma GFRP malzemesinin tuğla duvar numunesine tüm yüzey olarak uygulanması sonucunda numunelere tek eksenli basınç deneyi uygulanmıştır. 6 adedi hasarlı, 6 adedi hasarsız olmak üzere 12 adet duvar numunesinin 3'er adedinin tek yüzeyine, 3'er adedinin ise her iki yüzeyine dokuma GFRP ile güçlendirme uygulanmıştır. Basınç deneyi esnasında her 1 KN'luk yük artışı sırasında duvar numunesi yüzeyinden deformasyon okumaları gerçekleştirilmiştir. Deformasyon okumaları tek yüzey olarak güçlendirilen numunelerde duvar yüzeyinden, çift yüzey olarak güçlendirilen duvar numunelerinde ise GFRP malzemesinin yüzeyinden yapılmıştır. Yükleme sonrasında duvar numunelerinde ayrılmalar meydana gelmiş ve çift taraflı güçlendirilen bazı numunelerin her iki yüzeyindeki GFRP malzemesinin tuğla duvarı bırakmadığı için duvarın ortadan ikiye ayrıldığı görülmüştür, (Şekil 5.33 ve Şekil 5.34).



Şekil 5.33. Seri III-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Öncesi



Şekil 5.34. Seri III-Güçlendirilen Numunenin Yükleme Sonrası

6. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1. Genel

Yığma yapılardaki taşıyıcı tuğla duvarların GFRP ile değişik formlarda güçlendirilmesinin incelendiği bu deneysel araştırmada ortaya çıkan sonuçlar değerlendirilerek GFRP formundaki değişimin bu türdeki duvarların davranışına olan etkisi incelenmiştir. Böylece GFRP malzemesi kullanılarak etkin bir güçlendirme şekline ulaşmak amaçlanmıştır. Bu amaçla GFRP malzemesi tuğla duvar yüzeyine tek yüz ve çift yüz olmak üzere iki şekilde, şerit, ayrık şerit ve tüm yüzey olarak üç seri halinde uygulanmış ve iki eksenli yüklemeyi temsil edecek şekilde, tek eksenli yüklemeye tabi tutulmuştur. Duvar numunelerinin basınç yükü altındaki şekil değiştirmeleri ve göçme şekilleri not edilerek deney sonuçları bu veriler ışığında incelenmiştir.

Daha önce yapılmış olan çalışmalar ve yapılan deneylerden elde edilen sayısal ve gözleme dayalı verilerin değerlendirilmesi sonucunda ortaya çıkan sonuçlar ana başlıklar halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Güçlendirme uygulanmamış yalın tuğla duvar numunelerinin ve bu duvarların epoksi ile tamir edilmesi sonucunda elde edilen numunelerin tek eksenli basınç yükü altındaki davranışları ve performansları.
- Şerit GFRP (Seri I) kullanılarak güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin tek eksenli basınç yükü altındaki davranışları, performansları, şekil değiştirmeleri ve kırılma mekanizmaları.
- Ayrık Şerit GFRP (Seri II) kullanılarak güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin tek eksenli basınç yükü altındaki davranışları, performansları, şekil değiştirmeleri ve kırılma mekanizmaları.
- Tüm Yüzey GFRP (Seri III) kullanılarak güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin tek eksenli basınç yükü altındaki davranışları, performansları, şekil değiştirmeleri ve kırılma mekanizmaları.

- Şerit GFRP (Seri I) ve Ayrık Şerit GFRP (Seri II) ile tuğla duvar numunelerinin güçlendirilme yönteminin deney sonuçlarına bağlı olarak karşılaştırılması, yorumlanması ve öneriler.
- Şerit GFRP (Seri I) ve Tüm Yüzey GFRP (Seri III) ile tuğla duvar numunelerinin güçlendirilme yönteminin deney sonuçlarına bağlı olarak karşılaştırılması, yorumlanması ve öneriler.
- Ayrık Şerit GFRP (Seri II) ve Tüm Yüzey GFRP (Seri III) ile tuğla duvar numunelerinin güçlendirilme yönteminin deney sonuçlarına bağlı olarak karşılaştırılması, yorumlanması ve öneriler.

Deneylerde numunelerin isimlendirilmesi şu şekilde yapılmıştır:

H: Hasarlı numunelerdir. Tuğla duvar numunelerine güçlendirme yapılmaksızın yükleme yapılarak hasar almaları sağlanmıştır.

T: Tek taraflı olarak güçlendirme yapılan numunedir.

Ç: Çift taraflı olarak güçlendirme yapılan numunedir.

Ş: Şerit şeklinde GFRP'ler kullanılarak güçlendirme yapılan numunedir. 2.5cm genişlikte Dokuma GFRP'ler kesilerek uygulama yapılmıştır.

AŞ: Şerit şeklindeki GFRP'lerin ayrık yerleştirilmesiyle güçlendirme yapılan numunedir. Dokuma GFRP'ler, 1.5cm ve 0.5cm genişliklerinde kesilerek aralarındaki mesafe 1cm olacak şekilde uygulama yapılmıştır.

D: Dokuma GFRP kullanılarak tüm tuğla duvar yüzeyine güçlendirme yapılan numunedir.

Buna göre;

HÇŞ: Hasar verilmiş çift taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş numunedir.

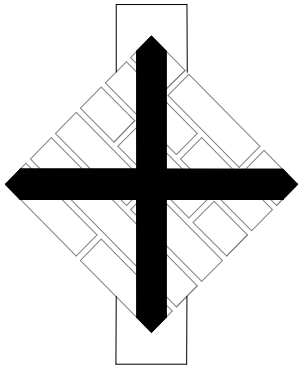
HTŞ: Hasar verilmiş tek taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş numunedir.

ÇŞ: Çift taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş duvar numunesidir.

TŞ: Tek taraflı olarak şerit GFRP ile güçlendirilmiş numunedir.

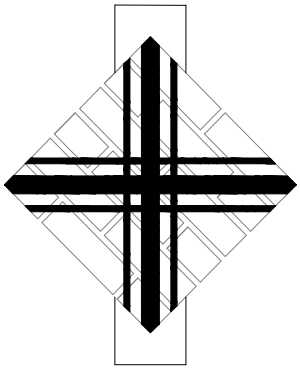
Deneysel çalışma programında Seri I kapsamında yer alan numunelerin güçlendirme şekilleri Çizelge 6.1'de görülmektedir.

Çizelge 6.1 : Seri I Numunelerinin 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.	

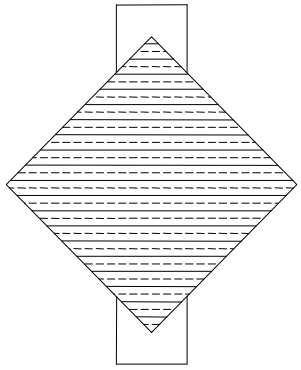
Seri II' de bulunan numunelerin güçlendirme şekilleri Çizelge 6.2'de görülmektedir**.**

Çizelge 6.2 : Seri II Numunelerinin 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 bulunan numunelerin güçlendirme şekilleri Çizelge 6.3'de görülmektedir**.**

Çizelge 6.3 : Seri III Numunelerinin 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

Seriler içerisinde yer alan duvar numunelerine ek olarak deney programında öncelikle yalın duvar numunelerinin ve hasar verilip onarılmış duvar numunelerinin dayanımlarının belirlenmesi amacıyla model tuğla duvarlardan 3 adedi güçlendirilmeksizin eksenel basınç kuvvetine maruz bırakılmıştır. Bu numunelerin kırılma yükleri belirlendikten sonra numuneler epoksi ile tamir edilmiş ve tekrar eksenel basınca tabi tutulmuşlardır. Böylece elde edilen yalın duvar numunelerinin ve onarılmış duvar numunelerinin ortalama kırılma yükleri seriler içerisinde test edilen numunelerin ortalama yalın ve onarılmış numune kırılma yükleri olarak kullanılmıştır. Yalın tuğla duvar numunelerinin maksimum kırılma yükleri ve ortalama kırılma değerleri Çizelge 6.4'de, maksimum ve ortalama yer değiştirmeleri ise Çizelge 6.5'de verilmiştir. Şekil 6.1'de yük-yer değiştirme grafikleri çizilmiş, göçme mekanizmaları irdelenmiştir.

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

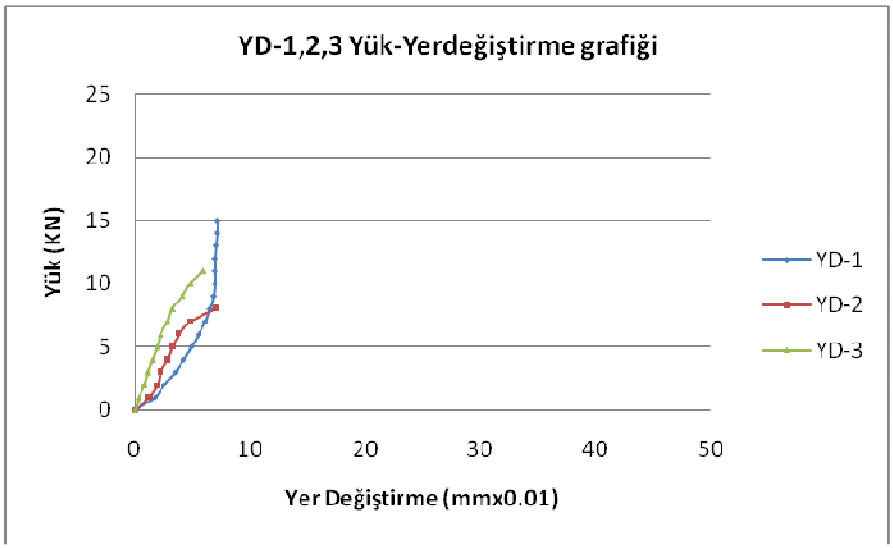
YALIN TUĞLA DUVAR NUMUNELERİ KIRILMA YÜKÜ		
Numune No	Max.Kırılma Yükü (KN)	Ort. Kırılma Yükü (KN)
YD-1	15	**11.33**
YD-2	8	
YD-3	11	

Çizelge 6.5 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yerdeğiştirmeleri

YALIN TUĞLA DUVAR NUMUNELERİ YER DEĞİŞTİRMELERİ		
Numune No	Max.Yerdeğiştirme (mm x ^{2}-10)	Ort. Yerdeğiştirme (mm x ^{2}-10)
YD-1	8.2	**7.03**
YD-2	7	
YD-3	5.9	

Seriler içerisinde yer alan hasarlı numunelerin güçlendirilmiş durumdaki dayanım ve şekil değiştirmeleriyle karşılaştırmak üzere yalın tuğla duvar numuneleri öncelikle eksenel yüke tabi tutularak dayanımları ve şekil değiştirmeleri belirlenmiştir. Yalın tuğla duvar numunesine ait belirlenen max. kırılma yükü ve max. şekil değiştirme değerleri, daha sonra güçlendirilerek eksenel yük altında deneye tabi tutulan duvar numunesinin güçlendirme sonrasındaki dayanım ve şekil değiştirme değerleriyle karşılaştırılarak bu değerlerdeki yüzde olarak artış miktarı belirtilmiştir. Yalın tuğla duvar numunelerine ait yük-yer değiştirme grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.

Şekil 6.1 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği



Yapılardaki taşıyıcı yığma tuğla duvarlarda, deprem ve taşıyıcı duvarlar altında oluşan oturmalara bağlı olarak meydana gelen çatlakların temsil edilmesi amacıyla hasar verilen duvar numuneleri epoksi ile güçlendirilerek eksenel basınç deneyine tabi tutulmuştur. Böylece yapılarda bu şekilde oluşan çatlakların epoksi tamir harcıyla tamir edilmesinin etkili bir yöntem olup olmadığı irdelenmiştir. Epoksi ile tamir edilen numunelere ait max. ve ortalama kırılma yükleri Çizelge 6.6'da, max. ve ortalama yer değiştirmeleri ise Çizelge 6.7'de verilmiştir.

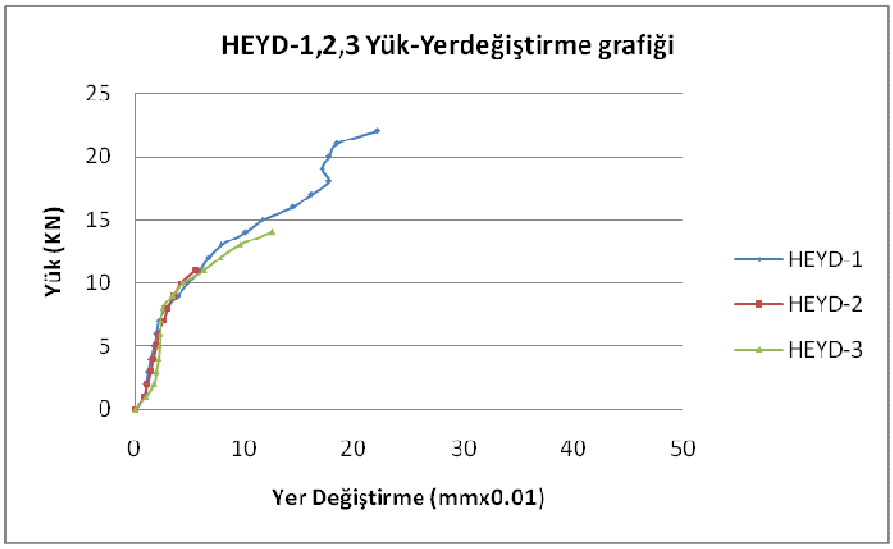
Çizelge 6.6 : Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Kırılma Yükü

ONARILMIŞ T.D. NUMUNELERİNİN KIRILMA YÜKÜ		
Numune No	Max. Kırılma Yükü (KN)	Ort. Kırılma Yükü (KN)
HEYD-1	23	**16.33**
HEYD-2	11.5	
HEYD-3	14.5	

Çizelge 6.7 : Onarılmış T.D. Numunelerinin Max. ve Ortalama Yerdeğiştirmeleri

ONARILMIŞ T.D.NUMUNELERİNİN YERDEĞİŞTİRMELERİ		
Numune No	Max.Yerdeğiştirme (mm x ^{2}-10)	Ort. Yerdeğiştirme (mm x ^{2}-10)
HEYD-1	20.2	**12.63**
HEYD-2	7.5	
HEYD-3	10.2	

Epoksi ile tamir edilen numunelere ait yük-yerdeğiştirme grafiği Şekil 6.2'de verilmiştir.

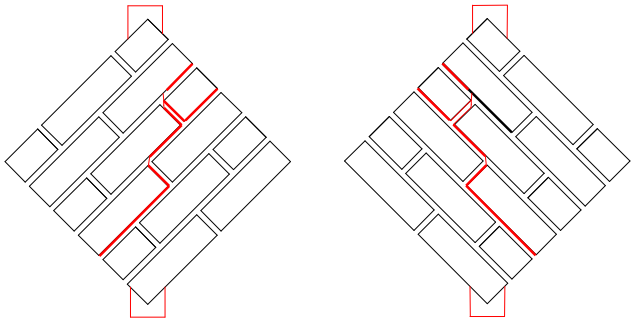


Şekil 6.2 : Onarılmış Tuğla Duvar Numunelerinin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Yalın tuğla duvarların epoksi esaslı tamir harcıyla onarılması sonucunda dayanımlarında ve şekil değiştirme kapasitelerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Duvar numunelerinin ortalama kırılma yükleri yaklaşık olarak yarım kat artarken ortalama şekil değiştirme kapasiteleri de yaklaşık iki katına çıkmıştır. Sonuç olarak epoksi ile yapılan iyileştirme duvar numunelerine önceki dayanımlarından daha yüksek bir dayanım kazandırmıştır.



Şekil 6.3 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Göçme Mekanizması



Ön Yüz Arka Yüz

Şekil 6.4 : Yalın Tuğla Duvar Numunelerinin Tipik Göçme Mekanizması

Yalın tuğla duvar numunelerinde oluşan göçme mekanizmaları genellikle derz kaynaklı olarak gerçekleşmiştir. Oluşan çatlaklar yatay ve düşey derzleri izlemiş bazen de derzde başlayan çatlak tuğlayı da kırarak ilerlemiş veya tuğladan başlayan

çatlak derzde devam etmiştir, (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4). Kırılmalar genellikle epoksi ile onarım yapılan bölgelerden uzak kesimlerde meydana gelmiş, onarılmış kısımların civarında kırılma görülmemiştir. Bunun nedeni epoksi tamir harcının yüksek dayanım gücüne sahip olması ve tamir için uygulandığı bölgeyi hasarsız halinden daha yüksek bir dayanıma kavuşturmasından dolayıdır. Tuğla duvar numunelerinde meydana gelen ani kırılmalar numunelerin gevrek davranış gösterdiğini ortaya koymuştur.

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

Deneysel çalışmanın Seri I bölümünde şeritler halinde hazırlanmış dokuma GFRP ile güçlendirilmiş 12 adet tuğla duvar numunesi bulunmaktadır. Bu numunelerden 6 adedi önceden hasar verilerek epoksi ile tamir edildikten sonra güçlendirilmiş, 6 adedi ise hasar verilmeden güçlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Onarılan 6 adet hasarlı numunenin 3 adedinin tek yüzlerine, 3 adedinin ise çift yüzlerine şerit güçlendirme uygulanmıştır. Hasarsız olarak güçlendirilen 6 adet numunenin de 3 adedinin tek yüzlerine 3 adedinin ise çift yüzlerine şerit güçlendirme uygulanmıştır.

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

SERİ I-KIRILMA YÜKLERİ		
Numune	Kırılma Yükü (KN)	Ort.Kırılma Yükü (KN)
HÇŞ-1	41	38.83
HÇŞ-2	37	
HÇŞ-3	38.5	
HTŞ-4	24	25.33
HTŞ-5	32	
HTŞ-6	20	
ÇŞ-7	28	29.33
ÇŞ-8	25.5	
ÇŞ-9	34.5	
TŞ-10	20	20.50
TŞ-11	21.5	
TŞ-12	20	

Deneyler sonucunda tuğla duvarların deprem vb. etkiler karşısında hasar görmesi durumunda uygulanacak onarım ve güçlendirmenin veya hasar görmeden önce tuğla duvarların depreme dayanıklı hale getirilmesi için uygulanacak olan güçlendirmenin

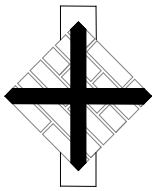
tuğla duvarların dayanımlarına ve sünekliliklerine olan etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla eksenel basınç kuvvetine tabi tutulan numunelerin kırılma yükleri (Çizelge 6.8), ve max. şekil değiştirme değerleri (Çizelge 6.9) kaydedilmiştir. Ayrıca yük-yer değiştirme grafikleri çizilmiş (Şekil 6.7, 6.8, 6.9 ve 6.10), ve göçme mekanizmaları incelenmiştir. Seri I örneklerinin genel özellikleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.9 : Seri I Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yerdeğiştirmeleri

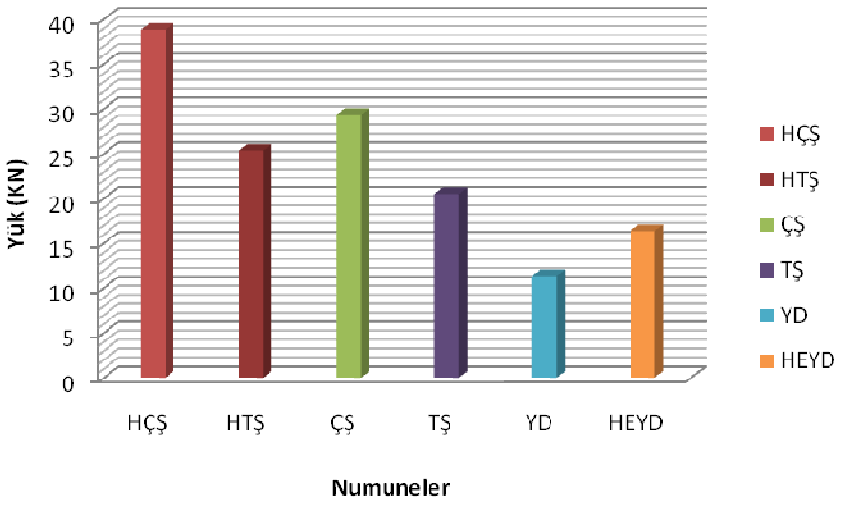
SERİ I-YERDEĞİŞTİRME MİKTARI		
Numune	Yerdeğiştirme (mm x 0.01)	Ort. Yerdeğiştirme (mm x 0.01)
HÇŞ-1	220	204
HÇŞ-2	200	
HÇŞ-3	192	
HTŞ-4	54.9	41.63
HTŞ-5	50	
HTŞ-6	20	
ÇŞ-7	150	91
ÇŞ-8	43	
ÇŞ-9	80	
TŞ-10	22.5	35.17
TŞ-11	20	
TŞ-12	63	

Seri I içerisinde yapılan deneyler sonucunda şerit GFRP ile güçlendirilen numunelerin dayanımlarında yalın tuğla duvar numunelerine göre önemli ölçüde artış gerçekleşmiştir. Ayrıca numunelerin şekil değiştirme kapasiteleri de büyük oranda artmıştır. Çizelge 6.10'da Seri I numunelerinin ortalama dayanım ve şekil değiştirme değerleri ve yalın duvar ve epoksi ile tamir edilen duvara göre değişim yüzdeleri verilmiştir.

Çizelge 6.10 : Seri I Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması

SERİ I ORTALAMA DENEY SONUÇLARI KIYASLAMASI							
Numune	Kırılma Yükü (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	38.83	204	242.72	2801.85	137.78	1515.20	
HTŞ	25.33	41.63	123.57	492.18	55.11	229.61	
ÇŞ	29.33	91	158.87	1194.45	79.61	620.51	
TŞ	20.50	35.17	80.94	400.28	25.54	178.46	
YD	11.33	7.03	-	-	-30.62	-47.19	
HEYD	16.33	12.63	44.13	79.66	-	-	

Şerit GFRP ile güçlendirilmeden önce hasar verilerek onarılmış numunelerden çift taraflı güçlendirilen numunelerin ortalama dayanımları yalın duvar numunelerinin ortalama dayanımlarına göre %243 oranında artış göstermiş, tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise bu oran %123 olmuştur. Önceden hasar verilmeden güçlendirilen numunelerden çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerin ortalama dayanımları yalın duvar numunelerinin ortalama dayanımlarına göre %159 oranında artarken tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerde bu oran %81 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 6.5 : Seri I Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Kırılma Yükü Kıyaslama Grafiği

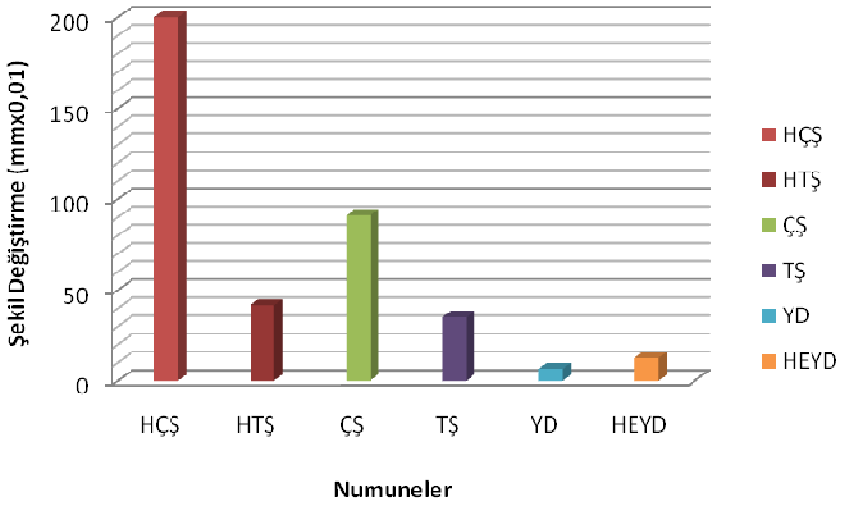
Seri I numuneleri arasında en yüksek kırılma yüküne sahip numune HÇŞ yani önceden hasar verilmiş çift taraflı şerit GFRP ile güçlendirilmiş olan numunedir. En düşük kırılma yüküne sahip olan numune ise TŞ yani hasarsız olarak tek taraflı şerit GFRP ile güçlendirilen numunedir. Şekil 6.5'te yalın tuğla duvarların (YD), önceden hasar verilen ve epoksi ile onarılan duvarların (HEYD) ve Seri I içindeki numunelerin kırılma yükleri ortalamasının kıyaslanması görülmektedir. Buna göre ister önceden hasar almış olsun, isterse hasarsız olsun numunelere çift taraflı olarak uygulanan güçlendirmenin numunelerin dayanımını kayda değer bir şekilde artırdığı görülmektedir. Tek taraflı güçlendirme ise numunelerin dayanımını olumlu yönde etkilemektedir. Çift taraflı yapılan güçlendirmelerde numune dayanımının yalın duvara göre 3 katına çıktığı, tek taraflı güçlendirmede ise bu oranın 2 kat civarında gerçekleştiği görülmüştür.

Gerek tek taraflı, gerekse çift taraflı güçlendirilen numunelerde önceden hasar verilmiş ve epoksi ile tamir edilmiş numuneler hasar verilmeden güçlendirilen numunelere göre daha fazla dayanım göstermiştir. Ayrıca bu numunelerdeki şekil değiştirme kapasiteleri de hasarsız numunelerden daha yüksek olmuştur. Bu numunelerde onarım için kullanılan epoksinin, numune dayanımına ve şekil değiştirme kapasitesine olumlu etkisi olmuştur. İlk yüklemede göçme seviyesine kadar yüklenen ve en zayıf kesitinden kırılarak göçen duvar numunesinin, duvarın göçmesine sebep olan en zayıf kesitinin dayanımı epoksi ile tamir edildikten sonra ilk dayanımına oranla daha yüksek olmuştur. Bu nedenle ikinci yüklemede numune ikinci en zayıf kesitin göçmesine kadar yük almaya devam etmiş ve ilkinden daha yüksek bir yükte göçmeye uğramıştır. Buna bağlı olarak da duvar numunesi daha fazla yük altında daha fazla şekil değiştirme davranışı göstermiştir. Bu durum Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'daki HÇŞ-ÇŞ ve HTŞ-TŞ numuneleri arasında görülmektedir.

Tek taraflı güçlendirmelerde taşıma kapasitesindeki artış çift taraflı numunelerdeki kadar yüksek değerde olmamıştır. Tek taraflı numunelerde duvarın bir yüzü oldukça rijit, diğer yüzü zayıf kalmakta ve bundan dolayı oluşan dışmerkezlik duvarda erken göçmeye neden olmaktadır.

Çizelge 6.10'da görüldüğü üzere yalın duvar tek taraflı olarak güçlendirildiğinde dayanım 1.8 katına çıkmaktadır. Yalnızca epoksi ile onarılmış olan numunelerin dayanımı (HEYD) önceden hasar verilip epoksi ile tamir edildikten sonra tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerin dayanımına (HTŞ) nispeten yakın olmaktadır. Yine

de tek taraflı güçlendirilen numunelerin % 55 daha fazla dayanım göstermesi, tuğla duvar numunelerinin tek taraflı güçlendirilmesinin bile duvar dayanımına önemli bir katkı sağladığını göstermektedir.



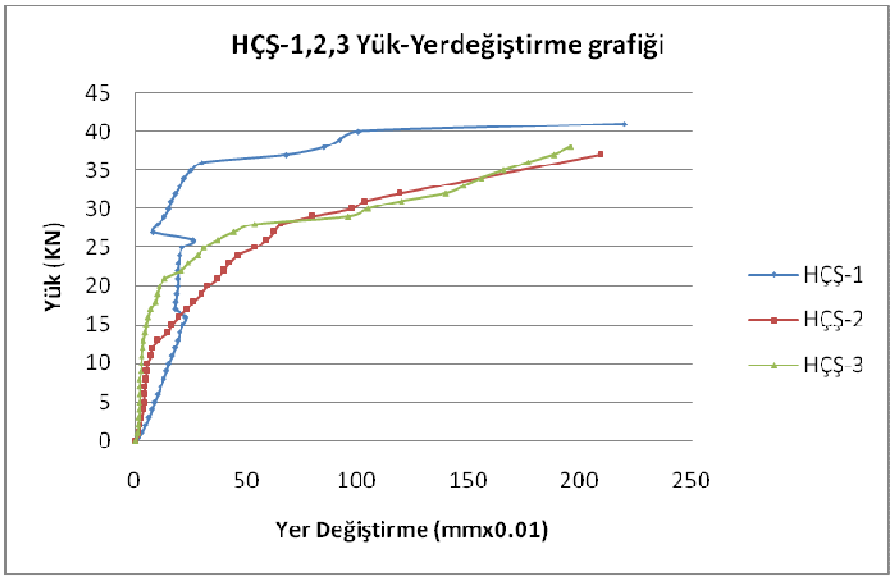
Şekil 6.6 : Seri I Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği

Seri I numunelerine ait yer değiştirmelerde de önemli ölçüde artış olmuştur, (Çizelge 6.10). Seri I içerisinde en yüksek şekil değiştirme kapasitesine sahip numune HÇŞ yani önceden hasar verilerek onarılmış çift taraflı şerit GFRP ile güçlendirilmiş numuneler olmuştur. Bu numunelerin yer değiştirme miktarları yalın duvar numunelerine göre 28 kat, yalnızca epoksi ile onarılmış numunelere göre (HEYD) 12 kat artmıştır. Önceden hasar verilip tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerin ortalama yer değiştirme miktarı yalın duvar numunelerine göre 5 kat, yalnızca epoksi ile onarılmış numunelere göre (HEYD) 2.3 kat artmıştır. Hasar verilmeden güçlendirilen duvar numunelerinin ise yalın duvar numunelerine göre ortalama yer değiştirme miktarlarında çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerde 12 kat, tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerde ise 4 katlık bir artış gerçekleşmiştir.

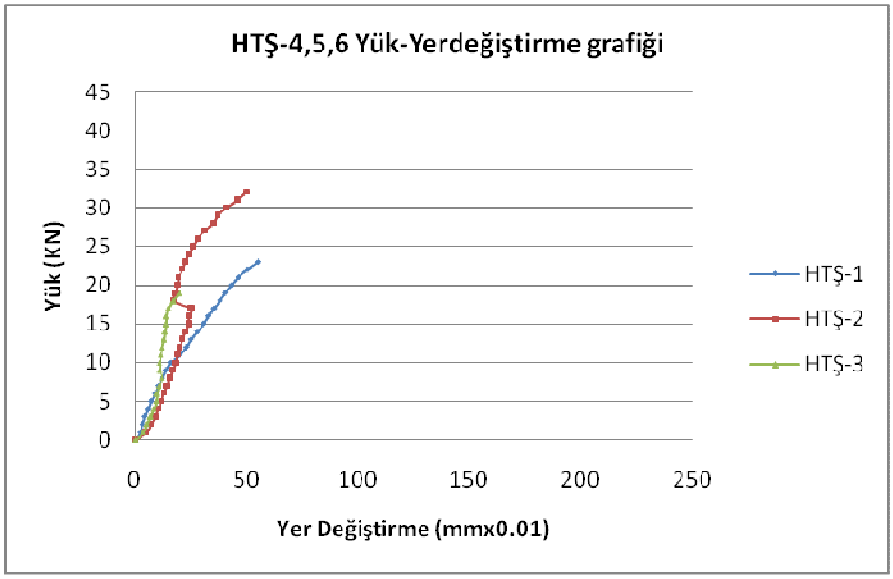
Yapılan deneylerde elde edilen verilere göre, özellikle çift yönlü olarak güçlendirilen numunelerin dayanımlarında ve yer değiştirme kapasitelerinde önemli ölçüde artış meydana geldiği görülmüştür. Bu nedenle bu güçlendirme yönteminde kompozit malzemenin oldukça sünek bir davranış gösterdiği söylenebilir, (Şekil 6.6).

Hasar verilip epoksi ile onarıldıktan sonra çift yönlü ve tek yönlü olarak güçlendirilmiş olan numunelerin yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 6.7 ve Şekil

6.8'de verilmiştir. Seri I'in tüm numunelerine ait karşılaştırmalı yük-yer değiştirme grafiği Şekil B.1'de görülebilir.

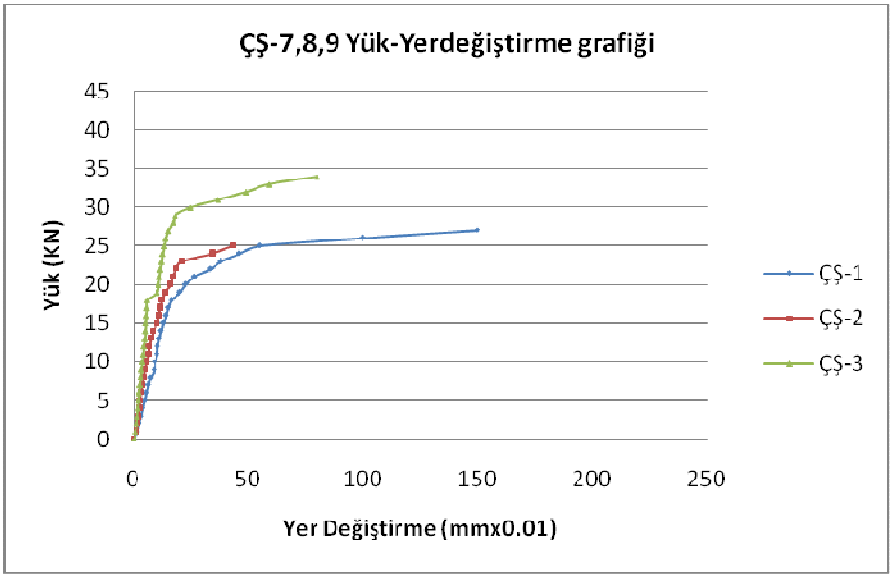


Şekil 6.7 : HÇŞ-1,2,3'ün Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

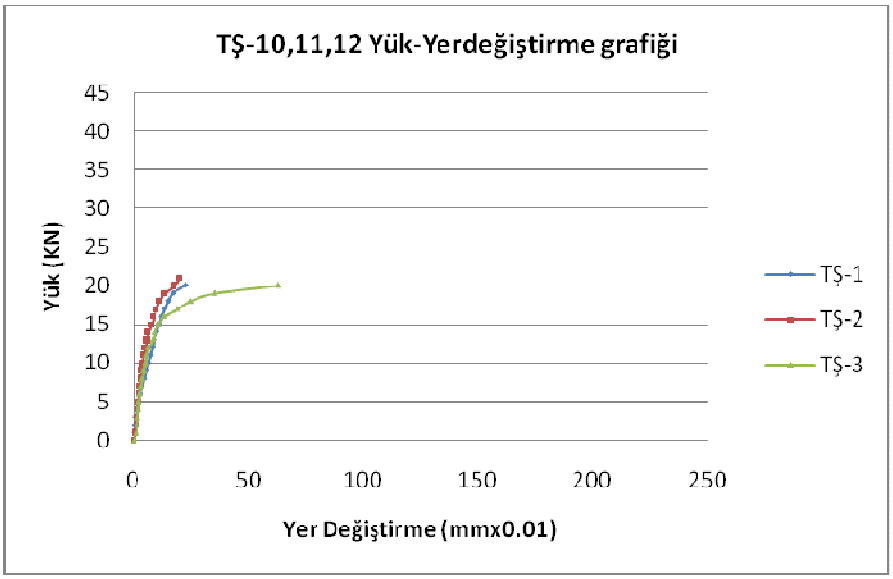


Şekil 6.8 : HTŞ-4,5,6'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

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



Şekil 6. 9 : ÇŞ-7,8,9'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil 6.10 : TŞ-10,11,12'nin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Duvar numunelerinin tipik göçme şekilleri Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de görülmektedir. Numunelerde göçme öncesinde güçlendirilen bölgeler dışında çatlaklar oluşmuştur. Kırılma ve çatlaklar basınç ekseni boyunca yani duvar numunesinin köşegenine yakın bir eksende oluşmuştur. Genelde GFRP malzemesinin yüzeyden tuğla koparak ayrıldığı görülmüştür. Zaman zaman duvar numunesinin bir tarafı GFRP'den ayrılarak parçalanmıştır. Ancak hiçbir numunede tamamen ayrılma görülmemiştir. Yalın duvarlarda oluşan ani kırılmayla beraber

duvarın tamamen parçalanması durumu, güçlendirilen numunelerde oluşmamıştır. GFRP malzemesi duvar numunesinin parçalanmaksızın bir arada kalmasını sağlamıştır.



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 GFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri II)

Seri II'de birden fazla şeritler halinde hazırlanmış dokuma GFRP malzemesi kullanılarak takviye edilmiş 12 adet tuğla duvar numunesi bulunmaktadır. Bu bölümde Seri I'de uygulanan güçlendirme metodunun aynısı numune yüzeyine GFRP malzemesinin tek bir şerit yerine birden fazla şerit halinde numune yüzeyine aralıklarla yapıştırılmasıyla tekrarlanmıştır. Seri I'deki ile aynı şekilde numunelerden 6 adedi önceden hasar verilerek epoksi ile tamir edildikten sonra güçlendirilmiş, 6 adedi ise hasar verilmeden güçlendirme işlemine tabi tutulmuştur. Onarılan 6 adet hasarlı numunenin 3 adedinin tek yüzlerine, 3 adedinin ise çift yüzlerine şerit güçlendirme uygulanmıştır. Hasarsız olarak güçlendirilen 6 adet numunenin de 3 adedinin tek yüzlerine 3 adedinin ise çift yüzlerine şerit güçlendirme uygulanmıştır. Buradaki amaç uygulanan GFRP malzemesinin numune yüzeyinde daha geniş bir alana yayıldığında numune dayanımının ve davranışının nasıl etkilendiğini araştırmaktır. Ayrıca ayrık şeritle güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin deprem karşısında göstereceği davranışın temsil edilmesi amaçlanmıştır.

Seri II numunelerinin deney sonucundaki maksimum kırılma yükleri ve ortalama kırılma yükleri Çizelge 6.11'de verilmiştir. Numunelere ait yer değiştirmeler ise Çizelge 6.12'de sunulmuştur. Seri II numunelerinin genel özellikleri Çizelge 6.2.'de verilmiştir.

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

SERİ II-KIRILMA YÜKLERİ		
Numune No	Kırılma Yükü (KN)	Ort. Kırılma Yükü (KN)
HÇAŞ-13	37.5	34
HÇAŞ-14	33.5	
HÇAŞ-15	31	
HTAŞ-16	20	22.17
HTAŞ-17	22	
HTAŞ-18	24.5	
ÇAŞ-19	30	30.33
ÇAŞ-20	32.5	
ÇAŞ-21	28.5	
TAŞ-22	18.5	16.17
TAŞ-23	18.5	
TAŞ-24	11.5	

Seri II'deki numunelerin de Seri I'dekiler gibi dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerinde önemli ölçüde artış kaydedilmiştir.

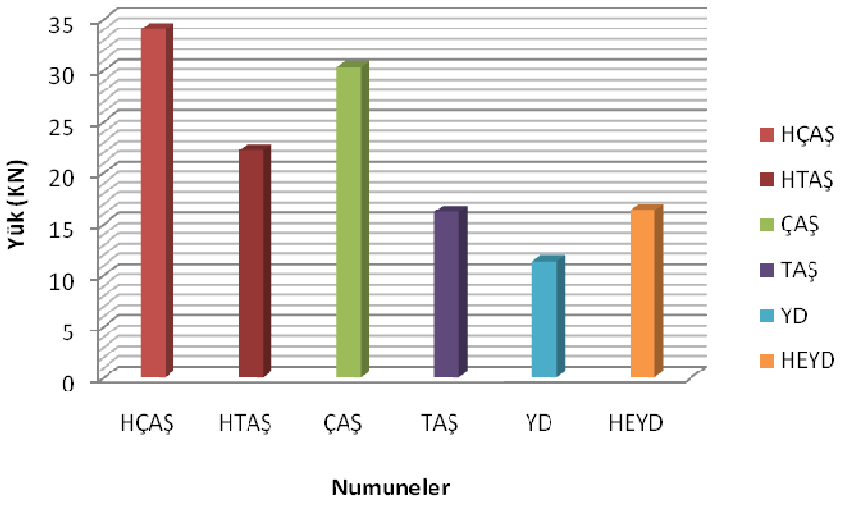
Çizelge 6.12 : Seri II Tuğla Duvar Numunelerinin Max. ve Ortalama Yerdeğiştirmeleri

SERİ II-YERDEĞİŞTİRME MİKTARI		
Numune No	Yerdeğiştirme (mm x 0.01)	Ort. Yerdeğiştirme(mm x 0.01)
HÇAŞ-13	190	246.66
HÇAŞ-14	200	
HÇAŞ-15	350	
HTAŞ-16	90	61.43
HTAŞ-17	53.3	
HTAŞ-18	41	
ÇAŞ-19	225	225
ÇAŞ-20	250	
ÇAŞ-21	200	
TAŞ-22	32	22.83
TAŞ-23	12.3	
TAŞ-24	24.2	

Çizelge 6.13 : Seri II Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması

SERİ II ORTALAMA DENEY SONUÇLARI KIYASLAMASI							
Numune	Kırılma Yükü (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	34	246.66	200.09	3598.05	108.21	1852.97	
HTAŞ	22.17	61.43	95.68	820.99	35.76	386.38	
ÇAŞ	30.33	225	167.70	3273.31	85.73	1681.47	
TAŞ	16.17	22.83	42.72	242.28	-0.98	80.76	
YD	11.33	6.67	-	-	-30.62	-47.19	
HEYD	16.33	12.63	44.13	89.36	-	-	

Ayrık Şerit GFRP ile güçlendirilmeden önce hasar verilerek onarılmış numunelerden çift taraflı güçlendirilen numunelerin ortalama dayanımları yalın duvar numunelerinin ortalama dayanımlarına göre %200 oranında artış göstermiş, tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise bu oran %96 olmuştur. Önceden hasar verilmeden güçlendirilen numunelerden çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerin ortalama dayanımları yalın duvar numunelerinin ortalama dayanımlarına göre %168 oranında artarken tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerde bu oran %43 olarak gerçekleşmiştir. Önceden hasar verilip onarıldıktan sonra çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerin ortalama dayanımı epoksi ile onarılan numunelere göre %108 artmış, tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise artış %36 olarak gerçekleşmiştir. Hasarsız olarak çift taraflı güçlendirilen numunelerin ortalama dayanımı epoksi ile onarılan numunelerin ortalama dayanımına göre %86 artmış, tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise dayanım epoksi ile onarılan numunelerin ortalama dayanımına yaklaşık olarak eşit olmuştur. Buna göre hasarlı veya hasarsız olsun çift taraflı ayrık şerit GFRP ile güçlendirilen numunelerin dayanımında önemli ölçüde artış meydana geldiği görülmüştür. Seri II kapsamındaki numunelerin ortalama dayanımlarının yalın ve epoksi ile güçlendirilmiş tuğla duvar numunelerinin ortalama dayanımlarıyla kıyaslanması Çizelge 6.13'de verilmiştir.



Şekil 6.13 : Seri II Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Kırılma Yükü Kıyaslama Grafiği

Seri II numuneleri arasında en yüksek kırılma yüküne sahip numune HÇAŞ yani önceden hasar verilmiş çift taraflı ayrık şerit GFRP ile güçlendirilmiş olan numunedir. En düşük kırılma yüküne sahip olan numune ise TAŞ yani hasarsız olarak tek taraflı ayrık şerit GFRP ile güçlendirilen numunedir. Şekil 6.13'de verilen yalın duvar (YD), epoksi ile tamir edilen duvar (HEYD) ve Seri II numunelerinin kırılma yükleri kıyaslamasına göre çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerin dayanımlarında önemli ölçüde artış gerçekleşmiştir. Tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerin dayanımında ise dikkate değer bir artış görülmüştür. Çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerde numune dayanımı yalın tuğla duvar numunelerinin 2.5-3 katına, tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerde ise 1.5-2 katına çıkmıştır.

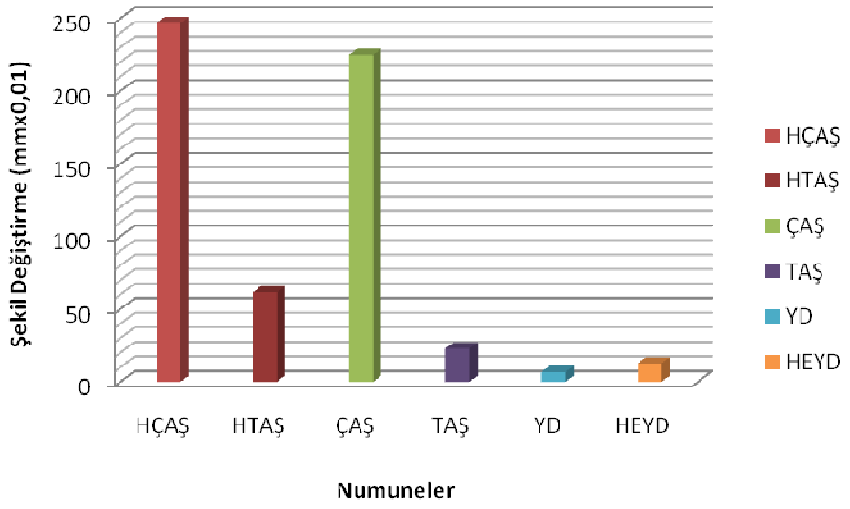
Gerek tek taraflı numunelerde, gerekse çift taraflı numunelerde önceden hasar verilmiş ve epoksi ile tamir edilmiş numuneler hasarsız olan numunelere göre daha fazla dayanım göstermiştir. Seri I ile kıyaslandığında Seri II'deki güçlendirme şeklinin yani şeritlerin dağınık ve küçük parçalar halinde uygulanmasının numunelerin dayanımını daha az artırdığı görülmüştür.

Seri I'de olduğu gibi Seri II'de de tek taraflı güçlendirilen numunelerdeki dayanım artışı çift taraflı güçlendirilmiş numunelere göre daha düşük düzeyde gerçekleşmiştir. Bunun nedeni daha önce de belirtildiği gibi tek taraflı güçlendirmenin oluşturduğu dışmerkezlik etkisinin numunelerde erken göçmeye neden olmasıdır.

Şekil 6.13'den görülebileceği üzere önceden hasar verilmemiş yalın duvar tek taraflı takviye edildiğinde dayanım 1.5 katına çıkmaktadır. Hasara uğramış duvar epoksi ile

onarıldığında da dayanım 1.5 katına çıkarken, benzer duvar tek taraflı güçlendirildiğinde dayanım 2 katına çıkmaktadır.

Bu seride de önceden hasar verilerek epoksi ile onarılan numuneler hasarsız olarak güçlendirilen numunelere göre daha fazla dayanım göstermiştir. Bu etki, epoksi ile onarımın numunelerin dayanımına olan katkısından dolayı gerçekleşmiştir.

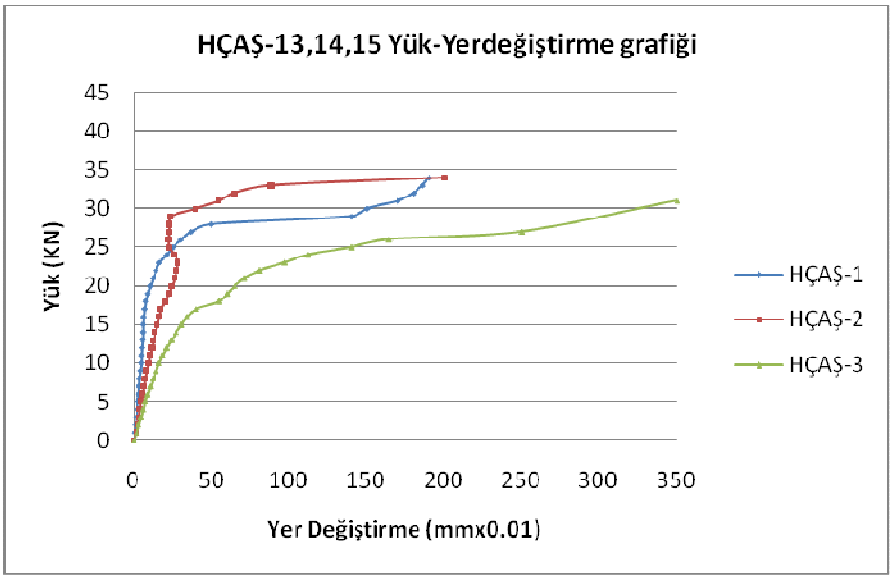


Şekil 6.14 : Seri II Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği

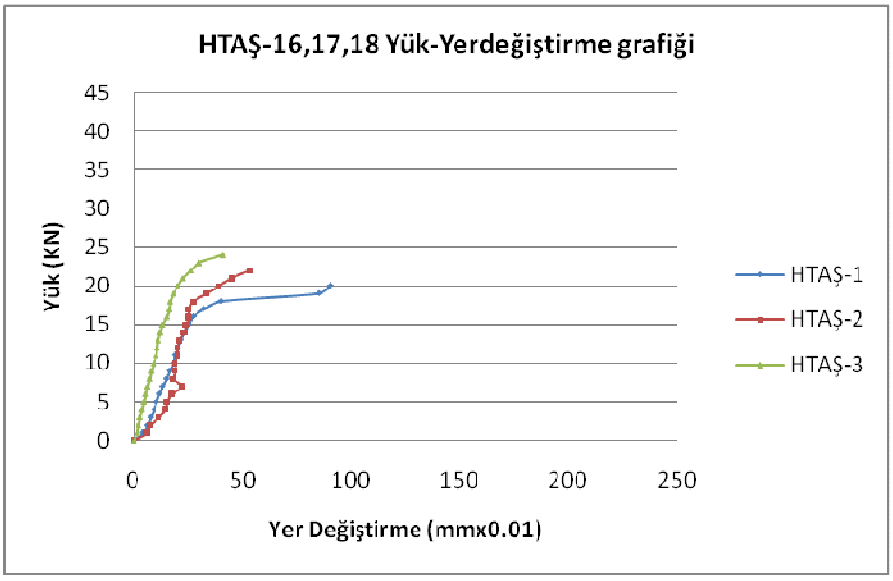
Seri II numunelerine ait ortalama yer değiştirmelerde de önemli ölçüde artış olmuştur, (Çizelge 6.13). Seri II içerisinde en yüksek şekil değiştirme kapasitesine sahip numune HÇAŞ yani önceden hasar verilerek onarılmış çift taraflı şerit GFRP ile güçlendirilmiş numuneler olmuştur. Hasarsız olarak güçlendirilen numuneler (ÇAŞ) de HÇAŞ'ye yakın bir değerde şekil değiştirmiştir. Önceden hasar verilip onarıldıktan sonra çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerin yalın tuğla duvar numunelerine göre ortalama şekil değiştirme kapasitesi 24.2 kat, tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerin ise 8.2 kat artmıştır. Hasarsız olarak güçlendirilen numunelerden çift taraflı olanlarının ortalama dayanımları 23.3 kat artarken tek taraflı olanların dayanımları ise 2.4 kat artmıştır. Buna göre ayrık şerit GFRP ile güçlendirilen numunelerin yer değiştirme kapasitesinin ve sünekliğinin oldukça arttığı belirlenmiştir, (Çizelge 6.13).

Gerek hasarlı gerek hasarsız olsun çift taraflı güçlendirilen numunelerin hem dayanım hem de şekil değiştirme bakımından tek taraflı güçlendirilen numunelere göre daha yüksek kapasiteye sahip oldukları görülmüştür.

Hasar verilip epoksi ile onarıldıktan sonra çift yönlü ve tek yönlü olarak güçlendirilmiş olan numunelerin yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da verilmiştir. Seri II'nin tüm numunelerine ait karşılaştırmalı yük-yer değiştirme grafiği Şekil B.2'de görülebilir.

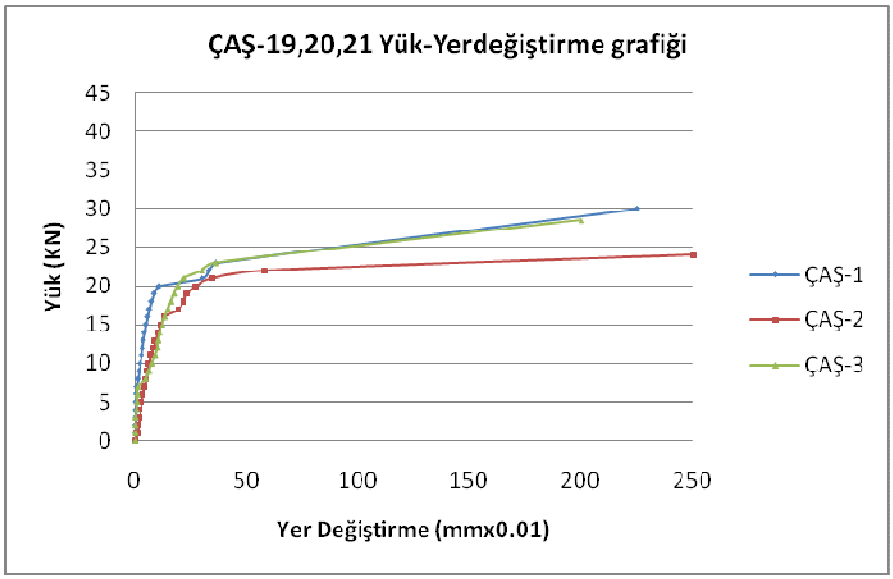


Şekil 6.15 : HÇAŞ–13,14,15'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

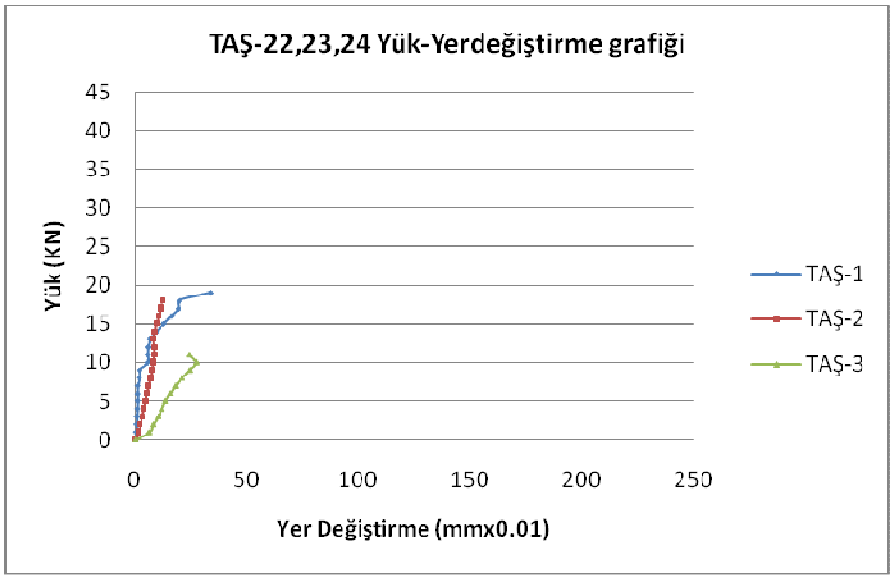


Şekil 6.16 : HTAŞ–16,17,18'in Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Seri II' de hasar verilmeden çift yönlü ve tek yönlü olarak güçlendirilen numunelerin yük-yer değiştirme 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

Duvar numunelerinin tipik göçme şekilleri Şekil 6.19 ve Şekil 6.20'de görülmektedir. Seri II'de de Seri I'dekine benzer şekilde FRP uygulanan bölümlerde çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Bazı numunelerde FRP şeritlerinin numune yüzeyinden bir tuğla tabakası koparak ayrıldığı görülmüştür. Bazı numunelerde yükleme ekseninde boydan boya çatlaklar oluşmuş bazı numunelerde ise tuğlalar,

duvar numunesi kalınlığı boyunca yarılmıştır. Numunelerde çatlama ve açılmalar olmasına rağmen, gerek tek taraflı gerekse çift taraflı güçlendirilen numunelerde tamamen dağılma ve parçalanma olmamıştır.



Şekil 6.19 : Seri II Numunesinin Kırılma Mekanizması



Şekil 6.20 : Seri II Numunesinin Yükleme Sonrası Görünüşü

6.5. Tuğla Duvar Numunelerinin Tüm Yüzey GFRP ile Güçlendirilme Deneyi Sonuçları (Seri III)

Seri III'de tuğla duvar numunelerine dokuma GFRP kullanılarak numune yüzeyinin tamamına güçlendirme uygulanmıştır. Dokuma GFRP malzemesinin lifleri çekme doğrultusunda olacak şekilde tuğla duvar numunesinin yüzeyine epoksi ile yapıştırılmıştır. 12 adet duvar numunesinin 6 adedi önceden hasar verilip onarıldıktan sonra, 6 adedi ise hasar verilmeden güçlendirilmeye tabi tutulmuştur. Hasarlı ve hasarsız numunelerin 3'er adedinin tek yüzlerine 3'er adedinin ise çift yüzlerine güçlendirilme uygulanmıştır. Bu seride güçlendirmenin duvar yüzeyinin tamamını kapsaması durumunda dayanımın ve şekil değiştirmenin ne ölçüde etkileneceği araştırılmıştır.

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

SERİ III-KIRILMA YÜKLERİ		
Numune No	Kırılma Yükü (KN)	Ort. Kırılma Yükü (KN)
HÇD-25	70	58.67
HÇD-26	52	
HÇD-27	54	
HTD-28	42	35.17
HTD-29	33.5	
HTD-30	30	
ÇD-31	45.5	42.33
ÇD-32	41.5	
ÇD-33	40	
TD-34	18.5	20.5
TD-35	22.5	
TD-36	20.5	

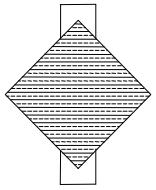
Çizelge 6.15 : Seri III Tuğla Duvar Numunelerinin Max.ve Ortalama Yerdeğiştirmeleri

SERİ III-YERDEĞİŞTİRME MİKTARI		
Numune No	Yerdeğiştirme (mm x 0.01)	Ort. Yerdeğiştirme(mm x 0.01)
HÇD-25	227	282.33
HÇD-26	250	
HÇD-27	370	
HTD-28	73	51.17
HTD-29	30.5	
HTD-30	50	
ÇD-31	123	105.67
ÇD-32	87	
ÇD-33	107	
TD-34	24	25.67
TD-35	13	
TD-36	40	

Seri III kapsamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen kırılma yükleri ve ortalama değerleri Çizelge 6.14'de, yer değiştirmeler ve ortalama değerleri ise Çizelge 6.15'de verilmiştir. Seri III'ün genel özellikleri ise Çizelge 6.3'de verilmiştir.

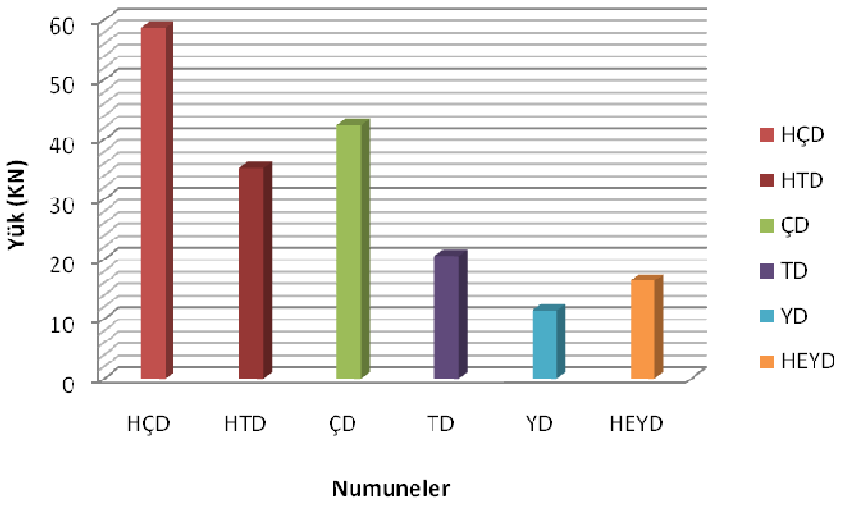
Diğer serilerle kıyaslandığında gerek tek taraflı gerekse çift taraflı uygulamalarda en yüksek dayanım değerlerine Seri III'de ulaşılmıştır. Güçlendirmede uygulanabilecek bir yöntemdir. Ancak fayda/maliyet açısından değerlendirilerek kullanılan malzemeye göre ne kadar fayda sağladığı araştırılmalıdır. Ayrıca gerçek boyutlara daha yakın çalışmalar yapılarak gerçek yapıda nasıl davranacağıyla ilgili daha hassas sonuçlar elde edilmelidir.

Çizelge 6.16 : Seri III Ortalama Deney Sonuçları Kıyaslaması

SERİ III ORTALAMA DENEY SONUÇLARI KIYASLAMASI							
Numune	Kırılma Yükü (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
HÇD	58.67	282.33	417.83	4132.83	259.28	2135.39	
HTD	35.17	51.17	210.41	667.17	115.37	305.15	
ÇD	42.33	105.67	273.61	1484.26	159.22	736.66	
TD	20.5	25.67	80.94	284.86	25.54	103.25	
YD	11.33	6.67	-	-	-30.62	-47.19	
HEYD	16.33	12.63	44.13	89.36	-	-	

Önceden hasar verilip onarılmış olan, çift yüzü güçlendirilen model tuğla duvarların dayanımı yalın model duvarlara göre % 418 artmıştır. Hasarlı tek yüzü güçlendirilen model duvarların dayanımı ise yalın duvar numunelerine göre %210 artış göstermiştir. Hasar verilmeden güçlendirilen numunelerden, yalın duvar numunelerine göre, çift taraflı güçlendirilen numunelerin dayanımı %274, tek taraflı güçlendirilen numunelerin dayanımı ise %81 oranında artmıştır, (Çizelge 6.16). Seri III kapsamındaki model duvar numunelerinin tamamının ortalama dayanımları Şekil 6.21'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

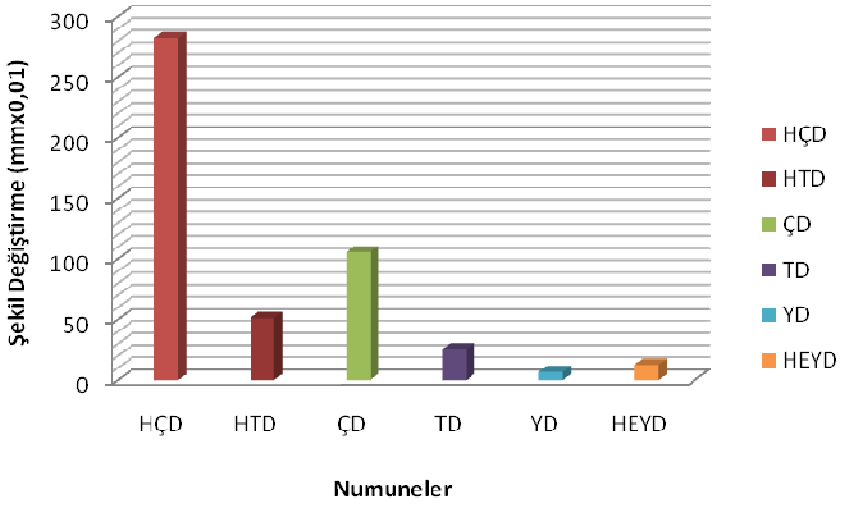
Önceden hasarlı, çift yüzü güçlendirilen numunelerin yalın duvar numunelerine göre ortalama yer değiştirmeleri 41 kat, tek yüzü güçlendirilen numunelerin ise 7 kat artmıştır. Hasarsız olan model duvarların dayanımı ise yalın duvar numunelerine göre, çift yüzü güçlendirilen numunelerde 15 kat, tek yüzü güçlendirilen numunelerde 3 kat artmıştır, (Çizelge 6.16). Seri III kapsamındaki model duvarların ortalama şekil değiştirme değerleri Şekil 6.22'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.



Şekil 6.21 : Seri III Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Kırılma Yükü Kıyaslama Grafiği

Seri III kapsamında bulunan model duvarlardan en yüksek dayanıma sahip numune HÇD, yani önceden hasar verilip onarılmış, her iki yüzeyi tamamen dokuma GFRP ile güçlendirilmiş duvar numunesidir. En düşük dayanıma sahip numune ise TD, yani hasarsız olarak tek yüzeyi tamamen dokuma GFRP ile güçlendirilmiş duvar numunesi olmuştur. Şekil 6.21'de verilen yalın duvar (YD), tamirli duvar (HEYD) ve Seri III numunelerinin kırılma yükleri kıyaslamasına göre çift yüzeyi güçlendirilen numunelerin dayanımlarında önemli ölçüde artış gerçekleşmiştir. Tek yüzeyi güçlendirilen numunelerin dayanımında ise dikkate değer bir artış görülmüştür. Çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerde numune dayanımı yalın tuğla duvar numunelerinin 4-5 katına, tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerde ise 2-3 katına çıkmıştır.

Hem tek yüzü hem de her iki yüzü güçlendirilen numunelerde önceden hasar verilip tamir edilen model duvarların, hasarsız olarak güçlendirilenlere göre daha yüksek dayanım ve şekil değiştirme gösterdiği belirlenmiştir. En zayıf kesitinden göçmeye uğrayan numune, bu kesitinin güçlendirilmesiyle önceki durumundan daha yüksek bir dayanıma ve sünekliğe ulaşmaktadır.



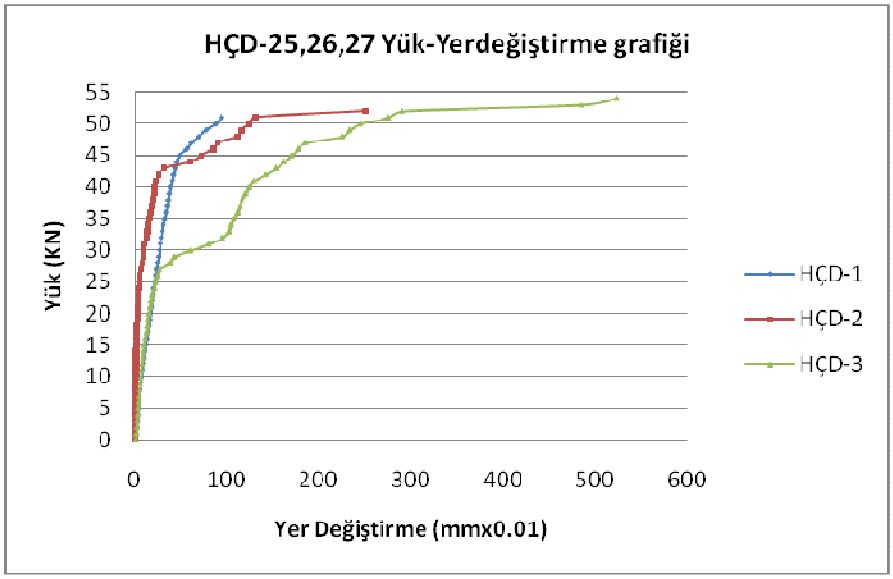
Şekil 6.22 : Seri III Numunelerinin Hasarlı-Hasarsız Yerdeğiştirme Kıyaslama Grafiği

Şekil 6.22'de Seri III kapsamındaki model duvarların ortalama yer değiştirme değerleri kıyaslaması görülmektedir. Yer değiştirmelerde, yalın duvar numunelerine kıyasla, önceden hasar verilmiş çift taraflı güçlendirilen model duvarlarda 41.3 kat, hasarlı tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise 6.7 kat artış meydana gelmiştir. Yine yalın duvar numunelerine kıyasla, hasar verilmeden çift taraflı olarak güçlendirilen numunelerde 14.8 kat, hasarsız tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise 2.8 kat artış olmuştur. Buna göre Seri III model duvarlarda uygulanan güçlendirme şeklinin dayanımla beraber yer değiştirmeyi de büyük oranda artırdığı ve duvar numunesinin sünek bir davranış göstermesini sağladığı belirlenmiştir. Özellikle çift taraflı güçlendirilen numunelerde sünekliğin artışı belirgin bir şekilde görülmektedir.

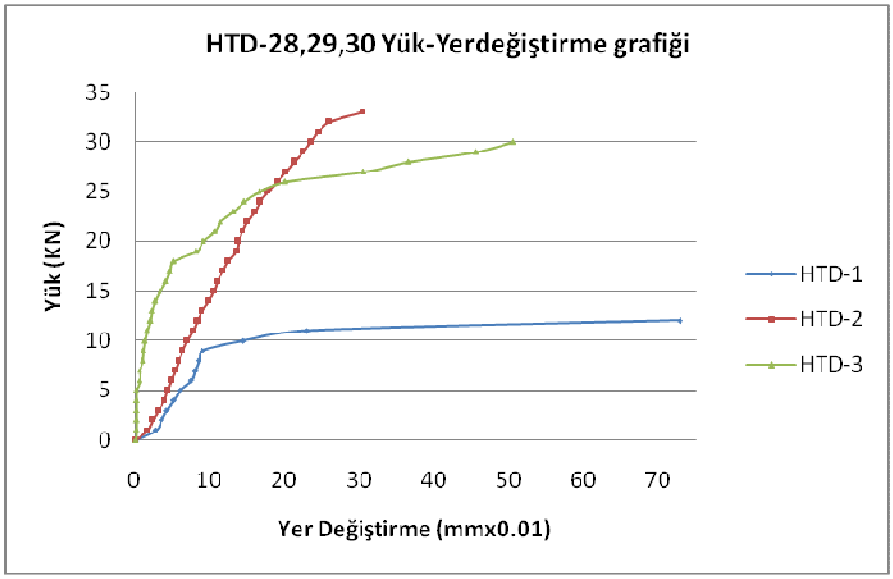
Uygulanan GFRP malzemesi ile tuğla duvar numunelerinin yüzeyinde oluşan aderansın oldukça kuvvetli olduğu numunelerdeki göçme mekanizmalarından anlaşılmaktadır. Duvar numuneleri eksenel yük altında genel olarak boylu boyunca enine yarılmış ve yüzeydeki GFRP malzemesine yapışmış olarak birbirinden ayrılmıştır.

Önceden hasar verilmiş numunelerin çift taraflı güçlendirme sonrasındaki yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 6.23'de, tek taraflı güçlendirme sonucundaki yük-yer

değiştirme grafiği ise Şekil 6.24'de verilmiştir. Seri III'ün tüm numunelerine ait yük-yer değiştirme grafiği Şekil B.3'te sunulmuştur.

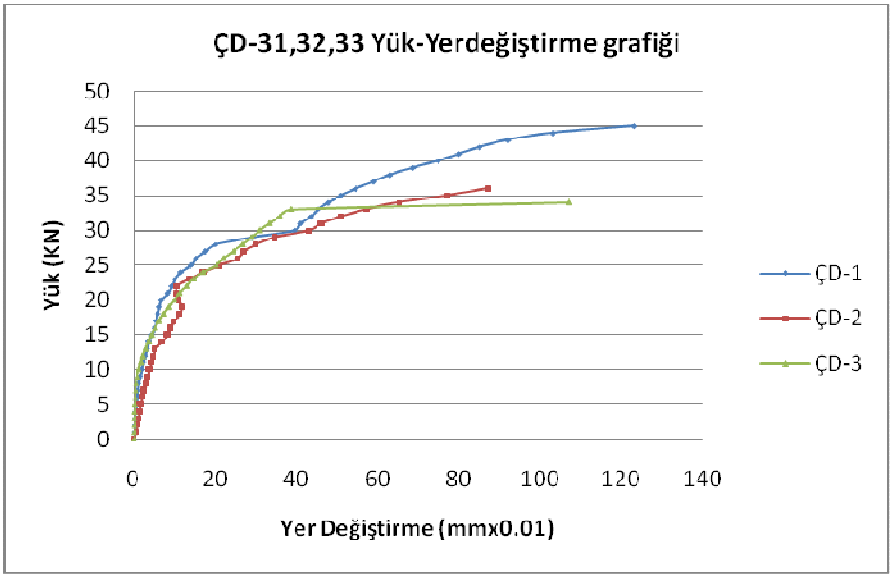


Şekil 6.23 : HÇD-25,26,27'nin Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

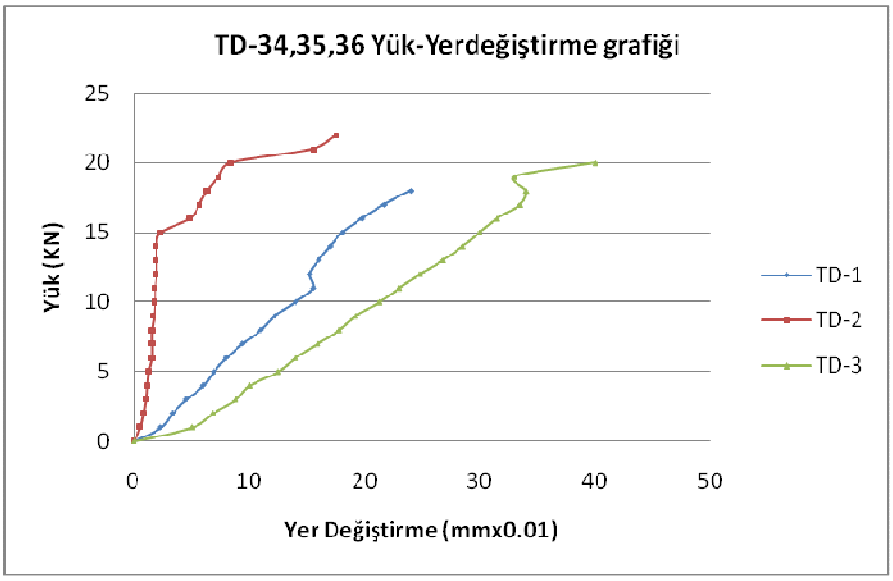


Şekil 6.24 : HTD-28,29,30'un Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Hasar verilmeden çift taraflı ve tek taraflı olarak güçlendirilen model duvarların yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da verilmiştir.



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



Şekil 6.26 : TD-34,35,36'nın Yük-Yerdeğiştirme Grafiği

Model duvarların tipik göçme şekilleri Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de görülmektedir. Göçme mekanizmalarına bakıldığında dokuma GFRP malzemesi ile tuğla duvar yüzeyi arasındaki aderansın oldukça kuvvetli olduğu anlaşılmaktadır. Bazı numunelerde göçme esnasında duvar numunesinin tuğla kalınlığı boyunca ikiye ayrıldığı gözlemlenmiştir. Duvar numunesini oluşturan tuğlalarda herhangi bir dağılma görülmemiştir.



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

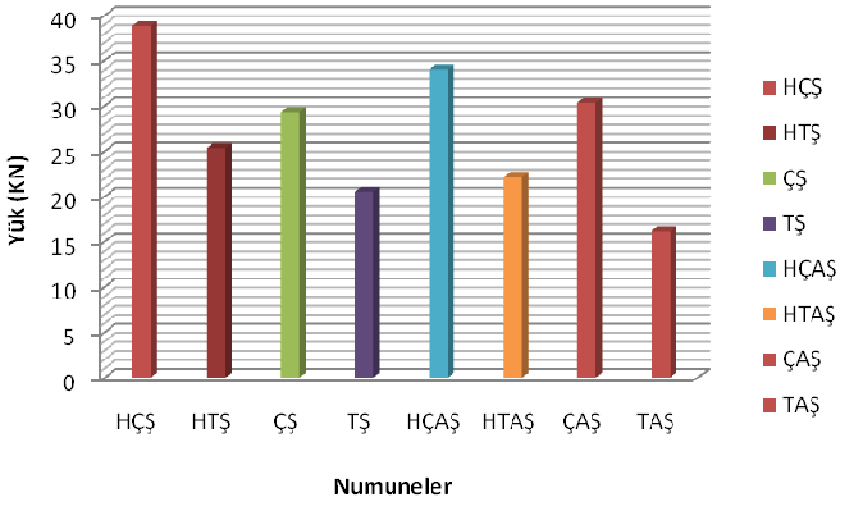
Tek bir şerit FRP ile güçlendirilen Seri I numuneleri ile toplam şerit genişliği aynı kalmak suretiyle biri kalın ikisi ince olmak üzere üç şeritten oluşan ayrık şeritlerle güçlendirilen Seri II numunelerinin dayanım ve yer değiştirme kıyaslamasını içeren sonuçlar Çizelge 6.17'de verilmiştir.

Çizelge 6.17 : Seri I ve Seri II Ortalama Deney Verileri

SERİ I ve SERİ II KIYASLAMASI			
Seri No	**Numune**	**Kırılma Yükü (KN)**	**Dep. (mm x 0.01)**
Seri I	**HÇŞ**	38.83	204
	HTŞ	25.33	41.63
	ÇŞ	29.33	91
	TŞ	20.50	35.17
Seri II	**HÇAŞ**	34.00	246.66
	HTAŞ	22.17	61.43
	ÇAŞ	30.33	225
	TAŞ	16.17	22.83

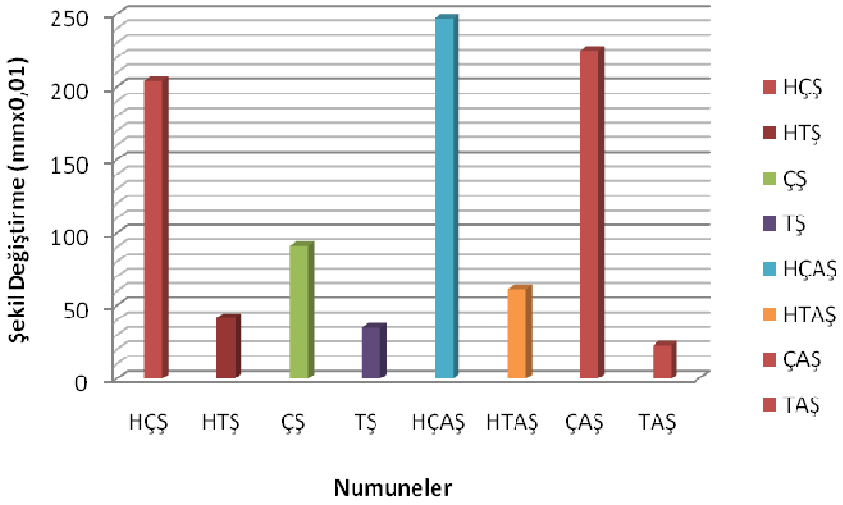
Çizelgede görüldüğü üzere önceden hasar verilmiş çift taraflı güçlendirilen duvar numunelerinin ortalama dayanımı Seri II'ye göre Seri I'de %13 yüksek olmuştur. Önceden hasar verilmiş numunelerden tek taraflı güçlendirilenlerinde ise, Seri I numuneleri Seri II numunelerine göre %14 daha fazla dayanım göstermiştir. Seri I'deki duvar numunelerinin dayanımının Seri II numunelerine kıyasla yüksek

çıkmasında, Seri II güçlendirilmesinde uygulanan ayrık şeritlerden ince olanlarının, eksenel basınç yükü altında burkularak, model duvar yüzeyinden erken ayrılması rol oynamıştır. Aderans yetersizliği nedeniyle yüzeyden ayrılan şeritler taşıma gücünü kaybetmiş, böylece numune dayanımları beklenen değerlerin altında gerçekleşmiştir. Yalnızca, hasarsız çift taraflı olarak güçlendirilen model duvarlarda, Seri II numuneleri daha yüksek bir dayanım göstermiştir. Burada da numune dayanımlarının birbirine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Buna göre; depremde hasar görmüş olan taşıyıcı duvarlarda çift ve tek taraflı şerit GFRP ile güçlendirmenin uygulanması hem yüksek dayanım, hem düşük maliyet, hem de uygulama kolaylığı nedeniyle tercih edilebilir. Hasar görmemiş numunelerden çift taraflı güçlendirilenlerinde, birden fazla şerit kullanmak tek bir şerit kullanmaya göre dayanım farkı oluşturmamakla birlikte, tek şerit kullanılmasına göre 2.5 katlık bir şekil değiştirme kapasitesine ulaşmıştır. Genel olarak Seri I'deki güçlendirme şekli, duvarlara daha yüksek mukavemet kazandırmasından ve kullanılan malzeme miktarının daha az olmasından dolayı daha faydalı bulunmuştur. Bununla beraber ayrık şerit uygulamasında, GFRP şeritlerinin duvar yüzeyine aderansını artıracak ve burkulmasını zorlaştıracak (şeritlerin duvara ankre edilmesi, şerit kalınlığının artırılması vs.) önlemler alınarak, ayrık şerit ile güçlendirme uygulamasından daha başarılı sonuçlar alınacağı düşünülmektedir. Seri I ve Seri II kapsamındaki model duvarların dayanım kıyaslaması grafiksel olarak Şekil 6.29'da gösterilmiştir.



Şekil 6.29 : Seri I ve Seri II Kırılma Yükü Kıyaslaması

İki seri arasında en yüksek göçme yüküne ulaşan duvar numuneleri 38.33 KN ile HÇŞ, yani önceden hasar verilmiş çift taraflı şerit GFRP ile güçlendirilen numuneler olmuştur. En düşük göçme yüküne sahip duvar numuneleri ise 16.17 KN ile TAŞ, yani hasarsız tek taraflı ayrık şerit GFRP ile güçlendirilen numuneler olmuştur. Önceden hasar verilerek onarılmış numunelerin güçlendirme sonrası dayanımları, hasarsız olarak güçlendirilen numunelerin dayanımlarına göre ortalama %25 daha yüksektir. Her iki seride de çift taraflı olarak güçlendirilen duvar numunelerinin dayanımları, tek taraflı olarak güçlendirilen numunelerin dayanımlarının ortalama 1.5 katı kadar gerçekleşmiştir.



Şekil 6.30 : Seri I ve Seri II Yerdeğiştirme Kıyaslaması

İster hasarlı olsun ister hasarsız olsun çift taraflı olarak güçlendirilen model duvarların şekil değiştirme kapasiteleri ve dolayısıyla süneklikleri oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Seri II kapsamında ayrık şerit GFRP ile güçlendirilen model duvarların şekil değiştirme kapasiteleri şerit GFRP ile güçlendirilen Seri I numunelerine göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Buna göre duvar numuneleri, Seri I ile Seri II arasında, Seri I lehine oluşan dayanım farkına karşın, şekil değiştirme kapasiteleri açısından Seri II lehine bir davranış göstermektedir.

6.7 Seri I Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

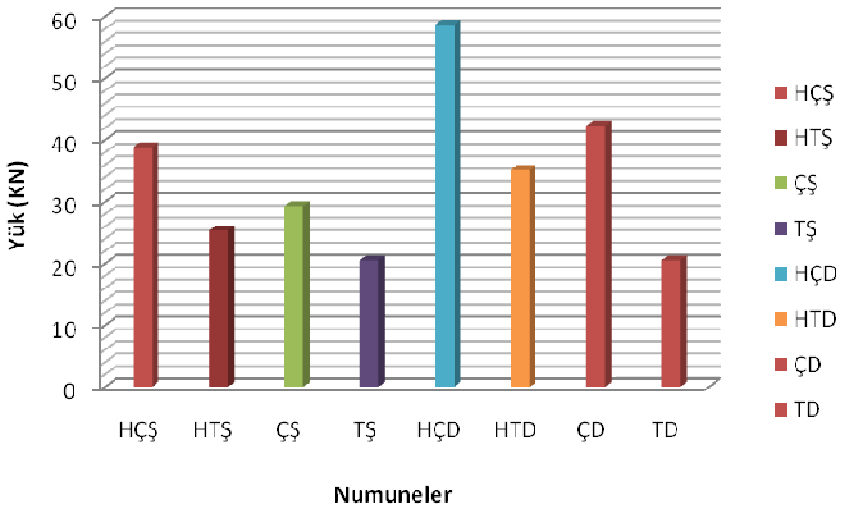
Şerit GFRP (Seri I) ile güçlendirilen model duvarlarla, tüm yüzey GFRP ile güçlendirilen model duvarların eksenel yük altında deneye tabi tutulması sonucunda

elde edilen göçme dayanımı ile yatay ve düşey yükün bileşimi olan eksenel yüke bağlı yer değiştirme verilerinin kıyaslaması Çizelge 6.18'de verilmiştir.

Çizelge 6.18 : Seri I ve Seri III Ortalama Deney Verileri

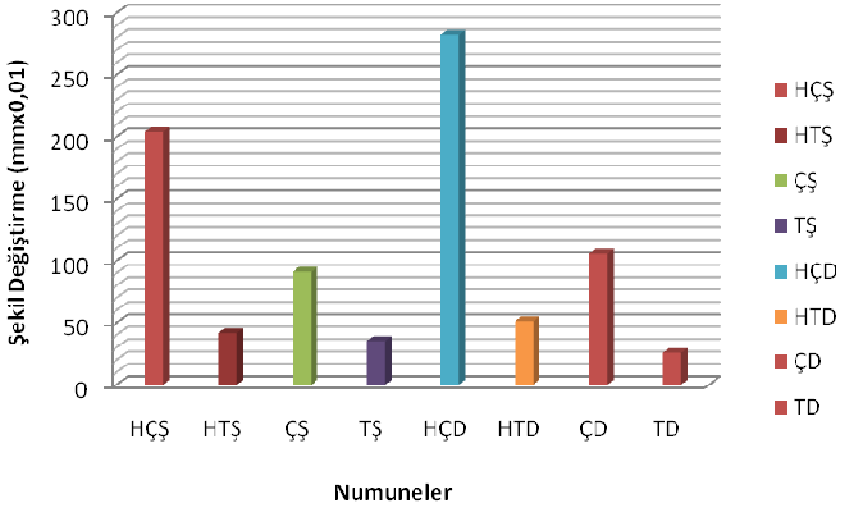
SERİ I ve SERİ III KIYASLAMASI			
Seri No	**Numune**	**Kırılma Yükü (KN)**	**Dep. (mm x 0.01)**
Seri I	**HÇŞ**	38.83	204
	HTŞ	25.33	41.63
	ÇŞ	29.33	91
	TŞ	20.50	35.17
Seri III	**HÇD**	58.67	282.33
	HTD	35.17	51.17
	ÇD	42.33	105.67
	TD	20.50	25.67

Seri I ile Seri III numunelerinin kıyaslamasına göre önceden hasar verilerek onarılmış model duvarların çift yüzünden güçlendirilenlerinin dayanımları Seri III'de Seri I'e göre %51 daha yüksek olmuştur. Hasarlı, tek yüzünden güçlendirilen numunelerde ise Seri III numuneleri Seri I'e göre %39 daha fazla dayanım göstermiştir. Seri III numuneleri Seri I numunelerine göre hasar verilmeden çift taraflı olarak güçlendirilen model duvarlarda, %44 daha fazla dayanım göstermiş, tek taraflı olarak güçlendirilen model duvarlarda ise Seri III ve Seri I numuneleri eşit dayanım göstermiştir. Bu durumda, hasarsız duvarların tek yüzünden güçlendirilmesinde, GFRP malzemesinin şerit şeklinde uygulanması ile duvar yüzeyinin tamamına uygulanmasında dayanım açısından bir fark olmamakla beraber malzeme kullanımı açısından şerit kullanılmasının daha ekonomik olacağı görülmektedir. Çift taraflı güçlendirmelerde tüm yüzey uygulamasının daha etkili bir güçlendirme olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca hasarlı ya da hasarsız olsun, duvarların çift taraflı güçlendirmelerinde, tek taraflı güçlendirme haline kıyasla dayanımın 1.5 ila 2 katına çıktığı görülmüştür. Epoksi ile tamir edilen hasarlı numunelerin dayanımları, önceki serilerdeki gibi, yine hasarsızlardan fazla olmuştur. Bu da, epoksi ile tamir etmenin duvar numunelerine eski dayanımlarından daha yüksek bir mukavemet kazandırdığını göstermektedir.



Şekil 6.31 : Seri I ve Seri III Kırılma Yükü Kıyaslaması

Seri I ve Seri III kapsamındaki model duvarların göçme yüklerinin kıyaslaması Şekil 6.31'de verilmiştir. Genel olarak Seri III numuneleri Seri I numunelerine göre daha iyi dayanım sergilemişlerdir. İki serinin numuneleri arasında en yüksek göçme yüküne HÇD, yani önceden hasar verilmiş, çift taraflı güçlendirilmiş numuneler ulaşmıştır. En düşük göçme yükünü ise TŞ, yani hasarsız olarak tek taraflı şerit GFRP ile güçlendirilmiş numuneler göstermiştir.



Şekil 6.32 : Seri I ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması

Seri I ve Seri III'deki model duvarların eksenel yük altındaki ortalama yer değiştirme değerlerinin kıyaslaması Şekil 6.32'de verilmiştir. Buna göre yer değiştirme değerleri dayanım değerleriyle paralel bir seyir göstermiştir. Yüksek dayanım gösteren numuneler aynı zamanda yüksek şekil değiştirme kapasitesine ulaşmıştır. Özellikle çift taraflı güçlendirilen numunelerde, göçme dayanımındaki yer değiştirme değerleri ve dolayısıyla süneklik oldukça artmıştır.

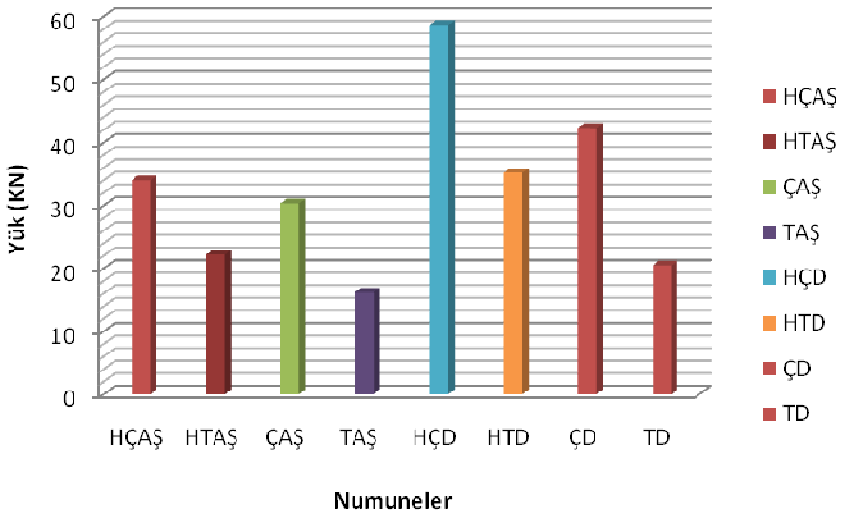
6.8 Seri II Sonuçlarının Seri III Sonuçlarına Göre Değerlendirilmesi

Ayrık Şerit GFRP (Seri II) ile güçlendirilen model duvarlarla, tüm yüzey GFRP ile güçlendirilen model duvarların eksenel yük altında deneye tabi tutulması sonucunda elde edilen göçme dayanımı ile yatay ve düşey yükün bileşimi olan eksenel yüke bağlı yer değiştirme verilerinin kıyaslaması Çizelge 6.19'da verilmiştir.

Çizelge 6.19 : Seri II ve Seri III Ortalama Deney Verileri

SERİ II ve SERİ III KIYASLAMASI			
Seri No	**Numune**	**Kırılma Yükü (KN)**	**Dep. (mm x 0.01)**
Seri II	**HÇAŞ**	34.00	246.66
	HTAŞ	22.17	61.43
	ÇAŞ	30.33	225
	TAŞ	16.17	22.83
Seri III	**HÇD**	58.67	282.33
	HTD	35.17	51.17
	ÇD	42.33	105.67
	TD	20.50	25.67

Seri II ile Seri III duvar numunelerinin kıyaslamasına göre önceden hasar verilerek onarılmış model duvarların çift yüzünden güçlendirilenlerinin dayanımları Seri III'de Seri II'ye göre %73 daha yüksek olmuştur. Hasarlı tek taraflı güçlendirilmiş olan model duvarlarda ise Seri III numuneleri %59 oranında yüksek dayanım sergilemiştir. Hasarsız numunelerin kıyaslamasına göre Seri III numuneleri Seri II numunelerinden, çift taraflı güçlendirmede %40, tek taraflı numunelerde ise %27 oranında fazla dayanıma sahiptir. Buna göre hasarlı duvar numunelerinde, hasarsız numunelere göre iki seri arasındaki dayanım farkı artmaktadır. Ayrıca çift taraflı güçlendirilen model duvarlarda da iki seri arasındaki dayanım farkı belirginleşmektedir.

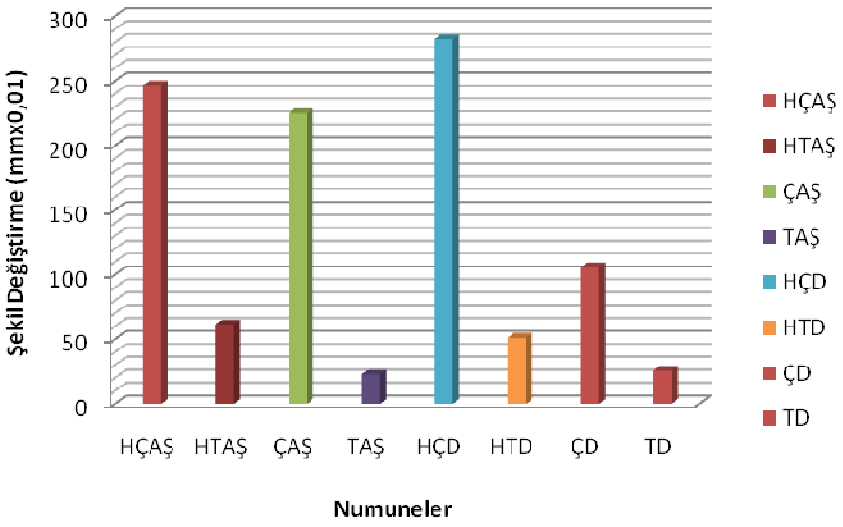


Şekil 6.33 : Seri II ve Seri III Kırılma Yükü Kıyaslaması

Seri II ve Seri III'deki model duvarların göçme yüklerinin kıyaslaması Şekil 6.31'de verilmiştir. Bütün güçlendirme şekilleri arasında en yüksek göçme yüküne Seri III kapsamında güçlendirilen numuneler ulaşmıştır. Bütün numuneler arasında en yüksek göçme yüküne ise HÇD, yani önceden hasar verilip, çift taraflı olarak tüm yüzeyinden GFRP ile güçlendirilen numuneler sahip olmuştur. En düşük göçme yüküne sahip numuneler ise TAŞ, yani hasar verilmeden tek taraflı ayrık şeritler ile güçlendirilen numuneler olmuştur.

İki seri arasındaki dayanım değerleri incelendiğinde, Seri III'deki güçlendirme uygulamasının Seri II'dekine göre çok daha etkili olduğu söylenebilir. Genel olarak Seri III'deki güçlendirme yönteminde, Seri II'deki güçlendirme yöntemine göre 1.5-2 katlık bir dayanım elde edildiği görülmektedir. Bu da yığma yapılarda bir taşıyıcı duvar için tüm yüzeyinden güçlendirilerek, çok büyük taşıma kapasitelerine ulaştırılabildiğini göstermektedir.

Şekil 6.34'de Seri II ve Seri III numunelerinin yer değiştirme kıyaslaması verilmiştir. Çift taraflı güçlendirilen numunelerin şekil değiştirme kapasitelerinin ve sünekliklerinin her iki seride de çok arttığı görülmektedir. İki seride de şekil değiştirmeler açısından birbirine yakın değerlere ulaşılmıştır.



Şekil 6.34 : Seri II ve Seri III Yerdeğiştirme Kıyaslaması

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yığma yapılardaki taşıyıcı tuğla duvarların dokuma GFRP malzemesiyle değişik form ve tipte güçlendirilmesinin incelendiği bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle, onarım ve güçlendirmeyle ilgili bazı genel saptamalar elde edilmiştir.

Dokuma GFRP malzemesiyle güçlendirilen model duvarlarda bu malzeme, hem basınç ve çekme çubukları şeklinde davranış göstererek yatay ve düşey dayanımı artırmış, hem de sargılayıcı-kuşatıcı davranış göstererek duvarların parçalanmasını ve dağılmasını önlemiştir. Yalın duvar numunelerinin tamamında gevrek ani kırılma ve parçalanmalar görülürken, GFRP ile güçlendirilen numunelerde parçalanma ve dağılma sınırlı kalmıştır. Güçlendirme sonrası yalın duvarların taşıma ve şekil değiştirme kapasitelerinde büyük artışlar meydana gelmiştir. Epoksi tamir harcıyla onarılan duvarlarda da kısmen dayanım ve süneklik artışı görülmüş, ani kırılma ve dağılmalar azalmıştır. Güçlendirilen hasarlı model duvarların dayanımını etkileyen bir diğer husus ise numunelerin ilk hasar verilirken çatlayan ve kırılan yerlerine uygulanan epoksi tamir harcı miktarıdır. Hasar verme işlemi sonrasında, genellikle basınç diyagonali boyunca oluşan çatlakların onarımında, kullanılan epoksi malzemesinin fazla miktarda olması ve duvarın yapı taşları olan, tuğla ve harçtan daha mukavemetli olmasından dolayı, basınç diyagonali yüksek mukavemet göstermiş ve çatlaklar bu bölgenin dışında oluşmuştur. Buna bağlı olarak da duvarlar hasarsız durumdaki hallerinden daha yüksek mukavemet göstermiştir. Bundan dolayı ikinci yüklemede, ilk hasar verilirken, çok yerden çatlayan numunelerde daha çok yerde epoksi kullanıldığı için, bu numuneler daha yüksek mukavemet göstermiştir. Bunun gibi duvar taşıma kapasitesinin daha birçok parametreye bağlı olmasından dolayı bu konuda kesin bir değer vermek mümkün değildir. Özellikle numune boyutlarının küçük olması sebebiyle, hasarlı duvarların onarımında kullanılan epoksi tamir harcı, numune dayanımında daha büyük bir etkiye sahip olmaktadır.

Yapılan deneyler neticesinde genel olarak yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde GFRP malzemesinin etkili bir şekilde kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. GFRP malzemesinin, uygulandığı model tuğla duvarların dayanımını yüksek oranlarda

artırdığı görülmüştür. Yapılan deneylerde uygulanan yatay ve düşey yükün bileşeni olan diyagonal yönlü yükleme ile yığma duvarların hem düşey hem de yatay yöndeki dayanımlarının artması sonucu, bu güçlendirme metodunun deprem etkilerine karşı yığma yapıların güçlendirilmesinde de kullanılabileceği saptanmıştır.

Gerek önceden hasar verilmiş gerekse hasarsız olarak güçlendirilmiş model duvarlarda en yüksek dayanımı, tüm yüzeyinden GFRP ile güçlendirilen numuneler göstermiştir. Tek yüz ve çift yüz olarak, tüm yüzeyi GFRP ile güçlendirilen model duvarlar, şerit ve ayrık şerit şeklinde güçlendirilen duvarların, yaklaşık 1.5 katı kadar dayanım göstermiştir. Şerit GFRP ve ayrık şerit GFRP ile güçlendirilen model duvarlar ise birbirine yakın dayanım göstermekle birlikte, hasarsız çift taraflı güçlendirilen duvarlar hariç diğer numunelerde şerit GFRP ile güçlendirilenler biraz daha yüksek dayanım göstermiştir. Ayrık şeritler halinde güçlendirme uygulamasında şeritlerin duvar yüzüne yayılmasından dolayı, duvarların daha yüksek dayanım göstermeleri beklenirken, şerit ile güçlendirmede daha yüksek dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Bunun nedeni; yükleme eksenine gelen GFRP kesiti genişliğinin Seri II'de daha az olması, şerit GFRP uygulamasında, aderansın daha yüksek olması ve ayrık şerit uygulamasında, kesit genişliği az olan GFRP şeritlerinin yükleme esnasında burkularak duvar yüzeyinden ayrılmasıdır. Buna göre, güçlendirme uygulamalarında bu ayrılmayı önlemek ve yığma tuğla duvarlarla GFRP malzemesinin beraber çalışmasını temin etmek amacıyla, uygulanan GFRP şeritlerinin duvara belli aralıklarda tespit edilmesi gerekmektedir. Ayrıca güçlendirme uygulanacak duvar yüzeyinin toz, kir vb. artıklardan temizlenmesi gerekmekte ve daha iyi aderans sağlamak amacıyla pürüzlendirilmesi tavsiye edilmektedir. Böylece ayrık şerit uygulamasında, GFRP şeritlerinin duvar yüzeyine aderansını artıracak ve burkulmasını zorlaştıracak (şeritlerin duvara ankre edilmesi, şerit kalınlığının artırılması vs.) önlemler alınarak, ayrık şerit ile güçlendirme uygulamasından daha başarılı sonuçlar alınacağı düşünülmektedir.

Hasarsız duvarlarda tek taraflı güçlendirmede, numunenin tüm yüzeyinin güçlendirilmesi ile şerit şeklinde çaprazlarla güçlendirilmesinde, eşit dayanım değerleri elde edilmiştir. Buna göre maliyet hesaba katıldığında, tek taraflı uygulamalarda şerit GFRP ile güçlendirme yapılarak, tüm yüzeyden yapılacak güçlendirmeyle elde edilecek performans daha düşük maliyetle sağlanabilir. Her üç seride de tek taraflı güçlendirme uygulamasının, yığma tuğla duvarların dayanımını yaklaşık 1.5 katına çıkardığı göz önünde bulundurulursa, bitişik nizam binalardaki

bitişik duvarların en azından tek yüzlerinden güçlendirilmesinin azımsanmayacak kadar faydalı olacağı sonucuna varılabilir.

Bütün serilerde, güçlendirilen model duvarların tamamının şekil değiştirme kapasitesi artmıştır. Özellikle çift taraflı güçlendirilen numunelerin şekil değiştirme kapasitesinde, en az 15 kat artış meydana gelmiştir. Tek taraflı güçlendirilen numunelerde ise şekil değiştirmeler 2.5 ile 9 kat arası artış göstermiştir. Buna göre GFRP ile güçlendirmenin, gevrek davranış gösteren yığma tuğla duvarların, dayanımının yanında, sünekliğini de oldukça artırdığı söylenebilir. Buna bağlı olarak, güçlendirilmemiş model duvarlar dağılarak taşıma güçlerini kaybederken, GFRP ile güçlendirilen model duvarlar, taşıma güçlerini kaybettiklerinde tamamen dağılmadıkları görülmüştür.

Yığma yapıların güçlendirilmesinde GFRP malzemesi, alternatif bir güçlendirme malzemesidir. GFRP'nin uygulanmasındaki kolaylık, çabukluk, düşük uygulama maliyeti ve en önemlisi de betonarme ve çelik ile güçlendirmede görülen duvar kesitindeki azımsanmayacak artışın bu yöntemde görülmemesi, bu malzemenin kullanılması için özendirici sebeplerdir. Her ne kadar tüm yüzey güçlendirme uygulamalarında en yüksek ve tatmin edici sonuçlar elde edilmiş olsa da, daha düşük maliyet elde edebilmek için, şerit genişliği artırıldığında, yakın dayanımın sağlanabileceği düşünülerek, şerit çaprazlar şeklinde uygulanan GFRP ile güçlendirmenin uygulanması tercih edilebilir. Seri I, seri II ve seri III numunelerinin göçme yüklerinin kıyaslanması Şekil B.4'te sunulmuştur.

GFRP ile güçlendirmede elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, bu güçlendirme yönteminin yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde oldukça etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasının amaç kısmında da belirtildiği üzere, yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde, dokuma GFRP ve dokuma CFRP kullanımı maliyet olarak kıyaslandığında, dokuma GFRP kullanımının uygun bir seçenek olduğu görülmektedir. Dokuma GFRP malzemesinin birbirine dik yönde, çift yönlü liflerden oluşan üretimi bulunmasına rağmen, dokuma CFRP malzemesinin sadece tek yönde liflerden oluşan üretimi bulunmaktadır. Yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde özellikle tüm yüzey uygulamalarında hem basınç hem de çekme doğrultusunda dokuma GFRP kullanılabilmesi için çift yönlü dokuma GFRP ile tek kat uygulama yeterli olurken, tek yönlü dokuma CFRP ile çift kat uygulama yapılması gerekmektedir. Bu da dokuma CFRP maliyetinin iki katına çıkmasına sebep olmaktadır. Güçlendirme uygulamalarında, dokuma GFRP ve dokuma CFRP

malzemesinin, her ikisinin de tek yönlü, dokuma GFRP çift yönlü, dokuma CFRP tek yönlü ve dokuma GFRP çift yönlü, dokuma CFRP iki kat tek yönlü olarak kullanılması durumlarında maliyet olarak karşılaştırılması Çizelge 6.35'te verilmiştir.

Çizelge 6.20 : Cam ve Karbon FRP m^2 Uygulama Maliyeti Kıyaslaması

GFRP	**CFRP**	**Maliyet (m^2)**
Tek yönlü dokuma	Tek yönlü dokuma	CFRP %25 Pahalı
Çift yönlü dokuma	Tek yönlü dokuma	CFRP %15 Pahalı
Çift yönlü dokuma	2 x Tek yönlü dokuma	CFRP %100 Pahalı

Buradaki maliyetler yaklaşık m^2 uygulama maliyeti olup, epoksi astar ve saturant yapıştırıcı fiyatlara dâhil olarak verilmiştir. Buna göre, dokuma CFRP ve dokuma GFRP malzemesinin her ikisinin de tek yönlü kullanılması durumunda, CFRP uygulaması GFRP uygulamasından %25 pahalı olmaktadır. Dokuma GFRP malzemesinin çift yönlü, dokuma CFRP malzemesinin tek yönlü kullanılması durumunda CFRP uygulaması GFRP uygulamasından %15 pahalı olmaktadır. Dokuma GFRP malzemesinin çift yönlü, dokuma CFRP malzemesinin iki kat tek yönlü kullanılması durumunda ise CFRP uygulaması GFRP uygulamasından %100 pahalı olmaktadır. Bu durumda güçlendirme uygulamalarında GFRP kullanımının CFRP kullanımına göre oldukça ekonomiklik sağladığı görülmektedir. Bu maliyet farkı göz önünde bulundurulduğunda yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde dokuma CFRP kullanılmasının dokuma GFRP kullanılmasına göre bu oranlarda katkı sağlayıp sağlayamayacağının fayda/maliyet olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla karbon ve cam FRP kullanımının yığma tuğla duvarların dayanımına etkisinin karşılaştırılması amacıyla bu çalışmadakine benzer bir çalışma dokuma CFRP malzemesi kullanılarak yapılabilir.

Bu deneysel çalışmanın kapsamını sınırlı tutmak amacıyla yığma tuğla duvara etkiyen yük, yatay ve düşey yüklerin bileşkesi olarak, duvar derzleriyle 45°'lik açı yapacak şekilde etki ettirilmiştir. Böylece yükleme sırasında duvara etkiyen yatay ve düşey yükler, beraberce düzgün olarak artırılmıştır. Bu araştırmayı geliştirmek için daha büyük duvar numuneleri ve daha çeşitli yükleme kombinasyonları kullanılarak deneyler yapılabilir. Ayrıca deneylerde, GFRP malzemesiyle tuğla duvar arasındaki aderansı artırmak amacıyla, DBYBHY2007'de "Dolgu Duvarların Lifli Polimerler ile Güçlendirilmesi" bölümünde verilen yönteme benzer bir yöntemle, GFRP malzemesi yığma tuğla duvara ankrajlarla tespit edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] ElGawady, M.A., Lestuzzi, P. and Badoux, M. 2005. In-plane Seismic Response of URM Walls Upgraded with FRP, *Journal of Composites for Construction,* vol. 9, no. 6, November/December p. 524-535

[2] ElGawady, M.A., Lestuzzi, P. and Badoux, M. 2007. Static Cyclic Response Masonry Walls Retrofitted with Fiber Reinforced Polymers, *Journal of Composites for Construction*,vol. 11, no. 1, January/February 2007, p: 50-61

[3] 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, May/June 1999 p: 134-142

[4] Almusallam, T.H., Al-Sallaum, Y.A. 2007. Behavior of FRP Strengthened Infill Walls Under In-plane Seismic Loading. *Journal of Composites for Construction*, vol.11, no. 3, May/June 2007, p: 308-318

[5] Krevaikas, T.D., Triantafillou, T.C., 2005. Masonry Confinement with Fiber-Reinforced Polymers. *Journal of Composites for Construction*, vol. 9, no. 2, March/April 2005, p: 128-135

[6] Albert, M.L., Elwi, A.E. and Cheng, J.J.R., 2001. Strengthening of Unreinforced Masonry Walls Using FRPs. *Journal of Composites for Construction*, vol. 5, no.2, March/April 2001, p: 76-84

[7] Hamid, A. A., El-Dakhakhni, W. W., Hakam, Z., Elgaaly, M., 2005. Behavior of Unreinforced Masonry Fiber-Reinforced Polymer Assemblages Under In-Plane Loading. *Journal of Composites for Construction*, vol. 9, no.1, January/February 2005, p: 73-83

[8] Aş, E.F., 2007. Tarihi Tuğlalar ile Örülen Duvarların Güçlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[9] Onar, E. (2007). Yığma Yapılarda Taşıyıcı Tuğla Duvarların CFRP ile Güçlendirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi; *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[10] Malekkianie, B., 2006. Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçevelerde Karbon Lifler Kullanılarak Güçlendirme**,** *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[11] Gülkan, P., Sucuoğlu, H., 1988. Kırsal Yapılarda Deprem Hasarlarının Tayini, *Deprem Araştırma Bülteni*, 62, 5-44 Ankara.

[12] Çamlıbel, N., 2000. *Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi*, İstanbul

[13] Bayülke, N., 1980. *Yığma Yapılar*, İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Yayınları, Ankara.

[14] Ediz, İ. (2006). Kâgir Yapılarda Kullanılan Taşıyıcı Duvarların Hasır Çelik Donatı ve Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Güçlendirilmesinin Deneysel İncelenmesi; *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

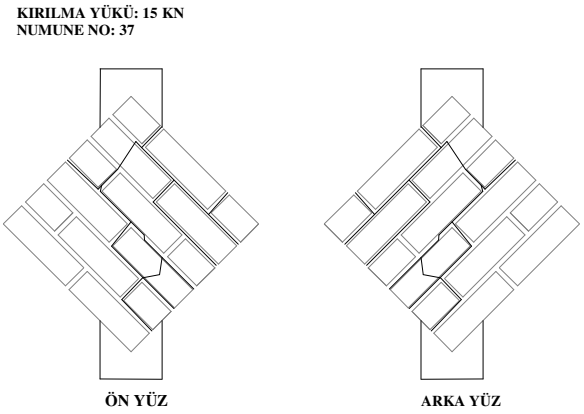
[15] Celep, Z., 1998 Post-Earthquake Rehabilitation of Moderate Damaged Masonry Structures, Repair and Stregthening of Existing Buildings. *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, İ.T.Ü., 61-72, İstanbul

[16] Bayülke, N., 1999. *Depremde Hasar Gören Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi*, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir

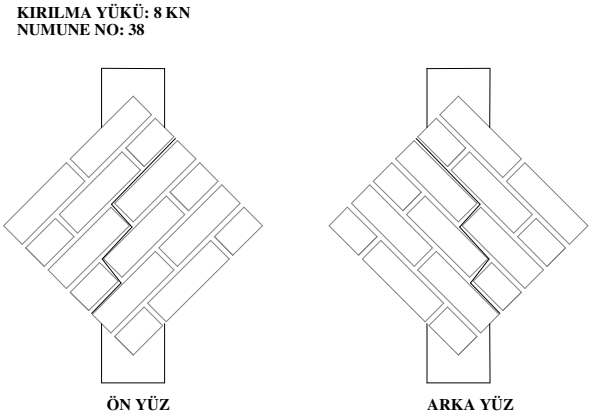
[17] Ürün Broşürü, BASF Yapı Kimyasalları, 2005.

EK A

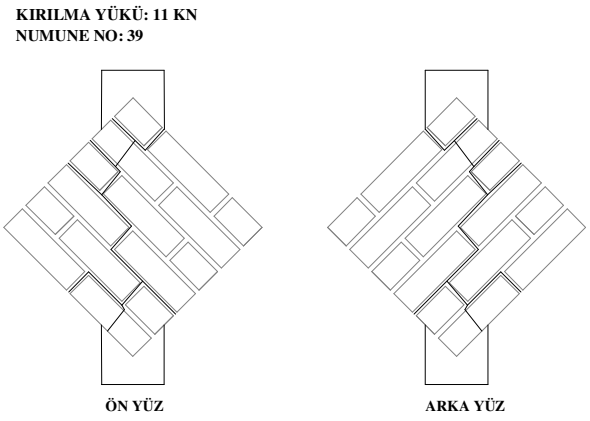
Yalın model duvarlara ait kırılma şekli rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil A.1 YD-1'in Kırılma Şekli

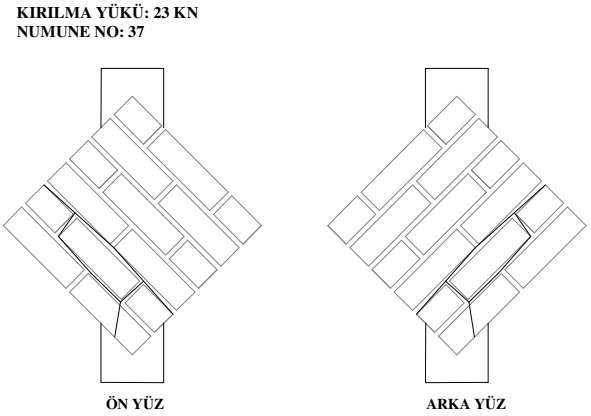


Şekil A.2 YD-2'nin Kırılma Şekli

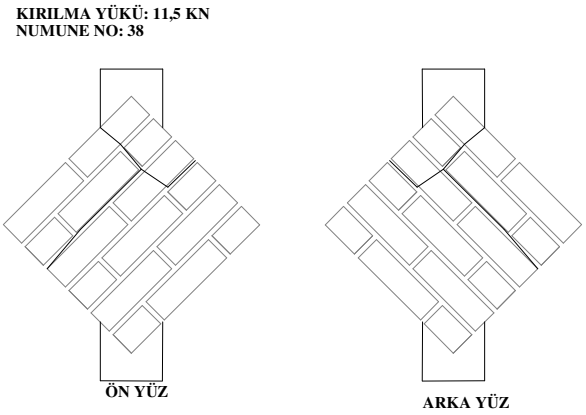


Şekil A.3 YD-3'ün Kırılma Şekli

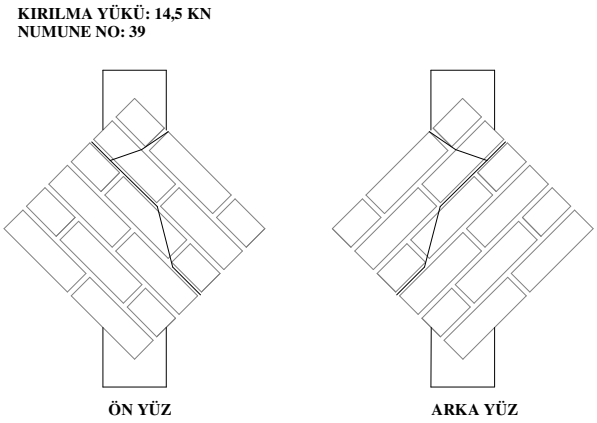
Epoksi ile onarılan model duvar numunelerine ait kırılma şekli rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



Şekil A.4 HEYD-1'in Kırılma Şekli

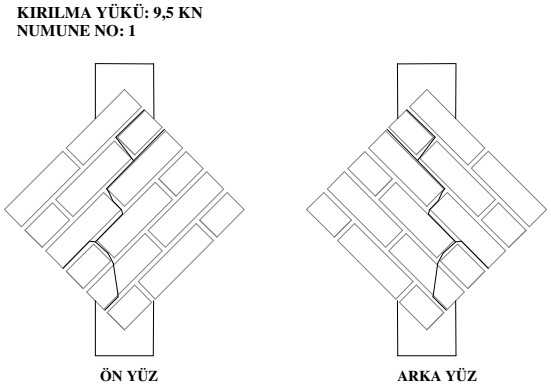


Şekil A.5 HEYD-2'nin Kırılma Şekli

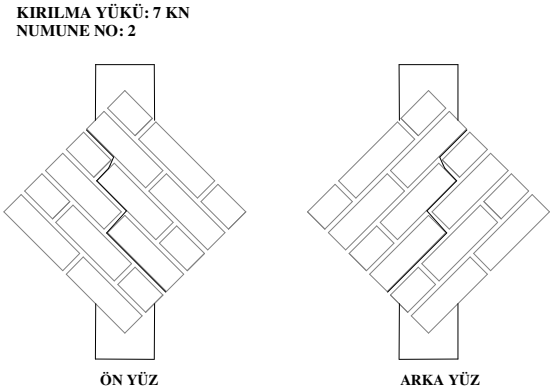


Şekil A.6 HEYD-3'ün Kırılma Şekli

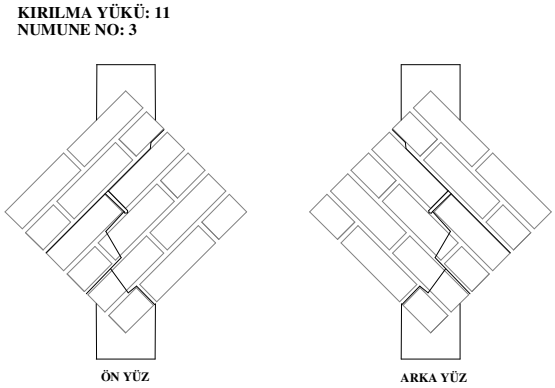
Seri I için hasara uğratılan yalın model duvarların kırılma rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



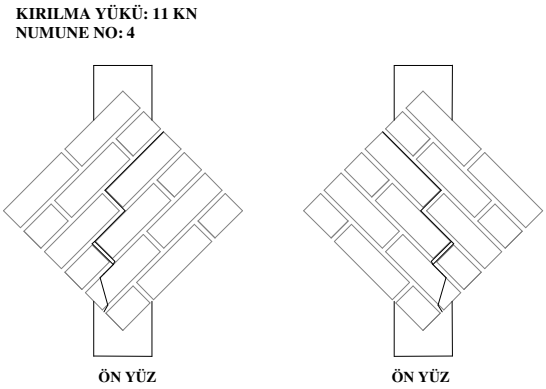
Şekil A.7 HÇŞ -1'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



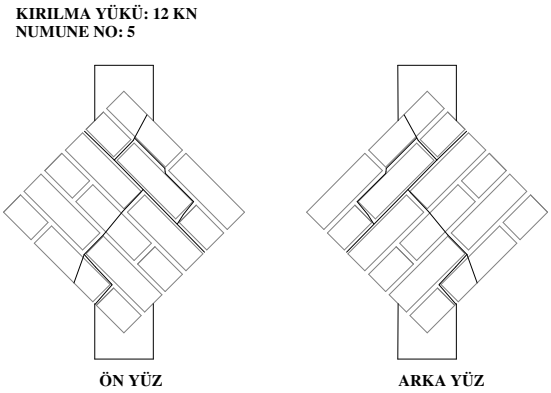
Şekil A.8 HÇŞ -2'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



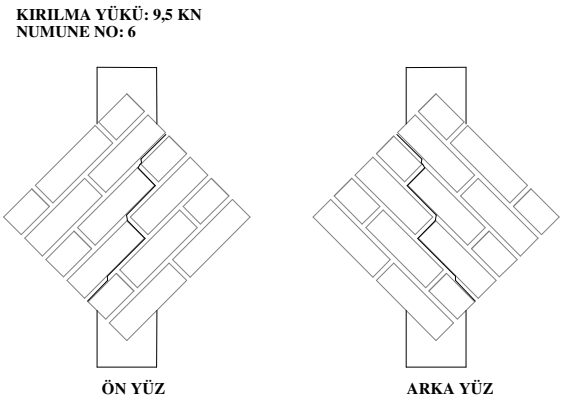
Şekil A.9 HÇŞ -3'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



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

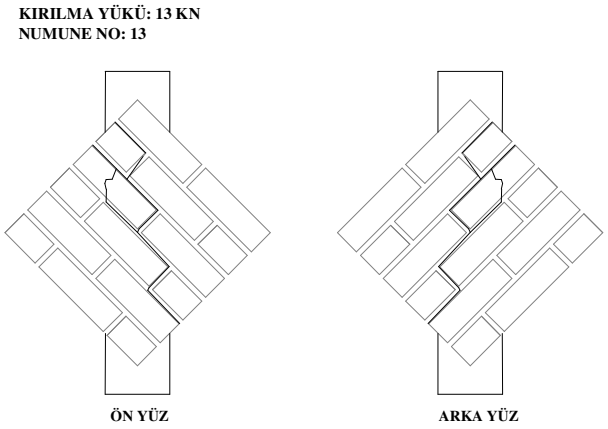


Şekil A.11 HTŞ -5'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

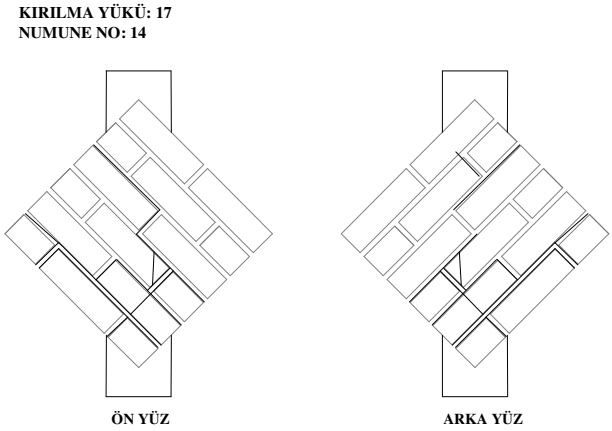


Şekil A.12 HTŞ -6'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

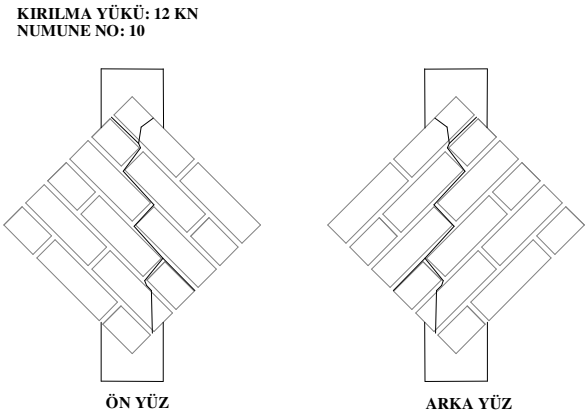
Seri II için hasara uğratılan yalın model duvarların kırılma rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



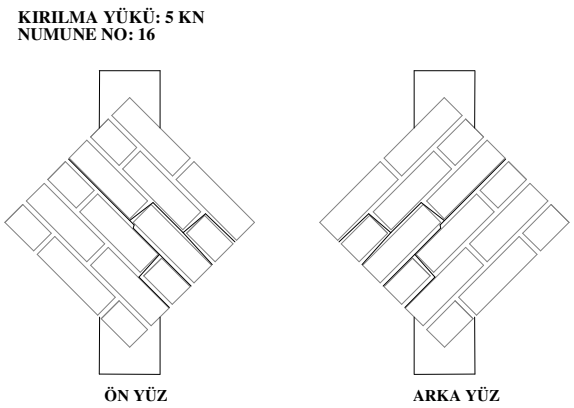
Şekil A.13 HÇAŞ -13'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



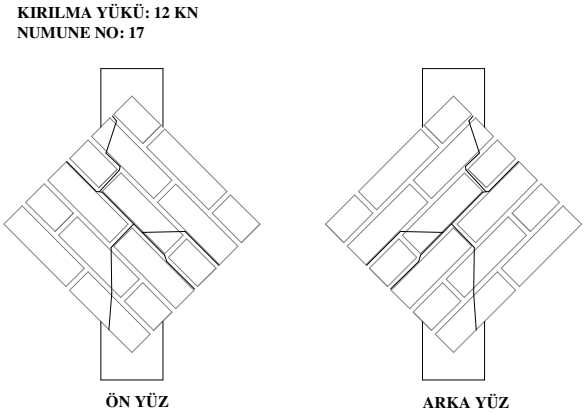
Şekil A.14 HÇAŞ -14'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



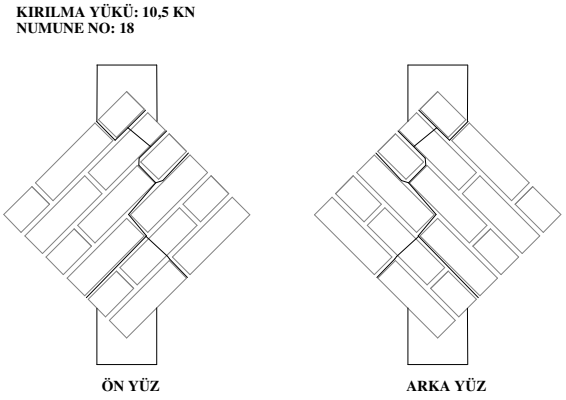
Şekil A.15 HÇAŞ -15'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



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

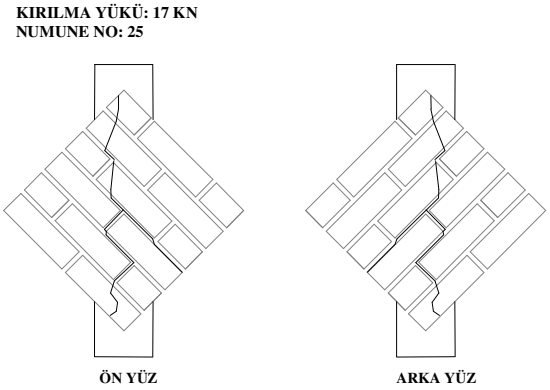


Şekil A.17 HTAŞ -17'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

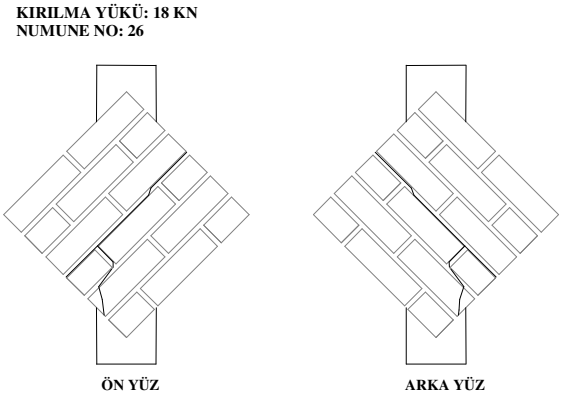


Şekil A.18 HTAŞ -18'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

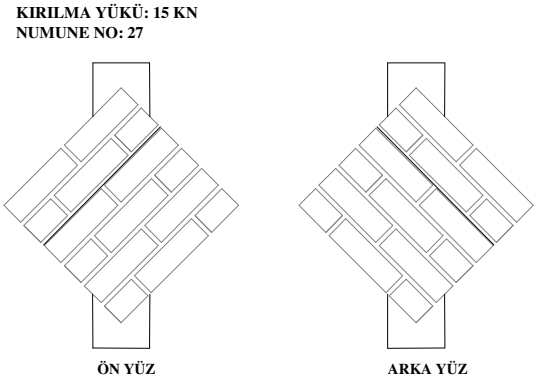
Seri III için hasara uğratılan yalın model duvarların kırılma rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



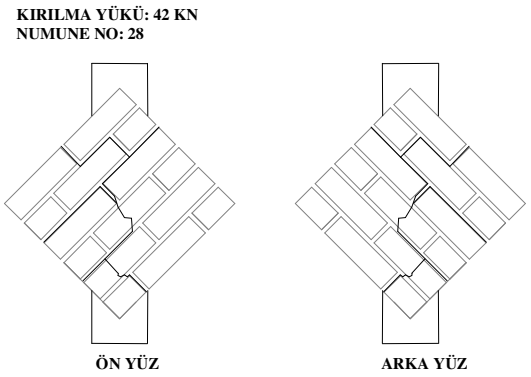
Şekil A.19 HÇD -25'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



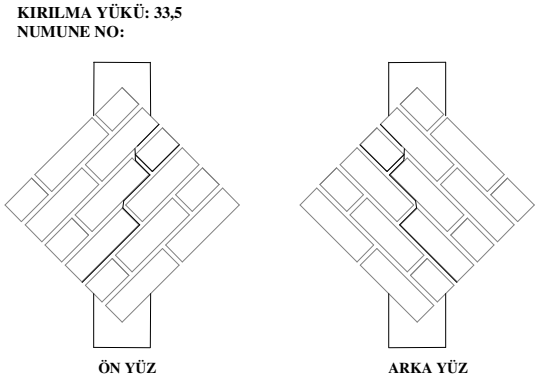
Şekil A.20 HÇD -26'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



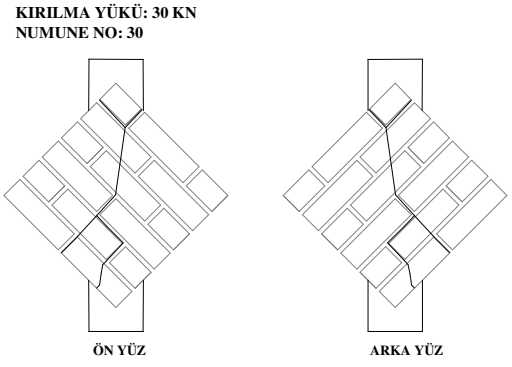
Şekil A.21 HÇD -27'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)



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

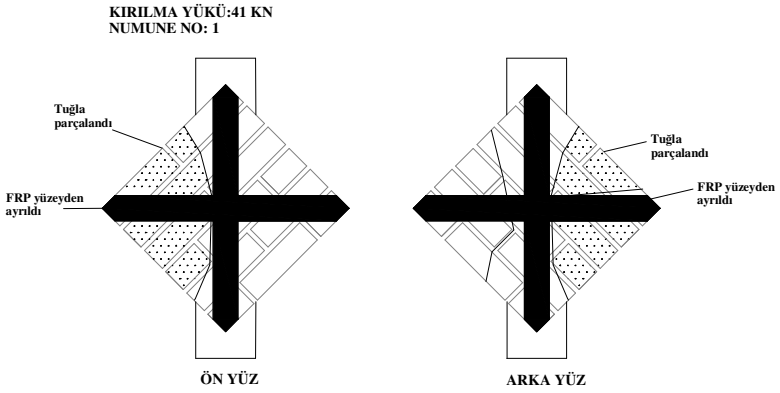


Şekil A.23 HTD -29'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

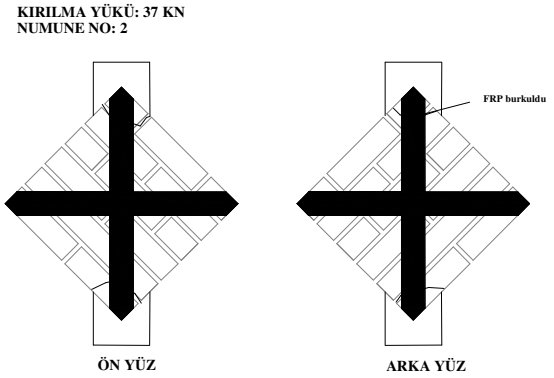


Şekil A.24 HTD -30'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Öncesi)

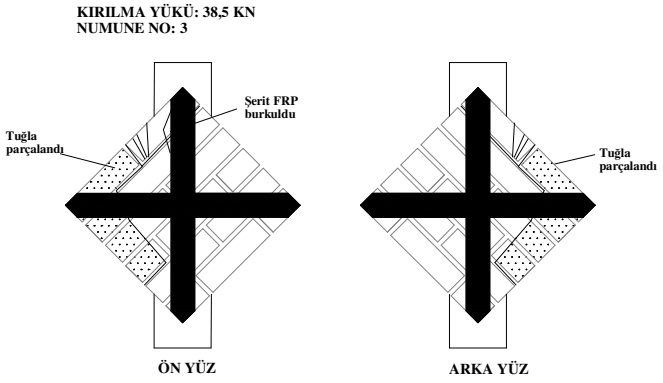
Seri I içerisinde yer alan ve şerit GFRP ile güçlendirilen örneklerin çatlak rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



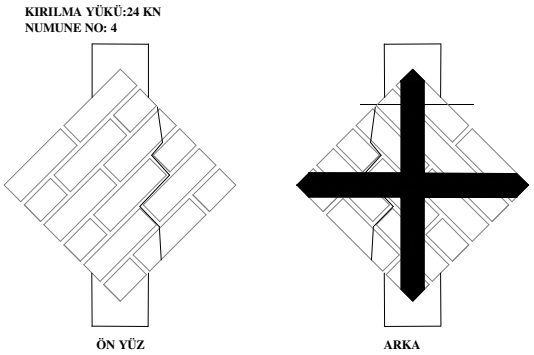
Şekil A.25 HÇŞ-1'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



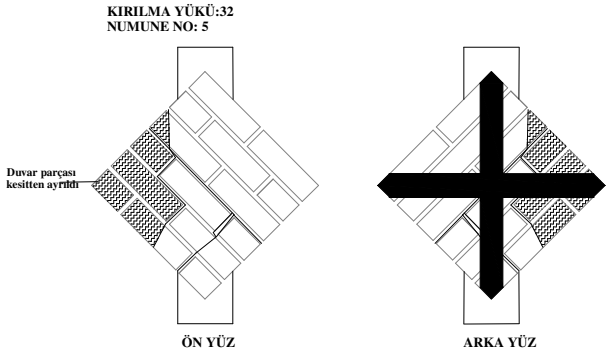
Şekil A.26 HÇŞ-2'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



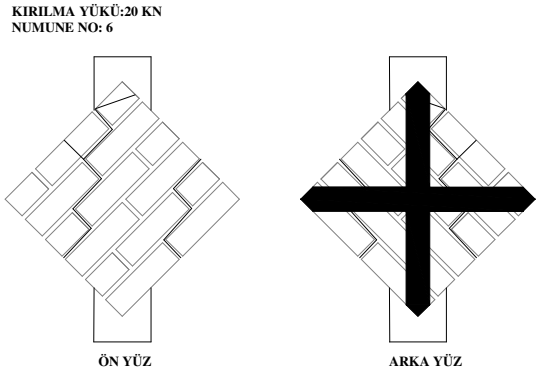
Şekil A.27 HÇŞ-3'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



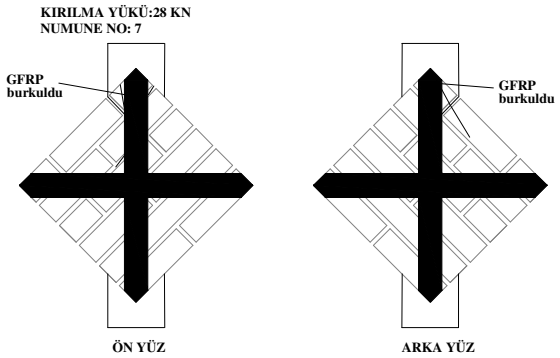
Şekil A.28 HTŞ-4'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



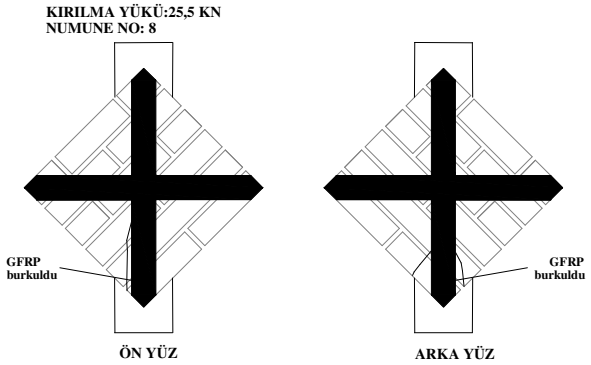
Şekil A.29 HTŞ-5'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



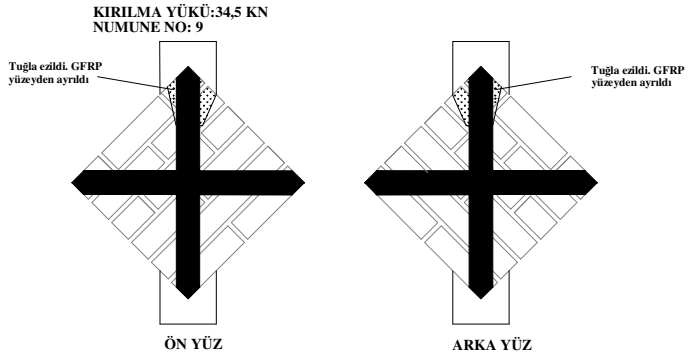
Şekil A.30 HTŞ-6'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



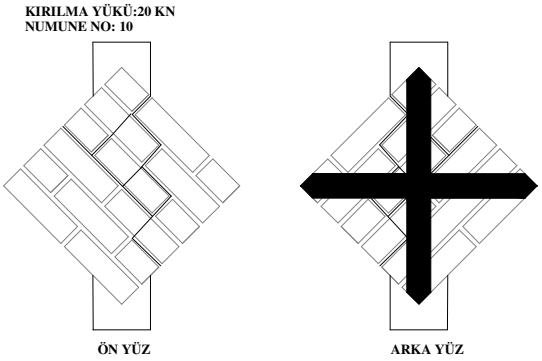
Şekil A.31 ÇŞ-7'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



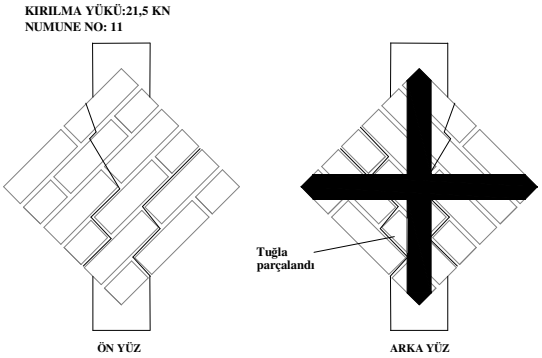
Şekil A.32 ÇŞ-8'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



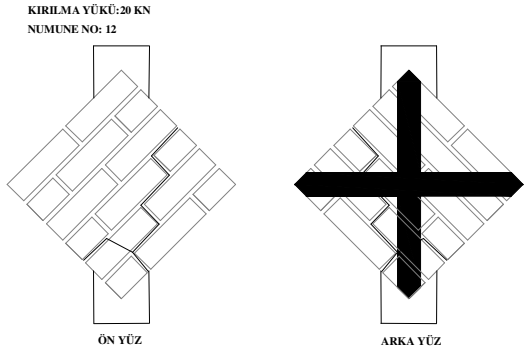
Şekil A.33 ÇŞ-9'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



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

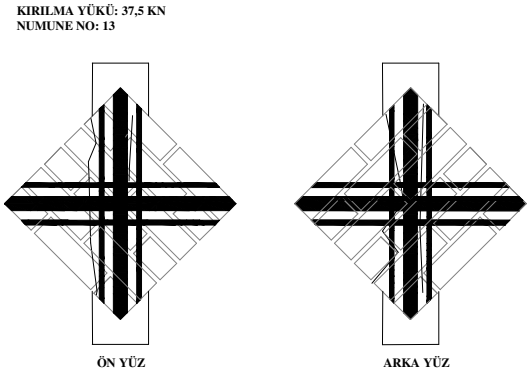


Şekil A.35 TŞ-11'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

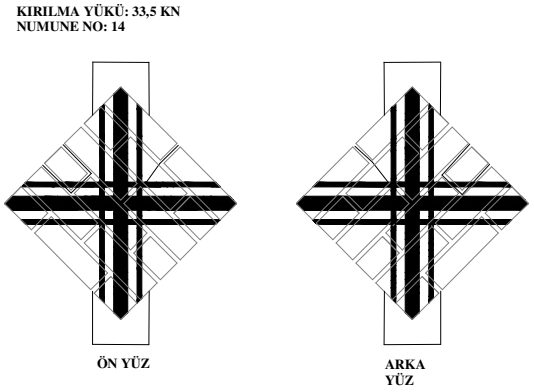


Şekil A.36 TŞ-12'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

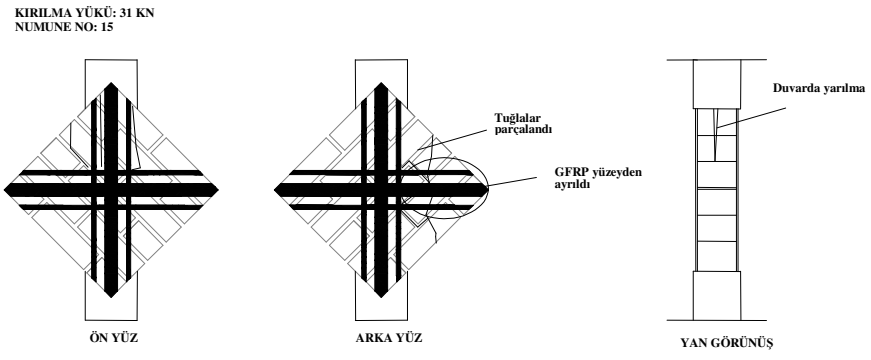
Seri II içerisinde yer alan ve dağınık şerit GFRP ile güçlendirilen örneklerin çatlak rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



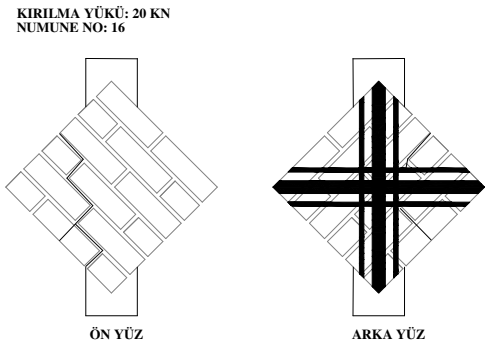
Şekil A.37 HÇAŞ-13'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



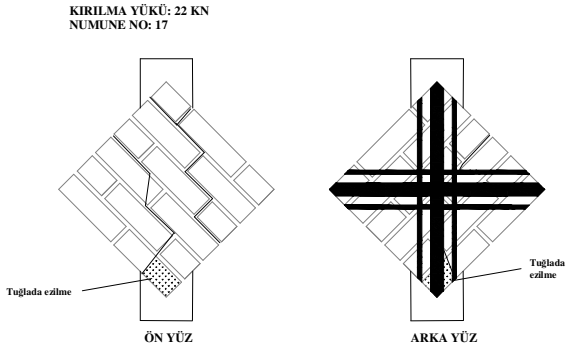
Şekil A.38 HÇAŞ -14'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



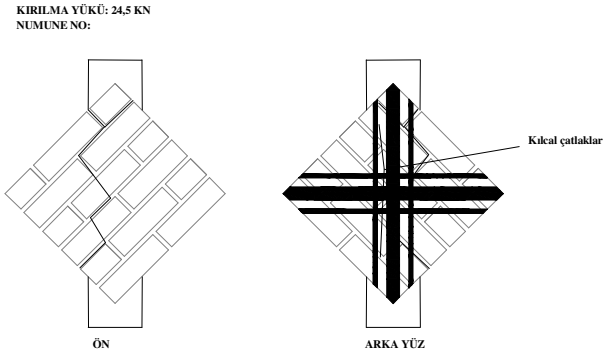
Şekil A.39 HÇAŞ -15'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



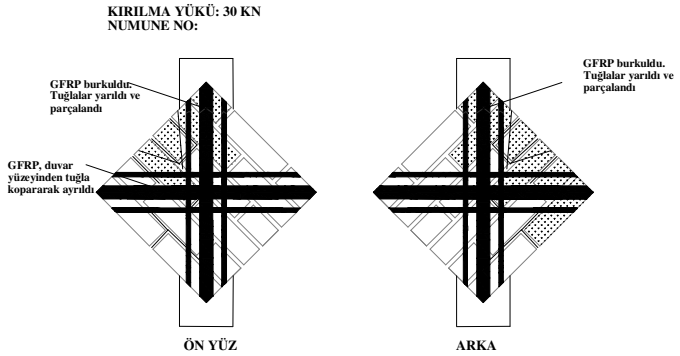
Şekil A.40 HTAŞ -16'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



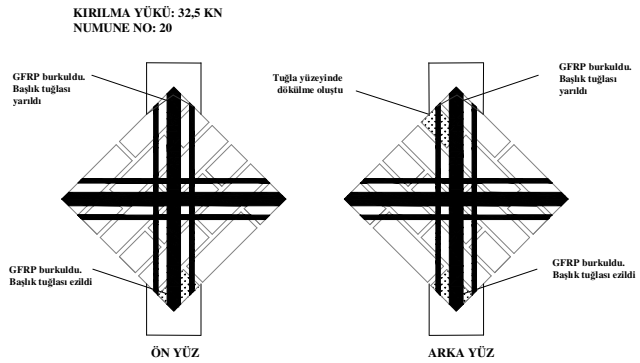
Şekil A.41 HTAŞ-17'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



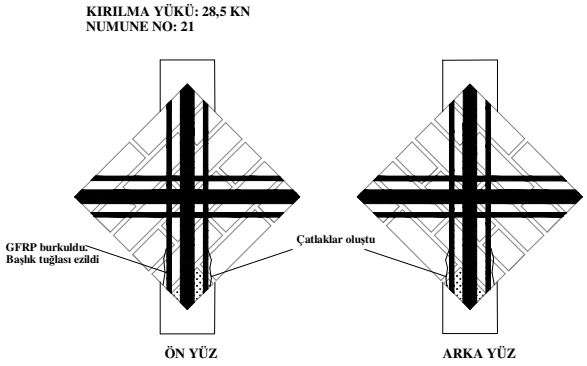
Şekil A.42 HTAŞ-18'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



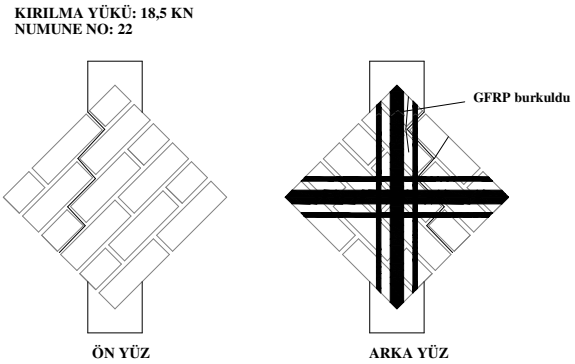
Şekil A.43 ÇAŞ-19'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



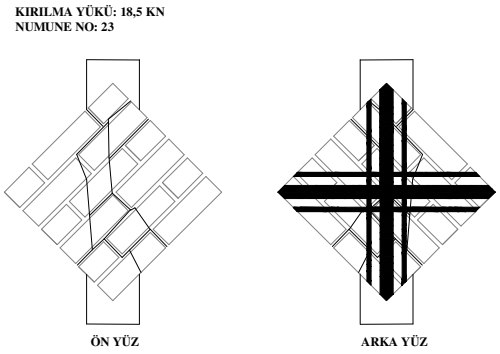
Şekil A.44 ÇAŞ-20'nin Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



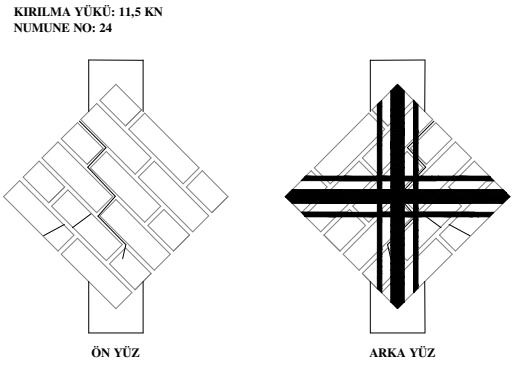
Şekil A.45 ÇAŞ-21'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



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

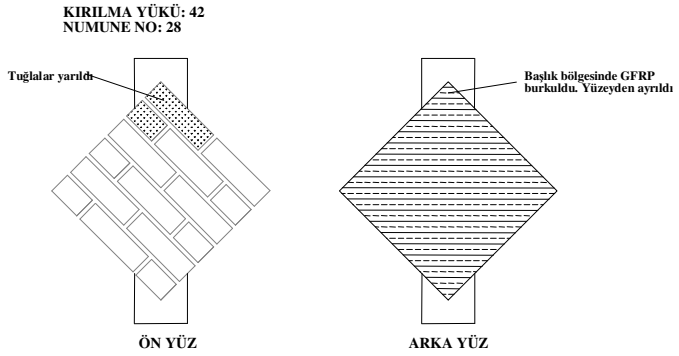


Şekil A.47 TAŞ-23'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

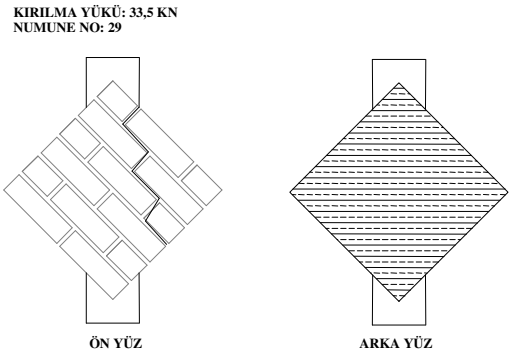


Şekil A.48 TAŞ-24'ün Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

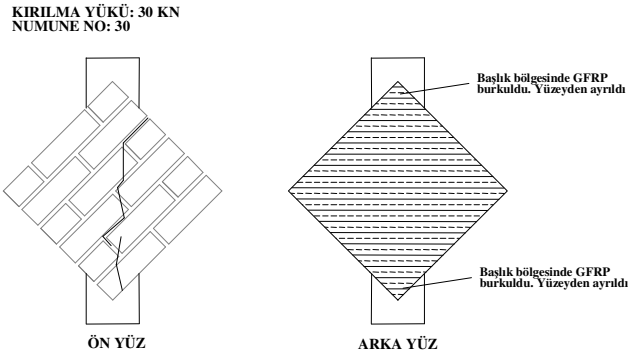
Seri III içerisinde yer alan ve tüm yüzey GFRP ile güçlendirilen örneklerin çatlak rölöveleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Çift yüzünden güçlendirilen örneklerin rölöveleri alınmamıştır. Fotoğraf çekilerek göçme mekanizmaları belgelenmiştir.



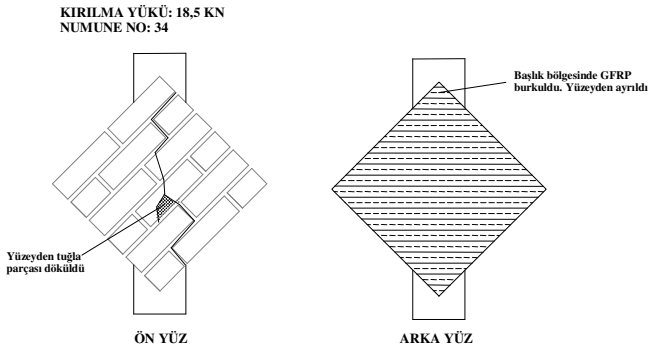
Şekil A.49 HTD-28'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



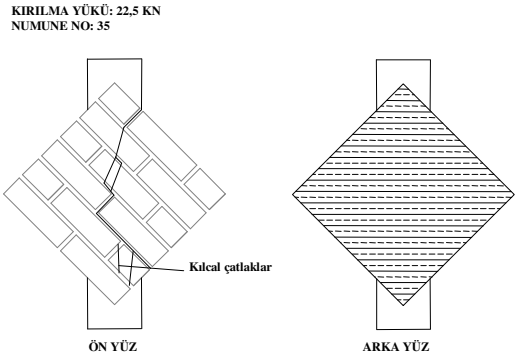
Şekil A.50 HTD-29'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



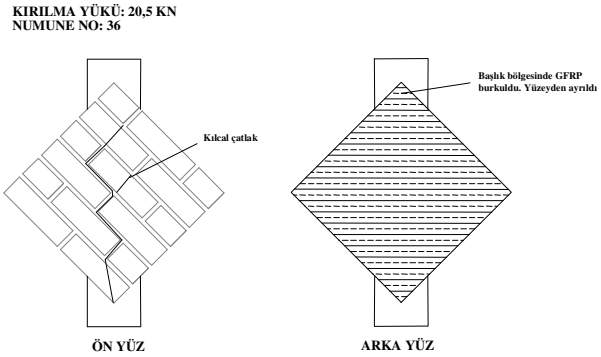
Şekil A.51 HTD-30'un Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)



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

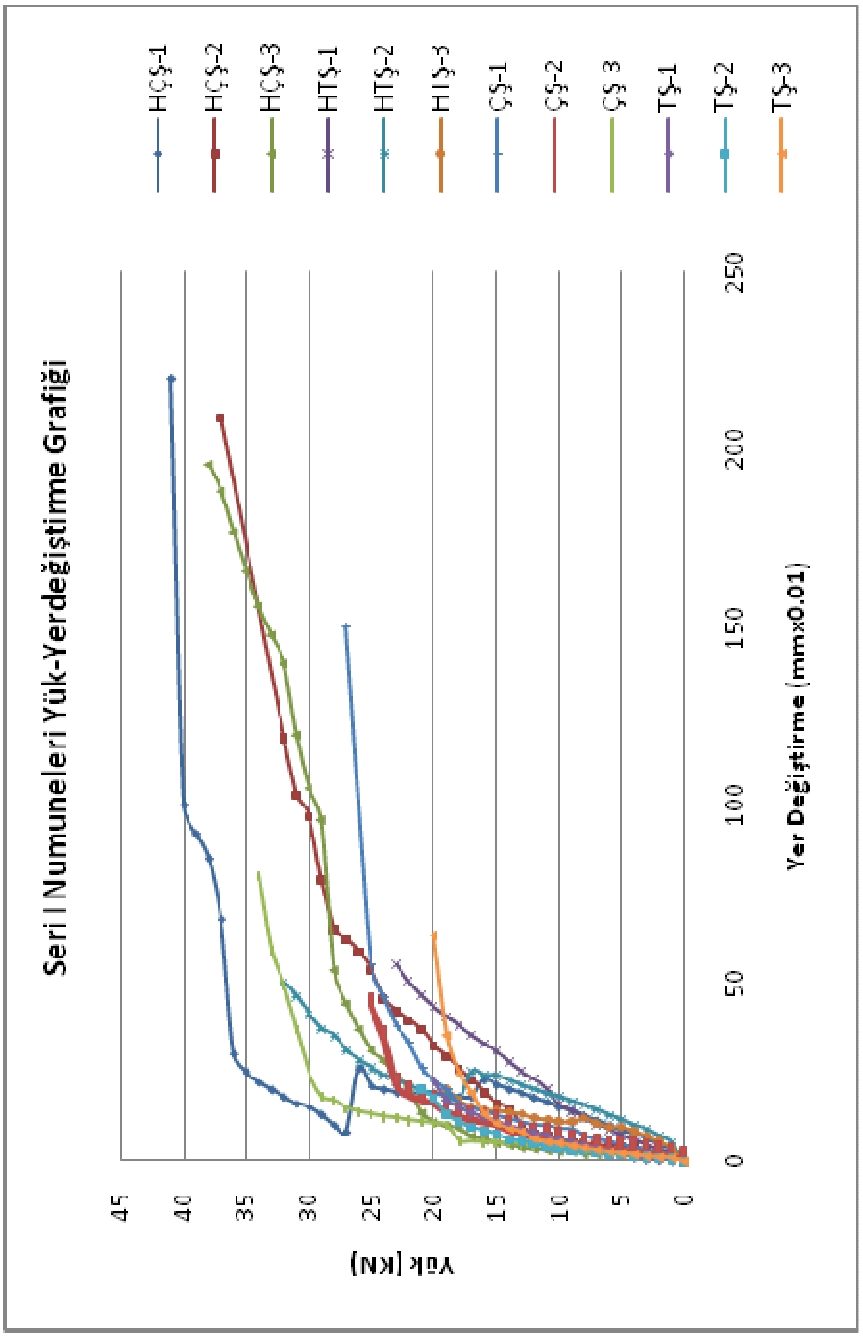


Şekil A.53 TD-35'in Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

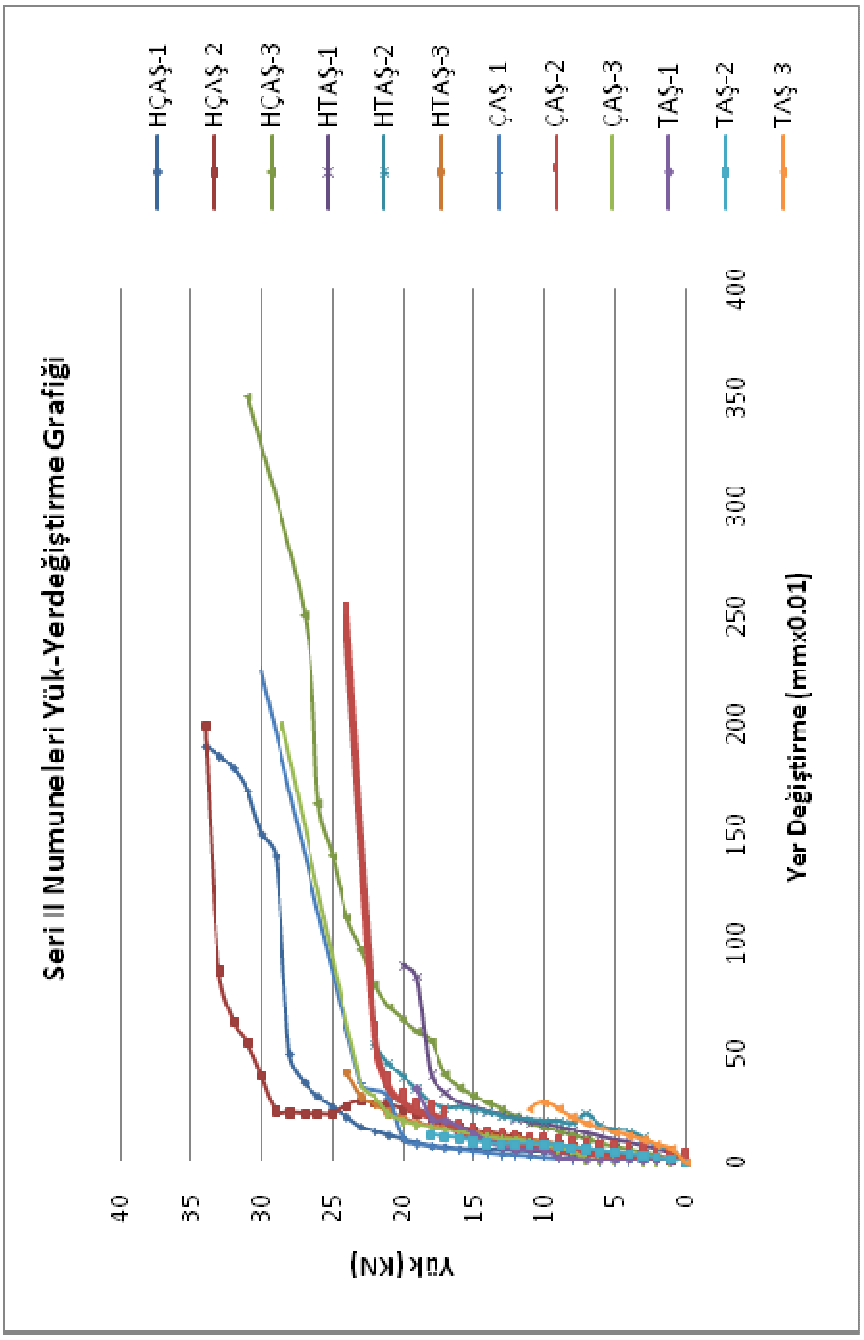


Şekil A.54 TD-36'nın Kırılma Şekli (Güçlendirme Sonrası)

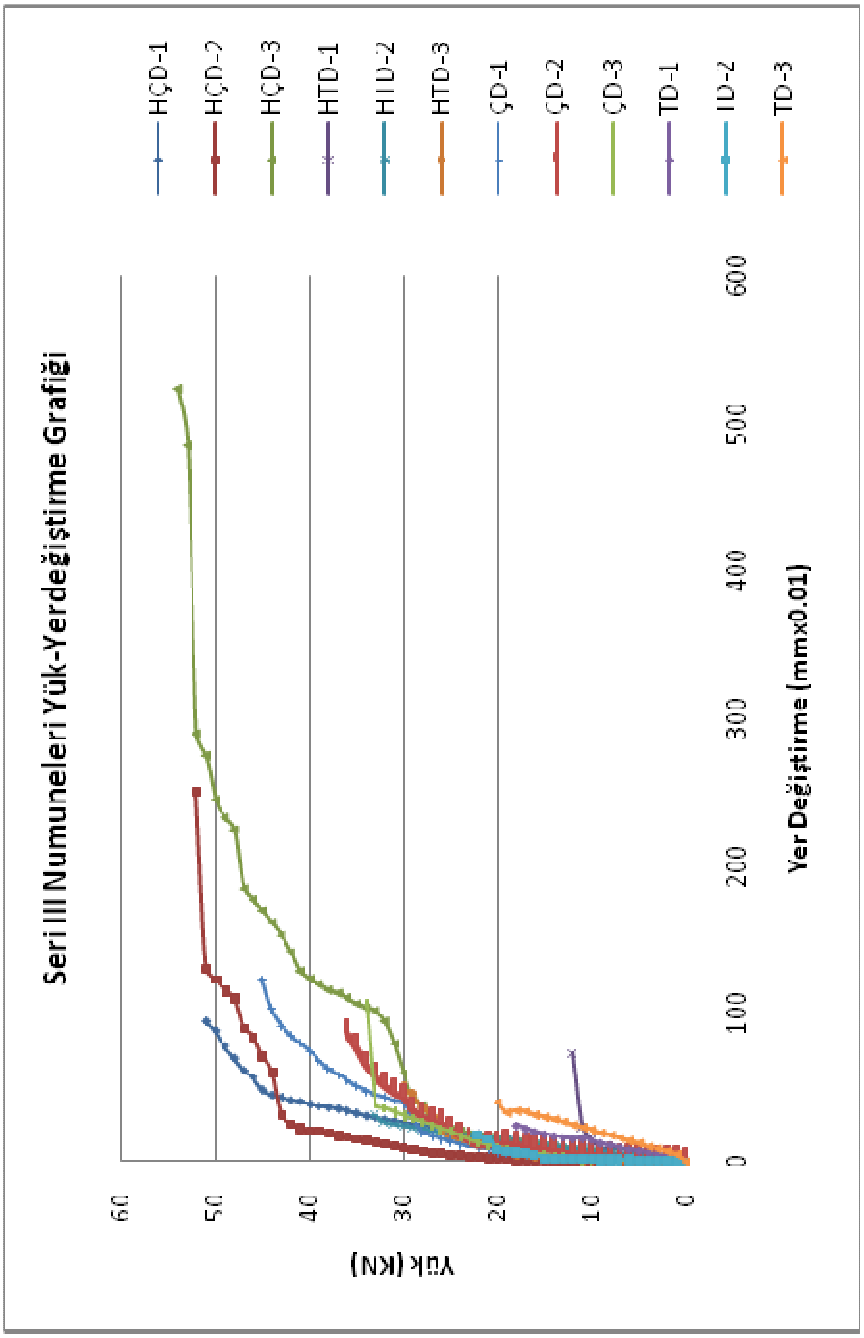
EK B



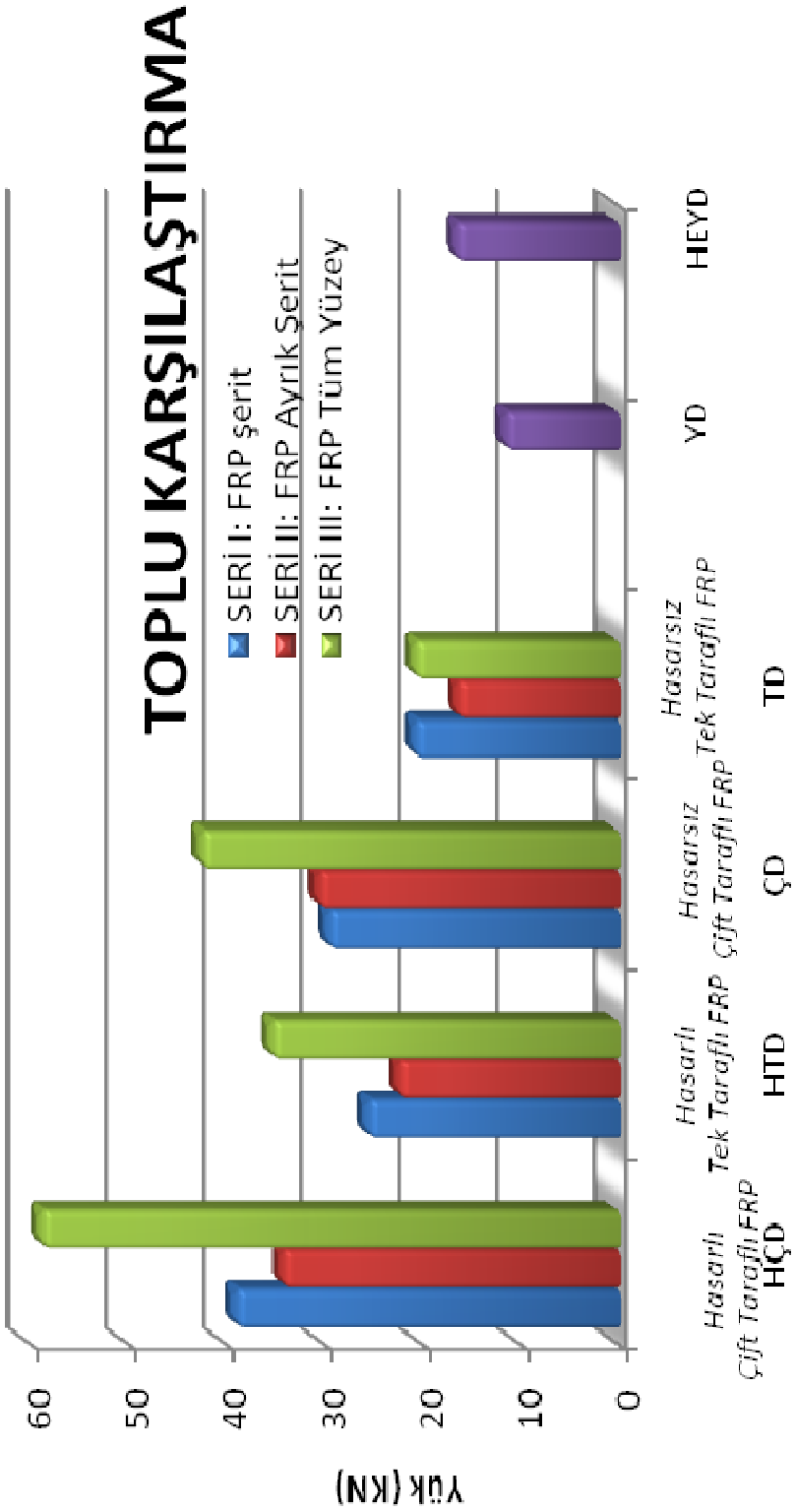
Şekil B.1 Seri 1 Numuneleri Yük-Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil B.2 Seri 2 Numuneleri Yük-Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil B.3 Seri 3 Numuneleri Yük Yerdeğiştirme Grafiği



Şekil B.4 Seri 1-2-3 Kırılma Yükleri Toplu Karşılaştırma Grafiği

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Sadi ÖZSARAÇ

Doğum Yeri ve Tarihi: Kayseri - 1981

Adres: Zeytinburnu / İstanbul

Lisans Üniversite: Erciyes Üniversitesi