

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT YIĞMA DUVARLARDA DERZ GÜÇLENDİRME
YÖNTEMLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YAŞAR KANDEMİR

KOCAELİ 2014

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEVCUT YIĞMA DUVARLARDA DERZ GÜÇLENDİRME
YÖNTEMLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

YAŞAR KANDEMİR

Yrd.Doç.Dr. Erkan AKPINAR
Danışman, Kocaeli Üniv.



Doç.Dr. Fuad OKAY
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.



Doç.Dr. Yasin FAHJAN
Jüri Üyesi, GYTE



Tezin Savunulduğu Tarih: 24.06.2014

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜRLER

Ülkemiz, geçmişten günümüze kadar çok sayıda ve büyük depremler yaşamıştır. Bu depremler ülke ekonomisine büyük zarar vermiş, binlerce insanımızın hayatını kaybetmesine ve evsiz kalmasına sebep olmuştur. Kırsal kesimler başta olmak üzere ülkemizdeki binaların büyük bir kısmı yığma yapılardan oluşmaktadır. Bu durum yığma yapılarda güçlendirme konusunu son derece önemli kılmaktadır.

Tez çalışmamda bana değerli katkılarıyla yön veren, her konuda bana destek olan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Erkan AKPINAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmamda güçlendirme malzemelerin temininde ve uygulamasında bana destek veren OTS, BASF ve KORDSA firmalarına ve hızlı destek kapsamında çalışmamda destek veren, Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim. Bu süreçte özverili çalışmalarından dolayı Laboratuvar Teknisyeni Yıldırım Akbulut'a ve yardımlarından dolayı Serdar Karatepe, Eyüp Bingöl ve Harun Altınsoy'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim, öğretim hayatım boyunca bana destek veren kardeşlerime teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım esnasında bana en büyük desteği veren ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren Annem Hacer KANDEMİR ve Babam Orhan KANDEMİR'e teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca sevgi, destek ve özveriyle bana kuvvet veren sevgili eşim Gözem KANDEMİR ve sevgili kızım Duru KANDEMİR'e teşekkür ederim.

Haziran - 2014

Yaşar KANDEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜRLER	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELEr DİZİNİ ve KISALTMALAR	viii
ÖZET.....	x
ABSTRACT	xi
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Amaç ve Kapsam	2
1.2. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar	3
2. YIĞMA YAPILAR.....	27
2.1. Yığma Yapının Tanımı	27
2.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler	27
2.2.1. Taş, tuğla ve blok elemanlar	27
2.2.2. Harçlar	31
2.3. Yığma Yapılarda Hasarlar	32
2.3.1. Yığma yapılarda hasar nedenleri	32
2.3.2. Yığma yapılarda hasar türleri	33
2.3.2.1. Temel oturmalarına bağlı hasarlar.....	33
2.3.2.2. Depreme bağlı hasarlar	33
2.3.3. Yığma yapılarda hasar düzeyleri	34
2.3.3.1. Hasarsız veya az hasarlı yapılar	34
2.3.3.2. Az hasarlı yapılar	34
2.3.3.3. Orta hasarlı yığma yapılar	35
2.3.3.4. Ağır hasarlı yığma yapılar.....	35
2.3.3.5. Yıkılmış yığma yapılar.....	35
2.4. Yığma Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri.....	36
2.4.1. Çatlakların onarılması.....	37
2.4.2. Yığma duvarların güçlendirilmesi	38
2.4.2.1. Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme.....	38
2.4.2.2. Püskürtme beton ile güçlendirme.....	39
2.4.2.3. Normal ve kendinden yerleşen beton ile güçlendirme	41
2.4.2.4. Çelik elemanlar ile güçlendirme	42
2.4.2.5. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme	44
2.4.2.6. FRP ile güçlendirme.....	44
2.4.3. Temellerin güçlendirilmesi	45
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	48
3.1. Genel Bilgiler.....	48
3.2. Deney Ortamı ve Cihazlar	48
3.3. Deney Yapımında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	49
3.3.1. Tuğla	49
3.3.2. Kum	49
3.3.3. Çakıl.....	50

3.3.4. Çimento.....	50
3.3.5. Temel ve hatıl harcı	51
3.3.6. Puzolanik kireç esaslı tarihi yapı onarım harcı	51
3.3.7. Tarihi yapılar için geliştirilmiş, puzolanik kireç esaslı enjeksiyon harcı (MasterInjject 222)	52
3.3.8. CFRP Plaka.....	52
3.3.9. 3D Fabrik	53
3.3.10. Epoksi esaslı yapıştırıcı	54
3.4. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği.....	54
3.4.1. Deney programı	55
3.4.2. Deney düzeneği.....	55
3.4.3. Yükler ve yükleme yöntemi.....	58
3.4.4. Ölçüm tekniği	60
3.5. Yığma Duvar Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	61
3.6. Deney Numunelerine Yapılan Güçlendirme İşlemleri	66
3.6.1. Enjeksiyon ile güçlendirme işlemi.....	66
3.6.2. 3D Fabrik ile güçlendirme işlemi	66
3.6.3. CFRP Plaka ile güçlendirme işlemi	69
3.7. Model Tuğla Duvar Deneyleri ve Deney Sonuçları	70
3.7.1. Düzeltilmiş yatay yük hesabı	71
3.7.2. Mas0 – Ref. numunesi deneyi.....	75
3.7.3. Mas1 – Enj. numunesi deneyi.....	80
3.7.4. Mas1 – 3D Fab. numunesi deneyi	84
3.7.5. Mas1 – CFRP numunesi deneyi.....	88
4. ANALİTİK YÖNTEM	92
5. DEĞERLENDİRME.....	93
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Deney tipleri ve özellikleri.....	8
Şekil 1.2.	Çelik şeritlerle duvar güçlendirme.....	12
Şekil 1.3.	Güçlendirilmemiş duvarda ezilme ve kayma göçmeleri.....	12
Şekil 1.4.	Yığma duvarların histeretik davranışı.....	13
Şekil 1.5.	a) Polimer ağ, b) Polimerin duvara tatbiki, c) Sıva uygulaması	14
Şekil 1.6.	a)Deney düzeneği, b)Güçlendirilmemiş duvarda göçmede oluşan çatlaklar, c)Güçlendirilmiş duvarda göçmede oluşan çatlaklar	14
Şekil 1.7.	Deneyde kullanılan duvar modelleri.....	16
Şekil 1.8.	Deneylerde elde edilen yanal kuvvet – öteleme diyagramları.....	17
Şekil 1.9.	a) “TYFG” için model ve şeritlerin tuğlalara ankrajlanması, b) “GD” için model.....	18
Şekil 1.10.	a) “TYSG” yük deplasman grafiği, b) “TYFG” yük deplasman grafiği, c) “İYSG” yük deplasman grafiği, d) “GD” yük deplasman grafiği	19
Şekil 1.11.	Deney düzeneği.....	20
Şekil 1.12.	En-boy oranı açısından numune tipleri	21
Şekil 1.13.	Deney numuneleri	24
Şekil 1.14.	Deney düzeneği	24
Şekil 1.15.	Derze dik ve paralel FRP çubuklarla güçlendirilmiş dar kirişler için yük sehim eğrileri	25
Şekil 1.16.	Derze dik ve paralel FRP çubuklarla güçlendirilmiş geniş kirişler için yük sehim eğrileri.....	25
Şekil 2.1.	Yığma yapı plan örnekleri	34
Şekil 2.2.	Çimento enjeksiyonu ile taş duvarların güçlendirilmesi.....	39
Şekil 2.3.	Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması	40
Şekil 2.4.	İki taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması.....	40
Şekil 2.5.	Pencere boşlukları arasında kalan duvarın çelik donatılar ile güçlendirilmesi	42
Şekil 2.6.	Çelik çerçeve ile duvarların güçlendirilmesi	43
Şekil 2.7.	Çelik çapraz elemanlar ile güçlendirme.....	43
Şekil 2.8.	Ahşap elemanlar ile güçlendirme.....	44
Şekil 2.9.	Yığma duvarlarda FRP ile güçlendirme	45
Şekil 2.10.	Temellerin taşı gücünün artırılmasına ilişkin detaylar.....	46
Şekil 2.11.	Duvarların yükünün yeni takviye temellere aktarılması.....	47
Şekil 3.1.	Tuğla temin edilen mevcut yığma yapı.....	49
Şekil 3.2.	Temel harcı için kullanılan çakıl malzemesi	50
Şekil 3.3.	3D Fabrik	53
Şekil 3.4.	Deney düzeneği, yükleme şekilleri ve reaksiyon duvarı	56
Şekil 3.5.	Tuğla duvar deney mekanizması	57
Şekil 3.6.	Düzlem dışı hareketi önleme düzeneği.....	58
Şekil 3.7.	Üç katlı yığma yapı plan ve kesiti	59
Şekil 3.8.	Deplasman ölçerlerin yerleşimi	60
Şekil 3.9.	a) Yığma duvar temel kaynağı, b) Yığma duvar temel boyası	61

Şekil 3.10. Tuğlaların temizlenmesi işlemi.....	62
Şekil 3.11. a) Temel yağlama işlemi, b) Temel harcı ile temel imalatı	62
Şekil 3.12. a) Tuğlaların ıslatılması işlemi, b) Temel imalatı	63
Şekil 3.13. Tuğla duvar numunesi örme tekniği X-Z düzlem görünüşü.....	64
Şekil 3.14. Tuğla duvar numunesi örme tekniği X-Y düzlem görünüşü	64
Şekil 3.15. Tuğla duvar numunesi	65
Şekil 3.16. İmalatı yapılmış 5 adet tuğla duvar numunesi	65
Şekil 3.17. 3D Fabrik ile güçlendirme yapılan derz grupları.....	67
Şekil 3.18. a) 3D Fabrik malzemesi, b) 3D Fabrik şeritler	68
Şekil 3.19. a) 3D Fabrik yerleştirme işlemi, b) 3D Fabrik sıva işlemi	68
Şekil 3.20. CFRP plakalar	69
Şekil 3.21. CFRP plaka ile güçlendirme yapılan derz grupları.....	69
Şekil 3.22. CFRP plaka ve epoksi ile güçlendirme işlemi	70
Şekil 3.23. Deney düzeneği.....	71
Şekil 3.24. Düzlem dışı hareketi önleme düzeneği	71
Şekil 3.25. Çelik halat dönme açısı.....	73
Şekil 3.26. Mas0 – Ref., orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği	74
Şekil 3.27. Mas1 – Enj., orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği	74
Şekil 3.28. Mas1 – 3D Fab., orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği	75
Şekil 3.29. Mas1 – CFRP, orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği	75
Şekil 3.30. Mas0 - Ref. numunesi hasar durumu	77
Şekil 3.31. Mas0 - Ref. numunesi çatlama şekilleri.....	78
Şekil 3.32. Mas0 - Ref. numunesi basınç bölgesi (a) ve diyagonal bölgede (b) oluşan çatlaklar.....	78
Şekil 3.33. Mas0 - Ref. numunesi yük – yer değiştirme grafiği	79
Şekil 3.34. Mas0 - Ref. numunesi duvar yer değiştirme profili.....	80
Şekil 3.35. Mas1 - Enj. numunesi hasar durumu	81
Şekil 3.36. Mas1 - Enj. numunesi çatlama şekilleri.....	82
Şekil 3.37. Mas1 - Enj. numunesi basınç (a) ve çekme bölgesinde (b) oluşan çatlaklar	82
Şekil 3.38. Mas1 – Enj. numunesi yük - yer değiştirme grafiği	83
Şekil 3.39. Mas1 – Enj. numunesi duvar deplasman profili	83
Şekil 3.40. Mas1 - 3D Fab. numunesi hasar durumu	85
Şekil 3.41. Mas1 - 3D Fab. numunesi çatlama şekilleri.....	86
Şekil 3.42. Mas1 - 3D Fab. numunesi basınç (a) ve çekme bölgesinde (b) oluşan çatlaklar.....	86
Şekil 3.43. Mas1 - 3D Fab. numunesi yük – yer değiştirme grafiği	87
Şekil 3.44. Mas1 - 3D Fab. numunesi duvar yer değiştirme profili.....	87
Şekil 3.45. Mas1 - CFRP. numunesi hasar durumu	89
Şekil 3.46. Mas1 - CFRP. numunesi çatlama şekilleri.....	90
Şekil 3.47. Mas1 - CFRP. numunesi basınç (a) ve çekme bölgesinde (b) oluşan çatlaklar	90
Şekil 3.48. Mas1 - CFRP. numunesi yük – yer değiştirme grafiği	91
Şekil 3.49. Mas1 - CFRP. numunesi duvar yer değiştirme profili.....	91
Şekil 5.1. Deney numuneleri yük – yer değiştirme grafiği	95

Şekil 5.2. Deney numuneleri yük – diyagonal deplasman grafiği	96
Şekil 5.3. 10 kN için duvar deplasman profilleri	97
Şekil 5.4. 20 kN için duvar deplasman profilleri	97
Şekil 5.5. 30 kN için duvar deplasman profilleri	98

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Malzeme özellikleri	18
Tablo 1.2. Numune özellikleri	20
Tablo 1.3. Yükleme sonucu verileri	21
Tablo 1.4. Karışım harcı ve epoksilerin mekanik özellikleri	22
Tablo 1.5. A3 FRP çubuğu için aderans test değerleri.....	22
Tablo 1.6. FRP çubukların epoksi 2 içindeki aderans test değerleri	23
Tablo 1.7. Fiberle güçlendirilmiş epoksidede FRP çubukların aderans mukavemet değerleri	23
Tablo 1.8. Maksimum yük, moment, sehim ve uzamalar	25
Tablo 2.1. Doğal yapı taşlarının cinslerine göre basınç ve eğilmeye çekme dayanımları	28
Tablo 2.2. Beton briketlerin boyutları.....	29
Tablo 2.3. Beton briketlerin basınç mukavemetleri	30
Tablo 2.4. Harçlarda minimum basınç dayanımı	31
Tablo 2.5. Hacimsel olarak harç karışımları	31
Tablo 2.6. Yığma yapılarda çatlak düzeyleri	36
Tablo 3.1. Yıkanmış kum elek analizi	50
Tablo 3.2. CEM II/A-P 42,5 R çimento özellikleri.....	50
Tablo 3.3. "Puzalonik kireç esaslı, tarihi yapı onarım harcı" karışım oranları	51
Tablo 3.4. "Puzalonik kireç esaslı, tarihi yapı onarım harcı" teknik özellikleri	51
Tablo 3.5. "Tarihi yapılar için geliştirilmiş, puzolanik kireç esaslı enjeksiyon harcı" karışım oranları ve basınç dayanımı	52
Tablo 3.6. "FRP (Lifli polimer) sistemi içinde yer alan, ön üretimli, karbon lifli polimer plaka" teknik özellikleri	52
Tablo 3.7. 3D Fabrik teknik özellikleri.....	53
Tablo 3.8. "FRP (FIBRE) lifli polimer sistemi için geliştirilmiş epoksi yapıştırıcı" teknik özellikleri	54
Tablo 3.9. Düzeltilmiş yatay yükleri ve maksimum α açıları	73
Tablo 5.1. Maksimum yük ve yatay yer değiştirme verileri	93
Tablo 5.2. Kapasite artış tablosu	94

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

σ	: Duvar Düşey Gerilmesi, (MPa)
τ_{em}	: Duvar Kayma Emniyet Gerilmesi, (MPa)
τ_o	: Duvar Çatlama Emniyet Gerilmesi, (MPa)
μ	: Sürtünme Katsayısı
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Okside
cm	: Santimetre
g	: Gram
G	: Toplam Ölü Yük, (kN)
kg	: Kilogram
kN	: Kilonewton
L	: Kiriş Açıklığı, (mm)
lbf	: Pound, (Kuvvet)
L _c	: Duvarın Başlangıçtaki Diyagonal Uzunluğu, (mm)
L _t	: Duvarın Başlangıçtaki Diyagonal Uzunluğu, (mm)
Lt	: Litre
Me	: Kırılma Momenti (Ölü ve Uygulama Yükleri Dahil), (kNm)
Me,	: Kırılma Momenti, (kNm)
mm	: Milimetre
Mn	: Hesaplanan Nominal Eğilme Mukavemeti, (kNm)
MPa	: Megapascal
P _d	: Duvar Numunesine Gelen Toplam Düşey Yük, (kN)
P _{dx}	: Duvar Numunesine Gelen Toplam Düşey Yük “X” Bileşeni, (kN)
P _{dy}	: Duvar Numunesine Gelen Toplam Düşey Yük “Y” Bileşeni, (kN)
P _y	: Duvar Numunesine Gelen Toplam Yatay Yük, (kN)
Q	: Toplam Hareketli Yük, (kN)
t	: Kayma Gerilmesi, (kN/m ²)
V	: Duvar Yük Taşıma Kapasitesi, (kN)
Ve	: Kesme Kuvveti (Uygulama Yükleri ve Ölü Yükler Dahil), (kN)
Vn	: Hesaplanan Nominal Kesme Kuvveti, (kN)

Kısaltmalar

ACI	: American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Malzeme Test Birliği)
CFRP	: Carbon Fiber-Reinforced Polymer (Karbon Lifli Polimer)
DBYYHY	: Deprem Bölhelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007)
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartları Enstitüsü)
FRP	: Fiber-Reinforced Polymer (Lifli Polimer)
GD	: Güçlendirilmemiş Duvar
GFRP	: Glass Fiber-Reinforced Polymer (Cam Lifli Polimer)
İPÇ	: İlk Dayanımı Yüksek Portland Çimentosu

İYSG	: İki Yüzeyinden Seyrek Şeritlerle Güçlendirilmiş
LP	: Lifli Polimer
Mas0 – Ref.	: Referans Numune
Mas1 – Enj.	: Sadece Enjeksiyon ile Güçlendirilmiş Numune
Mas1 – 3D Fab.	: Enjeksiyon & 3D Fabrik ile Güçlendirilmiş Numune
Mas1 – CFRP	: Enjeksiyon & CFRP Plaka ile Güçlendirilmiş Numune
TS	: Türk Standartları
TYFG	: Tek Yüzeyinden Farklı Aralıklı Şeritlerle Güçlendirilmiş
TYSG	: Tek Yüzeyinden Seyrek Şeritlerle Güçlendirilmiş
UNI	: Ente Nazionale Italiano di Unificazione (İtalyan Standartları Enstitüsü)
URM	: Unreinforced Masonry (Yığma Yapı)
UV	: Morötesi Işınım

MEVCUT YIĞMA DUVARLARDA DERZ GÜÇLENDİRME YÖNTEMLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Yığma yapıların büyük bir çoğunluğunun, yapısal güvenlik açısından ve kültürel mirasın yaşatılabilmesi için güçlendirilmesi gerekmektedir. Özellikle tarihi yapılarda uygulanacak güçlendirmenin, duvarların görsel ve yapısal dokusunu bozmaması istenmektedir. Bu durum harç enjeksiyonu ve derz güçlendirme gibi özel yöntemler gerektirir.

Bu çalışmada, kısmen eski duvarları temsil etmesi için harman tuğlasıyla kötü kalitede örülen, 19x119x139 cm boyutlarında dört adet duvar numunesi üretilmiştir. Birinci numune referans kabul edilmiş, ikinci numuneye sadece enjeksiyon yapılarak güçlendirilmiştir. Üçüncü numuneye enjeksiyon yapılmış ve yatay derzleri 3D Fabrik ile güçlendirilmiştir. Dördüncü numunede ise üçüncüden farklı olarak 3D Fabrik yerine CFRP plakalar kullanılmıştır. Tüm numuneler sabit düşey yük altında, düzlem içi monotonik yatay yük verilerek test edilmiştir. Testler sırasında duvar davranışı gözlenmiş, yük-deplasman değerleri kaydedilmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek yük kapasitesi artışının CFRP plakalar ile sağlandığı görülmüştür. 3D Fabrik ile yapılan güçlendirmede elde edilen dayanım artışı, CFRP kullanımında elde edilen artışa yakındır ve iki malzemenin kullanımında kuvvet eşitliği gözlemlenmediği göz önüne alındığında, çıkan sonuç önem arz etmektedir (Güçlendirme malzemesi kullanım miktarı, uygulama yapılacak derzlere göre belirlenmiştir). 3D Fabrik kullanılarak yapılan güçlendirme sonucunda, diğer güçlendirilmiş numunelere göre daha yüksek süneklik elde edilmiştir.

CFRP plakalar ile beraber kullanılan epoksinin ve/veya 3D Fabrik hammaddesi olan polyesterin, tarihi duvarlarda durabilite sorununa yol açabileceği bilinen bir gerçektir. 3D Fabrik üretiminde hammadde olarak naylon, karbon vb. liflerin kullanılması ile bu sorun ortadan kaldırılabilir. 3D Fabrik malzemesinin, yukarıda bahsedilen olumlu etkileri göz önüne alındığında ve CFRP'ye oranla çok daha ekonomik ve işçiliğinin daha kolay olmasından dolayı, yığma yapılarda güçlendirme malzemesi olarak, önemli bir alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: 3D Fabrik, CFRP, Derz, Güçlendirme, Yığma Duvar.

EXPERIMENTAL RESEARCH FOR JOINT STRENGTHENING METHODS IN EXISTING MASONRY WALLS

ABSTRACT

A great number of the existing masonry buildings need strengthening to structural safety and maintain the cultural heritage. Especially for historical structures, strengthening methodology is not desired to spoil visual and structural tissue of walls. This situation requires special methods such as grout injection and bed-joint strengthening.

In this study, four masonry walls built in poor quality by using clay bricks representing the quite old walls were constructed in size of 19x119x139 cm. First specimen was considered as reference one and the second specimen was only strengthened by means of grout injection. Third specimen was both grout injected and bed-joints strengthened by using 3D Fabric. For the fourth specimen, unlike the third one, CFRP plates was used instead of 3D Fabric. All specimens tested under constant vertical load and in-plane lateral load applied in monotonic manner. Wall behavior were observed and load-displacement values were recorded during the tests. It was noted that the highest increase in load capacity among the strengthened specimens was obtained from the wall strengthened by using CFRP plates. The strength increase obtained from the wall strengthened by using 3D Fabric was so close to the value that obtained from the CFRP plate applied one. In addition, it was thought that this result was significant since there were no force equilibrium consideration for application of the CFRP and 3D Fabric materials (Quantity of CFRP and 3D Fabric materials used in strengthening schemes was decided according to bed-joints implemented). Furthermore, higher ductility level was obtained by using 3D Fabric relative to the other strengthening schemes in the study.

It is a well-known fact that epoxy that is used for application of CFRF plates and/or polyester that is the raw material of 3D Fabric may cause durability problems in historical masonry walls. This issue can be solved by using nylon, carbon, etc. fibers as raw material in production of 3D Fabric. Considering the aforementioned positive effects of 3D Fabric usage, having regard to being cheaper and easier in workmanship than CFRF plate applications, it can be said that 3D Fabric is an important alternative strengthening material for masonry structures.

Keywords: 3D Fabric, CFRP, Bed-Joint, Strengthening, Masonry Wall.

GİRİŞ

Ülkemiz geçmişten günümüze kadar sık sık büyük depremlere maruz kalmıştır. Bu depremler ağır maddi kayıplar getirmenin yanı sıra binlerce insanımızın hayatını kaybetmesine ve evsiz kalmasına neden olmuştur. Bu kayıplar bize ülkemizdeki binaların depreme karşı ne denli yetersiz olduğunu göstermektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü 2000 yılı verilerine göre ülkemiz belediye sınırları içerisinde 7.838.675 bina bulunmaktadır. Bu binaların taşıyıcı sistemlerine göre dağılımı %48 iskelet, %51 yığma, %0,1 tünel kalıp sistem, %0,9 diğer şeklindedir. Yığma ve iskelet olarak inşa edilen binalarda kullanılan malzemelerin başında %59,6 ile tuğla gelmektedir. Bunu %18,0 ile briket, %9,8 taş, %7,9 kerpiç, %2,7 ahşap ve %2,0 diğer malzemeler izlemektedir [38]. Ülkemizde depremin en yıkıcı etkileri özellikle kırsal bölgelerde ve gecekondü semtlerinde görülmektedir. Bunun nedeni ise mühendislik hizmeti görmeden inşa edilen yığma yapıların deprem etkilerine karşı koyamaması ve yıkılmasıdır.

Ülkemizde gerek betonarme, gerek çelik ve gerekse prefabrik yapılar ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Buna karşılık binaların büyük çoğunluğunu oluşturan yığma yapıların güçlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar yetersizdir. Yukarıdaki veriler dikkate alındığında yığma yapılarda güçlendirme konusunun ne denli önemli olduğu anlaşılmaktadır. Yapılması gereken şeylerin başında yatay yükler altında yığma yapıların davranışları analiz edilerek muhtemel depremlere karşı uygun güçlendirme teknikleri geliştirmektir. DBYYHY2007 dikkate alınarak oluşturulacak güçlendirme teknikleri ile depremin yıkıcı etkileri azaltmak mümkündür.

1. GENEL BİLGİLER

Yığma yapıları oluşturan tuğla duvarların güçlendirilmesinde ülkemizde ve dünyada değişik metotlar uygulanmaktadır. Örneğin çelik elemanlar kullanılarak duvar dayanımını artırılabilir. Tek yüzeyde, iki yüzeyde çelik şeritler kullanılarak güçlendirme yapılabileceği gibi düz veya çapraz yerleştirilen çelik profil elemanlarla da duvar dayanımını artırılabilir. Benzer şekilde duvar yüzeyine çelik plaka ile güçlendirme yapmak ta mümkündür. Beton ile yapılan güçlendirmelerde ise duvar yüzeyine hasır donatı döşenerek üzerine püskürtme beton, kalın harç veya kendinden yerleşen beton uygulanarak duvar dayanımları artırılabilir. Diğer bir seçenek FRP (Fiber-Reinforced Polymer (Lifli Polimer)) kullanarak yapılan güçlendirme türüdür. FRP uygulamasının bazı avantajları; uygulama kolaylığı, kesit kalınlığının az olması, binaya ek yük getirmemesi, kısa sürede uygulanabilmesi, korozyona karşı olan dayanıklılığı sayılabilir. FRP uygulaması gereksinimlere bağlı olarak tüm duvar yüzeyine uygulanabileceği gibi çapraz, düz, tekli ve çoklu ızgara şeritler şeklinde uygulanabilir. Donatı çeliği kullanılarak art germe yöntemiyle yapılan güçlendirme yöntemleri de mevcuttur. Diğer bir yöntem ise çimento veya epoksi enjeksiyonu ile yapılan güçlendirme tekniğidir. Epoksi uygulaması 2 mm genişliğinden daha küçük çatlaklarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha geniş boşlukları doldurmak için çimento harcı kullanılır. Bu sistemin avantajı ise binanın estetik yapısında herhangi bir değişiklik yapmamasıdır.

Yığma yapıların güçlendirilmesinde kullanılacak teknik son derece önemlidir. Güçlendirilecek yapı çok iyi analiz edilmeli ve hangi güçlendirme yönteminin kullanılacağına karar verilmelidir. Uygulanacak teknik, başta emniyet olmak üzere ekonomi ve estetik açısından optimum çözümü sunmalıdır.

1.1. Amaç ve Kapsam

Yığma yapılarda güçlendirme gereksinimi birkaç farklı neden sonucunda ortaya çıkmıştır. Yapıların mühendislik biliminden uzak, projersiz ve kontrolsüz bir şekilde inşa edilmesi, inşa sırasında projelere sadık kalınmaması, inşası tamamlanan yapılarda sonradan yapılan değişiklikler sonucunda yapıda bazı hasarlar meydana

gelmektedir. Ayrıca yapının deprem etkilerine maruz kalması veya yapı ömrü boyunca bir kez yaşanması beklenen büyük depremde, can kaybına yol açmadan ayakta kalabilmesini sağlamak amacıyla güçlendirme uygulamaları yapılmalıdır. Bu çalışma yığma yapılarda meydana gelen hasar türleri ve bu hasarların nedenleri, yığma yapıların göçme mekanizmaları, oluşan hasarların sınıflandırılması, yığma yapıların güçlendirme yöntemleri ve mevcut yığma yapılarda derz güçlendirme yöntemlerinin deneysel olarak incelenmesi konularını kapsamaktadır. Yapılan deneysel çalışmada tuğla duvarların düzlem içi yükler altında, belirli noktalardan duvar numunesine enjeksiyon yapılarak ve belirli derzlerin 3D Fabrik veya CFRP plaka kullanılarak güçlendirilmesi sonucunda oluşan etkiler konusu araştırılmıştır. Güçlendirme işlemi sonrasında duvar numunelerinde oluşan gerilmeler, duvar numunelerinin dayanımları ve göçme şekilleri incelenmiştir. Deneyde kullanılan duvar numuneleri harman tuğla kullanılarak hazırlanmıştır. Numunelerden bir tanesi referans seçilerek güçlendirme yapılmadan denenmiştir. Diğerleri ise güçlendirme işleminden sonra deneye tabi tutularak hem güçlendirme tekniklerinin kendi içlerindeki farklılıklar hem de referans numuneye kıyasla oluşturdukları etkiler gözlenmiştir.

1.2. Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Çöğürçü 2007 yılında yaptığı bu çalışmasında, yığma yapıların yük altındaki davranışları deneysel çalışmalarla incelenmiş olup yapılan deneysel çalışmalar; yığma yapıların oluşan çatlakların devam etmesi sonucunda yük alamaz hale geldiğini ve kırıldığını göstermektedir. Bu çalışmada ise düzlem dışı yüklenen yığma duvarların ve yığma duvarlarda oluşan çatlakların kontrol altına alınmasını sağlayacağı düşünülen epoksi reçineli FRP ile yatay derz takviyesi uygulaması, analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Temelde 2 deneye dayanan bu çalışma güçlendirme yapılmadan örülmüş yığma duvar ile güçlendirme yapılarak örülmüş yığma duvarın davranış özelliklerini karşılaştırmıştır. Deneylerde kullandıkları numuneler prototip olup, 2,7 x 2,1 m boyutlara sahiptir. Yapılan deneylerin bütün değerlerini bilgisayara kayıt etmişler ve grafik olarak da izlemişlerdir [12].

Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları kısaca özetleyecek olursak; Düzlem dışı tersinir yükler, yük taşıyan yığma duvarları çökmelere karşı çok dayanılmaz hale

getirmiştir. Düzlem dışı yüklenen duvarlarda çok büyük ivme artışları olur (2 katı) ve buda yapıyı yıkmaya zorlayan kuvvetleri çok arttırmıştır. Düzlem dışı yüklenen duvarlarda, 2 yönlü betonarme döşemelerin kırılmalarına benzer çatlaklar oluşur ve bu çatlaklar akım çizgilerine dönüşerek duvarın yıkılmamasına sebep olmuştur. Test edilen model yığma duvarın 65 kN'luk bir tersinir yük altında kırılmakta iken güçlendirilmiş duvarın kırılma yükü 80 kN olmuştur. Yani başka bir söyleyişle 1,25'lik daha fazla kırılma yüküne dayanabilmektedir. Deney duvarının düzlem dışı kırılması kesme kırılmasını andıracak şekilde gevrek olmuştur. Bu yönden çok az sismik enerji tüketebilmiştir. Bu sebepten düzlem dışı yüklenen duvarlar deprem yıkılmasına karşı çok dayanıksızdırlar. Test edilen duvarın dayanımı 0,4 g'lık yer ivmeli bir depremin gerekli kılacağı sismik dayanıma karşılık gelmektedir. Ancak bu durumun belirli boyutlara ve malzeme özelliklerine sahip bir test duvarı için söz konusu olduğu unutulmamalıdır. Yatay derzleri epoksi reçineli FRP ile güçlendirilen duvarın 1,44 g'lık yer ivmeli bir depremin sismik dayanımına dayanabileceği görülmüştür. Bu durumda uygulanan güçlendirme yönteminin duvarın sismik dayanım performansını yaklaşık 3 kat arttırdığı söylenebilir.

Özsaraç 2009 yılında yaptığı bu araştırmada, dokuma GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymer (Cam Lifli Polimer)) malzemesinin güçlendirmede, değişik formlarda ve miktarda kullanılmasının, yığma tuğla duvarların dayanım ve sünekliğine olan etkisi araştırmıştır. 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 [8].

Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları kısaca özetleyecek olursak; 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.

As 2007 yılında yaptığı bu çalışmada tarihi tuğlalar ile örülen duvarların güçlendirilmesi incelenmiş olup Akaretler Sıra Ev Grubu taşıyıcı duvarlarından alınan tuğlalar ile örülen duvar numuneleri kullanmıştır. Bu numunelerin güçlendirme öncesi ve sonrasında diyagonal çekme etkisi altında davranışları incelenmiştir. Bu amaçla duvar numuneleri 12 adet üretilmiş olup yaklaşık 400x400x260 mm boyutlarına sahiptir. Bu numunelerin 2 adedi herhangi bir işlem uygulamadan referans davranışı belirlemek üzere, 2 adedi tamir harcı ile 8 adedi ise cam lifli polimer kompozitler ile güçlendirerek monoton artan veya tekrarlı yükler altında çekme deneyi ile denenmiştir. LP (Lifli Polimer) kompozitler ile güçlendirilen numunelerde, kompozit kalınlığı, kompozitlerin duvar numunesine ankrajı ve tekrarlı yüklemenin davranışa etkisinde incelemiştir [24].

Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları kısaca özetleyecek olursak; güçlendirilmiş numunelerde yüzeye uygulanmış olan sıva kalınlığının dayanımı arttırdığını tespit etmişlerdir. Güçlendirme yapılmamış olan referans numunelere göre tamir harcı ile güçlendirilmiş numunelerin kesme dayanımlarında 1,60 kata ve LP kompozitlerle güçlendirilmiş numunelerde ise ortalama 3,30 kata varan oranlarda artış elde etmişlerdir. LP kompozitlerle güçlendirilen duvarlarda LP kalınlığının duvar numunelerinin davranışında etkili olmadığı tespit edilmiştir. Bunun en büyük sebebi LP'nin sıva ve tuğlanın yüzeyinden ince bir tabaka olarak kalkması ile gerçekleşmesidir. Bu yüzden LP'nin tam kapasitesinden yararlanamamışlardır.

LP kompozitler ile güçlendirme yapılmış numunelerde sürekli veya süreksiz ankraj uygulaması yapılarak maksimum yük kapasitesi ve kesme dayanımı değerlerinde ankraj uygulanmayan LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelere göre kayda değer bir artış sağlanamamıştır. Numunelerin şekil değiştirebilme yeteneklerinde ise sürekli ankraj uygulamasının süreksiz ankraj uygulamasına oranla daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Katlamalı ankraj uygulamasının numunelerin davranışlarında yüksek ölçüde geliştirdiğini tespit etmişlerdir. Bu iyileşmenin numunelerin, maksimum yük kapasitesinde, kesme dayanımında deformasyon yapabilme yeteneğinde ve düşey yük düşey şekil değiştirme eğrisi altında kalan alanda gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

LP kompozitler ile güçlendirilmiş numunelerde göçme biçimi cam lifli kumaşların duvar yüzeylerine yapıştırılma şeklinin belirlediği görülmüştür.

Yılmaz 2010 yılında iki farklı tez çalışması olarak yürütülen bu çalışmada boşlukta tuğla ile imal edilmiş yığma duvar modellerinin karbon lifli polimer güçlendirme malzemesi ile (CFRP) güçlendirme öncesi ve sonrası mekanik özellikleri incelemiştir. 1/3 ölçekli özel üretim fabrika tuğlaları ile hazırlanmış toplam 36 adet model duvar numunesi 3 farklı grup olarak imal edilmiştir. İlk tez çalışmasında aynı boyutlardaki numunelerde harç tipinin etkileri incelenmiştir. İkinci tez çalışmasında ise aynı harç numunesi ile hazırlanmış duvar modellerinde boyut etkisi araştırılmıştır. Bunun yanı sıra duvar modelleri CFRP ile güçlendirilmiş ve güçlendirme etkisi araştırılmıştır [18].

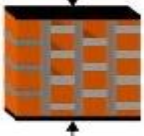
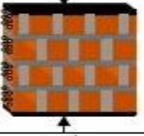
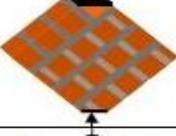
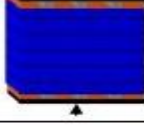
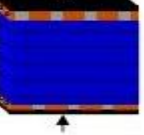


Farklı boyutlarda iki tip duvar modeli hazırlanmıştır. Bunlardan ilki 350 x 350 x 70 mm boyutlarında ve ikincisi ise 500 x 500 x 70 mm boyutlarındadır. Deney numuneleri boyut, deney sınıfı ve güçlendirme durumuna göre sınıflandırılmışlardır. Her deney sınıfında 2 adet olmak üzere toplam 24 adet deney numunesi hazırlanmış ve deneye tabi tutulmuştur.

Boyut etkisinin ve güçlendirme etkisinin numune dayanım, başlangıç rijit ligi, deformasyon yeteneği ve enerji yutma özelliği üzerindeki etkisini bulmak için numuneler yük delik yönünde, deliğe dik olacak şekilde ve diyagonal çekme etkileri i

oluşturacak şekilde verilerek deneye tabi tutulmuştur. Şekil 1.1’de yapılan deneyler ve özellikleri verilmiştir. Tüm deneyler İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan 5000 kN kapasiteli Instron deney cihazında 0,2 mm/dakika yükleme hızıyla yer değiştirme kontrollü olarak yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen önemli bulgular şunlardır:

- Boyut artışı güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş kayma numunelerinin göçme şekillerini değiştirmedeği görülmüştür.
- Güçlendirme işlemi numunelerin basınç dayanımı, kayma dayanımı, deformasyon yeteneği ve enerji yutma özelliğini olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.
- Numunenin şekil değiştirme ve enerji yutma özelliği üzerindeki artışta en iyi sonucu numunenin delik dik yöndeki davranışta ve tam sargı ile güçlendirilen numunelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- Güçlendirme ile numunenin göçme şeklinin değiştiği gözlemlenmiştir.
- CFRP ile güçlendirme işleminde bu malzemenin donatı etkisi göstererek duvarın parçalanmasını önlediği ve hasar miktarını azalttığı gözlemlenmiştir.
- CFRP ile güçlendirme işleminin ek yük getirmemesi, kesit alınının az olması ve dayanım, enerji yutma, şekil değiştirme yeteneği üzerindeki etkileri incelendiğinde iyi bir yöntem olabileceği sonucuna varılmıştır.

Deney tipi	
	Özellik
	Mevcut duvar delik yönünde basınç deneyi
	Mevcut duvar deliğe dik yönünde basınç deneyi
	Mevcut duvar diyagonal kayma deneyi
	Tam olarak güçlendirilmiş duvar delik yönünde basınç deneyi
	Tam olarak güçlendirilmiş duvar deliğe dik yönde basınç deneyi
	Şerit olarak güçlendirilmiş duvar diyagonal kayma deneyi
	Tam olarak güçlendirilmiş duvar diyagonal kayma deneyi

Şekil 1.1. Deney tipleri ve özellikleri [18]

Kanıt ve Döndüren 2008 yılında yaptıkları bu çalışmada, normal harçla hazırlanan bir yığma duvar numunesiyle, katkı maddesi kullanılarak bağlayıcı özelliği artırılmış harçla hazırlanan bir yığma duvar numunesinin mekaniksel davranışları araştırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, ASTM 1391-81'de (American Society for Testing and Materials (AmerikanMalzeme Test Birliği)) önerilen, yığma duvar numuneleri için standart kayma gerilmesi deney tekniği kullanılmıştır. Bunun için ilk önce en uygun yapışma oranını verecek katkı maddesinin miktarını belirlemek amacıyla 7 adet aynı boyutlarda duvar numunesi değişik katkı miktarları kullanılarak örülmüştür. Daha sonra bu duvar numuneleri

deneye tabi tutulmuş ve en uygun katkı maddesi miktarı belirlenmiştir. Katkı maddesi miktarı belirlendikten sonra, normal harçla örülmüş numune ile katkı maddesinin en iyi sonuç verdiği numune arasındaki farklar araştırılmıştır. Deney numunelerinde gözlenen davranışlar ve deney sonucu oluşan çatlaklar incelenmiş, t (kayma gerilmesi) değerleri ile yük - deplasman değerleri karşılaştırılmıştır [25].

Deney numunelerinin belirlenmesinde dikkate alınan değişkenler şunlardır:

- 6 adet yığma duvarın dolu harman tuğlası kullanılarak bağlayıcı özelliği artırılan harçla örülmesi
- 1 adet yığma duvarın dolu harman tuğlası kullanılarak normal harçla örülmesi

TS 705'e (Türk Standartları) uygun olarak hazırlanmış harçla örülen ve sıvanan bir yığma duvarla, Sikalatex katkı malzemesi kullanılarak bağlayıcı özelliği artırılmış harçla örülen ve sıvanan bir yığma duvarın, mekaniksel davranışlarının belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler neticesinde ulaşılan sonuçlar şöyledir;

- Bu deneyde en büyük göçme yükü 98,17 kN olarak bulunmuştur.
- Katkı malzemesi kullanılarak oluşturulan deneyde kayma gerilmesi 1,93 kg/cm² olarak bulunmuştur. Normal harçla hazırlanan deneyde ise kayma gerilmesi 0,973 kg/cm² olarak bulunmuştur.
- Katkı malzemesinin en uygun karışım miktarı; 1,2 kg Sikalatex, 0,6 kg su, 4 kg çimento ve 9 kg kum karışımıdır.
- Yapılan deneylerde katkı malzemesi miktarı belirli orandan fazla kullanıldığı zaman yük taşıma kapasitesinin düştüğü gözlemlenmiştir.
- Normal harçla hazırlanan numunede göçme yükü 49,58 kN olarak bulunmuştur. Bağlayıcı özelliği artırılan harçla örülen numunedeki en fazla göçme yükü 98,17 olduğuna göre, bağlayıcı özelliği artırılan harçla hazırlanan numune normal harçla hazırlanan numunenin yaklaşık iki katı daha fazla yük taşımıştır.
- Bu sonuçlara göre yığma yapılarda duvar içerisinde ve sıvada kullanılan harç karışımına, harcın performansını artırıcı katkı malzemesi kullanmak yapıyı büyük bir oranda yatay yüklere karşı dayanıklı hale getirmektedir.

ElGawady ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları bu çalışmada, yığma duvarlarda uygulanan alışılmadık güçlendirme tekniklerinin yapılış metotlarını ortaya koyan, yatay yükler altında göstermiş oldukları performansları karşılaştıran ve bu tekniklerin

çeşitli açılardan avantaj ve dezavantajlarını karşılaştıran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. İncelenen güçlendirme metotları; yüzeysel iyileştirme (Ferrocement, Donatılı Sıva ve Shotcrete uygulamaları), grout ve epoksi enjeksiyon uygulaması, çelik plakalarla dış güçlendirme uygulaması, betonarme elemanlarla çevreleme (zayıf çerçeve oluşturma) uygulaması, art germe uygulaması ve duvar merkezine donatılı çekirdek uygulamalarıdır [26].

Çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçları kısaca özetleyecek olursak; yüzeysel iyileştirme metotlarıyla güçlendirilmiş yığma duvarlarda, güçlendirme yapılmamış olanlara göre, yatay yükler altındaki davranışlarında, 3 kata kadar dayanım artışı olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemin avantajları genel hatlarıyla düşük maliyet, sistemi fazla yüklememe ve yöntemin basitliği olarak verilirken, dezavantajları olarak da dış yüzeye müdahale edildiğinden dolayı kullanım alanının azalması, uygulamadan sonra mevcut yüzeyin kapanması ve estetik açıdan sonlandırma yapılma zorunluluğu gösterilmiştir. Grout ve epoksi ile enjeksiyon yöntemi için yatay yükler altında dayanımı kayda değer şekilde arttıramadığına dikkat çekilmiş, hasarlı duvarların ancak başlangıçtaki dayanımına ulaştırılmasında kullanılabileceği ortaya koyulmuştur. Yöntemin artıları binaya ilave yük getirmemesi, kullanım alanının daraltılmaması ve orijinal yüzey alanının kapatılmaması iken dezavantaj olarak duvarlarda rijit bölgelerin oluşması (homojen bir yapı elde edilememesi) ve epoksinin yüksek maliyeti gösterilmiştir. Çelik plakalarla dış güçlendirme uygulaması duvarlarda 4,5 ila 10 kata kadar dayanım artışı sağlamasına ve bütünlüğü koruyup enerji sönümlenmesine büyük ölçüde katkı sunmasına karşın, korozyon, estetik kaygılar ve yük artışı açısından dezavantajlı olduğu görülmektedir. Betonarme elemanlarla çevreleme yöntemi 1,5 kata kadar dayanım artışı sağlamasının yanında, sistem bütünlüğünü de ciddi şekilde korumaktadır. Buna rağmen uygulama zorluğu, dayanımda yapmış olduğu sınırlı etki ve mimari kaygılar olumsuz yanlarıdır. Öngermeli ankraj sistemi dayanımı arttırırken binaya ilave yük de getirmemektedir. Fakat yüksek kullanım alanı kayıpları ve korozyon önemli zayıf yönleridir. Duvar merkezinde donatılı çekirdek uygulamasında dayanım yaklaşık 2 kat artmaktadır. Bununla birlikte uygulama, binanın fonksiyonunun etkilenmemesini ve duvar yüzeylerinin mevcut halini korumasını da sağlar. Fakat bu uygulamada da

enjeksiyon yönteminde olduğu gibi bölgesel dayanım artışları söz konusudur ve homojen bir yapı elde edilemez.

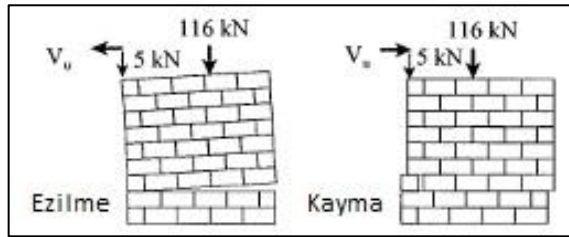
Taghdi ve arkadaşları 2000 yılında yaptıkları bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan eski tek katlı betonarme perde sistemli ve yığma yapıların taşıyıcı duvarlarının güçlendirilmesiyle ilgili olarak, 6 adet numune (4 adet beton blok ve 2 adet deprem yönetmeliğinden önceki tasarım kuralları dikkate alınarak hazırlanmış minimum donatı oranlı betonarme perde) üzerinde, yatay yükler altında deneyler yapmışlardır. Güçlendirme yöntemi olarak yapım aşaması sırasında bina fonksiyonlarını fazla etkilememesi ve duvar kalınlığını neredeyse hiç arttırılmaması sebebiyle sadece dikey ve diyagonal çelik şeritler tercih edilmiştir [27].

Beton bloklarla yığma duvarlar için 4 adet deney numunesi hazırlanmış olup numune ölçüleri 20cm x 180cm x 180cm'dir (En x Boy x Yükseklik). Numuneler oluşturulurken 20cm x 20cm x 40cm ebatlarında beton bloklar ve bağlayıcı olarak eski yapılarda kullanılan harca uygun olması sebebiyle Tip "O" harç kullanılmıştır. Her numunenin üzerine 50cm x 180cm x 48 cm (En x Boy x Yükseklik) ebatlarında betonarme bir kiriş koyulup, deney esnasında tek katlı bir binanın servis yüklerini yansıtması için 100 kN' luk yük uygulanmıştır. Hazırlanan 4 yığma duvar numunesi 2 gruba ayrılmış ve 2. Grup bölgesel olarak 3 adet donatı (iki baş ve orta bölgeler) duvar yüksekliği boyunca grout kullanılarak duvarın içerisine monte edilerek güçlendirilmiştir. Bu iki grup duvardan birer adedine çelik şeritlerle güçlendirilme yapılmış, diğerlerine yapılmamıştır. Güçlendirilen duvarlar, sağ ve sol başa birer adet dikey (3,81 mm x 80 mm) ve 2 adet köşelerden diyagonal (3,81 mm x 220 mm) çelik şeritlerle, eksantrisiteyi önlemek için, duvarın iç ve dış yüzeyinden güçlendirilmiştir. Duvarın iki yüzeyine uygulanan çelik şeritlerin duvarla birlikte çalışmasını sağlamak ve çeliklerin burkulma boylarını azaltmak amacıyla duvara ve birbirlerine cıvatalarla tutturulmuştur.



Şekil 1.2. Çelik şeritlerle duvar güçlendirme [27]

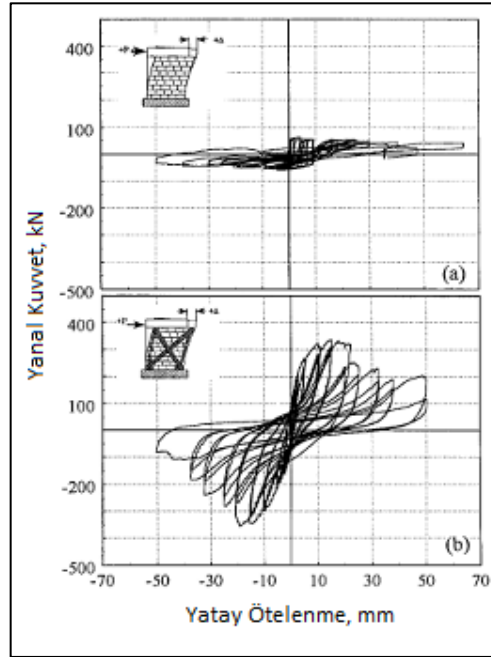
Çelik şeritler kesiştikleri duvar orta noktasında birbirleriyle kaynatılmış ve köşe profilleri yardımıyla duvar ve çelik şeritler zemine ankrajlanmıştır (Şekil 1.2). Deneyler esnasında yatay yük, duvarlar üzerinde oluşturulan betonarme kirişler yardımıyla yavaşça artırılarak duvarlara etkilmiştir. Deney esnasında numuneler maksimum taşıma gücünü %50 oranında kaybettiğinde duvarda göçme olduğu kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik üzerinde Y ekseninde yatay kuvvet ve X ekseninde de ötelemenin duvar yüksekliğine oranı olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Güçlendirilmemiş duvarda ezilme ve kayma göçmeleri [27]

Güçlendirilmiş duvara (+) yönde yatay yük uygulandığında, 64,5 kN'da alttan 3. derzde kayma gerilmesinden dolayı göçme meydana gelirken, (-) yönde -58,5 kN'da basınç gerilmesinden dolayı ezilme meydana gelmiştir. Normalde en alt derzde oluşması gereken göçmeler, bu derzin tabana iyi uygulanmasıyla üst derzlerde meydana gelmiştir (Şekil 1.3). Deney öncesinde yapılan hesaplamalarda ezilme

göçmesinin -46 kN'da oluşması beklenirken, göçmelerin en alt derzde meydana gelmemesinden dolayı daha yüksek çıkmıştır.



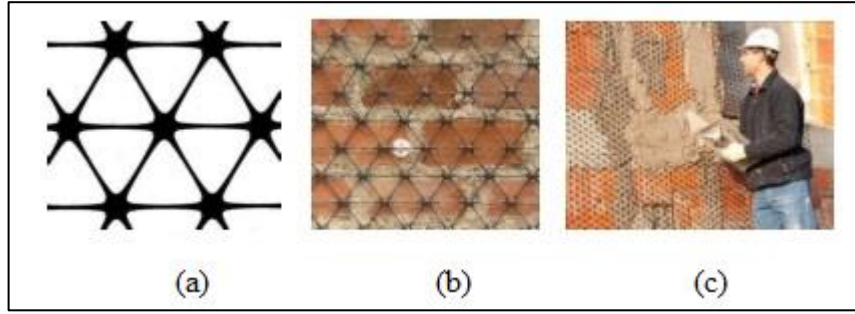
Şekil 1.4. Yığma duvarların histeretik davranışı [27]

Güçlendirilmiş duvarda, deney esnasında, ilk olarak uniform çatlaklar görülmüş, bunu çelik şeritlerin sünmesi ve şekil değiştirmesi takip etmiştir. Duvarda oluşan çatlaklar güçlendirilmiş numunede çok daha uniform ve küçük aralıklı oluşmaktadır. Diyagonal çelik şeritler daha geniş olduklarından ve civataları daha uygun konumlandığından dikey şeritlere göre daha az sünmüştür. Bunun yanında güçlendirilmiş numuneler simetriğe yakın bir histeretik davranış sergileyerek süneklik, sertlik ve enerji sönümü açısından kayda değer iyileşme göstermiştir (Şekil 1.4). Güçlendirilen duvar diğerine göre, %1'lik yanal öteleme değerine kadarki değerler için 4,5 kat daha fazla yanal kuvvete direnebilmiştir.

Sonuç olarak yığma yapılarda çelik şeritlerle güçlendirme düzlem içi gücü, sünekliği ve enerji sönümlene kapasitesini etkili bir şekilde arttırmaktadır. Çelik şeritlerin duvar üzerinde temel ve üst kiriş arasındaki devamlılığını sağlamak için kullanılan detay ve bağlantılar duvarın kayma direncini artırır. Düzlem dışı etkiler deneyin amacı olmasa da çelik şerit metoduyla güçlendirmenin duvarın iki yüzüne de

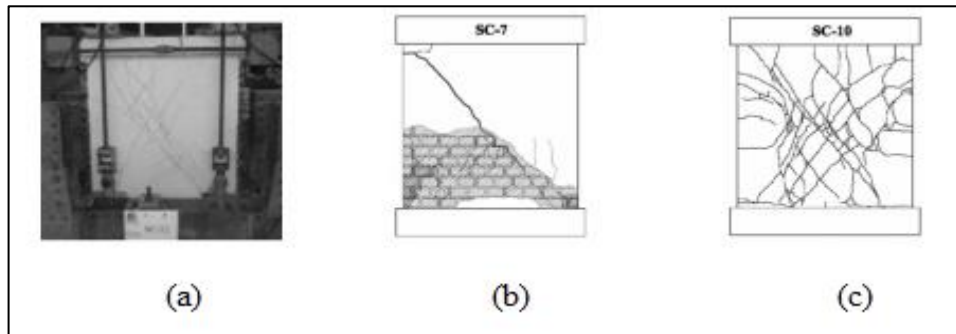
uygulanması düzlem dışı dayanımın geliştirilmesi ve yer değiştirmelerin minimize edilmesinde etkilidir.

Dusi ve arkadaşlarının 2011 yaptıkları bu çalışmada, ince katmanlı sıva içerisine yerleştirilen polimer ağlarla güçlendirilmiş yığma tuğla yapıların sismik yükler altındaki performanslarını yaptıkları düzlemsel ve üç boyutlu deneylerle incelemiştir [28].



Şekil 1.5. a) Polimer ağ, b) Polimerin duvara tatbiki, c) Sıva uygulaması [28]

Güçlendirmede kullanılan polimer ağ eşit açılı üçgenlerin birbirlerine monolitik yapıda bağlanmalarıyla oluşan sert özellikteki “Richter Gard RG TX”dir. Polimer üzerine uygulanan sıva harcı kireç esastır. Şekil 1.5’de sırasıyla polimer ağ, ağın duvara uygulanması ve sıva tatbiki görülmektedir. Uygulamanın temel amacı polimer ağ sayesinde duvarın dayanım ve sünekliğini arttırarak performansını iyileştirmektir.



Şekil 1.6. a)Deney düzeneği, b)Güçlendirilmemiş duvarda göçmede oluşan çatlaklar, c)Güçlendirilmiş duvarda göçmede oluşan çatlaklar [28]

Deneyle, yüzeyinde sıva olmayan, sıvalı fakat güçlendirme yapılmamış ve güçlendirilmiş numuneler üzerinde birçok yükleme durumuna göre

gerçekleştirilmiştir. Kayma ve basınç gerilmeleri altındaki deneylerde, güçlendirilmemiş duvarda çok belirgin diyagonal çatlaklar oluşurken, güçlendirilmiş duvarda çatlak aralıkları dar fakat bir ağ şeklinde tüm duvar yüzeyine yayılmıştır (Şekil 1.6). Güçlendirilmiş duvarda çok daha fazla sayıda çatlak oluşması, duvar dayanımının daha da arttığının bir göstergesi olarak görülmektedir. Ayrıca bu deneyler, polimer ağla güçlendirme sayesinde sünekliğin ve enerji sönümlenmesinin önemli ölçüde arttığını ortaya koymaktadır. Mevcut yapıların bağlayıcı harç kalitesinin düşük olması nedeniyle ve deney sonuçları da göz önüne alındığında, polimer ağla güçlendirme kesme dayanımını normale göre 1,5 kat artırmaktadır. Süneklik açısından karşılaştırıldığında ise güçlendirilmiş panellerin göçme kuvvetine ulaştığındaki yer değiştirmesi %0,4 civarındayken, güçlendirilmemiş panellerde bu oran %0,2'ler mertebesindedir.

Sonuç olarak polimer ağ kullanılarak güçlendirme, yığma yapıların sismik performansını arttırmak için uygulanabilirliği basit ve düşük maliyetli bir çözüm sunar. Yapılan deneyler duvar üzerindeki etkinliğini kanıtlamaktadır.

Farooq ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları bu çalışmada, dış yüzeyi galvanizli çelik şeritlerle güçlendirilmiş yığma duvarların pushover performansını yaptıkları deneylerle incelemişler ve MARCS2003 programında homojen olarak modelledikleri duvarları analiz etmişlerdir [29].

Deney numunesi olarak dört adet kenar uzunluğu 1200 mm olan, kare şeklinde, aynı işçilik ve malzeme kullanılmış duvar hazırlamışlardır. Duvar 235mm x 115mm x 71mm'lik kil tuğlalardan oluşturulmuş, bağlayıcı olarak çimento esaslı harç kullanılmıştır. Tuğlaların ortalama basınç dayanımı 11 MPa, Portland çimentosu kullanılarak hazırlanan harcın kübik basınç dayanımı ise 8,4 MPa'dır. Duvar kalınlığı 115 mm'dir. Birinci duvar güçlendirilmemiş, ikinci duvar tek tarafından seyrek çelik şeritlerle güçlendirilmiş, üçüncü duvar tek tarafından sık ve seyrek çelik şeritlerle güçlendirilmiş ve dördüncü duvar iki tarafından seyrek şeritlerle güçlendirilmiştir (Şekil 1.7). Güçlendirmede kullanılan çelik şeritler 45 mm x 1,3 mm boyutlarında ve akma gerilmesi de 235 MPa'dır. Şeritler duvar üzerinde birbirleriyle kesiştikleri noktalardan kare oluşturacak şekilde yatay ve düşeyde her

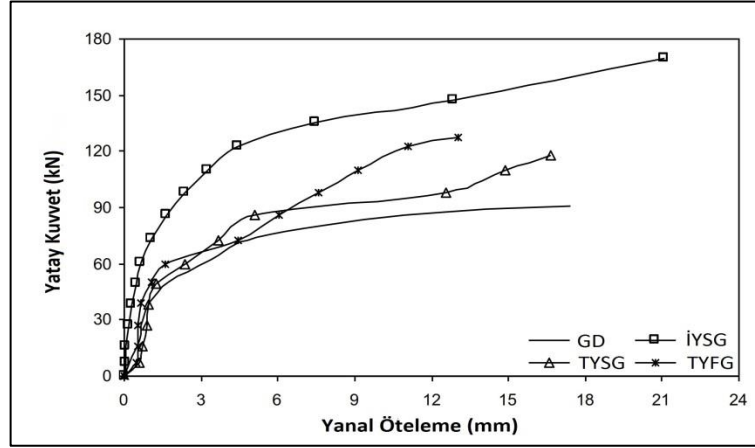
228 mm mesafede konumlandırılarak HILTI HPS-1 6/15x40 cıvatalarla duvara ankrajlanmıştır [29].

Sr. No.	Duvar Tipi	Çelik Şerit Aralığı (mm)		Şerit Uyg.
		V	H	
1	Tek yüzünden seyrek şeritlerle güçlendirilmiş (TYSG)	228	228	Tek taraflı
2	Tek yüzünden farklı aralıklı şeritlerle güçl. (TYFG)	228	114	Tek taraflı
3	İki yüzünden seyrek şeritlerle güçlendirilmiş (İYSG)	228	228	Çift taraflı
4	Güçlendirilmemiş Duvar (GD)	-	-	-

Şekil 1.7. Deneyde kullanılan duvar modelleri [29]

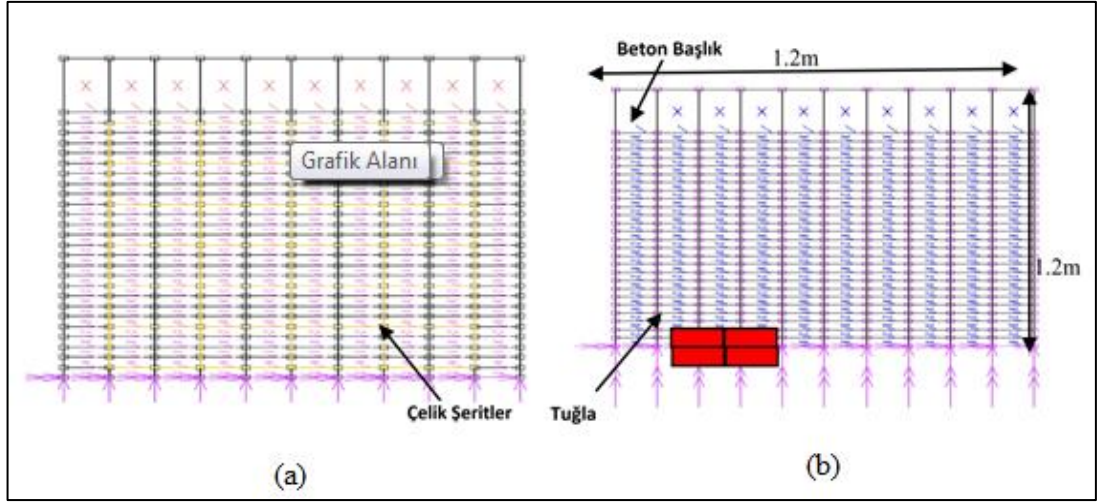
İlk olarak numuneler göçme gerçekleşene kadar yatay yüklemeye maruz bırakılmış ve aynı numuneler MACS2003 programında modellenerek sonlu eleman analizleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde “İYSG” duvarında yanal kuvvet taşıma kapasitesi “GD” duvarına göre %87’lik artış göstermiş ve yanal ötelemesi de %1,45’ten %1,78’e çıkmıştır. “TYSG” yanal öteleme açısından “GD” ye yakın değerde göçse de taşıma kapasitesi %30 oranında artmıştır. “TYGF” de 127,6 kN’a kadar dayanım göstermiş ve numunede %1,09’luk bir öteleme gerçekleşmiştir (Şekil 2). Deney sonuçlarından da anlaşılacağı üzere güçlendirilmiş numunelerin sertliği

güçlendirilmemiş numuneyle çok yakındır. Bu da deprem bölgelerinde güçlendirilen duvarların sertliğinin bozulmadığını dolayısıyla deprem esnasında bina periyodunun ilk tasarlandığı şeklini koruduğunu göstermektedir.



Şekil 1.8. Deneylerde elde edilen yanal kuvvet – öteleme diyagramları [29]

Duvarların yanal yük kapasitesin analizle belirlemek için homojen ve heterojen gibi yapısal kabuller yapılmaktadır. Bu çalışmadaki duvarların analizinde homojen yapıda oldukları kabulü yapılmıştır ve duvarı oluşturan tüm elemanlar tek bir eleman olarak kabul edilmiştir. Analizde MARCS2003 programı kullanılmış ve duvar ebatları deney numunelerindeki ölçüleriyle modellenmiştir. Tuğlalar dört düğüm noktalı kabuk eleman olarak, çelik şeritler ise iki düğüm noktalı çubuk elemanlar olarak modellenmiştir (Şekil 1.9-a). Her tuğla, temas ettikleri noktadan birbirlerine düğümlenen dört adet kabuk elemana bölünmüştür (Şekil 1.9-b).



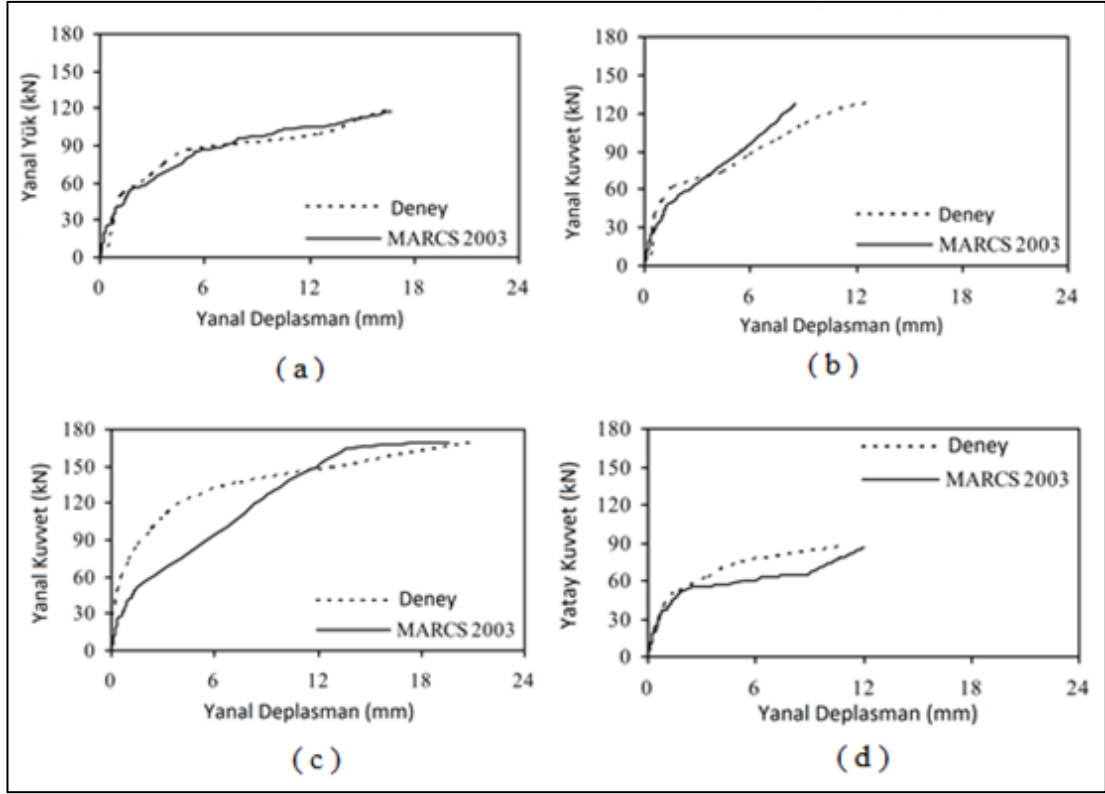
Şekil 1.9. a) “TYFG” için model ve şeritlerin tuğlalara ankrajlanması, b) “GD” için model [29]

Deney esnasındaki yük aktarımı, modelde çelik şeritlerin tuğlaların orta düğüm noktasına ankrajlanmasıyla analize yansıtılmıştır. Deney sırasında numunelerde ankrajların durumlarında bir değişiklik olmadığından, ankrajların çıkma vb. durumları modelde ihmal edilmiştir. Deneyde duvarlar konsol olarak çalıştığı için modelde de duvarın alt kısmının üç serbestliği de kısıtlanmıştır. Model için duvar başlığına deney esnasında uygulanan aynı düşey ve yatay yüklemeler oluşturulmuş ve yatay yükteki artış da deneyde uygulandığı şekliyle modellenmiştir. Modelde deney sonuçlarından elde edilen ve farklı araştırmacıların elde etmiş olduğu malzeme özellikleri kullanılmıştır (Tablo 1.1). Elastoplastik ve izotropik elemanlar seçilmiş ve Von Mises göçme kriteri kullanılmıştır.

Tablo 1.1. Malzeme özellikleri [29]

Özellik	Duvar	Beton	Çelik
Elastisite Modülü (MPa)	5100	30000	200000
Poisson Oranı	0,2	0,3	0,3
Yoğunluk (kg/m ³)	2200	2400	7890

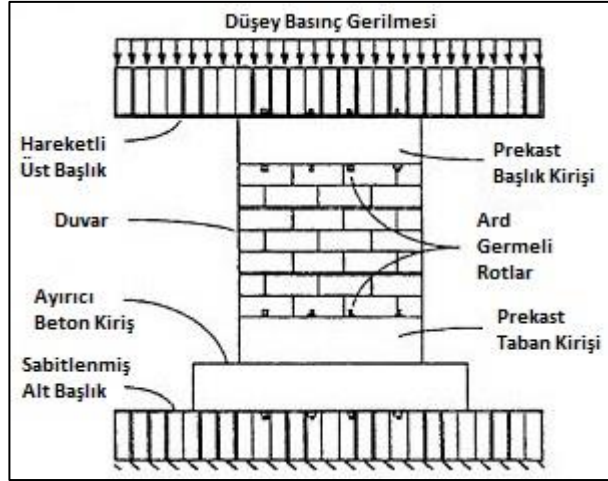
Analizde başlık kirişine düşeyde 176 kN ve yatayda orta noktasından zamanla arttırılan yük değerleri uygulanmıştır. Analiz ve deney sonuçları karşılaştırıldığında birbirlerine yakın değerler gözükmektedir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. a) “TYSG” yük deplasman grafiği, b) “TYFG” yük deplasman grafiği, c) “İYSG” yük deplasman grafiği, d) “GD” yük deplasman grafiği [29]

Sonuç olarak makro tipte modellenen duvarlarda sonlu eleman analizi, tekil yatay yük altındaki duvarların davranışlarını tanımlamada başarılı olmuştur. Analiz ve deney sonucunda ortaya çıkan yük - deplasman eğrileri “TYFG” dışında birbirlerine benzer şekilde oluşmuştur.

Schultz ve arkadaşlarının 1998 yaptıkları bu çalışmada, yatay güçlendirme oranının, yatay güçlendirme tipinin ve duvar en-boy oranının, bölgesel olarak groutlanmış numuneler üzerindeki kesme dayanımına ve davranışlarına etkisini araştırmak için bir deney programı tasarlamışlardır. Deney için 6 adet sadece düşey dış uç kısımları donatıyla güçlendirilerek groutlanmış numune hazırlanmıştır (Şekil 1.11) [35].

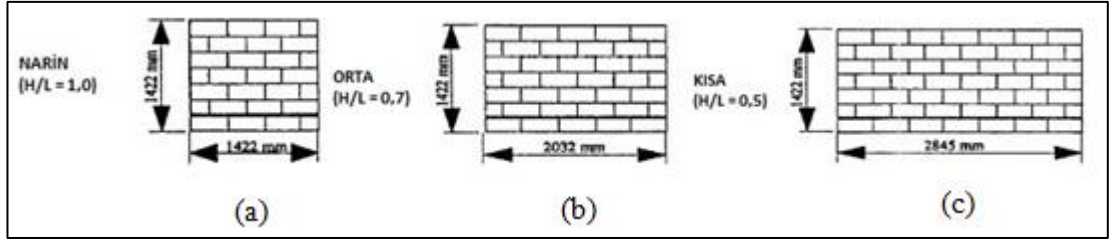


Şekil 1.11. Deney düzeneği [35]

Yatay güçlendirme duvar derzlerindeki harç içerisine kaynaklı ızgara tellerle iki farklı tipte uygulanarak sağlanmıştır. Birinci tip 2, 4 ve 6 numaralı numunelerde uygulanan 3,76 mm tel çaplı No.9, ve ikinci tip ise 8, 10 ve 12 numaralı numunelerde uygulanan 5,26 mm tel çaplı No.5'dir (Tablo 1.2). Bütün duvar numuneleri 7 sıra tuğladan oluşmakta olup numunelerin her birinin yüksekliği 1422 mm'dir. Numuneler en-boy oranı açısından üç tipte üretilmiştir (Şekil 1.12).

Tablo 1.2. Numune özellikleri [35]

Duvar No	Numune Kodu	Uzunluk, mm (in.)	En-Boy Oranı, H/L	Yatay Güçlendirme		Düşey Yük, kN (kips)	
				Tel Aralığı	Oran, ph	Ana	Standart Sapma
2	CO-R05-J05-Q10	2845 (112)	0,5	No. 9	0.00056	265,0 (59,58)	11,3 (2,55)
4	CO-R07-J05-Q10	2032 (80)	0,7	No. 9	0.00056	185,4 (41,69)	8,4 (1,88)
6	CO-R10-J05-Q10	1422 (56)	1	No. 9	0.00056	130,2 (29,27)	5,9 (1,32)
8	CO-R05-J12-Q10	2845 (112)	0,5	No. 5	0.0011	265,5 (59,70)	4,9 (1,11)
10	CO-R07-J12-Q10	2032 (80)	0,7	No. 5	0.0011	187,6 (42,17)	5,6 (1,26)
12	CO-R10-J12-Q10	1422 (56)	1	No. 5	0.0011	133,2 (29,95)	4,5 (1,02)



Şekil 1.12. En-boy oranı açısından numune tipleri [35]

Deney esnasında alt başlık sabit tutularak yanal kuvvet üst başlığa etki ettirilmiştir. Numunelerin yanal kuvvet etkisindeki davranışları Tablo 1.3’de detaylı bir şekilde görülmektedir.

Tablo 1.3. Yükleme sonucu verileri [35]

Duvar No	Duvarın Görülebilir İlk Hasar Anı		Maks. Yük, kN (kips)	Maks. Öteleme, mm (in.)	Deformasyon Kapasitesi	
	Yük, kN (kips)	Öteleme, mm (in.)			Öteleme, mm (in.)	Kayma Oranı (A/H)
2	197,8 (44,46)	1,6 (0,063)	261,3 (58,75)	18,2 (0,718)	17,6 (0,693)	0,0124
4	173,6 (39,02)	2,0 (0,080)	253,5 (56,99)	15,7 (0,618)	11,1 (0,436)	0,0078
6	97,6 (21,95)	2,2 (0,088)	175,9 (39,54)	15,4 (0,605)	12,2 (0,482)	0,0086
8	209,6 (47,12)	1,4 (0,054)	243,4 (54,71)	25,3 (0,995)	20,7 (0,814)	0,0145
10	174,4 (39,20)	1,7 (0,065)	270,3 (60,78)	17,9 (0,704)	12,5 (0,492)	0,0088
12	143,1 (32,18)	2,1 (0,081)	211,3 (47,51)	25,7 (1,011)	20,27 (0,798)	0,0143

İlk hasar anındaki yük değerleri en-boy oranı arttıkça azalırken, derz içi güçlendirme tipinin değişmesi yanal ötelemeyi fazla etkilememektedir. Oluşan çatlaklar dikey yönde, başlık kirişi ve groutlanmış dış duvarlara komşu tuğlalarda oluşmuştur.

Sonuç olarak, sismik tasarım açısından bölgesel olarak groutlanmış duvarlar ve minimum çekme gerilmesi gereksinimlerini karşılayan derz içi güçlendirme yanal direnci artırma bakımından oldukça faydalıdır. Bölgesel olarak groutlanmış duvarların, başlangıçtaki sertliği, dayanımı ve enerji sönümlenmesi yeterli gözükmemektedir. Derz içi yapılan güçlendirme çatlaklara köprü görevi görerek gerilmenin duvara yayılmasını ve duvarın daha homojen davranmasını sağlamaktadır. En-boy oranı kesme dayanımı üzerinde faydalı etki yaratırken, enerji

sönümleme kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Yatay güçlendirme kesme dayanımını az da olsa artırır fakat enerji sönümlemesini etkilememektedir.

Bajpai ve Duthinh'in 2003 yılında yaptıkları bu araştırmanın amacı, düzlem içi ve düzlem dışı yükler altında, derzlerin yüzeye yakın bölgelerinde FRP çubuk elemanlar ile yapılan güçlendirme yönteminin duvar üzerindeki etkisini araştırmak ve bu tür uygulamalar için rehber olabilecek bir standart oluşturmaktır. İlk testler düzlem içi çekme gerilmesini ve aderans dayanımını tayin etmeye yöneliktir. Test düzeneğinde, karşılıklı yerleştirilmiş birbirlerine harçla bağlı iki tuğla bloğun derzine açılan oluk içine iki farklı ebatta FRP çubuk yerleştirilmiş ve araya koyulan kriko sayesinde bu bloklar itilerek yatay öteleme ve kuvvet değerleri ölçülmüştür. Birinci test dizisi üç sistemin göreceli performansını ölçmek amacıyla yapılmıştır. Bunlar iki adet epoksi ve bir adet 2,04 kg kum, 0,68 kg çimento ve 0,379 lt akrilik polimer kullanılarak yapılmış kauçuk tasarılı karışım harcından oluşmaktadır. Tablo 1.4'de üreticinin epoksi 1 ve 2 için vermiş olduğu mekanik özellikler ve karışım harcının 14 gün hava küründe ASTM C39 standardına göre bekletildikten sonra ölçülen basınç dayanımı yer almaktadır [36].

Tablo 1.4. Karışım harcı ve epoksilerin mekanik özellikleri [36]

Harç	Çekme Mukavemeti MPa (psi)	% Uzama	Basınç Mukavemeti MPa (psi)
Epoksi 1	13,8 (2000)	4,0	55,3 (8020)
Epoksi 2	34,6 (5020)	1,8	67,7 (9820)
Karışım Harcı	—	—	29,5 (4280)

Tablo 1.5'de A3 FRP çubuğu için aderans test değerleri verilmiştir. Epoksi 2'de en yüksek mukavemet değeri görülmüş olup ileriki testler için seçilmiştir.

Tablo 1.5. A3 FRP çubuğu için aderans test değerleri [36]

Harç	Son Yük Değeri, kN (Ibf)	FRP Çubuk Mukavemet Yüzdesi	Göçme Tipi
Epoksi 1	17,8 (4000)	29	Epoksiden Göçme
Epoksi 2	20,2 (4540)	33	Epoksiden Göçme
Karışım Harcı	17,6 (3960)	28	Bağ Kopması

İkinci test dizisi Epoksi 2 kullanılarak dört tipte FRP çubuğun değerlendirilmesi için yapılmıştır. Tablo 1.6'da küçük çaplı çubukların çekme mukavemetlerine görece

daha yüksek aderans mukavemetine sahip oldukları görülmektedir. Ayrıca etrafı spiral şekilde fiber yünlü ve kum kaplı B tipi çubuklar düz yüzey üzerine dairesel nervür kaplı A çubuklarına göre daha yüksek aderans kuvveti sağlamaktadır.

Tablo 1.6. FRP çubukların epoksi 2 içindeki aderans test değerleri [36]

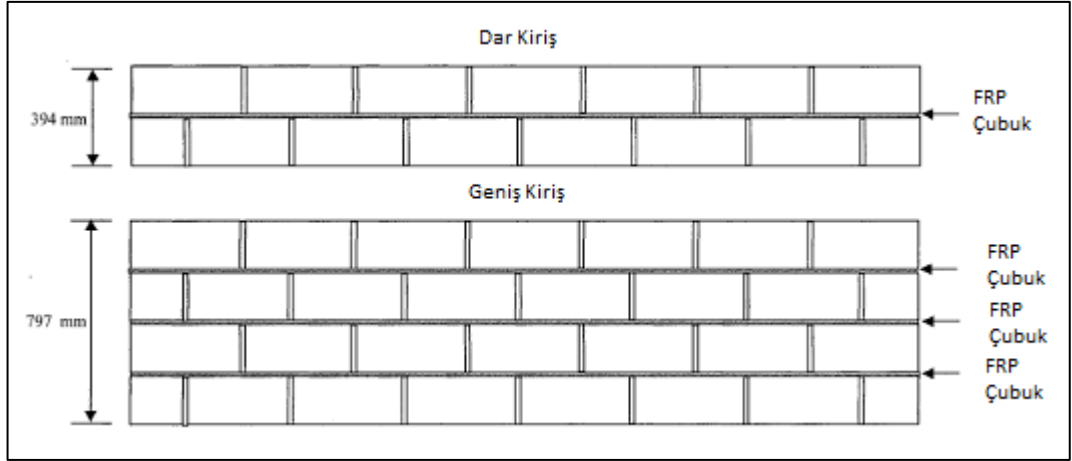
FRP Çubuk	Son Yük Değeri, kN (Ibf)	FRP Çubuk Mukavemet Yüzdesi	Göçme Tipi
A3-1	20,2 (4540)	33	Epoksiden Göçme
A3-2	20,0 (4500)	32	
B3-1	23,9 (5370)	44	
A2-1	15,8 (3550)	54	
A2-2	16,9 (3800)	58	
B2-1	18,4 (4140)	68	

Üçüncü test dizisinde epoksi 3 mm uzunluğunda cam fiber elemanlarla hacimce %5 oranda güçlendirilmiştir. Tablo 1.7’de test sonuçları görülmektedir. İki testte çubuklar çekme mukavemetinin %93 ve %97 değerlerine kadar ulaşmışlardır. Üçüncü testte göçme beton blokta meydana gelmiştir. Sonuç olarak cam fiber güçlendirme 6,5 mm FRP çubukların çekme dayanımına yakın değerlere ulaşmasında önemli ölçüde katkı sağlamaktadır.

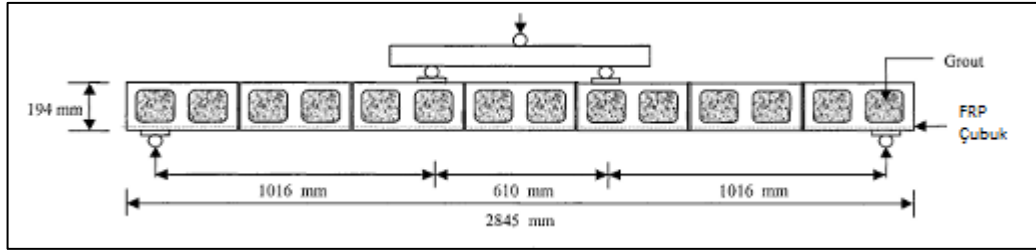
Tablo 1.7. Fiberle güçlendirilmiş epoksidede FRP çubukların aderans mukavemet değerleri [36]

FRP Çubuk	Son Yük Değeri, kN (Ibf)	FRP Çubuk Mukavemet Yüzdesi	Göçme Tipi
B2-1	25,2 (5670)	93	Çubuk, epoksi ve tuğla göçmesi
B2-2	26,3 (5910)	97	
B2-3	21,0 (4720)	78	Beton blokta kesme göçmesi

FRP çubukların düzlem dışı etkilerini gözlemlemek için eğilme testleri yapılmıştır. Hazırlanan numunelerde FRP çubuklar derzlere hem paralel (Seri 1) hem de dik (Seri 2) şekilde yerleştirilmiştir. Her seri için iki dar kiriş (2,85 m x 0,40 m x 0,20 m) ve iki geniş kiriş (2,85 m x 0,80 m x 0,20 m) test edilmiştir. Dar kiriş için çekme yüzeyinde bir adet geniş içinse üç adet fiber ile güçlendirilmiş epoksi kullanılarak FRP çubuğu montajlanmıştır (Şekil 1.13). Numunelerin bölgesel olarak göçmesini engellemek için tuğlaların boş hücrelerine grout dökülmüştür (Şekil 1.14).

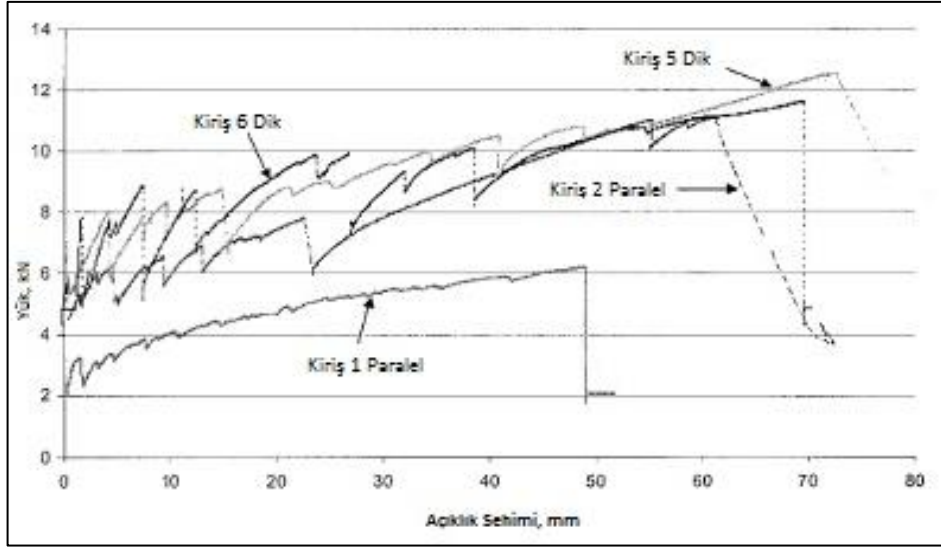


Şekil 1.13. Deney numuneleri [36]

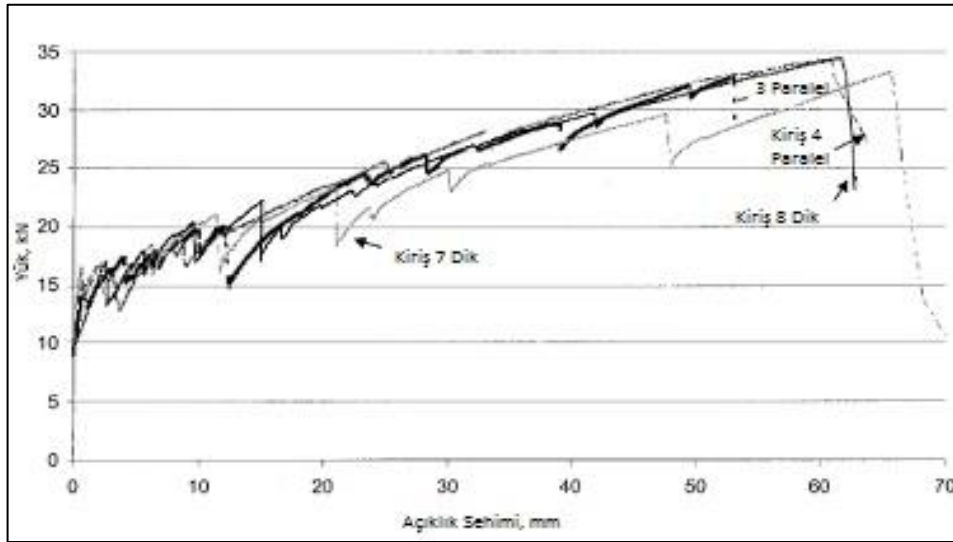


Şekil 1.14. Deney düzeneği [36]

Şekil 1.15 ve Şekil 1.16’da sırasıyla dar ve geniş kirişler için yük – orta açıklık sehimi eğrileri görülmektedir. İç hücreleri groutlanan tüm numuneler (1 nolu numune groutlanmamıştır) kesme kuvvetine karşı mukavemet kazanmış ve eğilme etkisiyle ve FRP çubukların ani kopmasıyla göçmüştür (Şekil 1.8). Tablo 1.8’de maksimum yük ve moment, maksimum açıklık artası sehimi, FRP çubuk uzamaları ve ölçülen moment değerlerinin hesaplanan değerlere oranları görülmektedir.



Şekil 1.15. Derze dik ve paralel FRP çubuklarla güçlendirilmiş dar kirişler için yük sehim eğrileri [36]



Şekil 1.16. Derze dik ve paralel FRP çubuklarla güçlendirilmiş geniş kirişler için yük sehim eğrileri [36]

Tablo 1.8. Maksimum yük, moment, sehim ve uzamalar [36]

Kiriş	Yük kN (Ibf)	Me, kNm (kip ft)	Me /Mn	Ve / Vn	Sehim (δ_u) mm (in)	L/ δ_u	ϵ_m , % Orta	ϵ_m / ϵ_u % Orta	ϵ_m , % Uç
1-Paralel-Dar	6,2 (1390)	3,79 (2,80)	0,75	0,43	49,0 (1,93)	54	0,397	20	0,347
2-Paralel-Dar	11,1 (2500)	7,00 (5,16)	1,38		61,2 (2,41)	43	Kaydedilmedi		
3-Paralel-Geniş	32,7 (7350)	19,33 (14,26)	1,29		53,0 (2,09)	50	1,889	96	0,903

Tablo 1.8. (Devam) Maksimum yük, moment, sehim ve uzamalar [36]

4-Paralel-Geniş	34,2 (7690)	20,09 (14,82)	1,34		60,0 (2,36)	44	1,675	86	0,034
5-Dik-Dar	12,5 (2810)	7,71 (5,69)	1,52		73,0 (2,87)	36	1,878	96	0,118
6-Dik-Dar	11,6 (2610)	7,25 (5,35)	1,43		69,6 (2,74)	38	1,887	96	0,040
7-Dik-Geniş	33,2 (7460)	19,58 (14,44)	1,31		66,0 (2,60)	40	1,757	90	0,945
8-Dik-Geniş	34,4 (7730)	20,19 (14,89)	1,35		62,0 (2,44)	43	1,435	73	0,924

Göçme tipi FRP çubuk kopmasıyla oluşan kirişlerin açıklık ortasındaki birim uzama ortalaması basit çekme deneyinde elde edilen FRP çubuk çekme değerinin %89'una ulaşmıştır ($\epsilon_m / \epsilon_u = \%89$). Çelik kullanılarak güçlendirilmiş numunelerin testlerinden elde edilen ACI 530-02 (American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)) denklemleri FRP çubuk elemanların hesaplanmasında da yeterli yaklaşımı sağlar. Ölçülen dayanımın hesaplanan dayanıma oranı ortalama olarak 1,37'dir. Çubukları derze dik ya da paralel yapıda olmaları sonuçları etkilememektedir. Groutlanmamış 1 nolu kirişin ani kesme göçmesi ileri bir araştırma gerektirmektedir.

Sonuç olarak, cam fiber elemanlarla güçlendirilmiş epoksinin 6,5 mm kalınlıktaki FRP çubuklara 185 mm veya kullanılan tuğlanın yarı uzunluğundan daha az uzunluklarda uygulanması çubuğun maksimum dayanım seviyelerinde kullanılabilmesine olanak sağlar. Bu tür epoksi uygulaması diğer türdeki çubukların dayanımını arttırmaya da yardımcı olurlar. İyi bir ankrajlama sağlanabilirse, düzlem dışı dayanımın artırılmasında da FRP çubuklar etkilidir. Yapılan bu testlerden yola çıkılarak ACI 530-02 denklemlerinin yüzeye yakın olarak FRP çubuklar yardımıyla güçlendirilmiş kiriş ve duvarlarda kullanılması tavsiye edilmektedir.

2. YIĞMA YAPILAR

2.1. Yığma Yapının Tanımı

Herhangi bir taşıyıcı iskelet sistemine sahip olmayan, yapıya etki eden tüm yüklerin doğal veya yapay taşlarla imal edilmiş duvarlar tarafından taşındığı yapı türüne yığma yapı denir. Ayrıca TS2510 Kargir Duvarlar Hesap ve Yapım Kuralları'nda aşağıdaki tanımlar yapılmıştır.

Kargir duvar, doğal taşların veya tuğla, beton, briket, kireç kumtaşı gazbeton blok vb. yapay taşların, kireç, çimento vb. bir mineral bağlayıcı ile yapılmış harç kullanılarak örülmesi yolu ile oluşturulan yapı elemanıdır.

Yığma kargir yapı, taşıyıcı duvarları kargir duvar tarifine uyan ve döşemeleri betonarme veya betonarmenin verdiği kadar yatay bütünlük (rijitlik) sağlayan başka bir tip döşeme olan yapıdır [1].

2.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler

Yığma yapıların taşıyıcı elemanları olan yığma duvarlarda kullanılan malzeme tanımları ilgili standartlarda aşağıdaki şekilde tarif edilmiştir.

2.2.1. Taş, tuğla ve blok elemanlar

Harman tuğlası [2]: Harman tuğlaları, oluşturulan tuğla hamurunun ilkel yöntemlerle kalıplarda biçimlendirilip, doğal yöntemlerle kurutulması ve harman yerindeki ocaklarda 600–800°C de pişirilmesi sonucunda elde edilir. Ocakların ilkel olması nedeniyle tuğlalarda basınç dayanımı yönünden farklılıklar ve kalite düşüklüğü görülmekte, dolayısıyla zamanımızda pek fazla kullanılmamaktadır. Genellikle dolu gövdeli deliksiz veya düşey delikli olarak üretilirler ve standartta belirtilen boyutları 5x9x19 cm'dir.

Fabrika tuğlası [3]: Tuğla hamuru makinelerde biçimlendirildikten ve genellikle yapay yöntemlerle kurutulduktan sonra, fabrika fırınlarında pişirilmesi sonucunda

elde edilir. Biçimleri daha düzgün olup, basınca, suya ve dona karşı dayanıklılığı harman tuğlasına göre daha yüksektir. Fabrika tuğlaları; normal, modüler ve blok tuğla olarak üç farklı grupta üretilir. Dolu ve düşey delikli olarak, 5x9x19 cm boyutlarında üretilen normal tuğlalar taşıyıcı duvar yapımında kullanılır. Düşey delikli olarak, 8,5x9x19 cm boyutlarında üretilen modüler tuğlalar taşıyıcı duvar yapımında kullanılır. Blok tuğlalar ise çeşitli boyutlarda yatay ve düşey delikli olarak üretilirler. Yatay delikli blok tuğlalar taşıyıcı olmayan, bölücü ve dolgu duvarların yapımında kullanılır. Düşey delikli blok tuğlalar ise taşıyıcı duvar yapımında kullanılır.

Pres tuğla: Kil, killi toprak, kum ve gerektiğinde tuğla ve kiremit tozunun suyla karıştırılması ve makinelerde yüksek basınç altında kalıplanarak pişirilmesi ile elde edilen tuğlalara pres tuğla adı verilir. Basınç altında kalıplandıklarından basınç dayanımları yüksektir ve su emme oranları azdır. Normal tuğla ve modüler tuğla boyutlarında, dolu, düşey delikli ve özel profilli olarak üretilen, düzgün yüzülü, temiz kesilmiş, kaplanmadan kullanılan tuğlalardır.

Klinker tuğlası [4]: Doğal kilin modern tesislerde, çok yüksek sıcaklıkta, sinterleşmeye (erimeye yakın durum) kadar pişirilmesiyle elde edilen, birim ağırlığı ve basınç dayanımı son derece yüksek ve her türlü hava koşuluna dayanıklı fabrika tuğlalarıdır.

Doğal yapı taşları: Doğada serbest halde bulunan veya taş ocaklarından çıkarılan, atmosfer etkilerine dayanıklı, homojen ve taşıyıcı özellikleri bakımından yapı içerisinde kullanılmaya elverişli yapı malzemeleridir. Yapıda kullanılacak taşlar homojen, damarsız, çatlaksız, hava etkilerine ve dona dayanıklı olmalıdır. Kırıldığında keskin köşeler vermeli ve kum gibi ufalanmamalıdır. Kalker türünden taşlar ateş etkisi olan yapılarda kullanılmamalıdır. Doğal yapı taşlarının cinslerine göre TS 2513'de verilen minimum basınç ve eğilmede çekme dayanımları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Doğal yapı taşlarının cinslerine göre basınç ve eğilmede çekme dayanımları [5]

Taşın Cinsi	Minimum Basınç Dayanımı (kg/cm ²)	Eğilmede Minimum Çekme Dayanımı (kg/cm ²)
-------------	---	---

Tablo 2.1. (Devam) Doğal yapı taşlarının cinslerine göre basınç ve eğilmede çekme dayanımları [5]

Kalker, traverten, kireç, bağlayıcı kumtaşı	350	30
Yoğun kalker, dolomit, bazalt	500	40
Silis bağlayıcı kumtaşı, grovak	800	60
Granit, siyenit, diorit, melafir, diabaz, andezit	1200	75
Diğer tortul ve metamorfik taşlar	500	50
Diğer püskürük taşlar	1400	80

Kerpiç: Kil veya başka uygun toprağın içerisine çatlamayı önlemek ve bağlayıcı özellik kazandırmak amacıyla saman, saz türünden bitkiler, kaba ot, çam iğneleri gibi malzemelerin katılarak suyla birlikte yoğrulmasıyla elde edilen plastik kıvamdaki çamurun kalıplara dökülerek önce gölgede ardından güneşte kurutulması sonucu elde edilen yağma yapı malzemesidir. Neme ve suya karşı dayanımları oldukça azdır. Genellikle iki boyutta üretilirler.

Kuzu kerpiç: 10 x 13 x 28 cm

Ana kerpiç: 10 x 28 x 28 cm

Kargir malzeme: Doğal tas veya pismiş toprağın (tuğlanın), bağlayıcı bir harçla birlikte kullanılması ile elde edilen malzemeye kargir adı verilir. Monolitik taşıyıcı elemanlar (duvar, destekler), kemer, tonoz ve kubbe vb. kargir malzeme ile yapılır. Kargir malzeme, heterojen bir malzemedir. Birim ağırlığı 21 ile 22 kN/m³ arasında değişmektedir. Kargir malzemenin taşıma gücü, yapımında gösterilen özene, yapı taşına, harca, yapım tekniğine, çevre şartlarına ve zamana bağlıdır [9].

Beton briketler: Doğal veya yapay agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddesi de kullanılarak üretilen, yüksekliği en fazla 135 mm olan beton yapı malzemesidir. TS 406'da beton blok ve briketler boşluklu olup olmamasına göre iki ve basınç mukavemetlerine göre dört grupta sınıflandırılmışlardır. Bu sınıflandırmalar Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te verilmiştir [6].

Tablo 2.2. Beton briketlerin boyutları

Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)
--------------	---------------	----------------

Tablo 2.2. (Devam) Beton briketlerin boyutları

190, 240	100	85
	150	
240, 390, 400	200	135
	250	
	300	

Tablo 2.3. Beton briketlerin basınç mukavemetleri

TÜRLER	Basınç Mukavemeti Değerleri	
	Ortalama Değer (kg/cm ²)	Minimum Değer (kg/cm ²)
BB2	25	20
BB4	50	40
BB6	75	60
BB12	150	120

Kireç: Tüm harçlarda kullanılan bağlayıcı kireçtir. Yağlı kireç; saf kireç taşı kalkerin (kalsiyum karbonat CaCO₃) 900 °C’de pişirilmesi ile elde edilen kalsiyum okside (CaO) sönmemiş kireç denmektedir. Su ile söndürülmesi neticesinde oluşan Ca(OH)₂’de yağlı kireç denmektedir. Kireç harcı tas ve tuğla gibi tabii malzemelere yapışma özelliğinden dolayı her türlü harcın bağlayıcısı olmaktadır [22].

Su kireci; %20 oranında kil ihtiva eden kalkerin pişirilmesi ile elde edilen malzemelerin su ile söndürülmesi ile oluşan hidratelerin tümüne su kireci denmektedir. Su kirecinin oluşması için pişirilen malzemede en az %10 CaO olması gerekmektedir [22].

Kirecin kalitesine etkileyen unsurlar şunlardır; kireç taşları büyük parçalar ihtiva etmemeli, gözenekli yapıda olmalıdır. Söndürmede kullanılan su yeteri, saf ve katkısız olmalıdır. Söndürme işlemi düşük sıcaklıklarda ve karıştırılarak yapılmalıdır [22].

Söndürülmüş kirecin uzun süre hava ile temas etmeden bekletilerek kullanılmasında büyük fayda vardır. Sönmemiş kirecin bekletilmesindeki maksat, bünyesinde sönmemiş kalker kalmamasını önlemektir. Havasız ortamda bekletilen kirecin plastikliği ve su tutma özelliği artmaktadır. Kireç kristallerinin boyutları küçülmekte

ve havadaki karbondioksit le reaksiyona girecek yüzey alanı çoğalmaktadır. Yüzey alanı arttığından karbonatlaşma daha kolay olmaktadır [19].

2.2.2. Harçlar

Yığma yapılarda taşıyıcı duvar elemanlarını bir arada tutmak için kullanılan malzemeye “harç” denir. TS 2848 Kargir Duvar Harçları ile ilgili standartlarda harç için su tanım yapılmıştır.

Duvar harcı, TS 2717' ye uygun harç kumu ile bağlayıcı olarak çimento, kireç hamuru, söndürülmüş toz kireç, harç çimentosunun ayrı ayrı veya bir kaçı bir arada kullanılarak ve yeteri kadar su ve gerektiğinde katkı maddeleri ile karıştırılarak elde edilen ve duvarların örülmesinde kullanılan yapı malzemesidir.

Harçlar basınç dayanımlarına göre;

- I. A sınıfı harç
- II. B sınıfı harç
- III. C sınıfı harç
- IV. D sınıfı harç
- V. E sınıfı harç olmak üzere beş sınıfa ayrılırlar. Harçların minimum basınç dayanımları Tablo 2.4'te verilmiştir [7].

Tablo 2.4. Harçlarda minimum basınç dayanımı

Harç Sınıfı	Minimum Basınç Dayanımı (kg/cm ²)
A	150
B	110
C	50
D	20
E	5

Harçlar kullanılacağı yere uygun kıvamda olmalı, yerleştirildiği derzden akıp gidecek kadar akışkan olmamalı ve kolay işlenebilen plastik bir kıvama sahip olmalıdır. Duvar harcı karışımları hacimsel olarak Tablo 2.5'te verilmiştir [7].

Tablo 2.5. Hacimsel olarak harç karışımları

Harç Sınıfı	Tip No	Kum	Çimento	Harç Çimentosu	Kireç Hamuru	Toz Kireç
		1,3 t/m ³	1,2 t/m ³	1,0 t/m ³	1,3 t/m ³	0,6 t/m ³
A	-	3	1	-	-	-

Tablo 2.5. (Devam) Hacimsel olarak harç karışımları

B	1	4	1	-	-	-
	2	4	1	1/2	-	-
	3	4	1	-	-	1/2
	4	4	1	-	-	1
C	1	7-9	1	2	-	-
	2	5	1	-	-	-
	3	5	1	-	1	-
D	1	6-8	1	-	2	-
	2	6-8	1	-	-	3
	3	2-3	-	1	-	-
E	-	3	-	-	1	-

2.3. Yığma Yapılarda Hasarlar

Yığma yapılarıdaki hasar, hasar nedenleri, hasar türleri ve hasar düzeyleri olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

2.3.1. Yığma yapılarda hasar nedenleri

Yığma duvarlar buldukları yapının taşıyıcı sistemini oluştururlar. Bu nedenler yığma duvarlarda meydana gelen hasarlar yapıya büyük zararlar verebilir hatta yıkılmasına bile neden olabilirler. Yığma duvarları oluşturan malzemelerin basınç ve çekme dayanımları düşüktür. Kırılmadan önce dayanabilecekleri elastik gerilmeler ve taşıma kapasiteleri düşüktür. Bunun yanı sıra duvarların imalatları sırasında yapılan hatalar veya proje hataları bu hasarlara neden olabilir. Yığma duvarlarda meydana gelen bazı hasar nedenlerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- Yapının tamamının deprem esaslarına göre yapılmaması,
- Tasarımda deprem etkileri göz önüne alınmasına rağmen uygulama projesinin yerinde değiştirilmesi,
- Zeminde meydana gelen oturmalar,
- Yapı hesap ve detaylarında mevcut yönetmeliğe uyulmasına rağmen yapı ekonomik ömrü içerisinde beklenenden daha büyük bir depremle karşılaşılması,
- Yığma yapılar daha ağır oldukları için daha büyük yatay yükler etkimesi,
- Taşıyıcı elemanların gevrek yapıda olması
- Kullanılan harcın yeterli çekme mukavemetine sahip olmaması
- Yapının asimetrik yapılması

- Yük taşıyan duvarların alt katta devam etmemesi
- Birleşim detaylarının iyi çözülmemesi, çatı ve döşemelerin duvara iyi mesnetlenmemesi,
- Dik olarak birleşen duvarların kenetlenmesinin sağlanmaması,
- Yapı elemanlarının (taş, tuğla vb.) yeterli mukavemete sahip olmaması,
- Kırsal bölgelerde yapılan toprak damların yapıya aşırı yükler getirmesi,
- Malzeme ve işçiliğin kötü olması, kontrolünün olmayışı başlıca nedenler olarak sayılabilir [8].

2.3.2. Yığma yapılarda hasar türleri

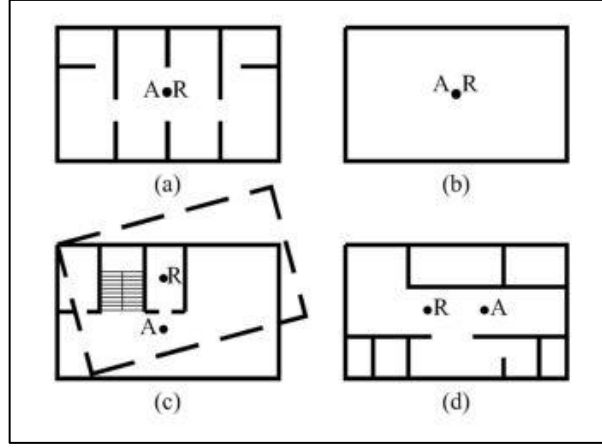
Yığma yapılardaki hasar türlerini temel oturmaları ve depreme bağlı hasarlar olmak üzere başlıca iki başlık altında toplayabiliriz.

2.3.2.1. Temel oturmalarına bağlı hasarlar

Yapı temelinin oturduğu zeminde zamanla oturmalar meydana gelebilir. Bu oturmalar bölgesel veya büyük çaplı olabilirler. Yeterince sıkıştırılmayan zemin üzerine yapılan yapılarda, taşıma kapasitesi yapı için yeterli olmayan zeminler üzerine yapılan yapılarda veya zemin suyunun azalması sonucu taşıma kapasitesi düşen zeminler üzerindeki yapılarda çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar oturma olan bölge üzerinde bulunana duvarlarda meydana gelir ve duvarın taşıma kapasitesi düşer.

2.3.2.2. Depreme bağlı hasarlar

Deprem yönetmeliklerine uyulmadan yapılan yapılarda hasar meydana gelmesi kaçınılmazdır. Özellikler simetrik olmayan yapılarda ağırlık ve rijitlik merkezleri arasında büyük mesafeler oluşur. Deprem kuvvetleri yapının ağırlık merkezine etkir ve yapı rijitlik merkezi etrafında dönmeye zorlanır. Sonuçta yapıda burulma çatlakları meydana gelir. Şekil 2.1-a ve Şekil 2.1-b'de ağırlık ve rijitlik merkezleri çakıştırılarak deprem etkileri daha tasarım aşamasında önlenmiştir. Şekil 2.1-c'de yapı deprem etkisiyle rijitlik merkezi etrafında dönmeye zorlanmaktadır. Şekil 2.1-d'de ise deprem yönünde duvar rijitliği olmadığından duvar büyük deplasmanlar yapmaya zorlanacaktır.



Şekil 2.1. Yığma yapı plan örnekleri [9]

Yığma yapılarda deprem etkileri, deprem yönüne paralel olan duvarlar ile karşılanır. Bu duvarlarda X şeklinde çapraz çekme çatlakları oluşur. Bu çatlakların şekli ve açısı duvardaki boşluk şekline göre değişiklik gösterir. Deprem yönüne dik olan duvarlar deprem yüklerinin bir kısmını temeller bir kısmını da döşemeler aracılığıyla paralel yöndeki duvarlara iletirler. Bu duvarlarda ise düzlem dışı eğilmeden dolayı büyük deplasmanlara maruz kalırlar ve düşey çatlaklar oluşur. Yine deprem etkileri sonucunda kapı ve pencere köşelerinde eğilme çatlakları meydana gelir.

2.3.3. Yığma yapılarda hasar düzeyleri

Yığma yapılarda hasar düzeylerini aşağıdaki başlıklar altında toplayabiliriz.

2.3.3.1. Hasarsız veya az hasarlı yapılar

Bu hasar düzeyinde ya hiç hasar olmamıştır ya da kılcal düzeyde (1 mm'den daha ince) çatlaklar vardır. Bu çatlaklar sıva çatlakları şeklinde olup daha derine inemezler, yüzeylerde sınırlı kalırlar. Bu aşamadaki bir yapıya herhangi bir şekilde onarım veya güçlendirme gerekmez [10].

2.3.3.2. Az hasarlı yapılar

Bu hasar düzeyinde, yığma yapılarda genellikle görülen X şeklindeki çatlaklar görülür. Çatlak genişliği genel olarak 1,0 ile 10,0 mm arasında değişebilir ve büyük ihtimal ile çatlak duvara kadar uzanmaktadır. Duvardaki kesme gerilmesi taşıma limitine kadar ulaşmıştır. Duvarın elastik eğri altında taşıyabileceği kesme kuvveti az miktarda aşılmıştır [12].

2.3.3.3. Orta hasarlı yığma yapılar

Bu hasar biçiminde yine bir Önceki grupta olduğu gibi X seklinde çatlaklar gözlemlenebilir. Çatlak genişliği daha fazla olacaktır, 10,0 - 25,0 mm gibi değerlere ulaşabilir. Duvarın taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti değerlerinde önemli azalmalar gözlemlenir. Ancak duvar çok fazla deforme olmuş değildir. Duvar düzlemi dışına doğru şişme veya şakulden uzaklaşma gibi bir değişim yoktur. Bir önceki hasar düzeyine nazaran güçlendirme isteyen, ayrıntılar gerektiren düzeyde hasar biçimidir [10].

2.3.3.4. Ağır hasarlı yığma yapılar

Bu düzeyde hasar görmüş bir yığma yapıda çatlaklar 25 mm'yi geçmektedir ve bunun yanında su değişmeler görülür; duvarlarda düşeyden uzaklaşma, köselerde duvarın ayrışması, duvarlarda düşey yüklerden dolayı şişme ve kısmen yıkılmış duvarlar. Düşey yüklerden dolayı şişme yapmış bir duvar, kesme kuvvetlerinin, oluşturduğu çatlakların etkisi ile zayıflamış ve parçalanmış duvarların düşey yükleri de taşıyamaz duruma geldiğini gösterir. Böyle bir hasar düzeyinde yapının zemin katının şakulden uzaklaşma miktarı 1/50'den fazladır. Bu hasar sınıfına giren yığma yapılardan onarımı mümkün olanlar vardır. Özellikle duvarda yıkılma, şişme ve yataydan uzaklaşma olayının seyrek görüldüğü durumlarda onarım ve güçlendirmeye gidilebilir. Bunun yanında döşemede de yukarıda sadığımız duvarlarda yıkılma, şişme veya şakulden uzaklaşma gibi nedenlerle hasarlar meydana gelmemiş olmalıdır. Bu nedenlerden dolayı meydana gelebilecek asin deformasyonlardan döşemelerde etkilenebilirler. Bu hasar düzeyine ulaşmış yapılarda onarım ve güçlendirme işlemi yapılırsa dahi bütün bunlardan sonra yapının kullanım biçimi değiştirilmelidir. Örneğin bu derece hasara uğramış bir okulun onarım ve güçlendirme işleminden sonra konut olarak kullanılması daha uygun olacaktır [11].

2.3.3.5. Yıkılmış yığma yapılar

Bu gruptaki yığma yapıların taşıyıcı duvarlarının tamamı veya büyük bölümü yıkılmıştır. Döşemeler ise mesnetlendikleri duvarın yıkılması sonucunda birbiri üstüne yıkılmış veya önemli çatlaklar meydana gelmiştir. Bu düzeyde hasar görmüş bir yığma yapının onarılması mümkün değildir [12]. Ayrıca yapıda oluşan çatlakların

oluşum şekline, yerine ve miktarına göre yapıya gerekli müdahale yöntemi belirlenebilir. Aşağıda yığma yapılarda oluşan çatlak genişliğine göre hasar durumları Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. Yığma yapılarda çatlak düzeyleri [13]

Çatlak genişliği	Hasar Derecesi	Açıklamalar
0,1’den az	Önemsiz	Yapıya ve kullanıma etkisi yoktur
0,1-0,3 mm	Önemsiz, az	Taşıyıcı sisteme ve yapının kullanımına bir etkisi yoktur
0,3-1,0 mm	Az	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir. Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır.
Buraya kadar olan çatlaklar kılcal çatlaklardır. Çoğu zaman gözden kaçabilir. 1 mm yakın çaplarda duvar kağıtlarında buruşukluklar gözlenebilir.		
1,0-2,0 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme bir etkisi yoktur. Estetik açıdan sakıncalı olabilir. Dış cephe elemanlarının yıpranmasını hızlandırır. Bu düzeydeki çatlaklar ve briketleri, pencere kapı lentolarını çatlatabilir. Birkaç metre uzaktan fark edilebilirler. Bu düzeyden daha ileri düzeydeki çatlaklar yapıda oturanları önlem alınması için harekete geçebilir.
2-5 mm	Orta	Taşıyıcı sistemi etkilemeye başlar. Dış duvarlardan içeriye hava akımları duyumsanmaya başlar, pencere ve kapılar sıkışır ve kapanmamaya başlar. Yapının kullanımı eklenmeye başlar.
5,0-15,0 mm	Orta-Ağır	Kapı ve pencereler sıkışabilir. Su ve kanal bağlantıları kırılabilir. Binaya su ve soğuk hava girer. Pencere camları çatlar ve kırılabilir, sıvılar dökülmeye başlar. Tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çökebilir. Bu boyutlardaki çatlaklar kabul edilemez çatlak sınırı oluşturur.
15,0-25,0 mm	Ağır	Ciddi onarım ve güçlendirme gerektirir. Yapının stabilitesi çok büyük bir tehlike altındadır.
25,0mm’den çok	Çok ağır ve çok tehlikeli	Yapıda ağır hasar ciddi onarım ya da yeniden yapım gerekir

2.4. Yığma Yapılarda Onarım ve Güçlendirme Yöntemleri

Yığma yapılarda onarım ve güçlendirme işlemlerinin genel olarak iki amacı vardır. Bunlardan birincisi yapının hasardan önceki dayanımının yapıya tekrar kazandırılması yani onarım işlemi, ikinci amaç ise yapının dayanımının eski halinden daha ileri bir seviyeye getirilmesi yani güçlendirme işlemidir. Bu kısımda çatlakların onarımı, yığma duvarların güçlendirilmesi ve temellerin güçlendirilmesi konuları hakkında bilgi verilecektir.

2.4.1. Çatlakların onarılması

Yığma yapılarda meydana gelen çatlakların onarılması için birkaç farklı yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden hangisinin uygulanacağına ise çatlak genişliğine bakılarak karar verilir. 1-2 mm genişliğe kadar olan çatlaklar kılcal çatlak olarak isimlendirilir. Çatlakların onarımında kullanılan belli başlı yöntemler aşağıdaki gibidir.

Çimento şerbeti ile onarım: Çimento standardına göre çimento tanelerinin %95'inin 0,074 mm'den daha büyük olması gerekmektedir. Bu ise genellikle küçük çatlaklarda çimento şerbetinin basınç altında uygulanmasını gerektirir. Çimento şerbeti ya da harç yapımında ilk dayanımı yüksek portlant çimentosu ve genleşen harç kullanılması daha iyidir. Genleşen çimento ise çatlakların içine giren harcın ya da şerbetin genişleyip bütün boşlukları doldurmasını sağlar. Genleşen çimento içinde sülfö-alüminat konulmuş bir çimentodur. Normal portlant çimentosunda da çok ince öğütölmüş alüminyum tozu katılması ile de genleşen çimento elde edilmektedir [14].

Epoksi reçineleri ile onarım: Çatlak onarımında epoksi reçinesi iki biçimde kullanılmaktadır.

A - Epoksi enjeksiyon yöntemi, 0,2-0,3 mm genişliğindeki çatlakların onarımı için uygundur. Düşük viskoziteli epoksi reçinesi sürekli bir düşük basınç altında içirilmektedir. Bu yöntemle betondaki ince ve kılcal eğilme çatlakları kapatılmakta ve çatlak yüzeyinde çekme kuvveti aktarımı gerçekleşmektedir. Aynı zamanda epoksi reçinesi donatı ile beton arasında açılmaları doldurarak donatı ile beton arasındaki yapışmayı (kadransı) artırmaktadır.

B - Epoksi harcı ile doldurma, ezilmiş ve paralanmış ve de dökölmüş betonları doldurmak için kullanılır. Epoksinin içine çok ince agrega katılarak bir tür "beton" elde edilir ve tahrip edilmiş betonun yerine konulmaktadır. Düşük basınç altında epoksi enjeksiyonunda düşük viskoziteli epoksi kullanılmaktadır. Enjeksiyon düşük bir basınç altında yapılmakta ve uzun süre beklenmektedir. Bu işlemde önce çatlak üzerine belirli aralıklarla borular yerleştirilmekte ve çatlak boruların çevresi epoksi harcı ile kapatılmaktadır. Daha sonra epoksi ile doldurulmuş tüpler borulara

takılmaktadır. Tüplere diğer bilyeli uçlarında basınç uygulanmakta ve bu basınç altında tüpteki epoksinin çatlağın içine doğru yavaşça akması beklenmektedir [14].

Sıva ile onarım: Sıvama daha çok bir yüzey ayrışması onarımıdır. Ancak çatlakları ağ şeklinde ince olması halinde çatlak onarımında da kullanılır. Aktif çatlaklar halinde sıvayan uzayabilir tipte olması şarttır. Bazı durumlarda bu dahi yetersizdir. Bu taktirde cam elyafla takviye edilmiş bitüm emdirilmiş membaneler kullanılır ve kat kat yapıştırılır. Ancak bu membanelerin bir tuğla duvarla, bir beton asfalt dal ile veya çakılla korunması şarttır. Enine yöndeki hareketler ondülasyona ve yırtılmalara yol açar [14].

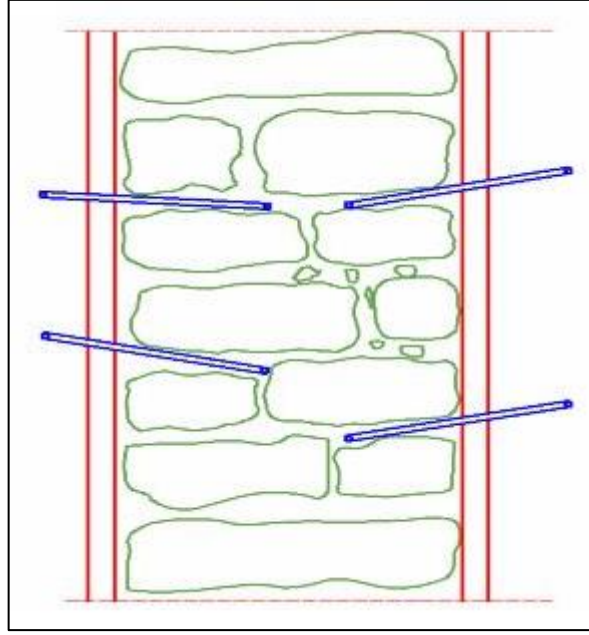
2.4.2. Yığma duvarların güçlendirilmesi

Yığma duvarların güçlendirilmesinde kullanılan başlıca yöntemler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

2.4.2.1. Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme:

Bu yöntem genellikle taş duvarlara düşük basınç ile uygulanır. Amaç, duvar içerisindeki boşlukların çimento ile doldurarak duvar dayanımını artırmaktır. Bunun için duvarın içine doğru 30-40 cm aralıklarla borular yerleştirilir. Boru yerleştirme işlemi yapılırken duvardaki taş veya tuğla malzemelerinin derz durumları dikkate alınmalı ve uygun yerlere yerleştirilmelidir (Şekil 2.2). Ardından duvar yüzeyine sıva yapılır. Sıva kalınlığı 2-3 cm kadardır. Sıva kurduktan sonra alttaki borulardan başlayarak düşük basınç ile çimento enjeksiyonu yapılır. Enjeksiyon işlemi diğer borulardan çimento şerbeti çıkana kadar sürdürülür. Ardından enjeksiyon yapılan delik kapatılarak bir yandaki boruya enjeksiyon işlemi uygulanır. Aynı sıradaki borular tamamlandıktan sonra bir üst sıraya geçilir ve aynı yöntemle enjeksiyon işlemi tüm borulara uygulanır.

Özellikle kırsal kesimlerde harç yerine kullanılan çamur malzemesinin zamanla kuruyarak dökülmesi sonucunda duvarın içerisinde boşluklar oluşmakta ve zaten yüksek olmayan duvar dayanımı daha da düşmektedir. Çimento enjeksiyonu ile bu boşluklar doldurularak duvarın direnci artırılabilir.



Şekil 2.2. Çimento enjeksiyonu ile taş duvarların güçlendirilmesi

Çimento enjeksiyonunda kullanılan çimento standardı TS206-1'e göre %95'i 200 ile 325 nolu eleklerden geçmelidir. Bu koşula göre çimento taneciklerinin 0,074 mm'den daha büyük çapa sahip olmaması gerekir.

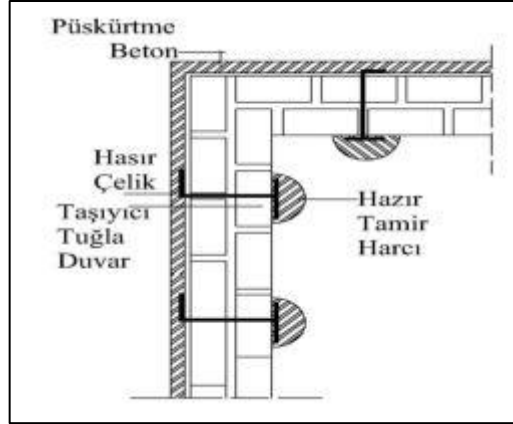
Çimento şerbetinin yapımında ilk dayanımı yüksek portland çimentosu (IPÇ) ve genişleyen çimento kullanımı onarımı hızlandırır. Genleşen çimento, çatlakların içine giren şerbetin genişip bütün boşlukları doldurmasını sağlar. Genleşen çimento içine sülfalüminat konulmuş bir çimentodur [12].

2.4.2.2. Püskürtme beton ile güçlendirme:

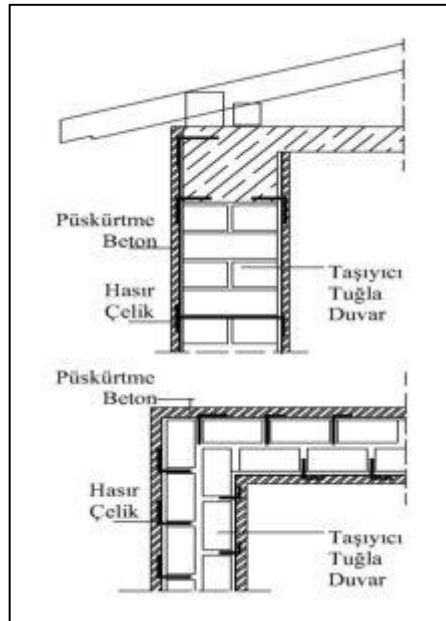
Yığılma duvarların güçlendirilmesinde kullanılan bu yöntem betonun basınçlı hava ile duvar yüzeyine püskürtülmesi esasına dayanır. Kalıp yapmanın zor veya maliyetli olduğu veya beton kalınlığının ince olması gerektiği durumlarda bu yöntem tercih edilir. Bu yöntemde öncelikle püskürtme beton uygulanacağı duvar yüzeyi özenle temizlenmelidir. Duvar yüzeyinde serbest malzeme kalmamalıdır. Aksi takdirde uygulanacak olan püskürtme beton ile duvar arasında aderans sağlanamaz. Duvar yüzeyine tazyikli su sıkılarak ta temizlenmesi sağlanabilir. Ardından duvara çelik ankraj çubukları monte edilir ve hasır donatı bu ankraj çubuklarına sabitlenir. Hasır

çelik donatı birleşim yerleri bir veya bir buçuk göz birbiri üzerine binecek şekilde düzenlenmelidir. Ardından püskürtme işlemi uygulanır.

Güçlendirme ihtiyaç duyulan dayanım sağlandığı takdirde duvarın tek tarafına yapılabileceği gibi iki tarafına da yapılabilir. Şekil 2.3 tek taraflı güçlendirme, Şekil 2.4 ise iki taraflı güçlendirme uygulanmış yığma duvar kesitlerini örneklemektedir.



Şekil 2.3. Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması [15]



Şekil 2.4. İki taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması [15]

Püskürtme beton imalatını uygulayacak kişinin tecrübesi uygulamadan verimli sonuçlar elde etme açısından çok önemlidir. Püskürtme tabancası mümkün olduğu kadar duvara dik ve 1-1,5 m mesafeden tutulmalıdır. Daha uzaktan uygulanan

püskürtme işlemlerinde donatının arkası doldurulamaz ve bu bölgede boşluklar kalarak ilerde betonun çatlamasına sebebiyet verebilir. 1 m'den daha yakından yapılan püskürtme işlemlerinde ise betonun duvara yapışması zorlaşır ve püskürtülen beton dökülerek ziyan olur. Dökülen betonlar kesinlikle tekrar kullanılmamalıdır. Püskürtme beton üzerine 2-3 cm kalınlığında sıva yapılarak yüzey düzgünlüğü sağlanabilir.

Püskürtme beton tabakalar halinde yapılmalı, alt tabaka kurumadan üst bakanın imalatı yapılmalıdır. Tabakalar arasında kaynaşmanın sağlandığından emin olunmalı, varsa kaynamayan bölgeler tespit edilmeli ve uzaklaştırılmalıdır. Ardından bu bölge nemlendirilerek püskürtme işlemi tekrar yapılabilir.

Püskürtme beton imalatı yapılan her duvarın bir köşesinde mala ile düzgün yüzeyli bir bölge oluşturulmalı ve bu bölgeden 3, 7 ve 28. günlerde Schmidt çekici okumaları yapılmalıdır. Her istasyondan 12 adet okuma yapılmalı ve betonun kaç günlük olduğu ile okumanın yapıldığı duvar not edilmelidir.

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 yüzeye olan adanasını sağlamadaki zorluklardan dolayı uygulamada sorunlar yaşanabilmektedir [8].

2.4.2.3. Normal ve kendinden yerleşen beton ile güçlendirme:

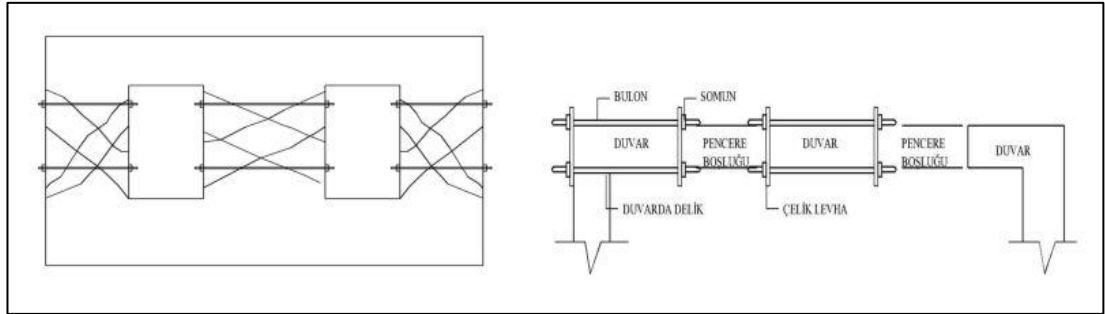
Normal beton ile yapılan güçlendirme tekniği, püskürtme ve kendinden yerleşen beton ile yapılan güçlendirme tekniğine göre daha zor ve uğraştırıcı bir yöntemdir. Bu yöntemde, direnci artırılacak duvar yüzeyi iyice temizlendikten sonra projede hesaplanan hasır çelikler duvara sabitlenir. Yine projede belirlenen ölçülerde kalıplar hazırlanarak beton dökülür. Bu yöntemde betona vibrasyon yapmak oldukça zordur. Ayrıca kesitlerin büyük olmasından dolayı yer kaybı fazladır. Kalıp kurma işleminin uzun sürmesi, binayı askıya alma gereksinimi, vibrasyon zorluğu vb. gibi nedenler

bu tekniğin dezavantajları arasında sayılabilir. Ayrıca beton ile duvar arasındaki aderans incelenmeli, güçlendirme işlemi uzman kişiler tarafından yapılmalıdır.

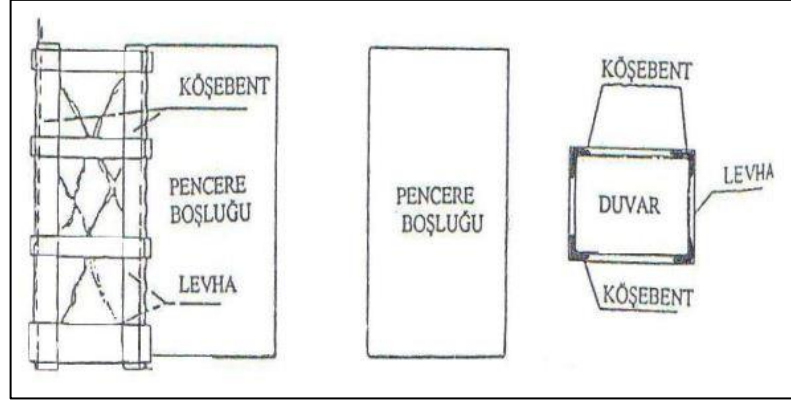
Donatıların sık olduğu bölgelerde normal beton yerine kendinden yerleşen beton tercih edilebilir. Kendinden yerleşen beton ile yığma duvar arasındaki aderans normal betona göre daha yüksektir ve vibrasyona gerek kalmadan homojen bir şekilde tüm kalıba yayılabilmektedir. Ayrıca normal betona göre daha düşük kalınlıklarda kullanılabildiğinden yer kaybı da azalmış olur.

2.4.2.4. Çelik elemanlar ile güçlendirme:

Bu yöntem, yığma duvarın çelik elemanlar kullanılarak direncinin artırılması esasına dayanmaktadır. Çelik çubuklar, levhalar veya profiller ayrı ayrı veya bir arada kullanılabilir. Örneğin pencere boşlukları arasında oluşan eğik çekme çatlaklarının güçlendirilmesi amacıyla, duvar içerisine oluşan çatlakları kesecek yönde delikler açılır ve içerisinden çelik donatılar geçirilir. Bu donatılar uç kısımlardan somunla sıkıştırılarak çatlakın büyümesi önlenir. Duvar içinde delik açılmaması durumunda ise donatılar duvarın iç ve dış yüzeyine yerleştirilir ve uç kısımlara çelik levhalar konularak sıkıştırma işlemi yapılır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Pencere boşlukları arasında kalan duvarın çelik donatılar ile güçlendirilmesi [20]



Şekil 2.6. Çelik çerçeve ile duvarların güçlendirilmesi [20]

Farklı bir şekilde boşluklar arasındaki duvarların köşelerine çelik köşebentler konur ve bu köşebentler birbirlerine çelik levhalar ile birleştirilerek bir çelik çerçeve oluşturulabilir. Bu sayede çatlak oluşumu önlenmiş veya var olan çatlakların büyümesi engellenebilir (Şekil 2.6). Köşebentler ve levhalar bir sıva tabakası ile kapatılarak korozyona karşı korunması sağlanabilir.

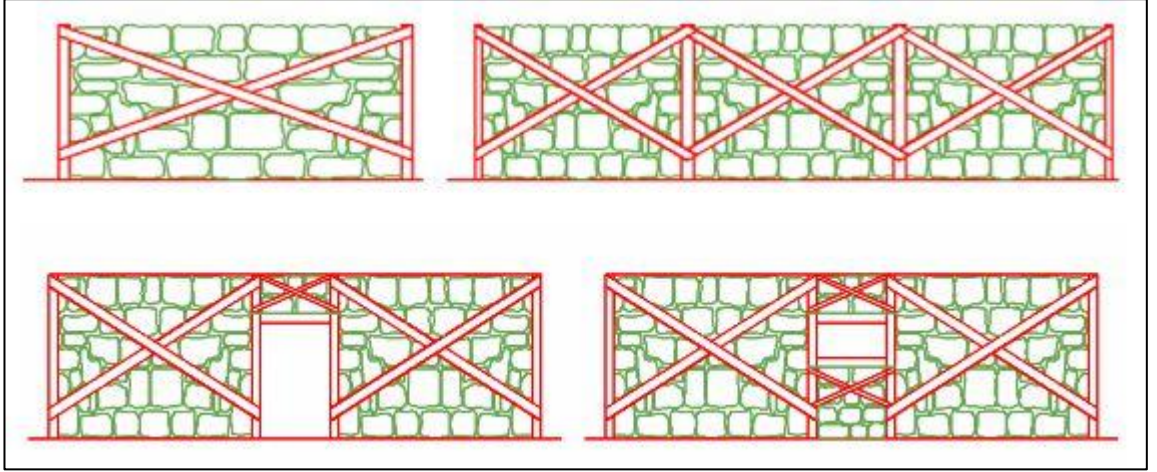
Yığma duvarları deprem etkilerine karşı güçlendirmek için çelik profiller çapraz olarak yerleştirilebilir ve bu profiller kolon kiriş birleşim bölgelerine veya döşemelere monte edilerek duvara gelen yükler azaltılabilir (Şekil 2.7). Çelik profiller duvarın tek yüzünde yapılabileceği gibi içte ve dışta aynı anda da yapılabilir. Benzer şekilde çelik şeritler duvar yüzeyine düz, çapraz veya her ikisi bir arada monte edilerek te duvar direnci artırılabilir.



Şekil 2.7. Çelik çapraz elemanlar ile güçlendirme

2.4.2.5. Ahşap dikme ve çaprazlarla güçlendirme:

Özellikle kırsal bölgelerde sıklıkla inşa edilen yığma duvarlar, ahşap dikme ve çaprazlar kullanılarak güçlendirilebilir. Ayrıca deprem etkilerinin karşılanması için kapı ve pencere boşlukları ahşap çerçevelerle güçlendirilebilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Ahşap elemanlar ile güçlendirme [12]

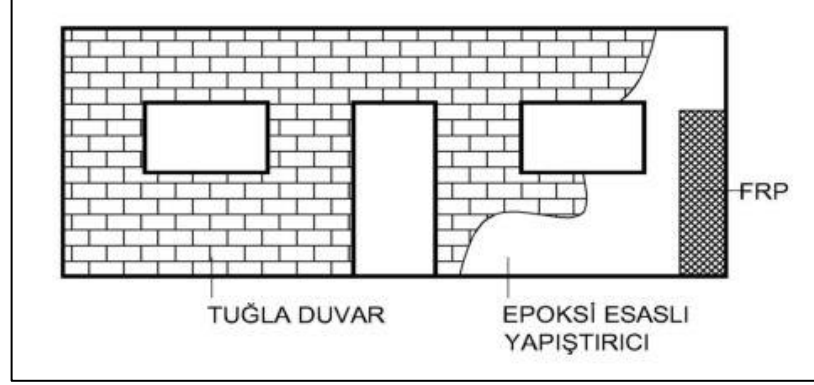
2.4.2.6. FRP ile güçlendirme:

Yığma yapıların güçlendirilmesi amacıyla uygulanan yukarıdaki geleneksel yöntemler bazı durumlarda çözüm için yetersiz kalabilmektedir. Özellikle tarihi yapıların güçlendirilmesinde, yapıya ilave yük gelmemesi gereken durumlarda, imalat süresinin kısa olması gerektiği durumlarda vb. FRP ile güçlendirme metodu çözüm olabilmektedir. Yüksek çekme mukavemeti, uygulama kolaylığı, hafif oluşu, korozyona karşı dayanıklı olması ve imalat sürelerinin kısa oluşu başlıca avantajlarıdır.

FRP kompozit malzemeler karbon, cam ve aramid fiberleriyle takviye edilmiş reçine karışımından oluşurlar. Levha ve dokuma şeklinde üretilirler. Dokuma CFRP malzemesi tek yönlü, dokuma GFRP malzemesi ise hem tek hem de çift yönlü olarak üretilmektedir.

FRP ile güçlendirme uygulamaları uzman kişiler tarafından yapılmalıdır. Uygulamanın ilk adımı yüzey temizliğidir ve son derece önemlidir. Zira temizlenmemiş bir yüzeye yapılan uygulamalarda FRP ile duvar yüzeyindeki aderans sağlanamaz ve imalat kötü sonuçlara sebebiyet verebilir. Yüzey temizliğinin

ardından duvar yüzeyine astar malzemesi uygulanır ve FRP'ler epoksi esaslı yapıştırıcılar ile duvar yüzeyine yapıştırılır. Böylece aderans sağlanmış olur. FRP'ler çekme ve eğilme mukavemetini alacak şekilde yerleştirilmelidir. Şekil 2.9'da yığma bir duvara uygulanan FRP uygulaması görülmektedir.



Şekil 2.9. Yığma duvarlarda FRP ile güçlendirme [12]

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 (Ultraviyole) dalgalarından korunmalıdır. Bu süreçte FRP yüzeyine uygulama yapılmamalıdır [12].

2.4.3. Temellerin güçlendirilmesi

Yığma yapılarda bazı durumlar sonucunda temellerde güçlendirme ihtiyaç duyulabilir. Temellerde meydana gelen hasarlar başlıca neden olmakla birlikte yapının farklı kullanım amacıyla oluşacak ilave yüklerin karşılanması için de temellerde güçlendirme gerekebilir. Yapıda meydana getirilecek olan değişiklikler veya eklentiler sonucunda ortaya çıkacak olan yükler mevcut temellerin artırılmasını veya yeni temeller yapılmasını gerektirecektir.

Güçlendirme işlemi için öncelikle ilave yük getirecek nedenler ortaya konmalı, gerekli analizler hatta deneyler yapılmalı ve güçlendirme için en uygun yöntem tespit edilmelidir.

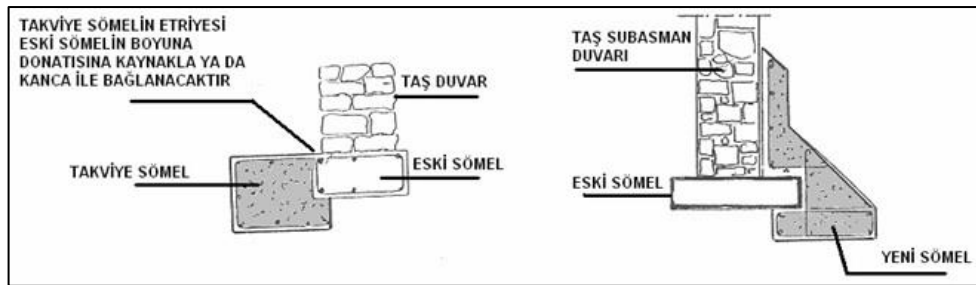
Derin olmayan temellerde güçlendirme işlemi kolaylıkla uygulanabilir. Derin temellerde ise son derece dikkatli ve planlı olunması gerekir. Mevcut duvarın her iki tarafında ve simetrik olacak şekilde temel güçlendirme işlemi yapmaya özen

gösterilmelidir. Böylece yapıya etkiyen yüklerin homojen bir şekilde zemine iletilmesi sağlanmış olur.

Sürekli bir sökelin takviyesi için temelin altı anolar halinde kazılır. Desteksiz bırakılabilecek uzunluk, usulüne uygun inşa edilmiş tuğla duvarlarda 1,50~2,00 m'yi geçmemelidir. Herhangi bir aşamada desteksiz kalacak uzunluk, yapı uzunluğunun dörtte birinden fazla olmamalıdır. Betonlama, mevcut temelin en az 5-10 cm. altına gelene kadar yapılmalıdır. Mevcut temelin altına inen kuşak perdesinin mevcut temelle bağlantısı epoksili ankrajlarla yapılmalıdır [23].

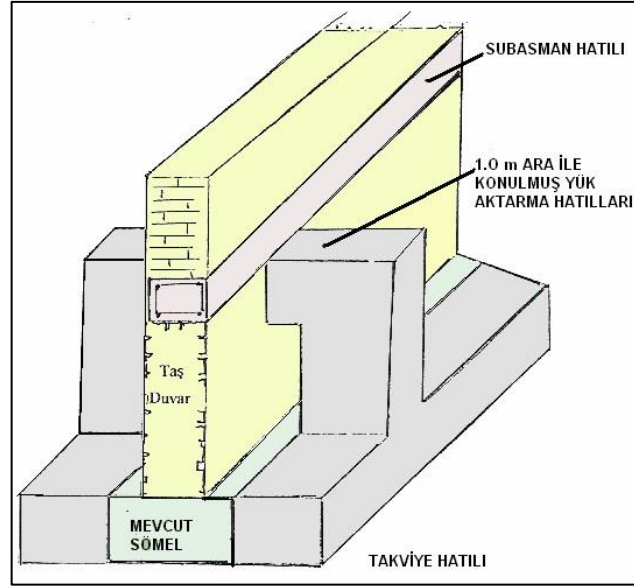
Yığma kargir yapılarda uygulanacak yöntemler; en fazla 4~5 metre derinlikte ve yer altı suyu seviyesinin daha düşük olduğu durumlarda yapının altına planlı bir şekilde kazılarak girilip yeni temel ve/veya değişiklikleri yapmak şeklindedir. Duvar altlarına bir işçinin çalışabileceği dar çukurlar ile ano ano çalışılarak ve 2~3 ano atlayarak yapılır (DIN 4123 (Deutsches Institut für Normung (Alman Standartları Enstitüsü))). Duvar ve sömeller önce geçici bir desteğe alınır ve daha sonra yeni temel sistemi inşa edilir. Yapının ve takviyenin nedenlerine göre çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu gruba yatayda delerek veya boru sürerek elde edilen yatay ızgara takviye tipi de dahil edilebilir [23].

Şekil 2.10'da; temellerde eski ve yeni bölümlerin birlikte çalışmasını sağlayabilecek ayrıntılar verilmektedir [9].



Şekil 2.10. Temellerin taşı gücünün artırılmasına ilişkin detaylar [9]

Şekil 2.11'de; yapı yüklerinin subasman hatılının altına 1 m aralıklarla yapılacak olan yük aktarma hatılarıyla yeni yapılan temellere kısmen de olsa aktarılabileceği görülmektedir [9].



Şekil 2.11. Duvarların yükünün yeni takviye temellere aktarılması [9]

Temel güçlendirilmesinde kullanılan bir başka yöntem, eski temelin altına temelin yükünü daha derindeki daha sıkı zemine aktaran yeni ayaklar yapılmasıdır. Yapının temelleri parça parça açılarak sağlam zemine kadar uzanan bir çukur açılmakta, buraya beton doldurulmakta, yeni beton ile eski sökelin arasındaki küçük boşluk ise ahşap takozlarla sıkıştırılarak eski temelden yeni beton ayağa yük aktarılması sağlanmaktadır. Betonlanacak bölümlerin en çok 1,00 metrelik aralarla, atlaya atlaya yapılması, aradaki kısmın iki yanındaki beton sertleştikten sonra yapılması gerekir. Böylece yapının altında büyük kütlesi olan ve derinlere inen geniş bir beton ayak oluşturulmaktadır. Çoğu zaman bu uygulamanın, yapının oturan bölümünün ya da kösesinin altında yapılması yeterli olmaktadır [9].

Zemin sıvılaşması da temelde oturmalarla neden olabilir. Bu nedenle temellere herhangi bir müdahalede bulunmadan önce zemin incelemeleri özenle yapılmalıdır. Yeraltı suyu bulunana yapılarda bu suyun kontrollü bir şekilde uzaklaştırılması gerekmektedir. Yeraltı suyunun tahliyesi temellerde yeraltı suyundan kaynaklanan olumsuz etkiler ortadan kaldıracığı gibi bu işlem temelde farklı oturmalarla da neden olabilir. Tahliye işleminin kontrollü yapılması bu sebepten dolayı son derece önemlidir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Genel Bilgiler

Yığma duvarların güçlendirilmesi konusu kapsamında gerçekleştirilen bu deneylerde amaç, uygulanan güçlendirme tekniklerinin, düzlem içi ve yatay yükler altında, duvarlarda meydana gelen dayanım kapasite artış oranları arasındaki farkları gözlemlemektir. Bu nedenle üretilen dört adet yığma duvar numunesinden ilki referans numune olarak kabul edilerek hiçbir güçlendirme işlemi yapılmadan deneye tabi tutulmak suretiyle güçlendirilmemiş duvarın dayanım kapasitesi tayin edilmiştir. Diğer numuneler ise Enjeksiyon, Enjeksiyon & 3D Fabrik ve Enjeksiyon & CFRP olmak üzere üç farklı yöntem ile güçlendirilerek deneye tabi tutulmuş ve meydana gelen dayanım kapasite artışları gözlenmiştir. Güçlendirilmiş numunelerin kapasite artışlarının hem birbirlerine göre hem de referans numuneye göre oranları incelenmiştir.

Deney değişkenleri olarak güçlendirme malzemeleri, deney sabitleri olarak tuğla cinsi, tuğla duvar imalat şekli, duvar numune boyutları, harç karışımları, yük ve yükleme eksenini olarak ele alınmıştır.

3.2. Deney Ortamı ve Cihazlar

Deneyler Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerinin hazırlanması ve test aşamasında, temel imalatında kullanılan çelik profil ve plakalarda, kaynak makinası, spiral taşlama makinası, plazma kesim makinası; çelik temellerin zemine sabitlenmesi için kullanılan dişli vidaların üretiminde torna makinası; harç malzemesi hazırlamak için hassas terazi, ölçekli kap; harç numunelerinin kalıplanması için 40x40x160 mm ebatlarında çelik kaplar; tuğla duvar örme işleminde mastar, terazi; FRP malzemesinin kesiminde makas, maket bıçağı; epoksi yapıştırıcının duvar yüzeyine tatbikinde çeşitli fırçalar; numunelerin taşınması esnasında hidrolik krikolar; basınç deneylerinde 400 kN basınç yapabilen test cihazı ve yer değiştirme ölçüm cihazı kullanılmıştır.

3.3. Deney Yapımında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Yığma duvar deney numunelerinin üretiminde kullanılan başlıca malzemeler ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

3.3.1. Tuğla

Deney numunelerinin imalatında kullanılan tuğlalar İzmit'in Bekirpaşa mahallesinde mevcut yığma bir yapıdan el ile sökülerek alınmıştır (Şekil 3.1). Buradaki amaç; deney numunelerinin dayanım ve davranış bakımından mevcut yığma yapılara mümkün olduğu kadar benzer modellemektir. Tamamı aynı yapıdan temin edilen bu tuğlalar; 190x90x50 mm ebatlarında kil bazlı dolu harman tuğlasıdır.



Şekil 3.1. Tuğla temin edilen mevcut yığma yapı

3.3.2. Kum

Deney harcında kullanılan kum, Adapazarı ilçesine bağlı Adliye köyünde bulunan kum ocağından alınmıştır. Maksimum 1 mm boyutlarında ve yıkanmış kum kullanılmıştır. Tablo 3.1'de kuma ait elek analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.1. Yıkanmış kum elek analizi

Elek Boyutu (mm)	Elekte Kalan Kum Miktarı (gr)
4	2,56
2	4,02
1	4,98
0,5	35,27
0,211	912,56
Toplama Kabı	31,58

3.3.3. Çakıl

Deney numunesi temel harcı yapımında kırmataş çakıl kullanılmıştır. Dane çapı 10 – 25 mm arasındadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Temel harcı için kullanılan çakıl malzemesi

3.3.4. Çimento

Tuğla duvar numunelerinin temel harcının yapımında CEM II/A-P 42,5 R çimento kullanılmıştır. Bu ürün, standartlarında (TS EN 197-1:2012) tanımlanmış oranda (en çok %20) mineral katkı maddeleri (tras) ile portland çimentosu klinkerinin belirli miktarda priz düzenleyici (alçıtaşı) ile beraber öğütülmesi sonucu elde edilen; su ile karıştırıldıktan bir süre sonra donarak dayanım kazanan üründür [30]. Fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. CEM II/A-P 42,5 R çimento özellikleri

Fiziksel Özellikler		
Priz Başlangıcı	170 dk.	min. 60 dk.
Priz Sonu	207 dk.	-
Hacim Genleşmesi	1,00 cm	maks. 10 cm

Tablo 3.2. (Devam) CEM II/A-P 42,5 R çimento özellikleri

Özgül Yüzey (Blaine)	4576 cm ² /g	-
Litre Ağırlığı	843 g/l	
2 Günlük Dayanım	26,4 MPa	min. 20 MPa
28 Günlük Dayanım	52,9 MPa	min./maks. 42,5/62,5 MPa
Kimyasal Özellikler		
SO ₃	2,49 %	maks. 4 %
Cl-	0,01 > %	maks. 0,1 %

3.3.5. Temel ve hatıl harcı

Tuğla duvar numunelerinin temel ve hatıl imalatlarında kum, çakıl, çimento ve su karışımından elde edilen harç kullanılmıştır. Karışım miktarları aşağıdaki gibidir.

Kum	: 15 kg
Çakıl	: 20 kg
Çimento	: 6,25 kg
Su	: 5 Lt

3.3.6. Puzolanik kireç esaslı tarihi yapı onarım harcı

Tuğal duvar numunelerinde tuğla elemanların örülmesi için derzlerde “BASF Yapı Kimyasalları A.Ş.” üretimi “Puzalonik Kireç Esaslı, Tarihi Yapı Onarım Harcı” kullanılmıştır. Harç, Tablo 3.3’te verilen karışım oranları ile hazırlandığında Tablo 3.4’te verilen teknik özellikleri göstermektedir [31].

Tablo 3.3. “Puzalonik kireç esaslı, tarihi yapı onarım harcı” karışım oranları [31]

ALBARIA® STRUTTURA	1 kg Toz için	20 kg Torba için
Karışım Suyu Miktarı	0,22-0,24 lt	4,4-4,8 lt
Karışım Yoğunluğu	2,07-2,10 kg/lt	

Tablo 3.4. “Puzalonik kireç esaslı, tarihi yapı onarım harcı” teknik özellikleri [31]

Kapiler Su Emme UNI EN 1015/18	0,2 Kg.m-2.min-0,5
Basınç Dayanımı UNI EN 1015/11	15 – 20 N/mm ²
Elastisite Modülü UNI EN 13412	16.000 N/mm ²

Ancak deneye tabi tutulan numunelerde farklı karışım oranları kullanılmıştır. Buradaki amaç; mevcut yığma yapılarıdaki harç dayanımı düşük olduğundan, deneyde kullanılacak harç ile mevcut yığma yapılarıdaki harcın mümkün olduğu kadar benzer özellikler göstermesini sağlamaktır. Deney numunelerinin derzlerinde kullanılan harç malzemesi, 1 torba (20 kg) tamir harcı için; hacimsel olarak 1,5 kat kum ve 7 lt su karıştırılarak elde edilmiştir. Bu harç malzemesine ait basınç ve eğilme dayanımları ise harçlardan alınan numune deneylerinden elde edilmiştir.

3.3.7. Tarihi yapılar için geliştirilmiş, puzolanik kireç esaslı enjeksiyon harcı (MasterInject 222)

Deney numunelerinin (Referans numune hariç) enjeksiyon ile güçlendirilmesi işleminde “BASF Yapı Kimyasalları A.Ş.” üretimi “Tarihi Yapılar İçin Geliştirilmiş, Puzolanik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı” kullanılmıştır. Enjeksiyon harcına ait karışım oranları ve basınç dayanımı Tablo 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.5. "Tarihi yapılar için geliştirilmiş, puzolanik kireç esaslı enjeksiyon harcı" karışım oranları ve basınç dayanımı [32]

ALBARIA® INIEZIONE	1 kg Toz için	12 kg Torba için
Karışım Suyu Miktarı	0,30 lt	3,6 lt
Karışım Yoğunluğu	1,93 kg/litre	
Basınç Dayanımı (TS EN 196)	7 gün	> 7,0 N/mm ²
	28 gün	> 13 N/mm ²

3.3.8. CFRP Plaka

Deney numunelerinden enjeksiyon ve CFRP plaka ile güçlendirme işlemi yapılan D numunesi için “BASF Yapı Kimyasalları A.Ş.” üretimi “FRP (Lifli polimer) sistemi içinde yer alan, ön üretimli, karbon lifli polimer plaka” kullanılmıştır. 1,2 mm kalınlığında ve 10 mm genişliğinde kesilerek derzlere yerleştirilen bu plakalara ait teknik özellikler Tablo 3.6 Şekil 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.6. “FRP (Lifli polimer) sistemi içinde yer alan, ön üretimli, karbon lifli polimer plaka” teknik özellikleri [33]

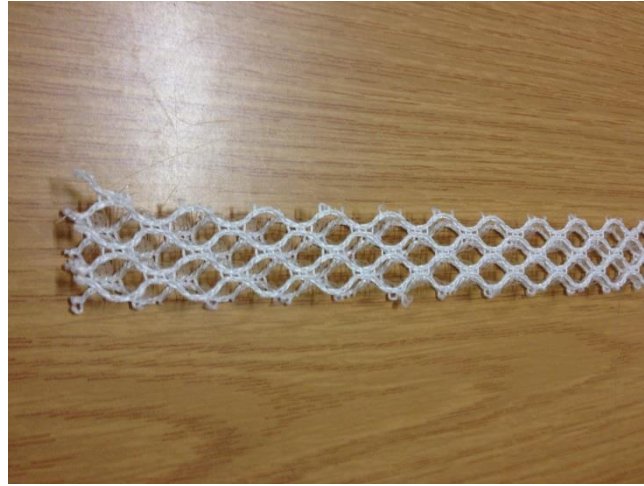
MBRACE® LAMINATE	10x1,2
Elastisite Modülü (N/mm ²)	165000

Tablo 3.6. (Devam) “FRP (Lifli polimer) sistemi içinde yer alan, ön üretimli, karbon lifli polimer plaka” teknik özellikleri [33]

Çekme Dayanımı (N/mm ²)	2500
Kopma Uzaması %	1,5
Kalınlık S (mm)	1,2
Genişlik L (mm)	50
En Kesit Alanı (mm ²)	60

3.3.9. 3D Fabrik

Derzlerde güçlendirme işlemi yapılan Mas1 – 3D Fabrik numunesi için, tekstil endüstride kullanılan 3D Fabrik malzemesi denenmiştir (Şekil 3.3). Polyester bazlı üst ve alt dokuma arasında 3. yönde mesafe ayırıcı polyester monofilaman yerleştirilmesi ile oluşturulmuş bu malzeme esnek bir yapıya sahiptir. Gözeneklerden oluşan bu malzemede her bir göz 10 mm genişliğinde ve 15 mm uzunluğunda elipse benzer formdadır. Genellikle büyük boyutlarda üretilen 3D Fabrik malzemesi yan yana iki gözlü (20 mm) şeritler halinde ve şeritlerin sürekliliği bozulmayacak şekilde (dokuma yönünde) kesilerek kullanılmıştır. Şerit kalınlığı 10 mm’dir.



Şekil 3.3. 3D Fabrik

3D Fabrik teknik özellikleri Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.7. 3D Fabrik teknik özellikleri

Kopma mukavemeti (N/)	575,9
Kopma Uzaması %	52,65
Kalınlık (mm)	10
Genişlik (mm)	20

3.3.10. Epoksi esaslı yapıştırıcı

CFRP Plaka ile yapılan güçlendirme işleminde, CFRP şeritler derzlerle yerleştirilmeden önce aderans sağlamsı için yüzeylerine epoksi yapıştırıcı kum taneleri yapıştırılmıştır. Yapıştırma malzemesi olarak “BASF Yapı Kimyasalları A.Ş.” üretimi “FRP (FIBRE) lifli polimer sistemi için geliştirilmiş epoksi yapıştırıcı” kullanılmıştır. Teknik özellikleri Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. “FRP (FIBRE) lifli polimer sistemi için geliştirilmiş epoksi yapıştırıcı” teknik özellikleri [34]

Malzemenin Yapısı MBRACE FIBRE SATURANT Bileşen A MBRACE FIBRE SATURANT Bileşen B	Epoksi Reçine Epoksi Sertleştirici
Renk	Mavi
Karışım Yoğunluğu	1,02 kg/litre
Viskozite	1500 - 2500 mPa.s
Basınç Dayanımı (7 gün) (TS EN 196)	> 60 N/mm ²
Eğilme Dayanımı (7 gün) (TS EN 196)	> 50 N/mm ²
Yapışma Dayanımı (Betona) (7 gün)	> 3,0 N/mm ²
Uygulanacak Zeminin Sıcaklığı	+5°C +30°C
Kullanma Süresi (+20°C)	30 dak.
Yeniden Kaplanabilme Süresi (+20°C)	Min. 48 saat Maks. 7 gün
Tam Kürlenme Süresi (+20°C)	7 gün
Karışım Suyu Miktarı Bileşen A	3,73 kg
Karışım Suyu Miktarı Bileşen B	1,27 kg

3.4. Deney Düzenegi ve Ölçüm Tekniği

Bu çalışma kapsamında yapılan tüm deneyler Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda gerçekleştirilmiştir. Bir tanesi referans numunesi olmak üzere toplam 4 adet tuğla duvar modeli düzlem içi yükler altında denenmiştir. Deney esnasında bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılarak deformasyon ve kuvvet okumaları yapılmıştır.

3.4.1. Deney programı

Deney numuneleri:

- Mas0 – Ref. : Referans numune,
- Mas1 – Enj. : Sadece Enjeksiyon ile güçlendirilmiş numune,
- Mas1 – 3D Fab. : Enjeksiyon & 3D Fabrik ile güçlendirilmiş numune,
- Mas1 – CFRP : Enjeksiyon & CFRP Plaka ile güçlendirilmiş numune.

Deney aşamaları:

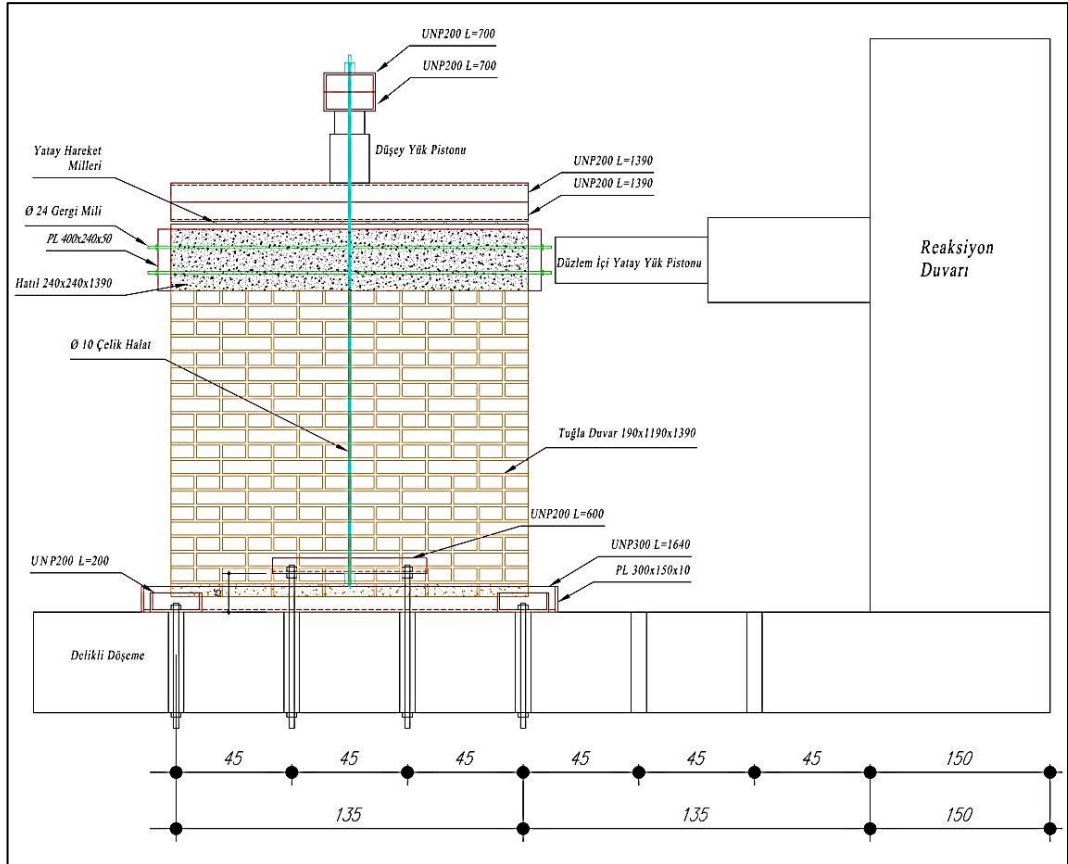
- Tuğla duvar deney malzemelerinin temini,
- Tuğla duvarların örülmesi,
- Tuğla duvarların mukavemet kazanması için 28 gün bekletilmesi
- Mas1 – Enj., Mas1 – 3D Fab. ve Mas1 – CFRP numunelerine enjeksiyon imalatının yapılması ve tekrar 28 gün bekletilmesi,
- Mas1 – 3D Fab. numunesine “3D Fabrik” ile, Mas1 – CFRP numunesine ise “CFRP Plaka” ile güçlendirme yapılarak 7 gün bekletilmesi,
- Tüm numunelerin düzlem içi yatay ve ölü yükler altında deneye tabi tutulması
- Bilgisayar destekli veri okuma sistemi ile kuvvet ve deformasyon okumalarının yapılması.

3.4.2. Deney düzeneği

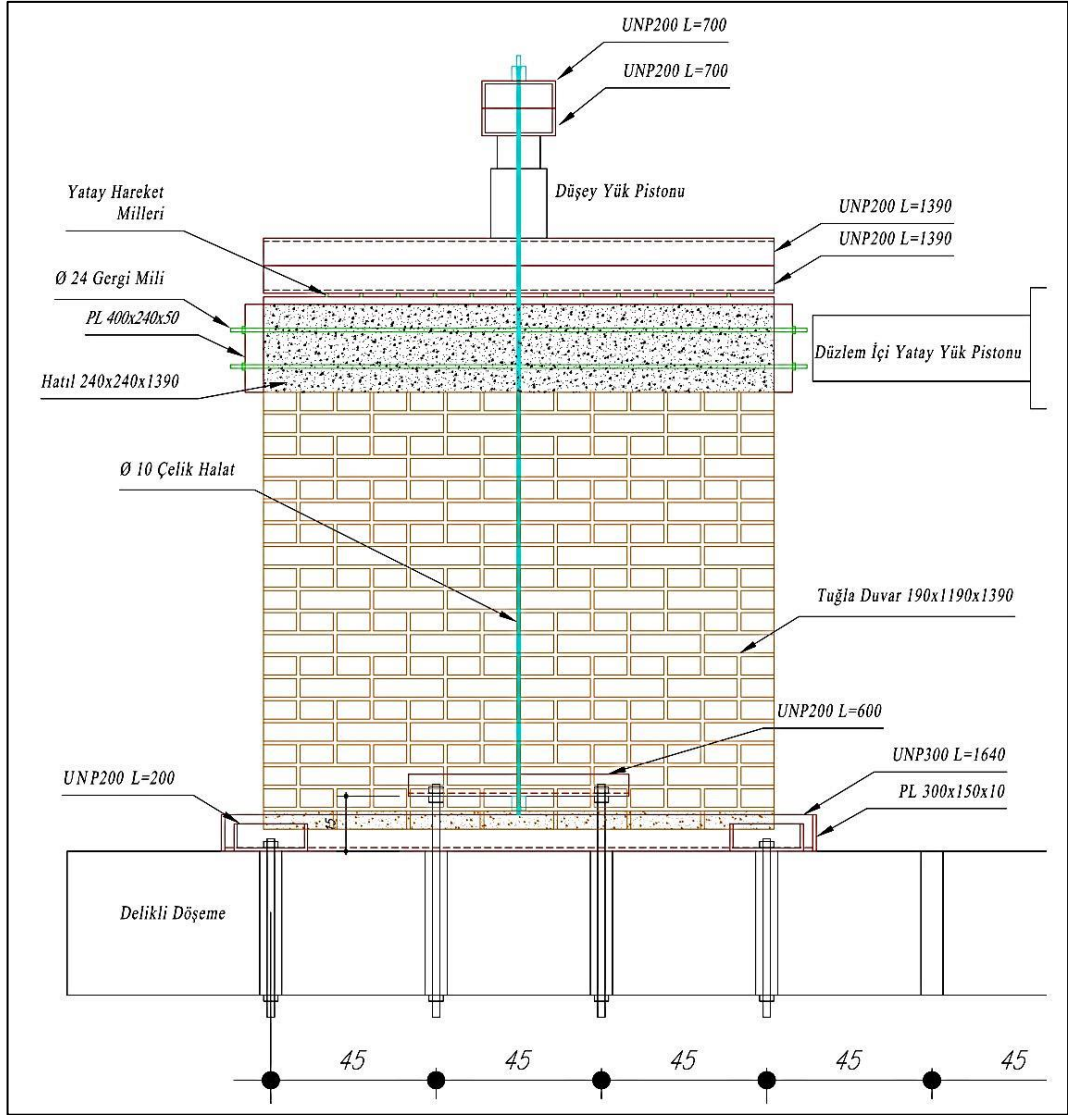
Düzlem içi yatay ve düşey yükler altında mevcut ve güçlendirilmiş yığma duvar davranışının incelenmesi, göçme şekillerinin gözlemlenmesi ve kuvvet-deplasman verilerinin elde edilmesi amacı ile kullanılan deney düzeneği Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 ile verilmiştir. Deney düzeneğinin çalışma mekanizması aşağıdaki gibidir:

- Tuğla duvarlar, çelik temellerinde bulunan 4 adet sabitleme noktasından laboratuvarın delikli döşemesine ankastre olarak sabitlenmiştir.
- Tuğla duvara gelecek olan ölü yükler tuğla duvarın üzerinde bulunan düşey yük pistonu ile verilmiştir.
- Düşey yük pistonunun altında bulunan çelik profil, pistondan gelen yükü hatıl üzerine yayılı olarak dağıtmak için kullanılmıştır.
- Reaksiyon duvarına bağlı olan piston, düzlem içi yatay yükleri sisteme etkiltirmek için kullanılmıştır. Yükleme hatılın merkezinden yapılmıştır.

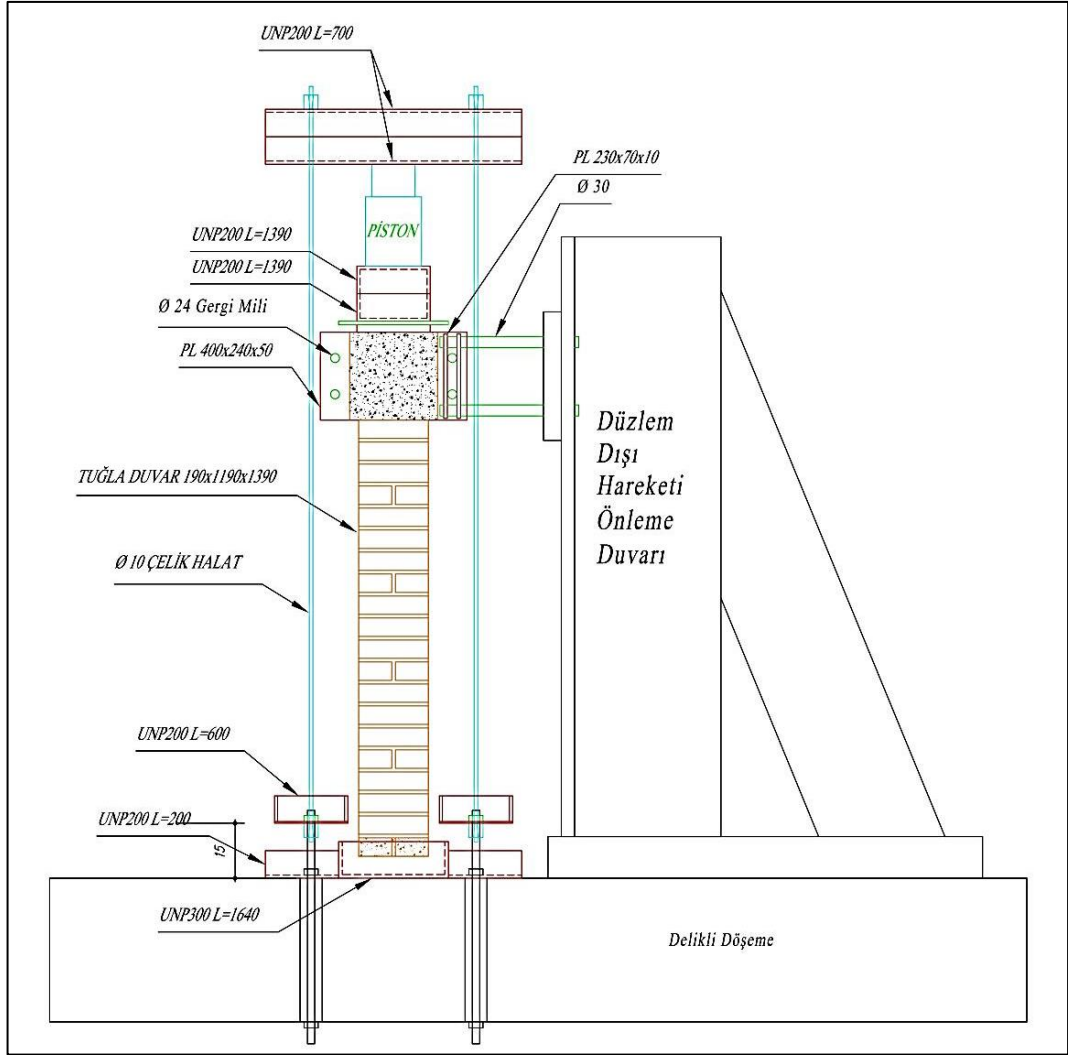
- Zemine sabitlenmiş olan çelik halatlar, ölü yükleri oluşturmak için kullanılmışlardır. Aynı zamanda reaksiyon duvarından etkiyecek olan yatay yükün yaratacağı deplasman esnasında sistemle beraber hareket edebileceklerdir.
- Hatılın üzerinde bir adet çelik plaka ve bu plaka ile ölü yükleri yayılı yüke çeviren çelik profil arasında çelik miller bulunmaktadır. Bu miller, reaksiyon duvarından gelecek olan yatay yükler sonucunda oluşacak deplasman sırasında sistemin yatayda hareket edebilmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır.
- Yüklerin hatıl aracılığıyla tuğla duvara sorunsuz şekilde aktarılması amacı ile hatıl, gergi milleri ve kafa plakaları ile korunmuştur.
- Düzlem dışı hareketi önlemek için, gergi milleri düzlem dışı hareketi önleme duvarına hareketli mesnet modeli ile sabitlenmiştir. $\Phi 24$ gergi milleri, aralarında 26 mm mesafe olan iki plaka arasına hapsedilmiş, böylece düzlem içi yönde rahatça hareket edebilen duvar düzlem dışı yönde sadece 1 mm hareket edebilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.4. Deney düzeneği, yükleme şekilleri ve reaksiyon duvarı



Şekil 3.5. Tuğla duvar deney mekanizması



Şekil 3.6. Düzlem dışı hareketi önleme düzeneği

3.4.3. Yükler ve yükleme yöntemi

Deneyde kullanılan model tuğla duvar, Zemin, 1 ve 2. Katlardan oluşan toplam üç katlı bir binanın zemin kat taşıyıcı duvarı olarak düşünülmüştür. Düzlem içi yükler altında yapılan bu deneyde üst katlardan gelen G ölü yük ve Q hareketli yükler düşey doğrultuda, deprem etkilerinin oluşturduğu yükler ise yatay doğrultuda sisteme etki ettirilmiştir. Yatay yük etkisi, yatay yük pistonu ile artımsal olarak hatıla verilmiştir. Öncelikle düşey yükler duvar numunesi üzerine verilmiş ve düşey yükler sabitlendikten sonra yatay yüklemeye başlanmıştır. Deney süresi boyunca düşey yükler sabit tutulmuştur. Yükleme işlemi duvar numunesi tamamen göçene kadar devam ettirilmiştir.

Düsey doğrultuda oluşan ölü ve hareketli yükler Şekil 3.7’da verilen plan ve kesitlere göre aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Şekilde; siyah taralı bölgeler taşıyıcı tuğla duvarları, yeşil taralı bölge model tuğla duvarı, kırmızı taralı bölgeler ise model duvar numunesine yük olarak etkiyen döşeme ve duvarları göstermektedir. Hesap 1 m duvar için yapılmıştır ve hareketli yük 3,433 kN/m², duvar birim ağırlığı 19,620 kN/m³ alınmıştır.

Döşeme sabit yükleri (3 adet döşeme) : $(4 \text{ m}^2 \times 0,12 \text{ m} \times 23,544 \text{ kN/m}^3) \times 3 = 33,903 \text{ kN}$

Döşeme hareketli yük (3 adet döşeme): $(4 \text{ m}^2 \times 3,433 \text{ kN/m}^2) \times 3 = 41,196 \text{ kN}$

Duvar sabit yükleri (2 adet duvar): $(2,7 \text{ m}^2 \times 0,19 \text{ m} \times 19,620 \text{ kN/m}^3) \times 2 = 20,130 \text{ kN}$

Toplam Ölü Yük (G) = 33,903 + 20,130 = 54,033 kN

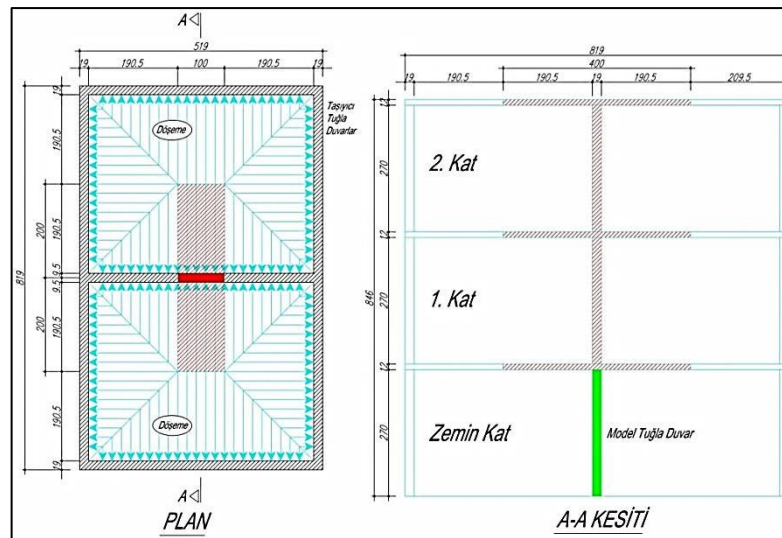
Toplam Hareketli Yük (Q) = 41,196 kN

G + Q = 95,229 kN

139 cm duvar için G + Q Toplamı = 1,39 x 95,229 kN = 132,368 kN

Deney düzeneği için kullanılan profiller, plakalar, piston, miller, germe kamaları, çelik halat, hatıl ağırlıkları ve Pd toplandığında, model duvar düşey test yükü 140 kN olarak belirlenmiştir.

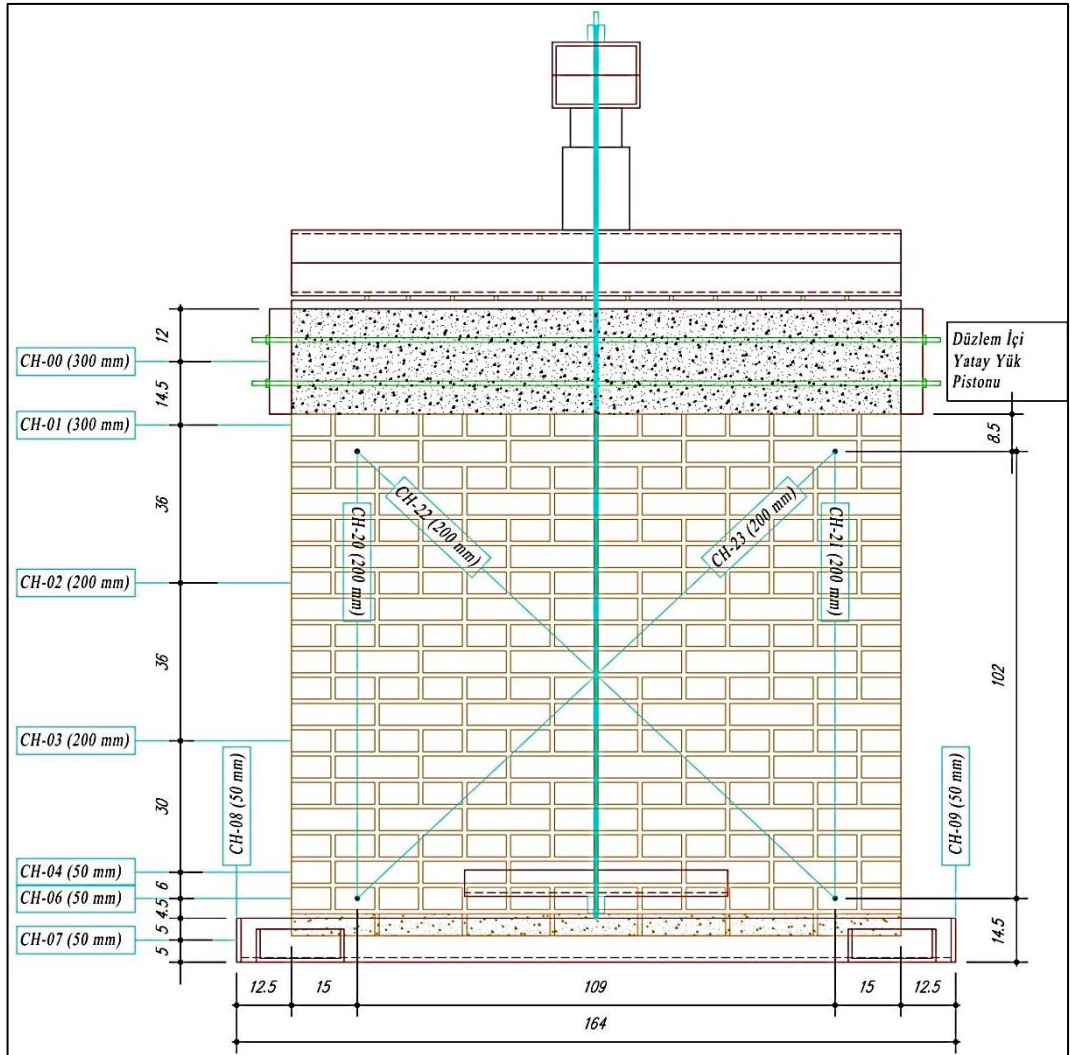
139 cm Duvara Gelen Toplam Düşey Yük (P_d) = 140 kN.



Şekil 3.7. Üç katlı yığma yapı plan ve kesiti

3.4.4. Ölçüm tekniği

Deney aşamasında meydana gelen deformasyon ve deplasmanlar 0,01 mm hassasiyetli deplasman ölçerler kullanılarak yapılmıştır. Tüm numunelerde birebir aynı yükleme yapılmış ve her yük artışı için okumalar yapılmıştır. 1 saniye aralıklarla yapılan deformasyon ve yük okumaları bilgisayara aktarılarak kayıt altına alınmıştır. 1 tane temelden, 1 tane hatıldan ve 5 tane tuğla duvar üzerinden olmak üzere toplam 7 noktadan yatay deplasman ölçümü yapılmıştır. Temel hareketlerini gözlemek için temelin her iki ucundan 2 adet düşey ölçüm yapılmıştır. Ayrıca duvar üzerinde meydana gelen deformasyonları gözlemek için 2 adet düşey ve 2 adet çapraz olmak üzere 4 adet ölçüm yapılmıştır. Deplasman ölçerlerin sistem üzerine yerleştirilme biçimi Şekil 3.8'de verilmiştir.

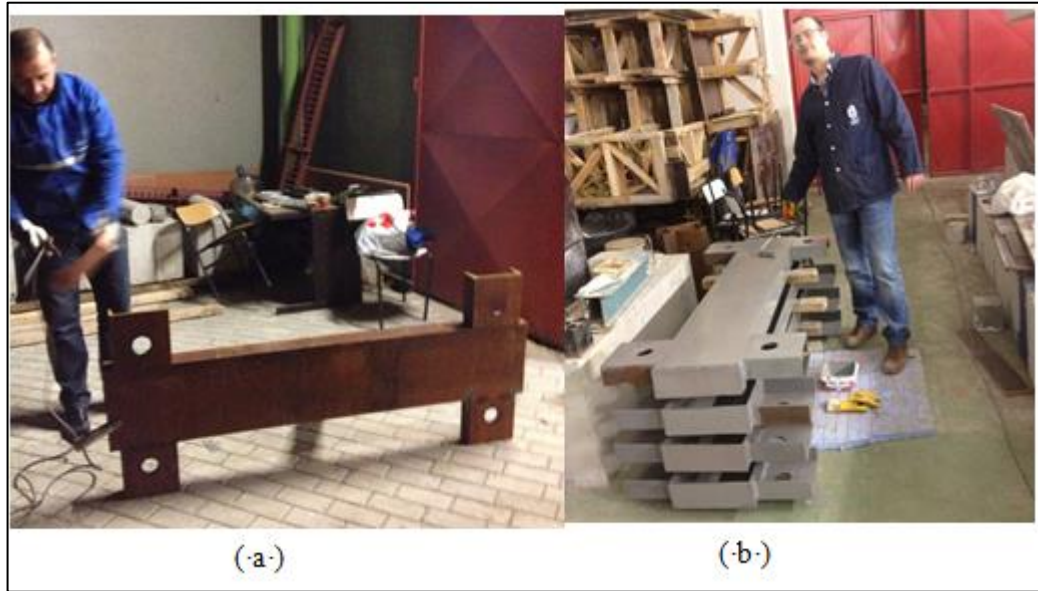


Şekil 3.8. Deplasman ölçerlerin yerleşimi

CH-00, CH-01 deplasman ölçerler 300 mm; CH-02, CH-03 200, CH-20, CH-21, CH-22, CH-23 deplasman ölçerler 200 mm, diğerleri ise 50 mm kapasitelidir.

3.5. Yığma Duvar Deney Numunelerinin Hazırlanması

Yığma duvar numunelerinin imalatı Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında yapılmıştır. 19x119x139 cm boyutlarında, çift sıra ve 4 adet tuğla duvar deney numunesi imalatı yapılmıştır. Temel imalatı için gerekli olan çelik profiller ve çelik plakalar deney öncesi yapılan tasarım çizimlerine uygun olarak kesilerek elektrik kaynağı ile kaynatılmıştır (Şekil 3.9-a). Kaynak işleminin ardından tüm yüzeyler demir tel fırça ile temizlenerek paslanmayı önlemek amacıyla boyanmıştır (Şekil 3.9-b).



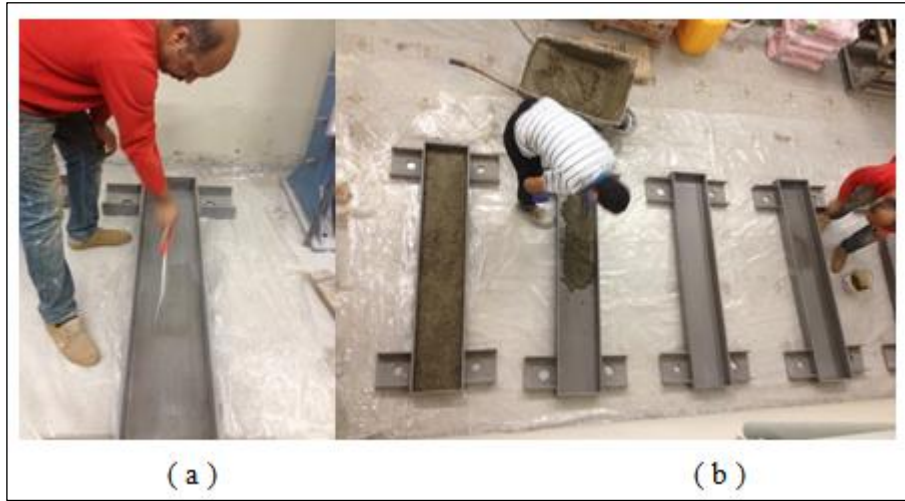
Şekil 3.9. a) Yığma duvar temel kaynağı, b) Yığma duvar temel boyası

Yığma duvar numunelerinde kullanılan harman tuğlası mevcut bir yığma yapıdan sökülme suretiyle temin edilmiştir. Yeni tuğla yerine eski tuğla kullanılmasındaki amaç, yüklemeler altında duvarın gerçek bir yığma yapı gibi davranmasını sağlamaktır. Tuğlalar mevcut yığma yapıdan büyük bir titizlikle ve iş makinası kullanılmadan sökülmüş, tuğlaların üzerindeki harç yine tuğlalara zarar vermeyecek hassasiyette temizlenmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Tuğlaların temizlenmesi işlemi

Tuğla duvar örme işlemine geçilmeden önce çelik temeller kalıp yağı ile yağlanmış (Şekil 3.11-a) ve temel görevi görecek olan çelik U profilin içi temel harcı ile doldurulmuştur (Şekil 3.11-b).



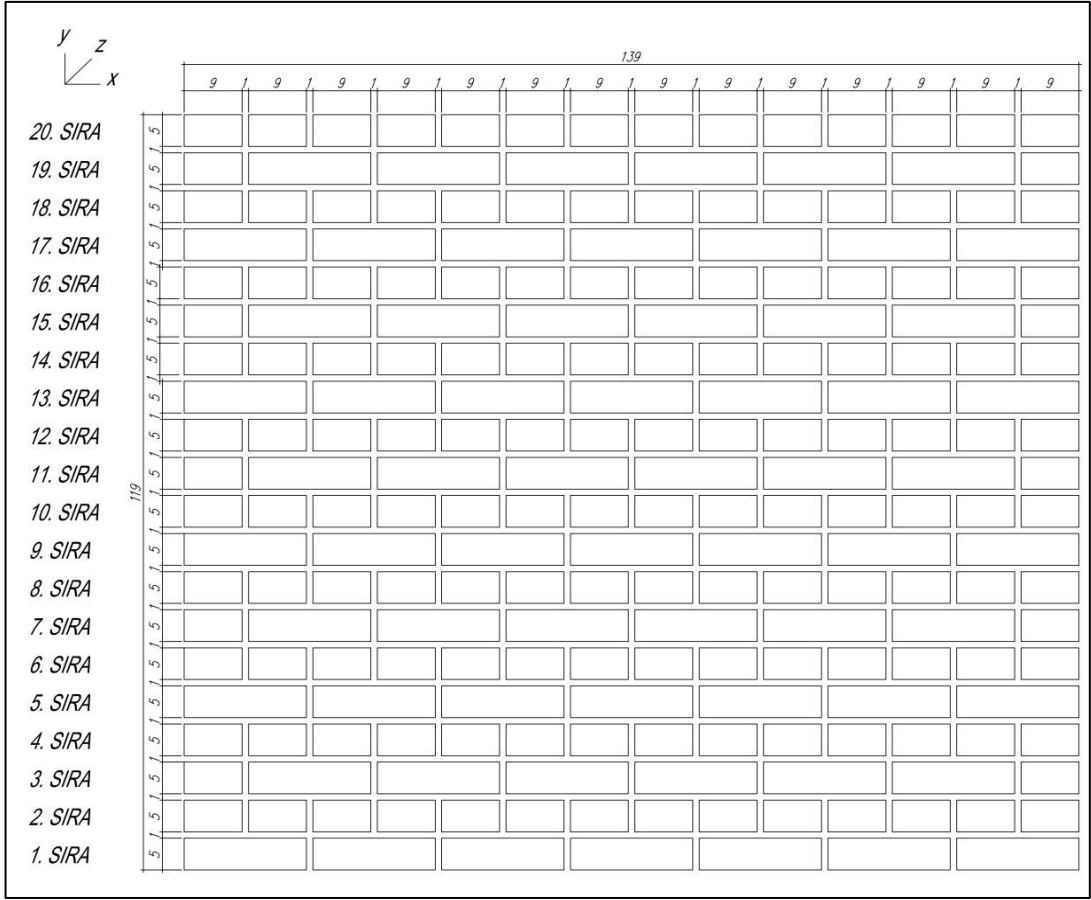
Şekil 3.11. a) Temel yağlama işlemi, b) Temel harcı ile temel imalatı

Tuğlalar örülmeden önce suya batırılarak ıslatılmış böylece harcın suyunu emmesi önlenmiştir (Şekil 3.12-a). Tuğla duvarın en alt sırası komple temel betonu içerisinde bırakılarak duvar ile temel arasındaki bağlantının sağlanması amaçlanmıştır (Şekil 3.12-b).

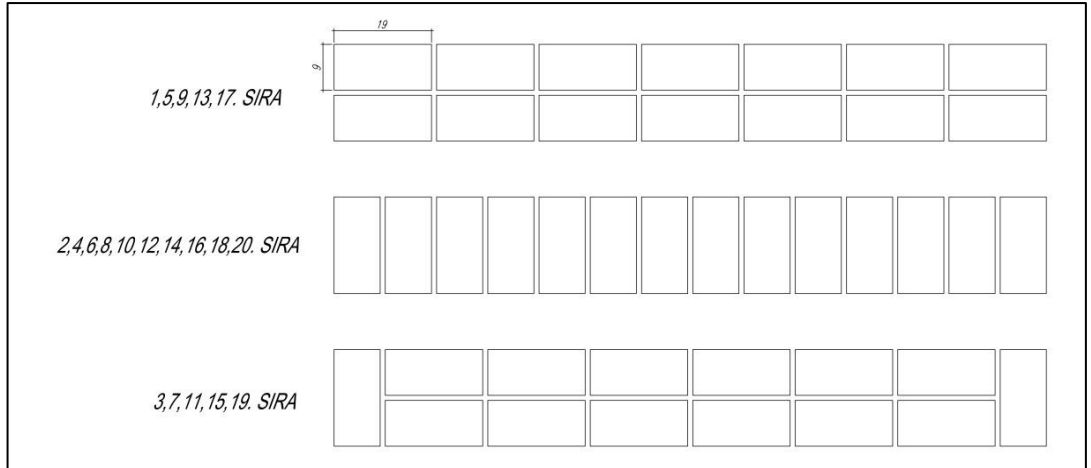


Şekil 3.12. a) Tuğlaların ıslatılması işlemi, b) Temel imalatı

Tuğla duvar numunesinin en alt sırasındaki tuğlalar temel betonu ile bunun üzerindeki 19 sıra tuğla ise tarihi yapı tamir harcı kullanılarak örülmüştür. Tuğlalar arasında 1 cm derz bırakılmış ve bu derzlerin tüm duvarda aynı şekilde doldurulmasına özen gösterilmiştir. Duvar numunesinin boyutları 19x119x139 cm olarak imal edilmiş ve çift sıra tuğla örülmüştür. Tuğlalar, en alt sıra “x” yönünde, üzerindeki sıra “y” yönünde olacak şekilde ve Şekil 3.13 ile Şekil 3.14’de gösterilen sistemle örülmüştür. İmal edilen tüm duvar numunelerinde birebir aynı harç malzemesi ve birebir aynı örme tekniği kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Tuğla duvar numunesi örme tekniği X-Z düzlem görünüşü



Şekil 3.14. Tuğla duvar numunesi örme tekniği X-Y düzlem görünüşü



Şekil 3.15. Tuğla duvar numunesi

İmalatı yapılan duvarlar mukavemet kazanmaları için 1 ay bekletilmiş ve ilk 1 hafta boyunca telis bezleri ile yüzeylerinin nemli kalması sağlanmıştır (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16).



Şekil 3.16. İmalatı yapılmış 5 adet tuğla duvar numunesi

3.6. Deney Numunelerine Yapılan Güçlendirme İşlemleri

Model yığma duvarlar, imatları tamamlandıktan sonra mukavemet kazanmaları için 28 gün bekletilmiş ardından planlanan güçlendirme işlemine geçilmiştir. Deneye tabi tutulacak toplam 5 adet model duvardan Mas0 – Ref. numunesi referans numune olarak kabul edilmiş ve bu numuneye herhangi bir güçlendirme yapılmamıştır. Geriye kalan 3 numuneye ise; Mas1 – Enj. Numunesine sadece enjeksiyon, Mas1 – 3D Fab. numunesine enjeksiyon & 3D Fabrik ve Mas1 – CFRP numunesine ise enjeksiyon & CFRP plakalar ile güçlendirme yapılmıştır. Özetle:

- Mas0 – Ref. : Referans numune,
- Mas1 – Enj. : Sadece Enjeksiyon ile güçlendirilmiş numune,
- Mas1 – 3D Fab. : Enjeksiyon & 3D Fabrik ile güçlendirilmiş numune,
- Mas1 – CFRP : Enjeksiyon & CFRP Plaka ile güçlendirilmiş numune.

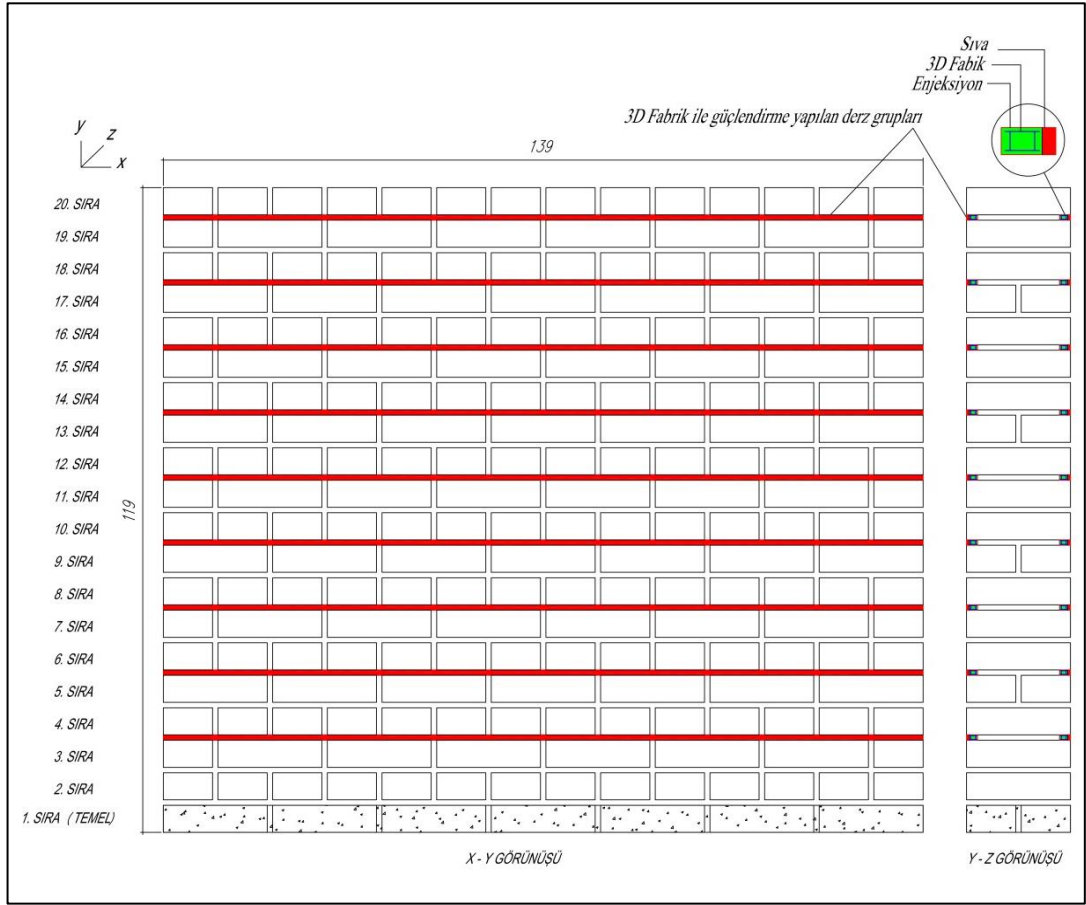
3.6.1. Enjeksiyon ile güçlendirme işlemi

Enjeksiyon ile güçlendirme işlemi referans numunesi hariç diğer tüm numunelere uygulanmıştır. Enjeksiyon işleminin amacı duvar içerisinde bulunan boşlukların doldurularak duvar dayanımının artırılmasıdır. Bu işlem için duvar numunesi 30-40 cm aralıklarla ve derz durumuna bağlı olarak uygun yerlerden 10 cm delinmiş ve bu noktalara enjeksiyon boruları yerleştirilmiştir. Bu işlem duvarın her iki yüzünde de yapılmış ancak, karşılıklı yüzeydeki borular şaşırtmalı yerleştirilmiştir. Enjeksiyon harcı olarak “MasterInjct 222 Tarihi Kargir Yapılar İçin Geliştirilmiş, Puzolanik Kireç Esaslı Enjeksiyon Harcı” kullanılmıştır. 12 kg harç için 3,6 lt su kullanılarak karışım hazırlanmıştır. Enjeksiyon işlemine en alttaki borudan başlanmıştır. Bir boruya yapılan enjeksiyona, bir sonraki borudan enjeksiyon harcı gelene kadar devam edilmiş ve ardından bu boru kapatılarak diğerine geçilmiştir. Bu sistematik çerçevesinde numunede bulunan tüm borulardan enjeksiyon işlemi yapılmış ve ardından mukavemetini kazanması için 28 günlük bekleme bırakılmıştır.

3.6.2. 3D Fabrik ile güçlendirme işlemi

3D Fabrik kullanılarak yapılan güçlendirme yöntemi derz güçlendirme yönteminde literatürde pek rastlanmamış olan 3D Farbik malzemesi kullanılmıştır. Mas1 – 3D Fab. numunesi bu yöntem ile güçlendirilmiştir. Derzler Şekil 3.17’te belirtilen derz

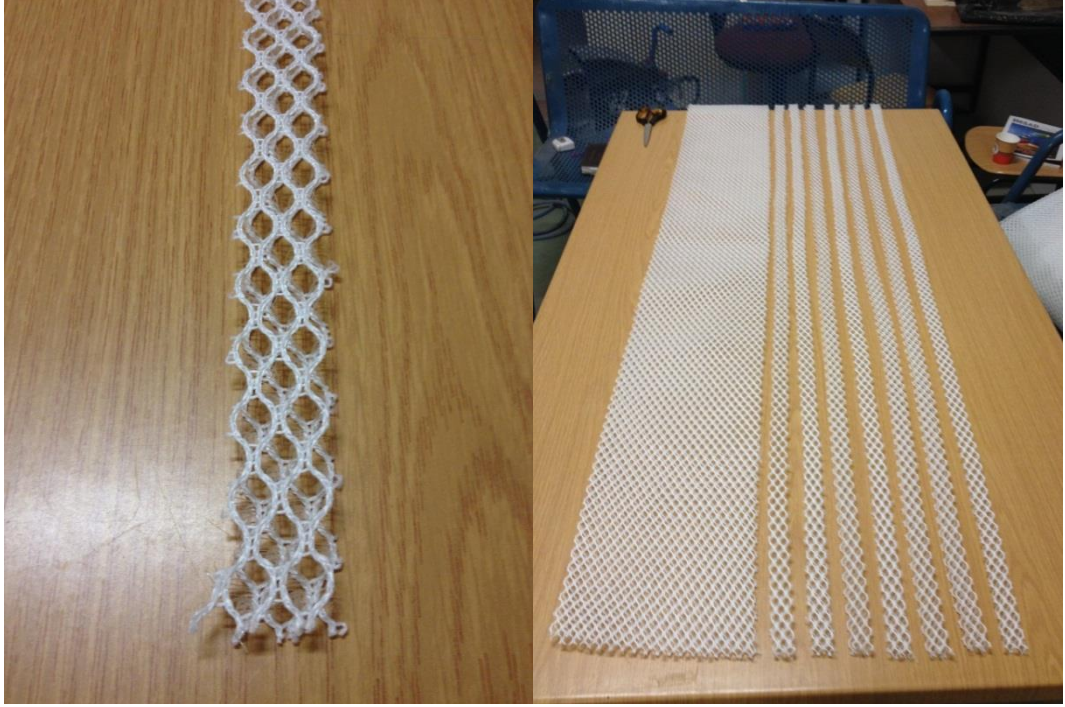
grupları 10 mm genişliğinde ve 20 mm derinliğinde alınarak demir tel fırça ile temizlendikten sonra tazyikli su ile yıkanmıştır.



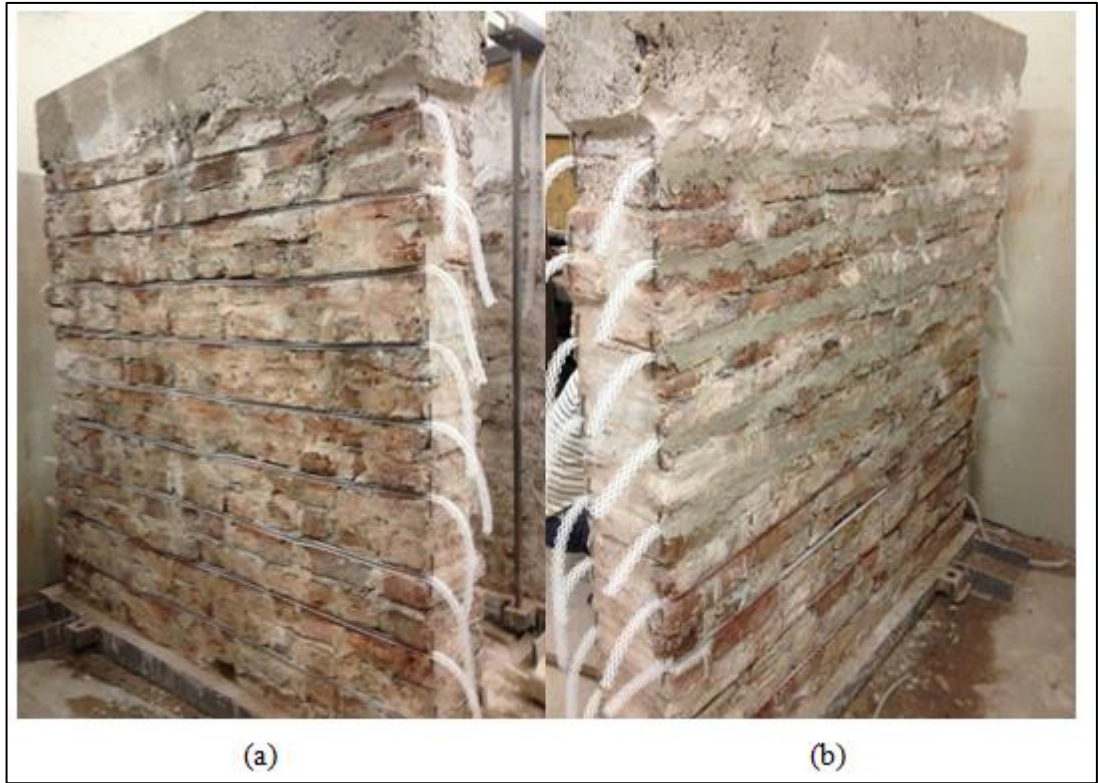
Şekil 3.17. 3D Fabrik ile güçlendirme yapılan derz grupları

Açılmış olan bu derz kanallarına 10 x 20 mm ebatlarındaki şerit 3D Fabrik malzemesi yerleştirilmiştir (Şekil 3.18-a ve Şekil 3.18-b). 3D Fabrik kanala yerleştirildikten sonra boyuna yönde %5 gerilerek uçlarından sabitlenmiştir (Şekil 3.19-a). Germe işlemi sonucunda derz içerisindeki şeritlerin genişliği azalarak 10 x 15 mm olmuştur. Ardından kanalların içerisinde 10 x 15 mm ebatlarında boşluk kalacak şekilde dışardan sıvanmıştır (Şekil 3.19-b). Sıva harcı olarak puzolanik kireç esaslı tarihi yapı onarım harcı kullanılmıştır. Sıva yapılırken her kanalın ortasına 1 adet enjeksiyon borusu bırakılmıştır. Sıva mukavemetini kazandıktan sonra her bir derzde bulunan enjeksiyon borularından, tarihi yapılar için geliştirilmiş, puzolanik kireç esaslı enjeksiyon harcı (MasterInject 222) ile enjeksiyon yapılmıştır. Enjeksiyon işlemine; kanalın her iki ucundan da enjeksiyon şerbeti çıkana kadar devam edilmiştir. Bu işlemler sonucunda açılmış olan kanalların dış yüzeyinde 5 mm

kalınlığında sıva tabakası ve içerisinde 15 mm kalınlığında 3D Fabrik & enjeksiyon tabakası ile güçlendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.18. a) 3D Fabrik malzemesi, b) 3D Fabrik şeritler



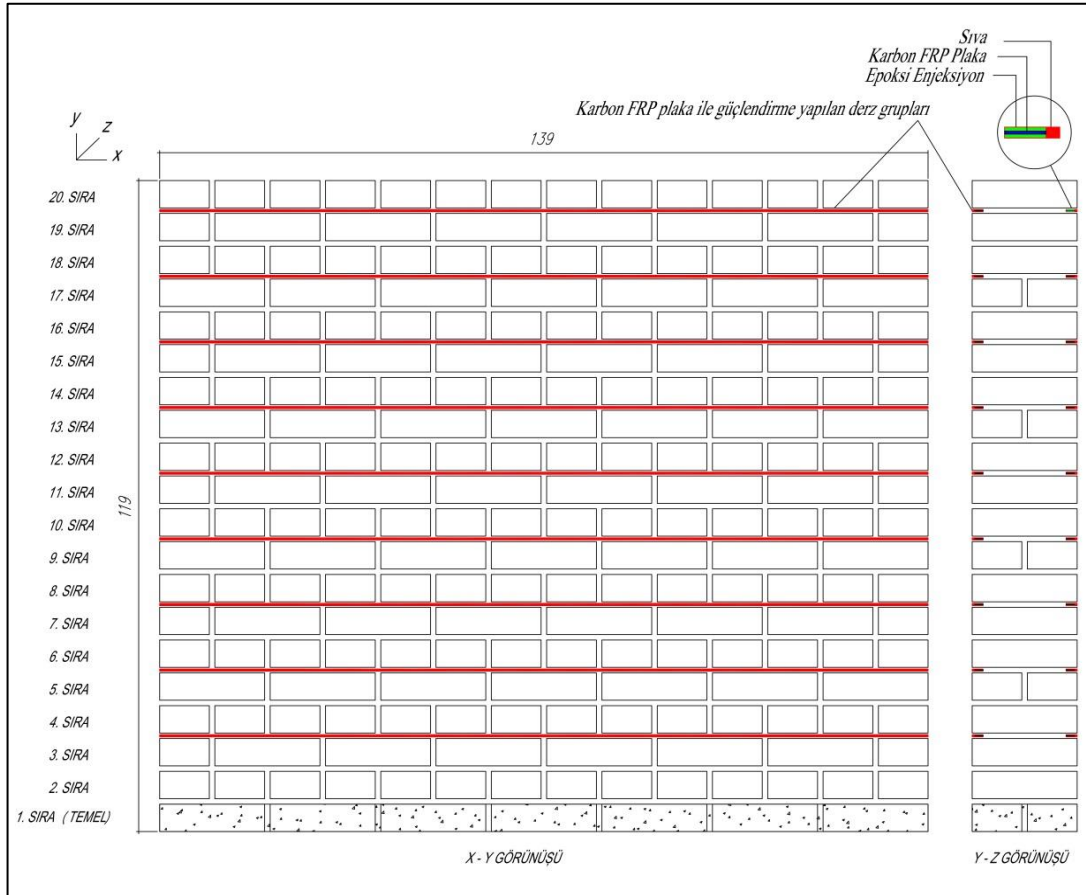
Şekil 3.19. a) 3D Fabrik yerleştirme işlemi, b) 3D Fabrik sıva işlemi

3.6.3. CFRP Plaka ile güçlendirme işlemi

CFRP plakalar ile yapılan güçlendirme yöntemi 3D Fabrik ile yapılan güçlendirme yöntemine benzemektedir. Mas1 – CFRP numunesi bu metot ile güçlendirilmiştir. Bu metotta 3D Fabrik malzemesi yerine CFRP plakalar kullanılmıştır. Bu plakalar 1,2 mm kalınlığında ve 10 mm genişliğindeki şeritler halinde kesilerek hazırlanmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. CFRP plakalar



Şekil 3.21. CFRP plaka ile güçlendirme yapılan derz grupları

Şekil 3.21’de belirtilen derz grupları 4 mm kalınlığında ve 20 mm derinliğinde alındıktan sonra kanal içleri fırçalanarak ve tazyikli suyla yıkanarak temizlenmiştir. CFRP plakaların aderansını artırmak için plaka yüzeyine epoksi yapıştırıcı sürülerek üzerine kum serilmiştir. Epoksi yapıştırıcı 2 gün kurutulduktan sonra plakalar derzlerde açılan kanallar yerleştirilmiştir (Şekil 3.22). Kanalların dış yüzeyine 5 mm kalınlığında puzolanik kireç esaslı tarihi yapı onarım harcı ile sıva yapılmıştır(Şekil 3.18b.). Böylece kanal içerisinde 4 x 15 mm ebatlarında boş bir hacim oluşturulmuştur. Sıvanın mukavemet kazanmasının ardından, sıva esnasında her kanalın orta noktasına bırakılan enjeksiyon boruları kullanılarak epoksi enjeksiyonu yapılmıştır. Her bir enjeksiyon işlemine, yanındaki enjeksiyon borusundan enjeksiyon karışımı gelene dek devam edilmiştir. Bu işlemler sonucunda açılan kanalların dış yüzeyinde 5 mm sıva tabakası ve iç kısmında CFRP plaka gömülü epoksi enjeksiyonu ile güçlendirme yapılmıştır.

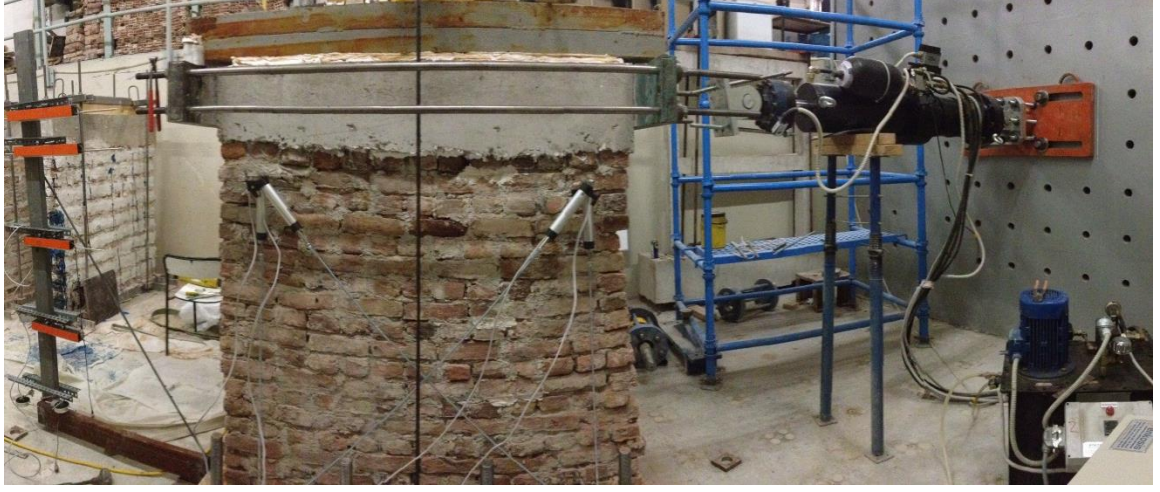


Şekil 3.22. CFRP plaka ve epoksi ile güçlendirme işlemi

3.7. Model Tuğla Duvar Deneyleri ve Deney Sonuçları

Bu çalışma kapsamında dört adet tuğla duvar numunesi düzlem içi düşey ve yatay yükler altında teste tabi tutulmuştur. Deney düzeneği ve ölçüm için kullanılan

cihazların yerleşimi Şekil 3.23'deki gibidir. Düzlem dışı hareket Şekil 3.24'deki düzenek ile engellenmiştir.



Şekil 3.23. Deney düzeneği



Şekil 3.24. Düzlem dışı hareketi önleme düzeneği

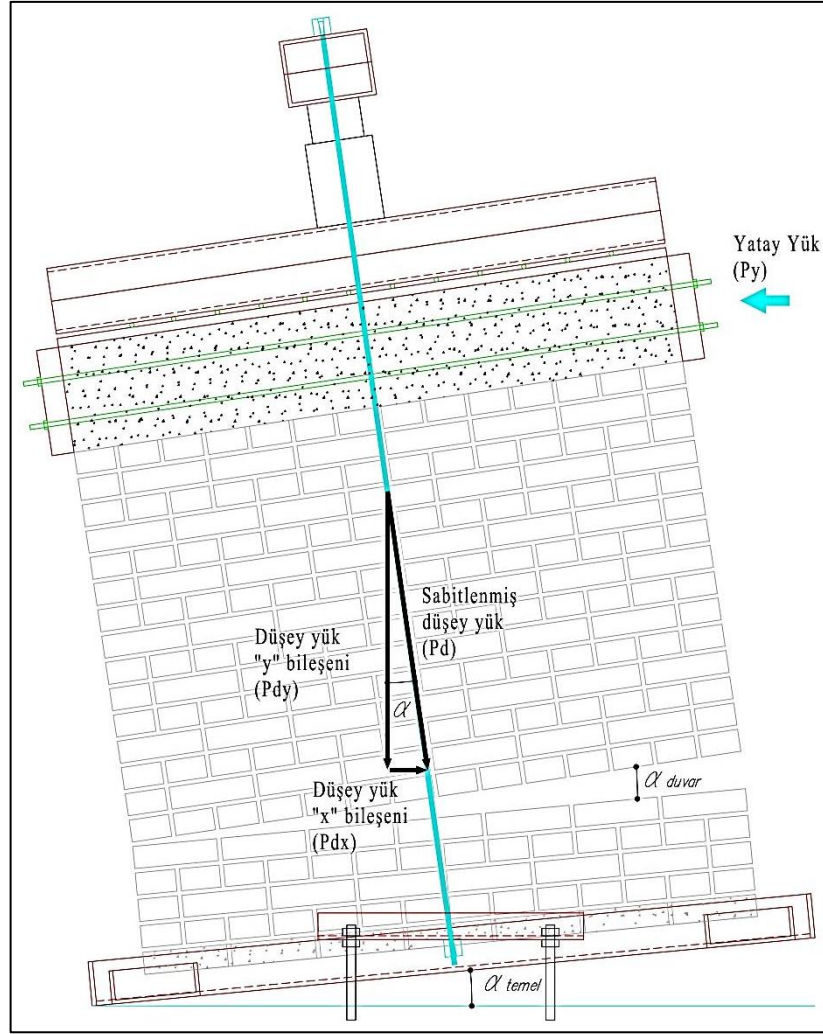
3.7.1. Düzeltilmiş yatay yük hesabı

Deney numunelerinin tamamı düzlem içi düşey ve yatay yükler altında teste tabi tutulmuştur. Duvarlara düşey yönde etkiyen yükler (P_d) 140 kN olarak hesaplanmıştır. Test esnasında sisteme önce düşey yükler etki ettirilmiş ve deney süresince sabit tutulmuştur. Ardından deplasman kontrollü yatay yükleme (P_y) yapılmıştır. Ancak yatay yükleme arttıkça duvar numunesinin temelindeki dönme

hareketinden dolayı yatay ile α_{temel} açısı oluşmaktadır. Benzer şekilde duvar derzlerindeki açılmalardan ve ezilmelerden dolayı da yatayla α_{duvar} açısı oluşmaktadır (Şekil 3.25). Deney düzeneğinde bulunan öcüm cihazları verileri kullanılarak bu açılar hesaplanmıştır. Oluşan bu α_{temel} ve α_{duvar} açıları, çelik halat ile düşey eksen arasında α açısı oluşturmaktadır. Bunun sonucunda da sisteme etki ettirilen P_d düşey yükü, düşey (P_{dy}) ve yatay (P_{dx}) bileşenlere ayrılmaktadır. Buradaki yatay bileşen, düzlem içi yatay yük pistonu ile duvara etki ettirilen test yüküne karşı bir etki yaratmaktadır. Bu nedenle gerçek test yükünü bulmak için, düzlem içi yatay yük pistonu ile etki ettirilen yükten P_{dx} çıkarılarak düzeltilmiş yatay yük bulunmuştur. Deney ile ilgili verilen tüm yatay yük değerlerinde düzeltilmiş yatay yük değerleri dikkate alınmıştır.

Deney esnasında, tuğla duvar numunesinin üzerine yerleştirilen ölçüm cihazlarının en üst seviyesinden yukarıda kalan bölgede (20. sıra tuğla, hatıl, çelik profil ve plaka) herhangi bir deformasyon gözlenmemiş ve hesaplamalarda, bu bölgede herhangi bir deformasyon olmadığı varsayılmıştır.

Düzeltilmiş Yatay Yük (P_y) = Piston ile uygulanan yatay yük (P_{orijinal}) - P_{dx}



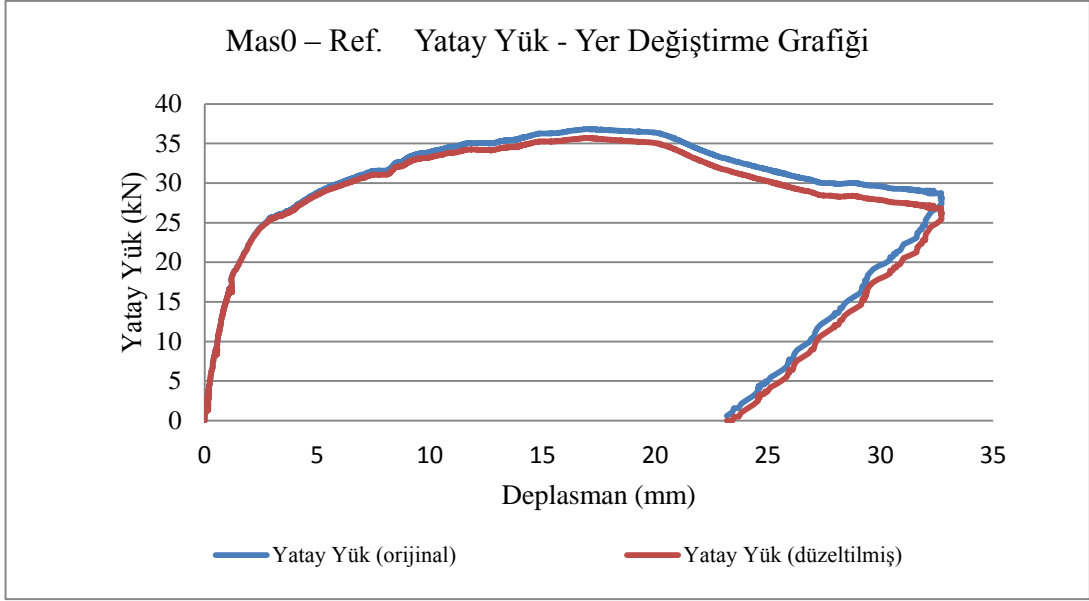
Şekil 3.25. Çelik halat dönme açısı

Her bir deney numunesi için hesaplanmış orijinal ve düzeltilmiş yatay yük değerleri ve α açıları Tablo 3.9'de verilmiştir.

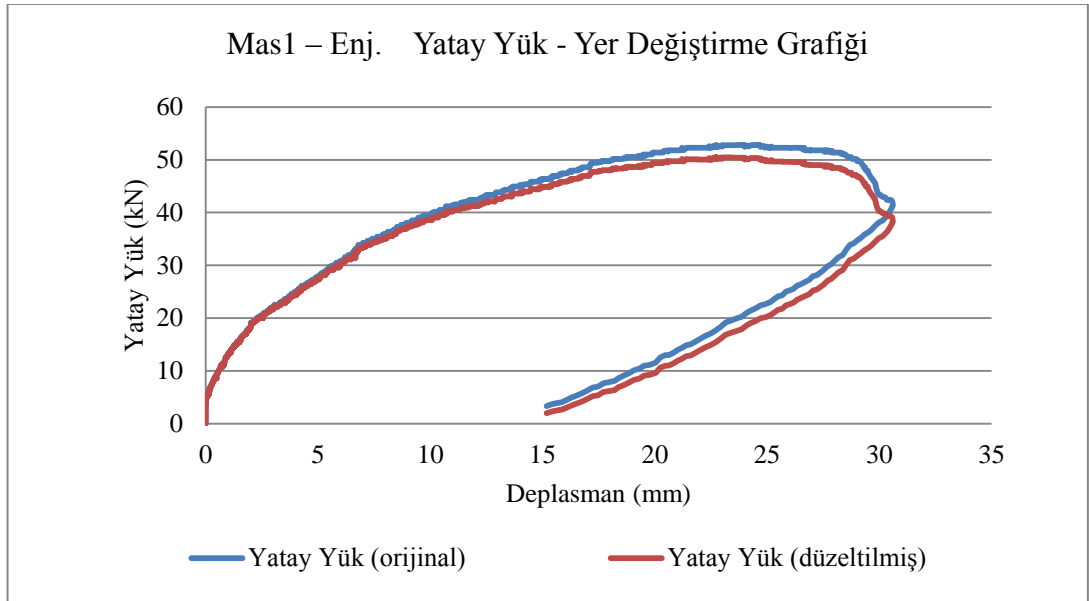
Tablo 3.9. Düzeltilmiş yatay yükleri ve maksimum α açıları

Deneyler	Mak. Yatay Yük (orijinal) (kN)	Mak. Yatay Yük (düzeltilmiş) (kN)	Mak. Yatay Yük (fark) (kN)	Mak. Halat Açısı (α) (derece)
Mas0 – Ref.	36,83	35,71	1,12	0,78
Mas1 – Enj.	52,80	50,51	2,29	1,26
Mas1 – 3D Fab.	72,65	67,99	4,66	2,44
Mas1 – CFRP	88,02	83,21	4,81	2,82

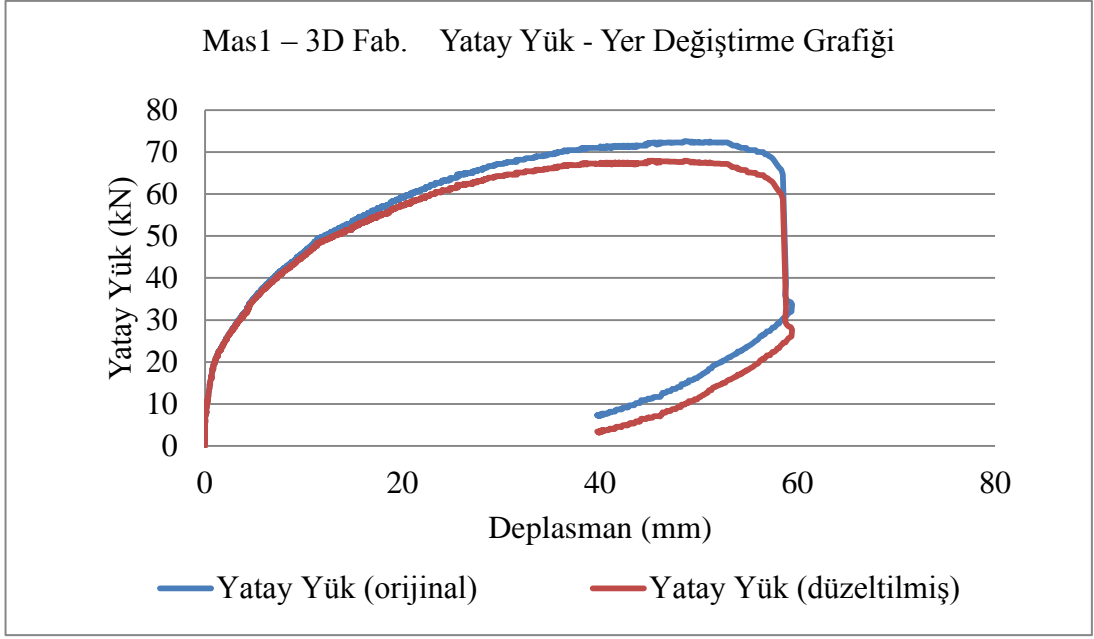
Her bir deney numunesine ait orijinal ve düzeltilmiş yatay yük – yer değiştirme grafikleri aşağıda verilmiştir.



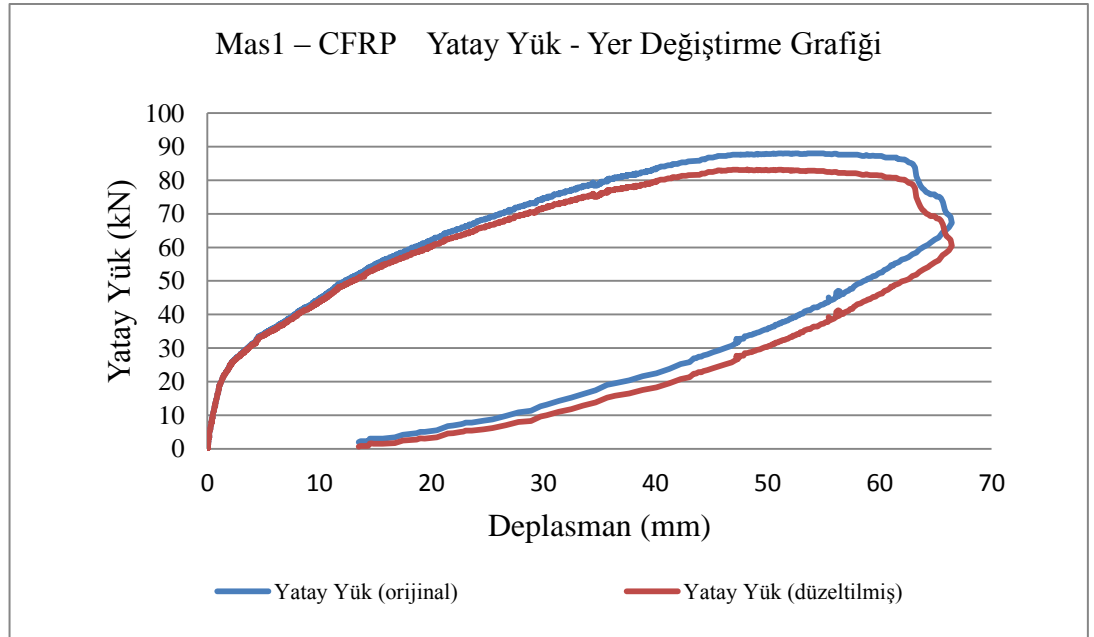
Şekil 3.26. Mas0 – Ref., orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği



Şekil 3.27. Mas1 – Enj., orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği



Şekil 3.28. Mas1 – 3D Fab., orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği



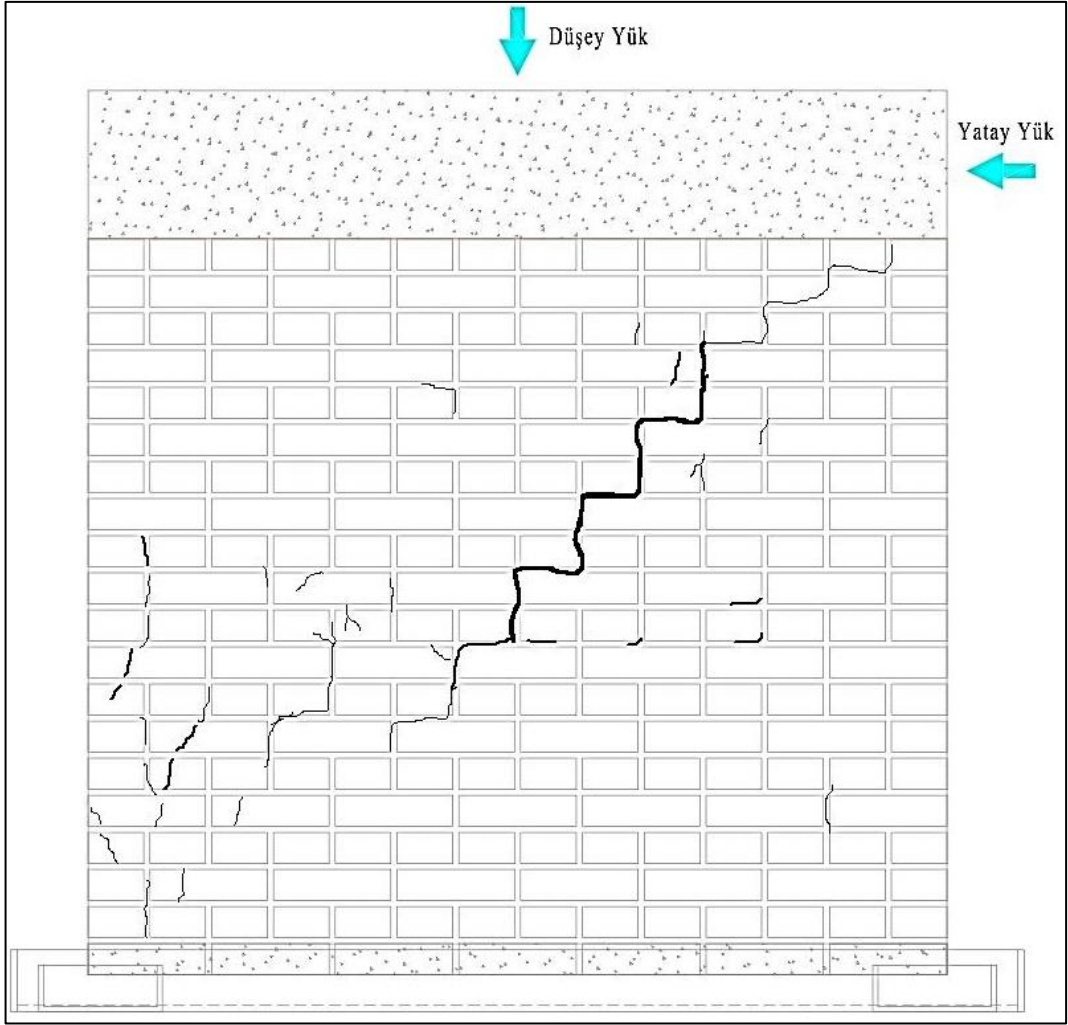
Şekil 3.29. Mas1 – CFRP, orijinal ve düzeltilmiş yatay yük - yer değiştirme grafiği

3.7.2. Mas0 – Ref. numunesi deneyi

Referans numunesi deneyinde, monoton artan düşey yükleme sonucunda numuneye toplam 140 kN yük uygulanmış, CH-01 ölçüm cihazında maksimum 0,08 mm yatay yer değiştirme, CH-20 ölçüm cihazında 0,30 mm ve CH-21 ölçüm cihazında 0,27

mm düşey yer değiştirme ölçülmüştür. Düşey yükleme esnasında herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.

Düşey yüklemenin ardından duvara uygulanan monoton artan yatay yükleme sonucunda kaydedilen maksimum yük 35,71 kN olarak ölçülmüştür. Maksimum yük anında CH-01 ölçüm cihazında ölçülen yatay yer değiştirme ise 16,94 mm'dir. Yatay yükleme yapıldıktan sonra duvar numunesinin basınç bölgesinde hem tuğla hem de derzlerde küçük çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Yükün artması ile bu bölgede çatlaklar çoğalmış ve çatlak genişliği artmıştır (Şekil 3.32). Basınç bölgesinden, yatay yük pistonuna doğru diyagonal olarak çatlak oluşmaya başlamış, ilerleyen çatlama hareketleri derzlerin 10,51 mm açılması ile maksimum yüke ulaşmış ve göçme gerçekleşmiştir. Göçme noktasında duvar numunesi yatayda 22,65 mm yer değiştirme yapmış ve bu esnada 32,14 kN yatay yük ölçülmüştür. Duvar numunesi üzerinde meydana gelen hasar durumları Şekil 3.30 Şekil 3.31'deki gibidir.



Şekil 3.30. Mas0 - Ref. numunesi hasar durumu

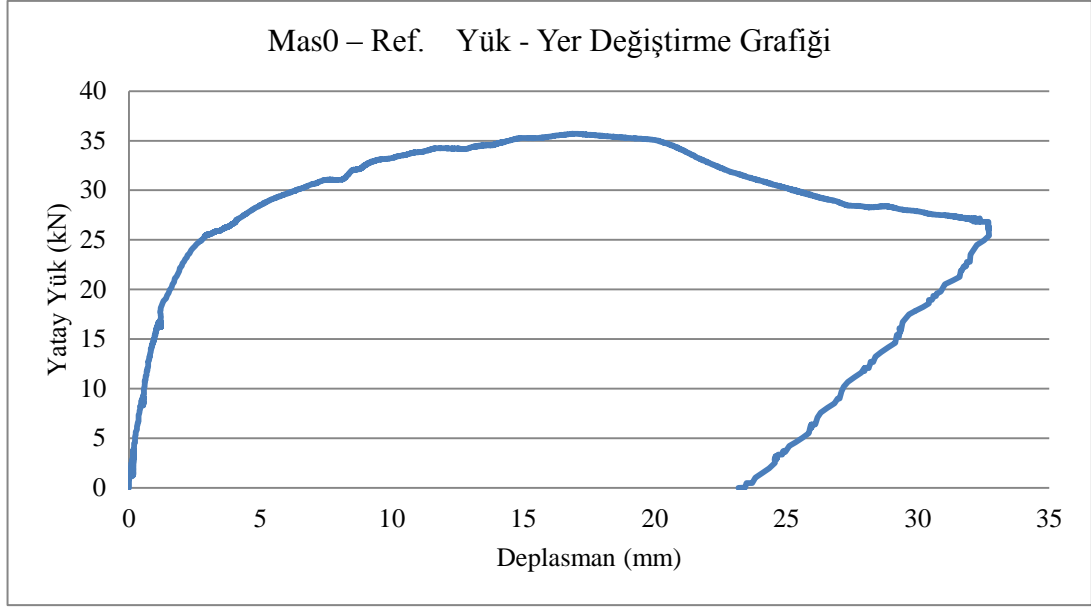


Şekil 3.31. Mas0 - Ref. numunesi çatlama şekilleri



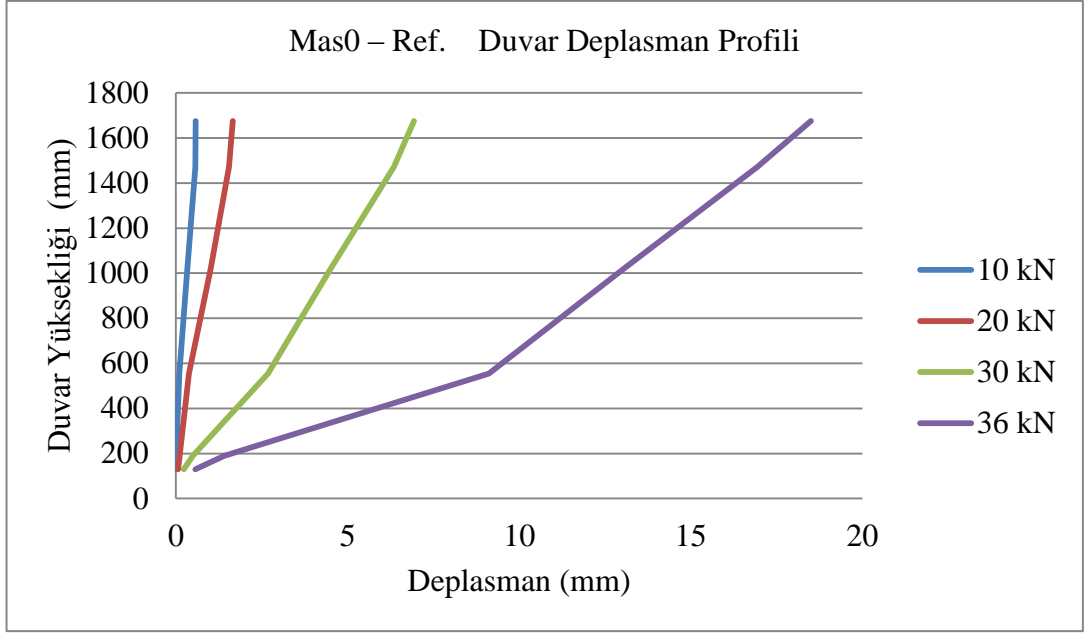
Şekil 3.32. Mas0 - Ref. numunesi basınç bölgesi (a) ve diyagonal bölgede (b) oluşan çatlaklar

CH-01 numaralı ölçüm cihazı verilerine göre yük – yer değiştirme grafiği Şekil 3.33'de verilmiştir.



Şekil 3.33. Mas0 - Ref. numunesi yük – yer değiştirme grafiği

Referans numunesi duvar yer değiştirme profili Şekil 3.34'de verilmiştir. 10 ve 20 kN yük seviyelerinde duvar yüksekliği boyunca yanal deplasmanın yaklaşık lineer ve düşük seviyelerde olduğu, 30 kN yük seviyesinde duvar yatay profilinin 550 mm yükseklikte ve 4 mm seviyelerinde ani değişim gösterdiği, oluşan diyagonal çatlağın basınç bölgesi etrafında dönme eğilimi gösterdiği görülmektedir. Yatay yük kapasitesi 36 kN seviyelerine ulaştığında, önceki adımda meydana gelen diyagonal çatlağın arttığı ve 550 mm yükseklik ile 10 mm deplasman seviyelerinde ani kırılma gösterdikten sonra lineer davranış ile devam ettiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.34. Mas0 - Ref. numunesi duvar yer değiştirme profili

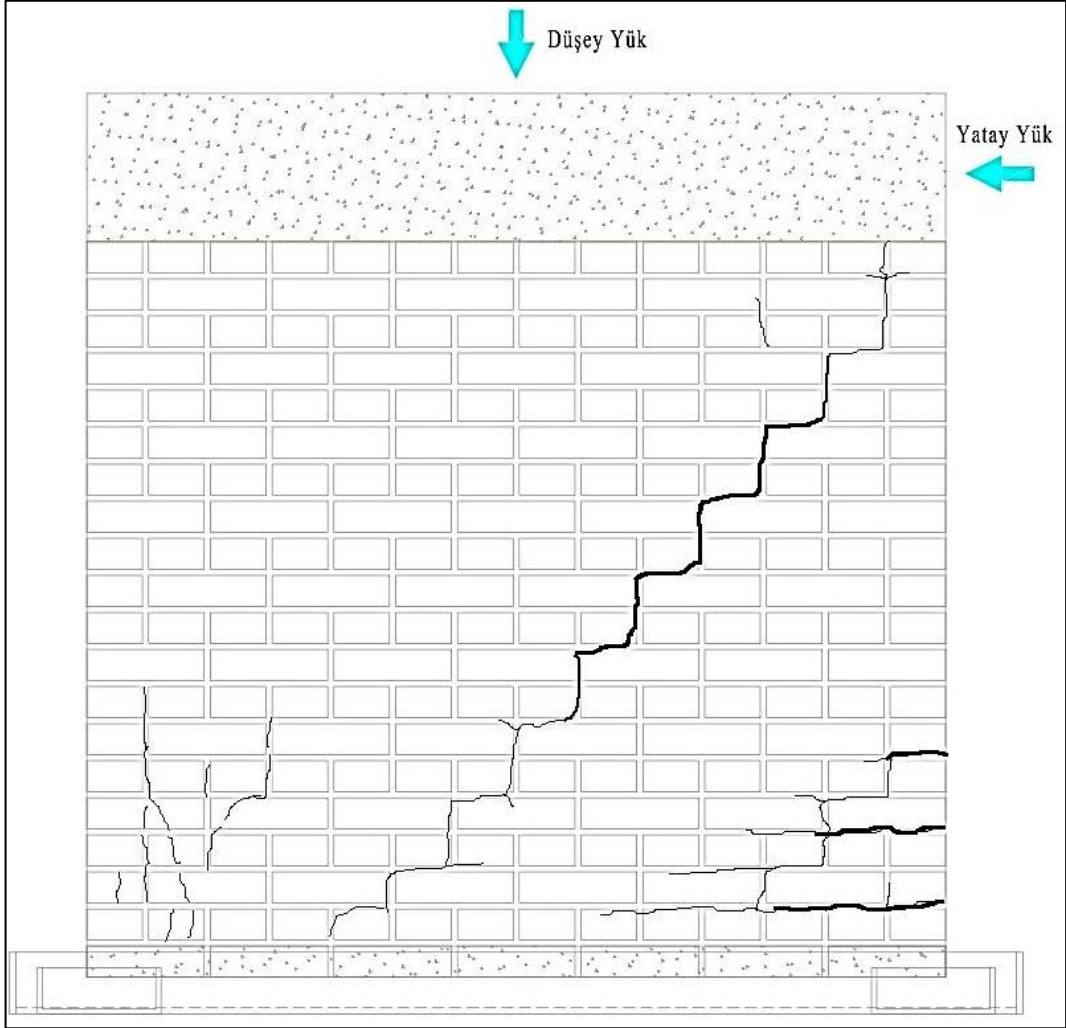
3.7.3. Mas1 – Enj. numunesi deneyi

Sadece enjeksiyon ile güçlendirilmiş numune deneyinde, monoton artan düşey yükleme sonucunda numuneye toplam 140 kN yük uygulanmış, CH-01 ölçüm cihazında maksimum 0,18 mm yatay yer değiştirme, CH-20 ölçüm cihazında 0,57 mm ve CH-21 ölçüm cihazında 0,62 mm düşey yer değiştirme ölçülmüştür. Düşey yükleme esnasında herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.

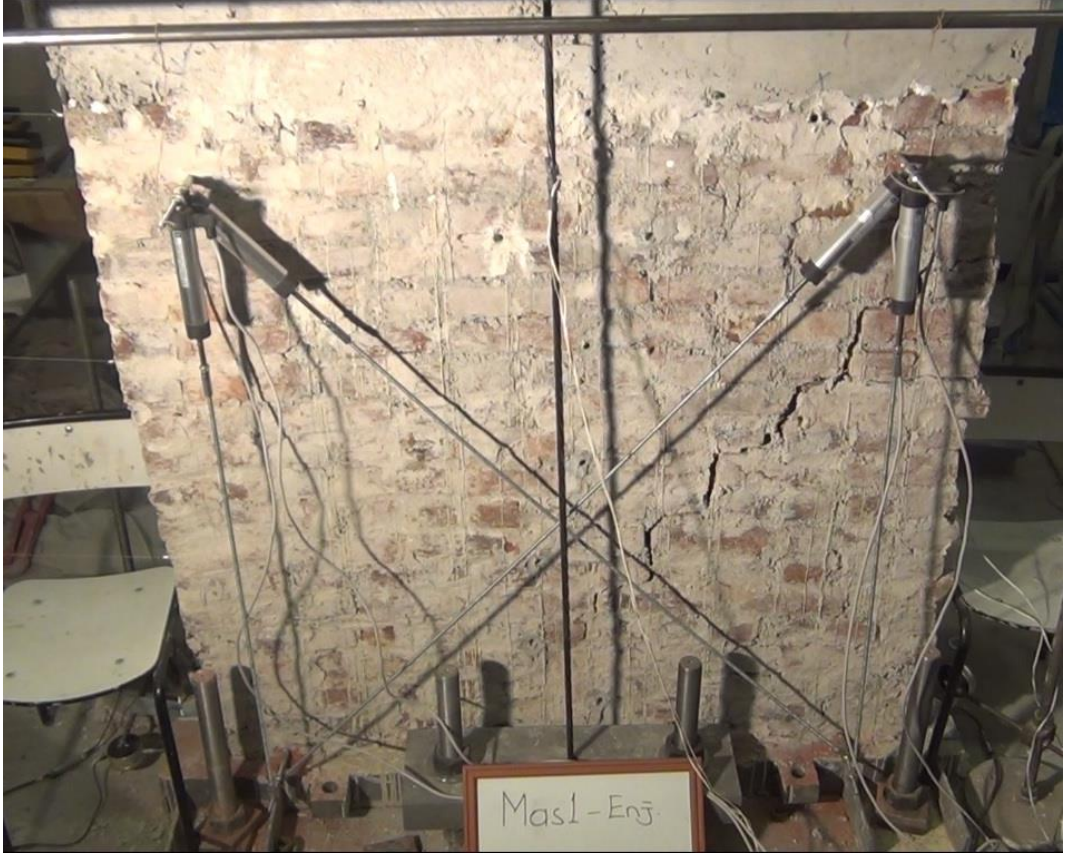
Düşey yüklemenin ardından duvara uygulanan monoton artan yatay yükleme sonucunda kaydedilen maksimum yük 50,51 kN olarak ölçülmüştür. Maksimum yük anında CH-01 ölçüm cihazında ölçülen yatay yer değiştirme ise 22,70 mm'dir.

Yatay yükleme ile duvar numunesinde moment etkisi oluşmuş ve topuk etrafında saatin tersi yönünde dönme hareketi gözlenmiştir. Dönme hareketinin etkisiyle duvar çekme bölgesinde alttan ikinci sırada derzde ayrılma başlamış ve yük arttıkça ayrılma da artmıştır. CH-21 ölçüm cihazı bu bölgedeki maksimum açılma miktarını 16,07 mm olarak kaydetmiştir. Moment etkisi sonucunda duvar basınç bölgesinde de ezilmeler meydana gelmiştir. Basınç bölgesinde ezilmelere bağlı olarak çatlamlar devam ederken moment etkisinden dolayı dönme hareketi de devam etmiş, çekme bölgesi alttan dördüncü derzde de açılma meydana gelmiştir. Ardından topuk bölgesinden başlayarak diyagonal ilerleyen bir çatlama oluşmuştur (Şekil 3.37).

Diyagonal çatlağın tamamen açılması sonucunda ise göçme oluşmuştur. Göçme noktasında duvar numunesi yatayda 29,38 mm yer değiştirme yapmış ve bu esnada 45,56 kN yatay yük ölçülmüştür. Duvar numunesi üzerinde meydana gelen hasar durumları Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'deki gibidir.



Şekil 3.35. Mas1 - Enj. numunesi hasar durumu

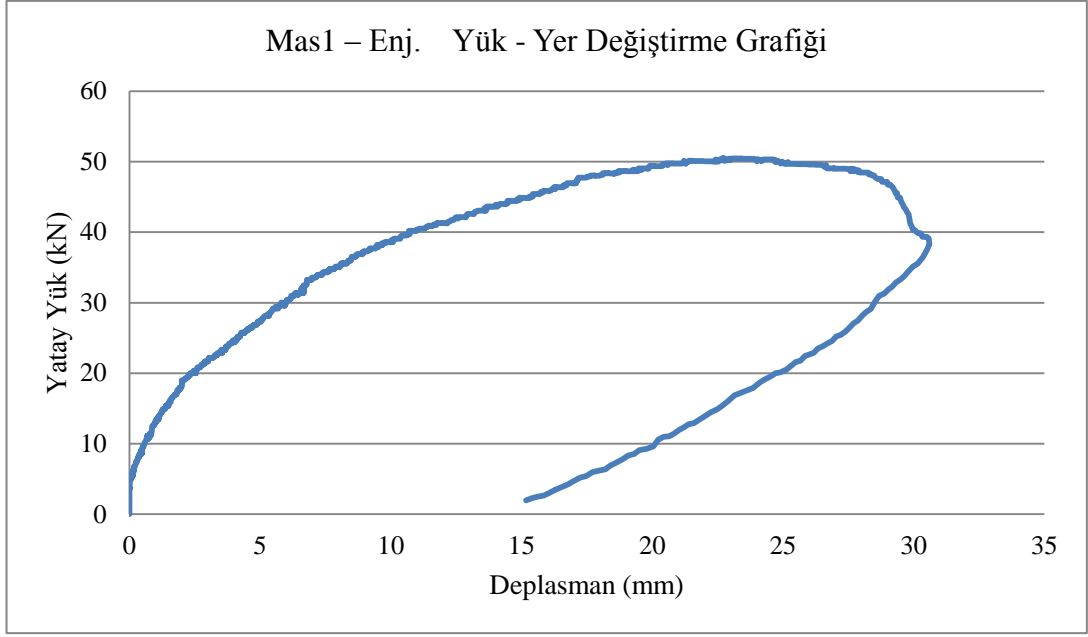


Şekil 3.36. Mas1 - Enj. numunesi çatlama şekilleri



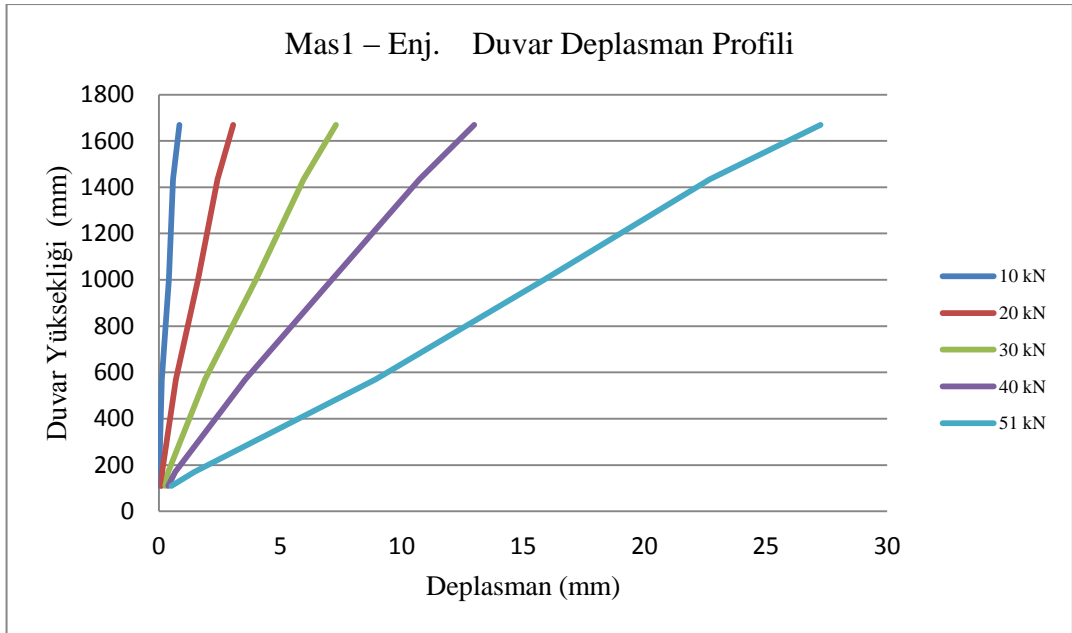
Şekil 3.37. Mas1 - Enj. numunesi basınç (a) ve çekme bölgesinde (b) oluşan çatlaklar

CH-01 numaralı ölçüm cihazı verilerine göre yük – yer değiştirme grafiği Şekil 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.38. Mas1 – Enj. numunesi yük - yer değiştirme grafiği

Mas1 - Enj. numunesi duvar yer değiştirme profili Şekil 3.39'de verilmiştir. Grafikteki veriler duvar yatay hareketinin tüm yük seviyelerinde orantılı lineer davranışa yakın bir eğilim ile arttığını göstermektedir. 40 kN yatay yük seviyesinden itibaren oluşan diyagonal çatlamanın artması ve çekme bölgesinde meydana gelen açılmaların etkisi ile yanal hareketin hızlandığı anlaşılmaktadır.

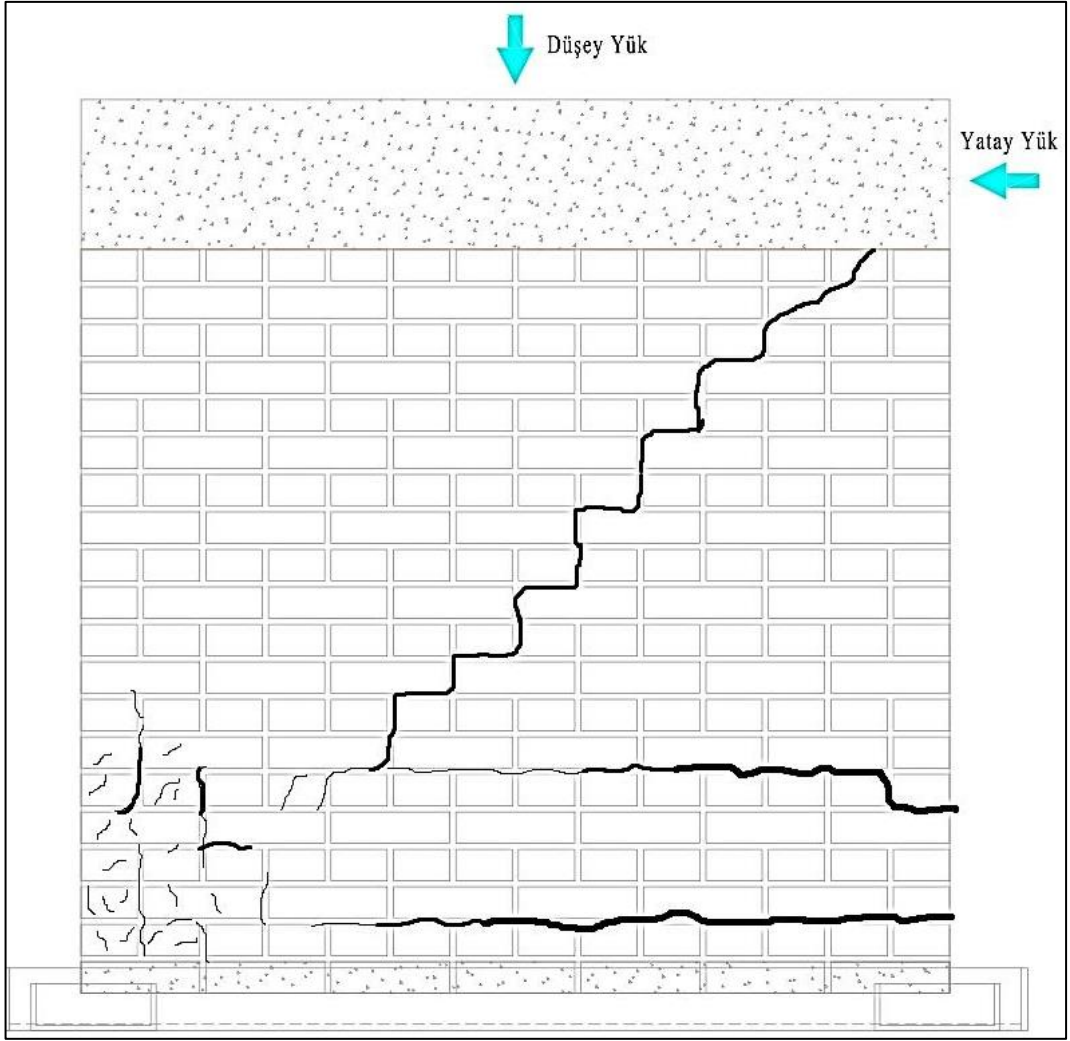


Şekil 3.39. Mas1 – Enj. numunesi duvar deplasman profili

3.7.4. Mas1 – 3D Fab. numunesi deneyi

Enjeksiyon & 3D Fabrik numunesi deneyinde, monoton artan düşey yükleme sonucunda numuneye toplam 140 kN yük uygulanmış, CH-01 ölçüm cihazında maksimum 0,10 mm yatay yer değiştirme, CH-20 ölçüm cihazında 0,76 mm ve CH-21 ölçüm cihazında 0,01 mm düşey yer değiştirme ölçülmüştür. Düşey yükleme esnasında herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.

Düşey yüklemenin ardından duvara uygulanan monoton artan yatay yükleme sonucunda kaydedilen maksimum yük 67,99 kN olarak ölçülmüştür. Maksimum yük anında CH-01 ölçüm cihazında ölçülen yatay yer değiştirme ise 48,52 mm'dir. Yatay yükleme ile duvar numunesinde moment etkisi oluşmuş ve topuk etrafında saatin tersi yönünde dönme hareketi gözlenmiştir. Dönme hareketinin etkisiyle duvar çekme bölgesinde alttan ikinci sıradaki derzde ayrılma başlamış ve yük arttıkça ayrılma da artmıştır. İkinci sıra derzinde ayrılma devam ederken duvar basınç bölgesinde ezilmeler gözlendi (Şekil 3.42). Yükün artmasıyla duvar basınç bölgesinde alttan altıncı derzde de ayrılma meydana geldi ve bu eylemin hemen ardından duvar numunesi diyagonal olarak çatlayarak göçme gerçekleşti. Çekme bölgelerinde oluşan derz çatlakları, birer atlamalı olarak güçlendirilen derz gruplarından, güçlendirilmemiş olan derzlerde meydana gelmiştir. CH-21 ölçüm cihazı bu bölgedeki maksimum açılma miktarını 39,78 mm olarak kaydetmiştir. Göçme noktasında duvar numunesi yatayda 57,87 mm yer değiştirme yapmış ve bu esnada 61,19 kN yatay yük ölçülmüştür. Duvar numunesi üzerinde meydana gelen hasar durumları Şekil 3.40 ve Şekil 3.41'deki gibidir.



Şekil 3.40. Mas1 - 3D Fab. numunesi hasar durumu

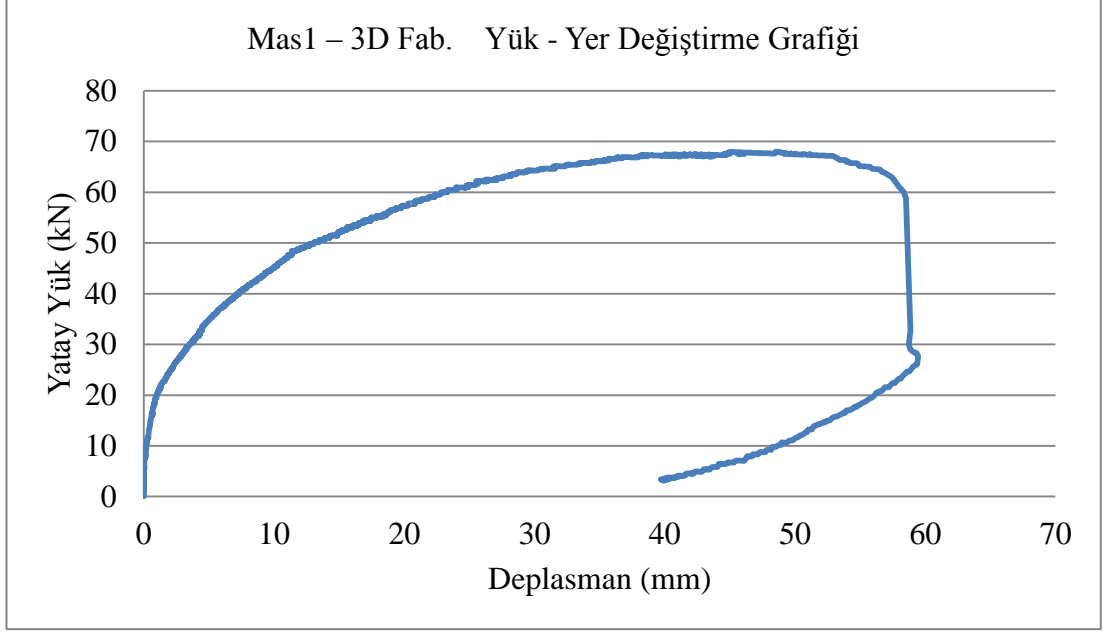


Şekil 3.41. Mas1 - 3D Fab. numunesi çatlama şekilleri



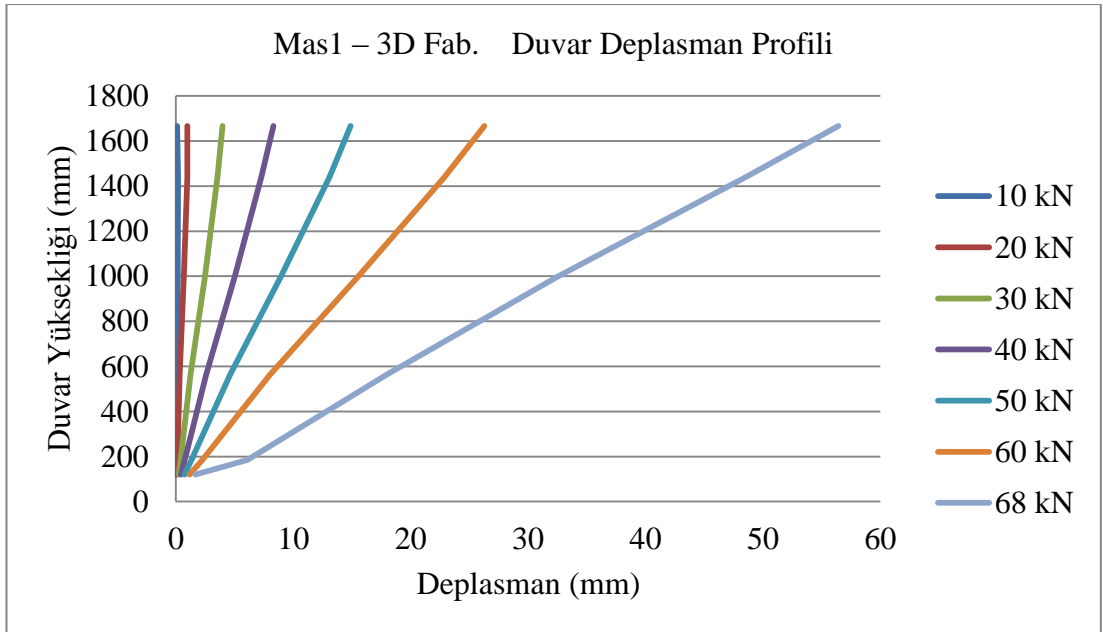
Şekil 3.42. Mas1 - 3D Fab. numunesi basınç (a) ve çekme bölgesinde (b) oluşan çatlaklar

CH-01 numaralı ölçüm cihazı verilerine göre yük – yer değiştirme grafiği Şekil 3.43’de verilmiştir.



Şekil 3.43. Mas1 - 3D Fab. numunesi yük – yer değiştirme grafiği

Enjeksiyon & 3D Fabrik numunesi duvar yer değiştirme profili Şekil 3.44'de verilmiştir. Grafikteki veriler 60 kN yük seviyesine kadar duvar yatay hareketinin orantılı ve lineere yakın bir davranış ile arttığını ancak 60 kN yük seviyesinden sonra oluşan diyagonal çatlamanın artması ve çekme bölgesinde oluşan açılmalarından dolayı duvarda yatay hareketin aniden hızlandığını göstermektedir.

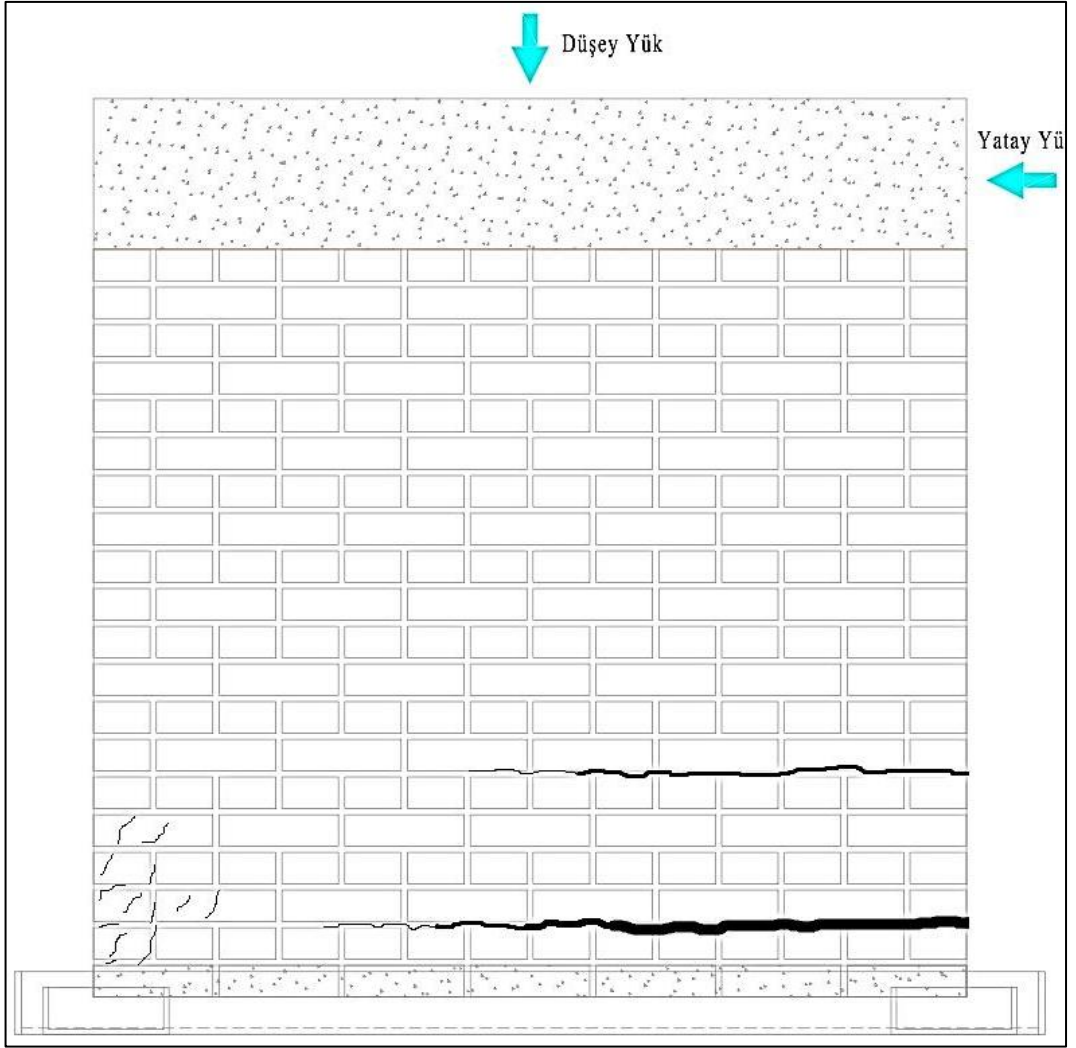


Şekil 3.44. Mas1 - 3D Fab. numunesi duvar yer değiştirme profili

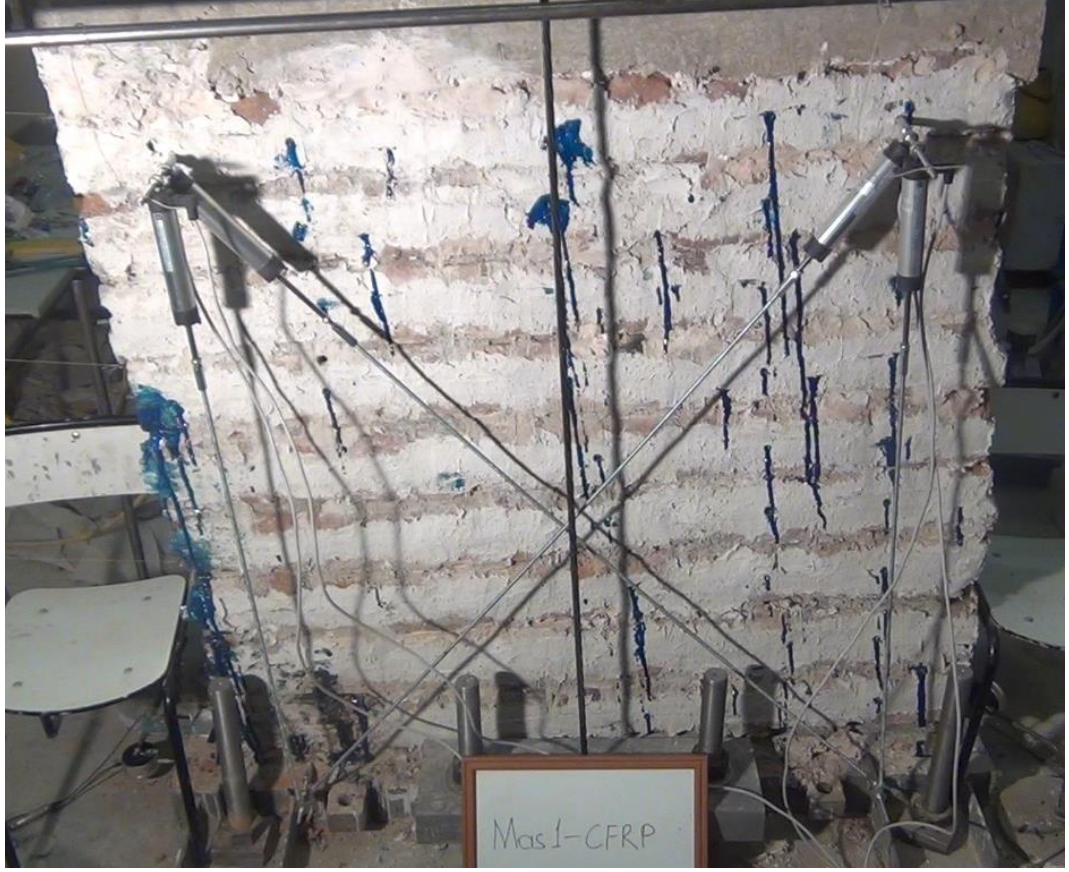
3.7.5. Mas1 – CFRP numunesi deneyi

Enjeksiyon & CFRP numunesi deneyinde, monoton artan düşey yükleme sonucunda numuneye toplam 140 kN yük uygulanmış, CH-01 ölçüm cihazında maksimum 0,23 mm yatay yer değiştirme, CH-20 ölçüm cihazında 0,01 mm ve CH-21 ölçüm cihazında 0,23 mm düşey yer değiştirme ölçülmüştür. Düşey yükleme esnasında herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.

Düşey yüklemenin ardından duvara uygulanan monoton artan yatay yükleme sonucunda kaydedilen maksimum yük 83,21 kN olarak ölçülmüştür. Maksimum yük anında CH-01 ölçüm cihazında ölçülen yatay yer değiştirme ise 48,81 mm'dir. Yatay yükleme ile duvar numunesinde moment etkisi oluşmuş ve topuk etrafında saatin tersi yönünde dönme hareketi gözlenmiştir. Dönme hareketinin etkisiyle duvar çekme bölgesinde alttan ikinci sıradaki derzde ayrılma başlamış ve yük arttıkça ayrılma da artmıştır. Çekme bölgelerinde oluşan derz çatlakları, birer atlamalı olarak güçlendirilen derz gruplarından, güçlendirilmemiş olan derzlerde meydana gelmiştir. İkinci sıra derzinde ayrılma devam ederken duvar basınç bölgesinde ezilmeler gözlemlendi (Şekil 3.47). Yükün artmasıyla duvar basınç bölgesinde alttan altıncı derzde de ayrılma meydana geldi ve ardından duvar numunesi göçme noktasına ulaştı. CH-21 ölçüm cihazı bu bölgedeki maksimum açılma miktarını 50,15 mm olarak kaydetmiştir. Göçme noktasında duvar numunesi yatayda 63,29 mm yer değiştirme yapmış ve bu esnada 74,89 kN yatay yük ölçülmüştür. Duvar numunesi üzerinde meydana gelen hasar durumları Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'deki gibidir.



Şekil 3.45. Mas1 - CFRP. numunesi hasar durumu

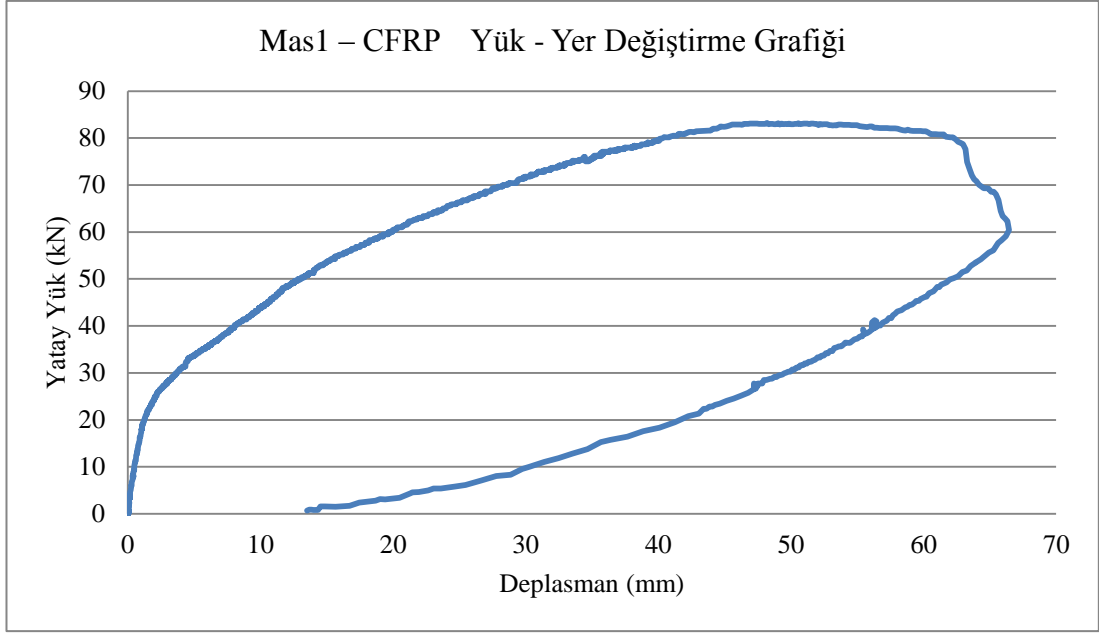


Şekil 3.46. Mas1 - CFRP. numunesi çatlama şekilleri



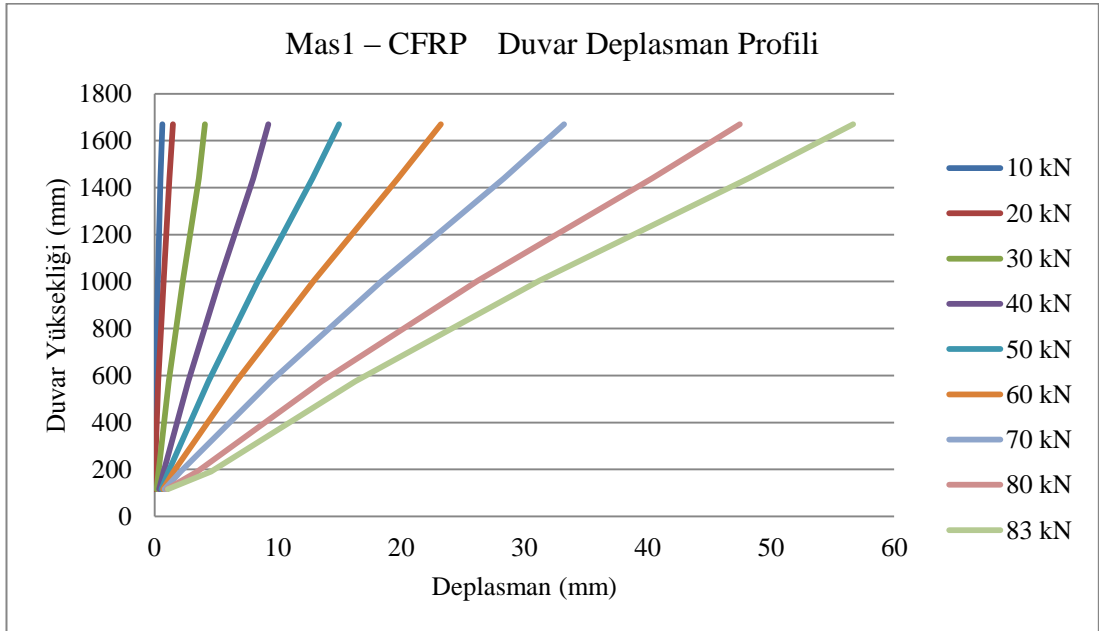
Şekil 3.47. Mas1 - CFRP. numunesi basınç (a) ve çekme bölgesinde (b) oluşan çatlaklar

CH-01 numaralı ölçüm cihazı verilerine göre yük – yer değiştirme grafiği Şekil 3.48’te verilmiştir.



Şekil 3.48. Mas1 - CFRP. numunesi yük – yer değıştirme grafiği

Enjeksiyon & CFRP numunesi duvar yer değıştirme profili Şekil 3.49'de verilmiştir. Grafikteki veriler tüm yük seviyelerinde duvardaki yatay hareketin orantılı bir şekilde arttığını göstermektedir.



Şekil 3.49. Mas1 - CFRP. numunesi duvar yer değıştirme profili

4. ANALİTİK YÖNTEM

Deprem yönetmeliğine göre yük taşıma kapasitesi hesabı:

Referans numunesi teorik yük taşıma kapasitesi DBYYHY 2007 baz alınarak hesaplanmıştır.

τ_{em} : Duvar kayma emniyet gerilmesi

τ_o : Duvar çatlama emniyet gerilmesi

μ : Sürtünme katsayısı

σ : Duvar düşey gerilmesi

V: Duvar yük taşıma kapasitesi

P_d : Duvar numunesine gelen toplam düşey yük

A: Duvar kesit alanı

Deprem yönetmeliği 5. bölümde (5.3.3.4) duvar kayma emniyet gerilmesi;

$$\tau_{em} = \tau_o + \mu\sigma \quad (4.1)$$

$$\tau_o = 0,15 \text{ MPa (TDY 2007-Tablo 5.5)} \quad (4.2)$$

$$\mu = 0,5 \text{ (TDY 2007)} \quad (4.3)$$

$$\sigma = P_d/A \quad (4.4)$$

$$P_d = 140000 \text{ kN} \quad A = 264100 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = \frac{140000}{264100} = 0,53 \text{ MPa}$$

$$\tau_{em} = 0,15 + 0,5 \times 0,53 = 0,415 \text{ MPa}$$

$$V = \tau_{em} \times A = 0,415 \text{ MPa} \times 264100 \text{ mm}^2 = 109,6 \text{ kN} \quad (4.5)$$

5. DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen maksimum yük ve maksimum deplasman verileri Tablo 5.1'da verilmiştir. Yığma duvarlar gevrek bir yapıya sahip olduklarından duvar yük kapasitesinin maksimum yükün %90'ına düştüğü nokta göçme noktası olarak kabul edilmiş ve bu noktadaki yatay deplasman değerinin maksimum yatay deplasman olduğu varsayılmıştır.

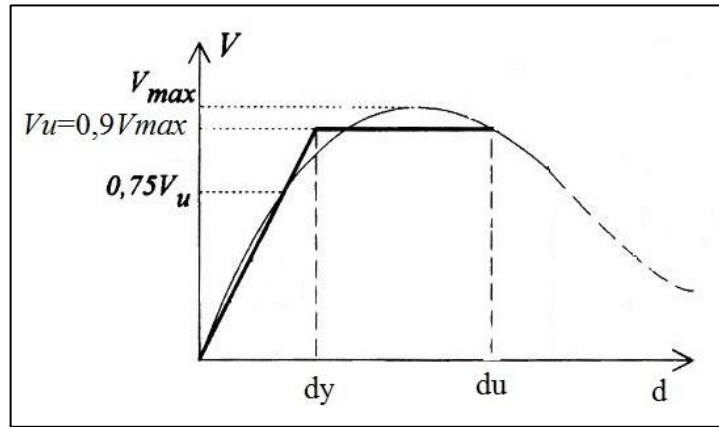
Tablo 5.1. Maksimum yük ve yatay yer değiştirme verileri

Deneyler	Mak. Yük (kN)	Mak Yük Esnasında Yatay Yer Değiştirme CH-01 (mm)	Mak. Yatay Yer Değiştirme CH-01 (mm)
Mas0 – Ref.	35,71	16,94	22,65
Mas1 – Enj.	50,51	22,70	29,38
Mas1 – 3D Fab.	67,99	48,52	57,87
Mas1 – CFRP	83,21	48,19	63,29

- Deney verilerine bakıldığında en düşük yük taşıma kapasitesi Mas0 – Ref. numunesinde görülmektedir. Sadece enjeksiyon ile güçlendirme yapılan Mas1 – Enj. Numunesi, referans numuneye oranla %41 daha fazla yük taşımasına ve %30 daha fazla deplasman yapmasına rağmen sünekliği daha düşüktür. Enjeksiyon yapılan numune daha rijit bir yapı kazandığı için ani bir göçme gerçekleşmiştir.
- Mas1 – 3D Fab. ve Mas1 – CFRP numunelerinde enjeksiyona ek olarak derzlerde 3D Fabrik ve CFRP kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. Deney sonucunda alınan verilere göre her iki malzeme de oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Referans numuneye göre hem yük taşıma kapasiteleri hem de maksimum deplasmanları 2~3 kat kadar artmıştır.
- 3D Fabrik ve CFRP ile yapılan güçlendirme deneyi sonuçlarına bakıldığında CFRP ile yapılan güçlendirme, yük taşıma kapasitesi ve maksimum deplasman açısından daha iyi sonuçlar vermiştir. Fakat süneklik değerlerine bakıldığında 3D Fabrik malzemesinin daha sünek davrandığı görülmektedir.

Referans numuneye göre maksimum yer değiştirme kapasite artışı hesaplanırken yük kapasitesinin maksimum yükün %90'ına düştüğü noktadaki yatay deplasman değeri esas alınmıştır (Tablo 5.2).

Süneklik ise Şekil 5.1'de hesap yöntemi gösterilen deplasman değerlerinden “ du / dy ” formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 5.2). Burada V_{max} , maksimum yatay yükü, V_u ise maksimum yatay yükün 0,90 ile çarpılmış değerini göstermektedir [39,40].



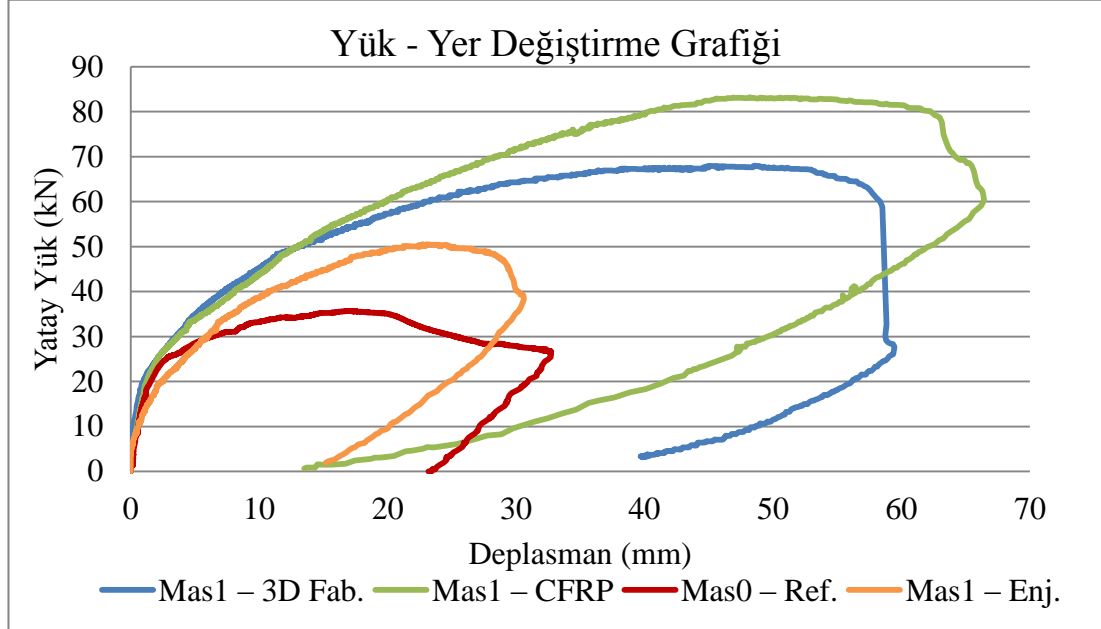
Şekil 5.1. Süneklik hesabı için kullanılan yük - deplasma grafiği [39,40]

Tablo 5.2. Kapasite artış tablosu

Deneyleler	Referans Numuneye Göre Yük Taşıma Kapasite Artışı	Referans Numuneye Göre Maksimum Yer Değiştirme Kapasite Artışı	Süneklik
Mas0 – Ref.	0%	0%	$22,65 / 3,23 = 7,02$
Mas1 – Enj.	41%	30%	$29,38 / 9,79 = 3,00$
Mas1 – 3D Fab.	90%	155%	$57,87 / 13,73 = 4,21$
Mas1 – CFRP	133%	179%	$63,29 / 22,52 = 2,81$

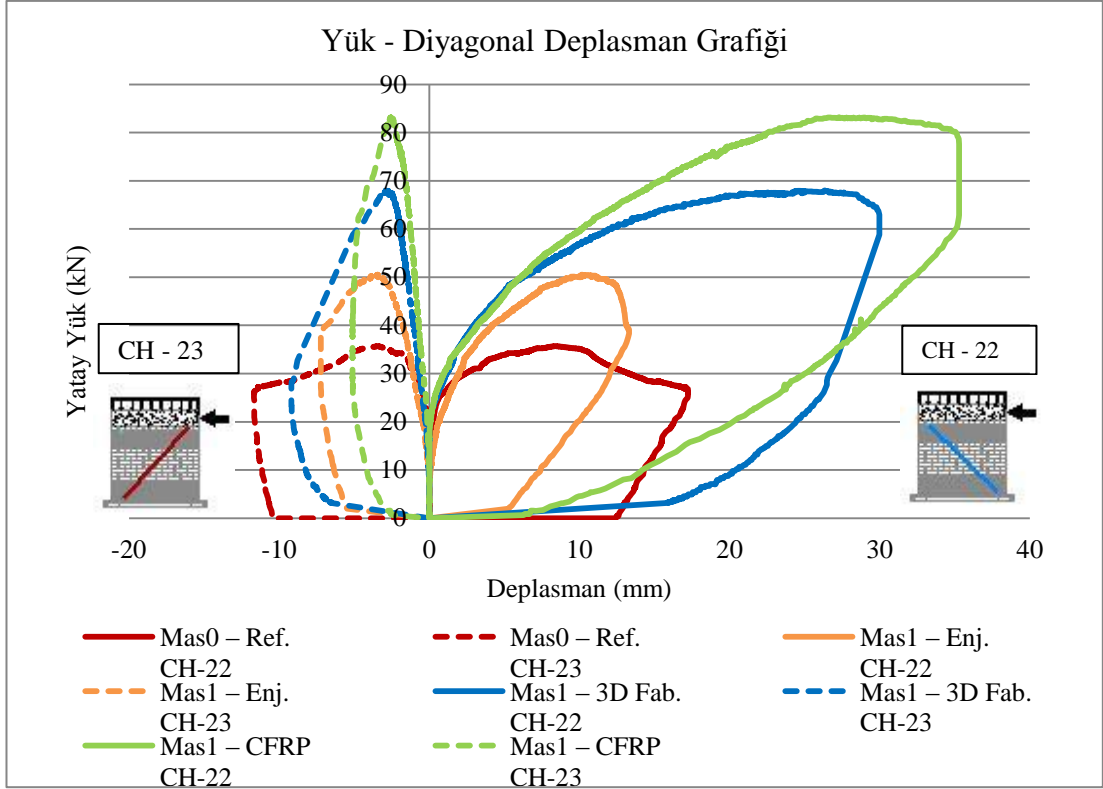
Tablo 5.2'ye bakıldığında, Mas0 – Ref. numunesine oranla, Mas1 – Enj. ile Mas1 – CFRP numunelerinin sünekliği birbirlerine oldukça yakındır. Referans numunenin sünekliğinin yüksek olmasının nedeni; bu numunede göçmenin tamamen diyagonal kesme ile gerçekteşmesinden kaynaklanmaktadır. Güçlendirilmış numunelerde göçme ise dayanımı arttırılmış diyagonal basınç bölgesinin dağılmasından önce yatay

derzlerde kayma ve topuk etrafında dönme hareketi ile başlamıştır. Bunun sonucunda da artan deplasmanlar ile birlikte yük taşıma kapasitesi de artmıştır. Güçlendirilmiş numuneler kendi içerisinde değerlendirildiğinde ise 3D Fabrik ile güçlendirilmiş numune belirgin olarak en yüksek sünekliliğe sahiptir.



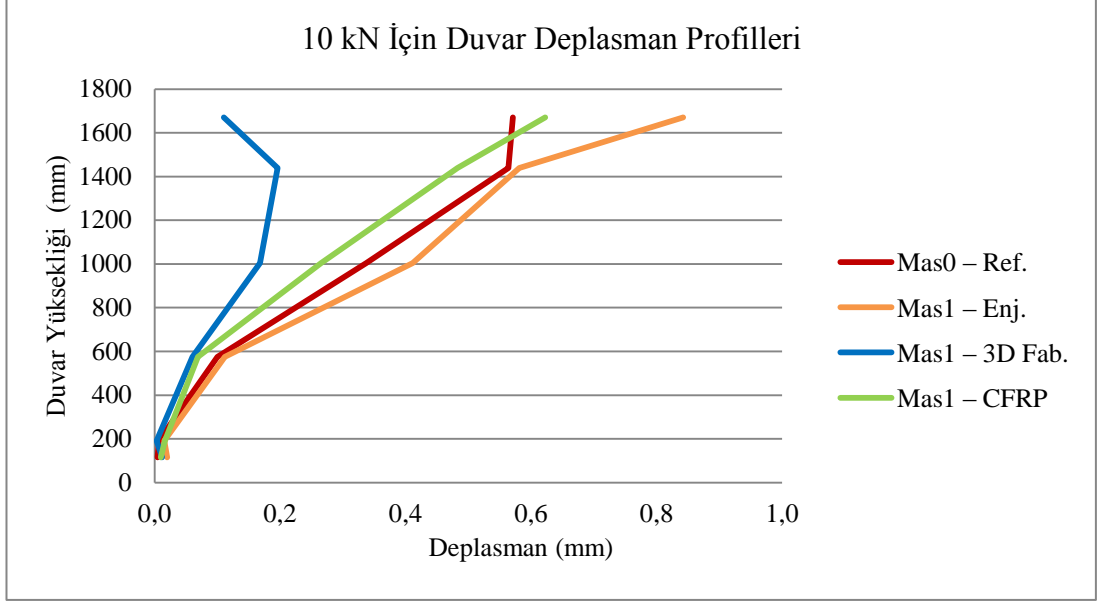
Şekil 5.2. Deney numuneleri yük – yer değiştirme grafiği

Şekil 5.3'ye bakıldığında CH-23 numaralı diyagonal ölçüm cihazı basınç etkisinde kalırken CH-22 numaralı diyagonal ölçüm cihazı çekme etkisinde kalmıştır. Bu beklenen bir durumdur. Ancak, aynı yük seviyesindeki çekme deformasyonu basınç deformasyonuna oranla oldukça fazladır. Örneğin 50 kN yük seviyesinde Mas1 – Enj. numunesinde 3,2 mm basınç deformasyonu gözlenirken 9,5 mm çekme deformasyonu meydana gelmiştir. Tüm numunelerde aynı durum söz konusudur. Bu farklılık, tuğla duvarı oluşturan malzemelerin basınç deformasyonlarının çekme deformasyonlarından daha küçük olmasından ve yükleme sonucunda duvar çekme bölgelerinde meydana gelen çatlak ve açılmalardan kaynaklanmaktadır. Bu durum numunelerin düzgün bir panel davranışı göstermediğini ortaya koymaktadır. Tüm numunelere bakıldığında diyagonal çekme ve basınç deformasyonları küçükten büyüğe doğru sırasıyla Mas0 – Ref., Mas1 – Enj., Mas1 – 3D Fab. ve Mas1 – CFRP numunelerinde görülmüştür. 50 kN yük seviyesine kadar 3D Fabrik ile CFRP malzemeleri ile güçlendirilen numunelerin diyagonal çekme ve basınç deformasyonları aynıdır.

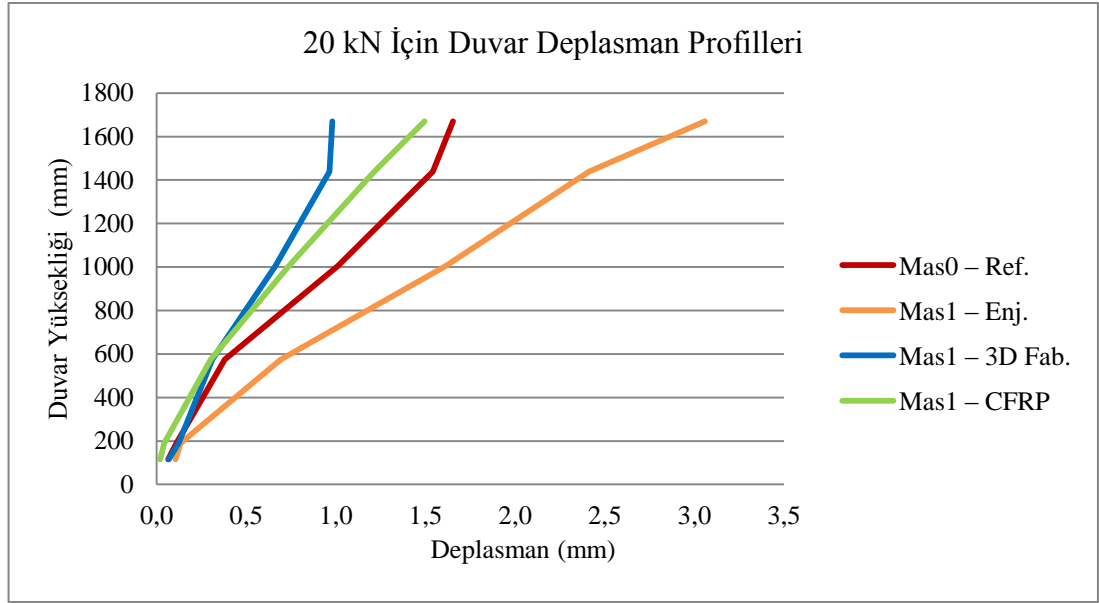


Şekil 5.3. Deney numuneleri yük – diyagonal deplasman grafiği

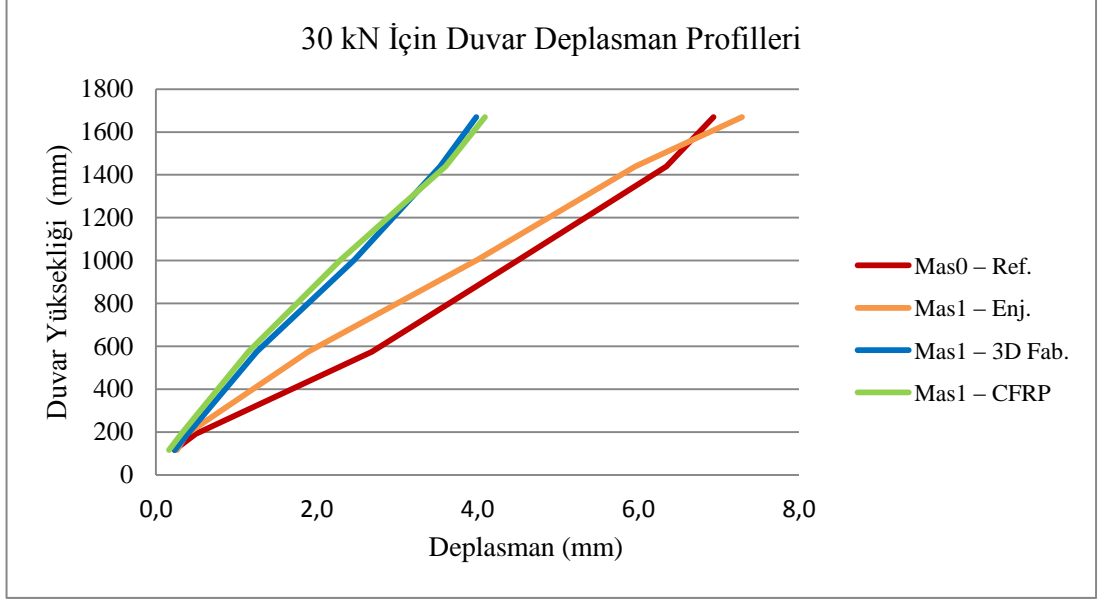
Tüm numuneler için ortak olan 10, 20 ve 30 kN yük seviyeleri için duvar deplasman profilleri Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Buna göre; 10 kN yük seviyesinde en az yatay deplasman Mas1 – 3D Fab. numunesinde, en fazla yatay deplasman ise Mas1 – Enj. numunesinde görülmüştür. 20 kN yük seviyesi için de durum değişmemiştir. Ancak 30 kN yük seviyesinde geçildiğinde en büyük yatay deplasman Mas0 – Ref. numunesinde görülmüştür.



Şekil 5.4. 10 kN için duvar deplasman profilleri



Şekil 5.5. 20 kN için duvar deplasman profilleri



Şekil 5.6. 30 kN için duvar deplasman profilleri

Yapılan deneyler ile DBYYHY 2007 deprem yönetmeliğine göre hesaplanan taşıma yükü kapasitesi karşılaştırıldığında, referans numunesinin taşıma kapasitesi 35,71 kN iken deprem yönetmeliğinde bu değer 109,6 kN olarak hesaplanmaktadır. Bu veriler mevcut yığma yapıların deprem yönetmeliğine göre çok yetersiz kaldığını ve yığma yapılarda güçlendirme konusunun önemini ortaya koymaktadır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yığma duvarların güçlendirilmesi amacı ile yapılan bu deneysel çalışmada 4 adet tuğla duvar numunesi üretilerek deneye tabi tutulmuştur. Tuğla duvar numuneleri imal edilirken depremler, hava koşulları, durabilite vb. nedenlerden dolayı taşıma kapasitesi düşmüş olan duvarları temsil etmeleri hedeflenmiştir. Bu nedenle kullanılan harman tuğlaları mevcut bir yığma yapıdan el ile sökülerek alınmış ve harç malzemesinin karışım oranları değiştirilerek dayanımı düşürülmüştür. Üretilen 4 adet tuğla duvar numunesinden birincisi referans numune kabul edilmiş ve hiçbir güçlendirme yapılmadan deneye tabi tutulmuştur. İkinci numune içerisine sadece enjeksiyon yapılarak güçlendirilmiş, üçüncü numune içerisine enjeksiyon yapılmış ve derzleri birer sıra atlayarak 3D Fabrik malzemesi ile güçlendirilmiştir. Dördüncü numuneye de benzer şekilde enjeksiyon yapılmış ve derzleri birer sıra atlayarak CFRP plakalar ile güçlendirilmiştir. Tüm numuneler sabit aksenal yük etkisinde, düzlem içi monotonik yatay yük altında ve aynı koşullarda deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarında elde edilen veriler değerlendirilmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Taşıyıcı yığma duvarlar gevrek bir yapıya sahip olduklarından duvar yük kapasitesinin maksimum yükün %90'ına düştüğü nokta göçme noktası olarak düşünülmüş ve bu noktadaki yatay deplasman değerinin maksimum yatay deplasman olduğu varsayılmıştır.

- Referans numunesi maksimum 35,71 kN yatay yük taşımış ve maksimum 22,65 mm yatay yer değiştirme yapmıştır.
- Sadece enjeksiyon ile yapılan güçlendirme deneyinde maksimum 50,51 kN yatay yük taşımış ve maksimum 29,38 mm yatay yer değiştirme yapmıştır.
- Enjeksiyon & 3D Fabrik Numunesi maksimum 67,99 kN yatay yük taşımış ve maksimum 57,87 mm yatay yer değiştirme yapmıştır.
- Enjeksiyon & CFRP Numunesi numunesi maksimum 83,21 kN yatay yük taşımış ve maksimum 63,29 mm yatay yer değiştirme yapmıştır.

- Referans numunesine oranla sadece enjeksiyon ile yapılan deney numunesinde %41 yük taşıma kapasitesi artışı ve %30 yer değiştirme kapasite artışı görülmüştür.
- Referans numunesine oranla Enjeksiyon & 3D Fabrik Numunesinde %90 yük taşıma kapasitesi artışı ve %155 yatay yer değiştirme kapasite artışı görülmüştür.
- Referans numunesine oranla Enjeksiyon & CFRP Numunesinde %133 yük taşıma kapasitesi artışı ve %179 yatay yer değiştirme kapasite artışı görülmüştür.
- Güçlendirilmiş numuneler içerisinde Mas1 – 3D Fab. numunesinin sünekliği, test edilen diğer güçlendirme yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre belirgin bir şekilde yüksek çıkmıştır.

Bu veriler incelendiğinde;

- Sadece enjeksiyon ile güçlendirme yapıldığında, daha rijit bir davranış elde edilmiş, duvar yük taşıma kapasitesi ve maksimum yatay deplasmanda artış görülmüş ancak süneklik azalmıştır.
- Mevcut yığma yapıları temsilen hazırlanan referans numuneye ait yük taşıma kapasitesi, DBYYHY 2007 deprem yönetmeliğine göre olması gereken değerinde sadece %32,6'sı kadardır. Bu durum mevcut yığma yapıların dayanımının belirlenmesinde, kullanımda olan yönetmelikteki formülasyonların, gerçekten daha yüksek sonuç verebildiğini göstermektedir. Bir numune sonucu ile bu durum genelleştirilemez ise de duvar imalatındaki kötü işçiliğin, zamana bağlı ve çevresel etkilerin dayanım üstündeki olumsuz etkilerinin, hesaplarda azaltma faktörü ile göz önüne alınması gerektiği düşünülmektedir.
- Derzlerin 3D Fabrik veya CFRP plakalar ile güçlendirilmesi yığma duvarlarda ciddi oranda yük kapasite artışı sağladığı gözlenmiştir.
- 3D Fabrik malzemesi üç boyutlu bir yapıya sahip olduğundan harç malzemesi ile çok iyi bağlanabildiği ve böylece yük altında çalışabildiği düşünülmektedir.
- En büyük yük kapasite artışı CFRP ile sağlanmış olsa da 3D Fabrik ile yakın değerler elde edilmiştir. Hatta 3D Fabrik malzemesinin daha yüksek süneklik gösterdiği kaydedilmiştir.
- Bu çalışma 3D Fabrik malzemesinin güçlendirme uygulamalarında kullanımını açısından öncü bir çalışmadır. Yöntemin parametrik olarak araştırılması yerine, yeterli anlamda işe yarayıp yaramadığı araştırılmıştır. Malzemelerin kullanım

miktarında kuvvet eşitliği değil güçlendirme yapılacak derz sayısı göz önüne alınmıştır.

CFRP ile kullanılan epoksi malzemesi tarihi yapılar ile durabilite problemi yaratmaktadır. Aynı durum polyester esaslı 3D Fabrik için de geçerlidir. Ancak 3D Fabrik malzemesi naylon, karbon vb. malzemelerden üretilirse durabilite problemi ortadan kaldırılabilir. Bunun yanında 3D Fabrik malzemesi CFRP'ye oranla çok daha ekonomik, işçiliğinin kolay ve imalat süresinin kısa olmasından dolayı yığma yapılarda güçlendirme malzemesi olarak, önemli bir alternatif olabileceği düşünölmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TS2510, Kargir duvarlar hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1977.
- [2] TS 704, Harman tuğlası – Duvarlar için, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1979.
- [3] TS 705, Fabrika tuğlaları–Duvarlar için dolu ve düşey delikli, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
- [4] TS 4562, Fabrika tuğlaları – Duvarlar – Klinker tuğla, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
- [5] TS 2513, Doğal yapı taşları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1977.
- [6] TS 406, Duvarlar için beton briketler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1988.
- [7] TS 2717, Yığma yapılarda harçlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2005.
- [8] Öz Saraç S., Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların GFRP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 252443.
- [9] Çamlıbel N., *Yapıların taşıma gücünün iyileştirilmesi*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [10] Ersoy U., Betonarme binaların onarımı ve güçlendirilmesi, *IV. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, Türkiye, 16-20 Ekim 2007.
- [11] Hendry A. W., Masonry walls: Materials and construction, *Construction and Building Materials*, 2001, **15**.
- [12] Çöğür M. T., Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007, 199720.
- [13] Bayülke N., Yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, *İnşaat Mühendisleri Odası*, İzmir, 1999, **15**.
- [14] Önal M. M., Koçak A., Yığma yapı hasarları ve onarım ve güçlendirme yöntemlerinin ayrıntıları, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 22-24 Eylül 2005.
- [15] Celep Z., Post-Earthquake rehabilitation of moderate damaged masonry structures, repair and strengthening of existing buildings, *Second Japan - Turkey*

Workshop on Earthquake Engineering, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1988, 61-72.

- [16] Erdoğan M., In – Plane seismic strengthening of brick masonry walls using re-bars, Thesis for Master of Science Degree, Middle East Technical University, Civil Engineering Department, 2008, 238392.
- [17] Onar E., Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların CRFP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 222041.
- [18] Yılmaz E., Boşluklu tuğla ile örülmüş yığma duvarların LP kompozitler ile güçlendirilmesi ve davranışta boyut etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 292063.
- [19] Salilo N., Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2005, 196988.
- [20] Bayülke N., Depremde hasar gören yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, *İnşaat Mühendisleri Odası*, İzmir, 1999.
- [21] Mahrebel H. A., Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri hasarlar onarım ve güçlendirme teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006, 223367.
- [22] Kara H. G., Tarihi yığma yapıların taşıyıcı sistemleri, güvenliğinin incelenmesi, onarımı ve güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 252468.
- [23] Saraç M., Tarihi yığma kargir yapıların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003, 142732.
- [24] As E. F., Tarihi tuğlalar ile örülen duvarların güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 222144.
- [25] Kanıt R., Döndüren M. S., Bağlayıcı özelliği artırılan harçla oluşturulan yığma duvarların mekaniksel davranışları, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, *Teknik-Online Dergi*, 2008, **7**(1).
- [26] Elgawady M., Lestuzzi P., Badoux M., A review of conventional seismic retrofitting techniques for URM, *13th International Brick and Block Masonry Conference*, Amsterdam, Netherlands, 2004.
- [27] Taghdi M., Bruneau M., Saatcioglu M., Seismic retrofitting of low-rise masonry and concrete walls using steel strips, *Journal of Structural Engineering*, 2000, **1017**.
- [28] Dusi A., Manzoni E., Mezzi M., Stavens G., Seismic retrofit of masonry buildings with polymer grid, *Proceedings of the 9th Pacific Conference on*

Earthquake Engineering Building an Earthquake-Resilient Society, Auckland, New Zeland, 14-16 April 2011.

- [29] Farooq S. H., Ilyas M., Rizwan M., Push over analysis of steel strengthened masonry, *Pakistan Journal Engineering & Applied Sciences*, 2012, **10**.
- [30] <http://www.nuhcimento.com.tr/tr/sayfalar/11/cimento-uretimi> (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2014).
- [31] http://www.basf-yks.com.tr/TR/urunler/yapi_sistemleri/onarimveguclendirme/-albaria_struttura/Documents/ALBARIA%C2%AE%20STRUTTURA.pdf (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2014).
- [32] http://www.basf-yks.com.tr/TR/urunler/yapi_sistemleri/onarimveguclendirme/-albaria_iniezione/Documents/ALBARIA%C2%AE%20INIEZIONE.pdf (Ziyaret tarihi: 14 Mayıs 2014).
- [33] http://www.basf-yks.com.tr/TR/urunler/yapi_sistemleri/onarimveguclendirme/-mbrace_laminate/Documents/MBRACE%C2%AE%20LAMINATE.pdf (Ziyaret tarihi: 16 Mayıs 2014).
- [34] http://www.basf-yks.com.tr/TR/urunler/yapi_sistemleri/onarimveguclendirme/-mbrace_fibre_saturant/Documents/MBRACE%C2%AE%20FIBRE%20SATURANT.pdf (Ziyaret tarihi: 16 Mayıs 2014).
- [35] Schultz A. E., Hutchinson R. S., Cheok G. C., Seismic performance of masonry walls with bed joint reinforcement, *Structural Engineers World Conferences*, Minesota, USA, 18-23 July 1998.
- [36] Bajpai K., Duthinh D., Bending performance of masonry walls strengthened with near-surface mounted FRP bars, *Nort American Masonry Conference*, South Caroline, USA, 1-4 June 2003.
- [37] Babaeidarabad S., De Casto F., Nanni A., URM Walls strengthened with fabric – reinforced cementitious matrix composite subjected to diagonal compression, *Journal of Composites for Construction*, 2014, **18**(2).
- [38] T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Bina Sayımı, 2000.
- [39] Tomazevic M., Recent advances in earthquake-resistant design of masonry buildings, European prospective, *Eleventh World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Mexico, 23-28 June 1996.
- [40] Magenes G., Calvi G. M., In-plane seismic response of brick masonry walls, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, John Wiley & Sons Ltd., ,1997, **26**, 1091-1112.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Ardahan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ardahan'da tamamladı. 2001 yılında girdiği Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2005 yılında bölüm üçüncüsü olarak mezun oldu. İnşaat Mühendisliği lisans eğitiminin 3. sınıfında iken ikinci üniversite olarak başladığı Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İşletme Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. 2005 yılından beri özel sektörde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.