

Ezgi Rukiye GÜNEŞ



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**YIĞMA YAPILARIN  
GÜÇLENDİRİLMESİNDE  
PLASTİK KOMPOZİT  
DONATI KULLANIMI**

**Ezgi Rukiye GÜNEŞ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2020

HAZİRAN 2020



**YIĞMA YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE PLASTİK KOMPOZİT  
DONATI KULLANIMI**

**Ezgi Rukiye GÜNEŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2020**

## ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Ezgi Rukiye GÜNEŞ  
/2020

YIĞMA YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE PLASTİK KOMPOZİT DONATI  
KULLANIMI  
(Yüksek Lisans Tezi)

Ezgi Rukiye GÜNEŞ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2020

ÖZET

Dünyadaki birçok ülkede ve ülkemizde mevcut yapı stoğunun büyük bir bölümünü yığma yapılar oluşturmaktadır. Ülkemizde kırsal bölgelerde herhangi bir yönetmelik doğrultusunda hazırlanmayan ve bu haliyle kullanılmaya devam eden yığma yapılar, geçmişten günümüze tarihi eserlerin de büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Deprem karşısında dayanabilecek güçte olmayan bu yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda bu deneysel yüksek lisans çalışmasında duvarların güçlendirilmesi için plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Farklı türleri güçlendirme alanında yaygın olarak kullanılan bu malzemenin seçilme nedeni; işçiliğinin kolay olması, uygun fiyatlı olması, erişiminin kolay olması, hafif olması, yapısından dolayı deplasman yapabilme kabiliyetinin olmasıdır. İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarlarında 80\*80 cm 9 adet aynı özelliklerde tuğla duvar inşa edilmiştir. Bu duvarlardan 1 adedi yalın bırakılarak şahit numune olmuştur. 8 adet tuğla duvar numunesi ise 2 farklı türdeki plastik kompozit donatı ile farklı parametrelerde güçlendirilmiştir. 9 adet tuğla duvar numunesi diyagonal yükleme deneyine tabi tutulup yük ve deplasman değerleri elde edilmiştir. Bu elde edilen verilerle; maksimum yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi, kırılma anında yaptıkları deplasmanlar ve kayma dayanımları grafiklerle elde edilip, incelemeler yapılmıştır. Plastik kompozit donatının yığma yapıları güçlendirmede olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Yığma yapıların güçlendirilmesi, plastik kompozit donatı, diyagonal yükleme deneyi

Sayfa Adedi : 150

Danışman : Dr. Öğtr. Üyesi Selçuk KAÇIN



USE OF PLASTIC COMPOSITE REINFORCEMENT IN REINFORCEMENT OF MASONRY  
STRUCTURES  
(M. Sc. Thesis)

Ezgi Rukiye GÜNEŞ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

June 2020

ABSTRACT

Masonry buildings constitute a large part of the existing building stock in many countries around the world and in our country. The masonry structures, which are not prepared in accordance with any regulations in rural areas in our country and continue to be used as such, constitute a large part of the historical artifacts from past to present. These structures, which are not strong enough to withstand earthquakes, need to be strengthened. For this purpose, plastic composite reinforcement was applied to strengthen the walls in this experimental master's study. The reason for choosing this material, which is widely used in the field of reinforcing different derivatives; it is easy to work, affordable, easy to access, light, and has the ability to displace due to its structure. In Iskenderun Technical University Civil Engineering laboratories, 80 \* 80 cm 9 brick walls with the same specifications were built. One of these walls was left bare and became a witness sample. 8 brick wall samples were reinforced with 2 different types of plastic composite reinforcement in different parameters. Ten brick wall samples were subjected to diagonal loading test and load and displacement values were obtained. With this data obtained; Their maximum load carrying capacity, energy absorption capacity, their displacement at the time of fracture and their shear strength were obtained by graphs and investigations were made. It has been observed that plastic composite reinforcement gives positive results in strengthening masonry structures.

Key Words : Strengthening masonry structures, plastic composite reinforcement,  
Page Number : 150  
Supervisor : Dr. Öğtr. Üyesi Selçuk KAÇIN

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin bütün aşamalarında yanımda olup daima beni destekleyen, cesaretlendiren, tecrübesiyle hiçbir yardımı esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğrt. Üyesi Selçuk KAÇIN'a saygılarımı sunup, teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmalarında tuğla duvarı güçlendirmek için kullandığım kompozit malzemenin temininde desteklerini esirgemeyen, akademik çalışmaya yardımda bulunarak her türlü soru ve sorunda yanımda olan İstanbul Teknik firmasına çok teşekkür ederim.

Tezimin deneysel çalışmalarında laboratuvarında benimle birlikte kendi çalışmaları gibi benimseyip yardımlarını eksik etmeyen başta yüksek lisans öğrencisi değerli arkadaşlarım, doktora öğrenimi gören tüm arkadaşlarım ve lisans bitirme öğrencisi arkadaşlarıma çok teşekkür ederim. Deneysel çalışmalar için laboratuvar düzenini sağlamama yardımcı olan, destek olan İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hem lisans dönemimde hem de yüksek lisans dönemimde manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, ihtiyacım olduğu her an yanımda olan değerli abim Araş. Gör. Musab ERDEM'e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yanımda olup bana her türlü imkânı sağlayan, desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen sevgili aileme teşekkürü borç bilirim. Çalışmalarım boyunca beni cesaretlendiren, yanımda olan tüm dostlarıma teşekkür ederim.

**İÇİNDEKİLER**

	<b>Sayfa</b>
ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ .....	1
2. YIĞMA YAPI .....	3
2.1. Taşıyıcı Eleman Çeşitlerine Göre Yapıların Sınıflandırılması .....	3
2.1.1. İskeletli (Karkas) yapılar .....	3
2.1.2. Karma yapılar .....	4
2.1.3. Yığma yapılar .....	4
2.2. Yığma Yapıların Türleri .....	5
2.2.1. Donatısız yığma bina .....	5
2.2.2. Donatılı yığma bina .....	5
2.2.3. Kuşatılmış yığma bina .....	5
2.2.4. Donatılı panel sistemli bina .....	5
2.3. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler .....	6
2.3.1. Doğal yapı taşları.....	6
2.3.2. Tuğla.....	6
2.3.3. Kerpiç .....	8

2.3.4. Beton briket .....	8
2.3.5. Ahşap (Çantı).....	9
2.3.6. Harç .....	9
2.4. Yığma Yapıların Avantajları.....	10
2.5. Yığma Yapıları Oluşturan Elemanlar .....	11
2.5.1. Duvarlar .....	11
2.5.2. Temeller.....	14
2.5.3. Lentolar ve hatıllar .....	14
2.5.4. Çatılar .....	15
2.5.5. Döşemeler.....	15
2.6. Yığma Yapıların Deprem Hesabı.....	15
2.7. Yığma Yapılarda Görülen Hasarların Sınıflandırılması.....	16
2.7.1. Temel oturma çatlaklarının oluşması ve meydana getirdiği hasarlar .....	17
2.7.2. Depremden kaynaklanan hasarlar.....	17
2.8. Yığma Yapıların Deprem Hasar Düzeyleri .....	19
2.8.1. Hasarsız veya az hasarlı yığma yapılar .....	19
2.8.2. Az hasarlı yığma yapılar.....	20
2.8.3. Orta hasarlı yığma yapılar .....	20
2.8.4. Ağır hasarlı yığma yapılar .....	20
2.8.5. Yıkılmış yığma yapılar .....	20
2.9. Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi.....	21
2.9.1. Temellerin güçlendirilmesi.....	22
2.9.2. Duvarların güçlendirilmesi.....	22
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	31
3.1. Yığma Duvar ile İlgili Çalışmalar .....	31

3.2. Tarihi Yığma Yapılar ile İlgili Çalışmalar .....	36
3.3. Lifli Polimerler, Fiberler ve Kompozitler ile İlgili Çalışmalar .....	43
3.4. Püskürtme Beton ile İlgili Çalışmalar .....	55
3.5. Çelik Lifler, Şeritler ve Profiller ile İlgili Çalışmalar .....	58
3.6. Epoksi Reçine Enjeksiyonu ile İlgili Çalışmalar .....	62
3.7. Betonarme Paneller, Prekast Paneller ve Betonarme Perdeler ile İlgili Çalışmalar .....	63
3.8. Metal Bağlantı Elemanları ile İlgili Çalışmalar .....	67
<b>4. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>70</b>
4.1. Materyal.....	70
4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	71
4.2.1. Tuğla.....	71
4.2.2. Plastik kompozit donatı .....	71
4.2.3. Doğal/Tabii ince agrega .....	74
4.2.4. Çimento .....	74
4.3. Tuğla Duvar Derz Harcı Yapımı .....	74
4.3.1. Tuğla duvar derz harcından karot alınması .....	76
4.4. Tuğla Duvarların Yapımı.....	78
4.5. Tuğla Duvarların Güçlendirilmesi.....	80
4.6. Diyagonal Yükleme Düzenineğinin Hazırlanması .....	85
4.7. Diyagonal Yükleme Deneylerinin Yapılışı .....	91
<b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>94</b>
5.1. Şahit (Yalın) Tuğla Duvar .....	94
5.2. Tek Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar .....	97
5.3. Tek Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar.....	102
5.4. Tek Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar .....	105

5.5. Tek Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar .....	109
5.6. Çift Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar .....	114
5.7. Çift Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar .....	118
5.8. Çift Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar .....	126
5.9. Çift Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar .....	131
5.10. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	134
5.10.1. Maksimum yük taşıma kapasiteleri .....	136
5.10.2. Enerji yutma kapasiteleri .....	137
5.10.3. Kırılma anında yaptıkları deplasmanlar .....	138
5.10.4. Kayma dayanımları .....	139
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	141
6.1. Sonuçlar .....	141
6.2. Öneriler .....	143
KAYNAKLAR .....	144
ÖZGEÇMİŞ .....	152
DİZİN .....	153

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Denetim Uygulama Merkezi tarafından hazırlanan çizelge "Yığma yapılar için hasar kriteri" .....	21
Çizelge 2.2. GFRP özellikleri .....	28
Çizelge 2.3. Karbon fiberlerin özellikleri.....	29
Çizelge 2.4. PVA özellikleri .....	29
Çizelge 4.1. Plastik kompozit donatıların deneylerde kullanılacak kısaltmaları .....	68
Çizelge 4.2. Güçlendirme malzemesi Tür 1'in mukavemet özellikleri.....	70
Çizelge 4.3. Güçlendirme malzemesi Tür 2'nin mukavemet özellikleri.....	70
Çizelge 4.4. 1 mikser (27 dm <sup>3</sup> ) için çimento-su-agrega oranları.....	72
Çizelge 4.5. Numunelerin üretilme tipleri.....	79
Çizelge 5.1. Numunelerin kısaltma isimleri.....	132

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Betonarme iskeletli yapı.....	3
Şekil 2.2. Ahşap iskeletli yapı.....	3
Şekil 2.3. Düz örgü görünüşleri .....	11
Şekil 2.4. Kilit örgü görünüşleri.....	12
Şekil 2.5. Şaşırtma örgü görünüşleri .....	12
Şekil 2.6. Düz kılıç örgü görünüşleri .....	12
Şekil 2.7. Katona örgü görünüşleri.....	13
Şekil 2.8. Boşluklu duvar örgüsü .....	13
Şekil 2.9. “Taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatılları arası mesafeleri” .....	14
Şekil 2.10. Kapı ve pencere boşlukları için verilen kuralların görseli .....	15
Şekil 2.11. Çatıdaki hatılın görseli .....	15
Şekil 2.12. “Deprem kuvvetlerinin aktarılması” .....	15
Şekil 2.13. Yığma duvarlarda yatay yük altında yükleme durumu .....	16
Şekil 2.14. “Yığma yapılardaki çeşitli temel oturma çatlakları” .....	17
Şekil 2.15. Deprem kuvvetiyle yığma binada meydana gelen hasarlar .....	18
Şekil 2.16. Yığma yapı plan örnekleri.....	19
Şekil 2.17. Püskürtme betonu-kuru sistem.....	24
Şekil 2.18. Püskürtme betonu-yaş sistem .....	24
Şekil 2.19. “Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması” .....	24
Şekil 2.20. “Çift taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması” .....	25
Şekil 3.1. Eleman hasar sınıfları.....	34
Şekil 3.2. Hasar sınıfları ve hasar çarpanları.....	34



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.3. Korumacılık olayına genel bakış.....	39
Şekil 3.4. Güçlendirme mertebeleri ve tarihi dokuya saygı şeması .....	39
Şekil 5.1. Şahit numuneye ait yük-deplasman grafiği.....	97
Şekil 5.2. Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunenin yük-deplasman grafiği.....	102
Şekil 5.3. Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. numunenin yük-deplasman grafiği.....	105
Şekil 5.4. Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş numunenin yük-deplasman grafiği.....	109
Şekil 5.5. Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş numunenin yük-deplasman grafiği.....	114
Şekil 5.6. Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. Numunenin yük-deplasman grafiği.....	118
Şekil 5.7. Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. Numunenin yük-deplasman grafiği.....	126
Şekil 5.8. Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. Numunenin yük-deplasman grafiği.....	130
Şekil 5.9. Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. numunenin yük-deplasman grafiği.....	134
Şekil 5.10. Tüm numunelerin yük-deplasman grafiği.....	135
Şekil 5.11. Numunelerin mak. yük taşıma kapasiteleri.....	136
Şekil 5.12. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin yük taşıma kapasitesinin ortalaması.	136
Şekil 5.13 Numunelerin enerji yutma kapasiteleri .....	137
Şekil 5.14. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin enerji yutma kapasitesinin ortalaması..	137
Şekil 5.15. Numunelerin kırılma anında yaptıkları deplasmanlar.....	138
Şekil 5.16. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin kırılma anındaki deplasmanlarının ortalaması .....	138
Şekil 5.17. Numunelerin kayma dayanımları.....	139
Şekil 5.18. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin kayma dayanımlarının ortalaması ....	139

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 2.1. Çelik iskeletli yapı .....	3
Resim 2.2. Tuğla yığma yapı .....	4
Resim 2.3. Taş yığma yapı .....	4
Resim 2.4. Kerpiç yığma yapı .....	5
Resim 2.5. Yığma yapılarda kullanılan doğal taşlar .....	6
Resim 2.6. Harman tuğlası .....	7
Resim 2.7. Kerpiç yapımı.....	8
Resim 2.8. Beton briket.....	9
Resim 3.1. Güçlendirme öncesi duvar numunesi .....	44
Resim 3.2. CFRP bantları uygulanmış duvar numunesi .....	44
Resim 3.3. İncelenen yığma yapı .....	47
Resim 3.4. Deneyle için kullanılan CFRP malzeme.....	48
Resim 3.5. BFRP malzemenin duvara birinci uygulanma yöntemi .....	49
Resim 3.6. BFRP malzemenin duvara ikinci uygulanma yöntemi .....	49
Resim 3.7. Güçlendirme uygulaması yapılan duvar numunelerinden örnek .....	50
Resim 3.8. Uygulama aşaması .....	51
Resim 3.9. Deney düzeneği.....	51
Resim 3.10. Yükleme öncesi numunelerin hazırlanması .....	52
Resim 3.11. Püskürtme betonun numuneye uygulanması.....	55
Resim 3.12. Çelik lif uygulanmış numune .....	58
Resim 3.13. Çelik şerit uygulanmış duvar numunesi .....	59
Resim 3.14. Çelik levha ile güçlendirilmiş duvar numunesi.....	60
Resim 3.15. Delikli çelik levha ile güçlendirilmiş numunenin yükleme sonrası durumu	60

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 3.16. Betonarme panel uygulanmış tuğla duvar numunesi .....	64
Resim 3.17. Güçlendirilen A tipi numune.....	66
Resim 3.18. Güçlendirilen B tipi numune.....	66
Resim 3.19. Metal bağlantı elemanın numuneye uygulanması.....	67
Resim 3.20. Deneylede kullanılan 3 tip metal bağlantı elemanı.....	67
Resim 4.1. 13.5'luk yatay delikli tuğla .....	71
Resim 4.2. Laboratuvar ortamında depolanan tuğlalar .....	71
Resim 4.3. Tür 1 ve Tür 2 numuneleri .....	73
Resim 4.4. Duvar boyutlarına göre kesilmiş plastik kompozit donatılar .....	73
Resim 4.5. Doğal/tabii ince agrega .....	75
Resim 4.6. Derz harcının hazırlanması .....	75
Resim 4.7. Miksere malzemelerin yerleştirilmesi .....	75
Resim 4.8. Hazırlanan derz harcının el arabasıyla taşınması.....	76
Resim 4.9. İçi temizlenip, yağlanan karot kalıplarından bir tanesi .....	76
Resim 4.10. Kalıp içerisine yerleştirilen derz harcı .....	76
Resim 4.11. Eğilme dayanımının ölçülmesi için numunenin pres'e yerleştirilmesi.....	77
Resim 4.12. Basınç dayanımının ölçülmesi için numunenin pres'e yerleştirilmesi.....	77
Resim 4.13. a)-b)-c) Tuğla duvarların örülmesi.....	78
Resim 4.13. d) Tuğla duvarların örülmesi.....	79
Resim 4.14. Tuğla duvarlar örülürken şakulle kontrol edilmesi .....	80
Resim 4.15. Sıva malzemelerinin miksere yerleştirilmesi .....	80
Resim 4.16. Numunelere uygulamak için hazırlanan sıva .....	80
Resim 4.17. Sıvadan alınan karot numuneleri.....	80
Resim 4.18. a) Çift yüze sıva ile uygulanan plastik kompozit donatı .....	82

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.18. b) Çift yüze sıva ile uygulanan plastik kompozit donatı.....	83
Resim 4.19. Tek yüze sıva ile uygulanan plastik kompozit donatı .....	83
Resim 4.20. a),b) Uygulanan sıvanın mala ile yüzeyinin düzeltilmesi .....	84
Resim 4.21. Sıva uygulaması .....	85
Resim 4.22. Sıva sonrası tuğla duvar numunelerinin sulanması.....	85
Resim 4.24. El arabası yardımıyla yükleme düzeneğinin etrafına taşınan tuğla duvar numunesi .....	85
Resim 4.25. Diyagonal yükleme deneylerinin yapılacağı yükleme düzeneği.....	86
Resim 4.26. a), b) Alt başlığın üzerinde yerleştirilen yalın tuğla duvar numunesi .....	87
Resim 4.27. Deneylerde kullanılan deplasman ölçer .....	88
Resim 4.28. Tuğla duvarın matkapla delinmesi .....	89
Resim 4.29. Sabitleme amacıyla kullanılan somon, lama, profil .....	89
Resim 4.30. Matkapla delinen duvar arka yüzünün çeşitli profillerle sabitlenmesi .....	89
Resim 4.31. Matkapla delinen duvar ön yüzünün vidayla sabitlenmesi .....	90
Resim 4.32. Yükleme başlığı .....	90
Resim 4.33. Yükleme başlığının sisteme yerleştirilmesi.....	91
Resim 4.34. El yardımıyla yük verdiğimiz cihaz .....	91
Resim 4.35. Yüklemeye hazır bir adet tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	92
Resim 4.36. Yüklemeye hazır bir adet tuğla duvar numunesinin ön yüzü.....	92
Resim 4.37. Bilgisayar ortamından yüklemeye ait verilerin alınması .....	93
Resim 5.1. a), b) Şahit numunenin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	94
Resim 5.2. Diyagonal yükleme deneyine hazır şahit numunenin ön yüzü .....	95
Resim 5.3. Diyagonal yükleme deneyine hazır şahit numunenin arka yüzü.....	95

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.4. Diyagonal yükleme deneyi sonrası parçalanmış şahit numune.....	96
Resim 5.5. a), b) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması .....	97
Resim 5.5. c) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması .....	98
Resim 5.6. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın arka yüzü .....	98
Resim 5.7. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın ön yüzü .....	99
Resim 5.8. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunenin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar .....	100
Resim 5.9. ‘Resim 5.8’de gözlemlenen kılcal çatlakların işaretlenmiş durumu .....	100
Resim 5.10. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunenin ön yüzü .....	101
Resim 5.11. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunenin arka yüzünde oluşan hasarlar.....	101
Resim 5.12. a) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	102
Resim 5.12. b) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	103
Resim 5.13. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	103
Resim 5.14. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar .....	104
Resim 5.15. ‘Resim 5.14’de meydana gelen kılcal çatlakların işaretlenmiş durumu ....	104
Resim 5.16. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzünde oluşan hasarlar.....	105
Resim 5.17. a), b) Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	106
Resim 5.18. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	107

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.19. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	107
Resim 5.20. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzünde oluşan hasarlar.....	108
Resim 5.21. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar.....	108
Resim 5.22. ‘Resim 5.21’de meydana gelen kılcal çatlakların işaretlenmiş durumu ....	109
Resim 5.23. Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması .....	110
Resim 5.24. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	110
Resim 5.25. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2.tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	111
Resim 5.26. Diyagonal yükleme deneyi sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar.....	111
Resim 5.27. ‘Resim 5.26’nın işaretlenmiş durumu .....	112
Resim 5.28. a), b) Diyagonal yükleme deneyi sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzünde oluşan hasarlar.....	112
Resim 5.29. a), b) Diyagonal yükleme deneyi sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi .....	113
Resim 5.30. Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması .....	114
Resim 5.31. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	115
Resim 5.32. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	115
Resim 5.33. Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar.....	116
Resim 5.34. Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. 1. numunenin arka yüzünde oluşan kılcal çatlaklar.....	116
Resim 5.35. ‘Resim 5.34’de belirtilen çatlakların işaretlenmiş durumu .....	117

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.36. Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunede meydana gelen kılcal çatlaklar .....	117
Resim 5.37. a) Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	118
Resim 5.37. b) Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	119
Resim 5.38. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	119
Resim 5.39. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	120
Resim 5.40. a), b) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	121
Resim 5.40. c), d) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	122
Resim 5.41. Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	123
Resim 5.42. a) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi .....	123
Resim 5.42. b), c) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi .....	124
Resim 5.42. d), e) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi .....	125
Resim 5.43. a) Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	126
Resim 5.43. b) Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması.....	127
Resim 5.44. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	127
Resim 5.45. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	127
Resim 5.46. Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	128

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 5.47. a) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	128
Resim 5.47. b), c) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü.....	129
Resim 5.48. Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. Numunenin cihazdan alınıp, taşınması.....	130
Resim 5.49. Diyagonal yükleme deneyi sonrası plastik kompozit donatının son durumu.....	130
Resim 5.50. a), b) Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması .....	131
Resim 5.51. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü .....	132
Resim 5.52. a), b) Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi .....	133
Resim 5.52. c) Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi .....	134



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
<b>Cm</b>	Santimetre
<b>C°</b>	Sıcaklık Birimi (Celsius)
<b>Kg</b>	Kilogram
<b>cm<sup>3</sup></b>	Santimetreküp
<b>H</b>	Duvar Boyu
<b>I</b>	Atalet Momenti
<b>kg/ m<sup>3</sup></b>	Yoğunluk
<b>m</b>	Metre
<b>m<sup>3</sup></b>	Metreküp
<b>mm</b>	Milimetre
<b>MPa</b>	Megapaskal
<b>fk</b>	Karakteristik basınç dayanımı
<b>fvk</b>	Karakteristik kesme dayanımı
<b>fvk<sub>0</sub></b>	Karakteristik başlangıç kesme dayanımı
<b>fb</b>	Ortalama basınç dayanımı
<b>k<sub>duv</sub></b>	Duvar rijitliği
<b>G<sub>duv</sub></b>	Duvar kayma modülü
<b>R<sub>a</sub></b>	Deprem yükü azaltma katsayısı
<b>Y<sub>m</sub></b>	Yığılma malzeme dayanım azaltma katsayısı
<b>Y<sub>s</sub></b>	Donatı malzeme dayanım azaltma katsayısı
<b>L</b>	Duvar boyu
<b>L<sub>n</sub></b>	Mesnetlenmiş duvar boyu
<b>A</b>	Ağırlık Merkezi
<b>R</b>	Rijitlik Merkezi

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

<b>FRP</b>	Fiber Reinforced Polimers (Lif Takviyeli Polimer)
<b>CFRP</b>	Carbon Fiber Reinforced Polimers (Karbon Lif Takviyeli Polimer)
<b>GFRP</b>	Glass Fiber Reinforced Polimers (Cam Lifi Takviyeli Polimer)
<b>BFRP</b>	Basalt Fiber Reinforced Polimers (Bazalt Lifi Takviyeli Polimer)
<b>PVC</b>	Polivinil Klorür
<b>CMG</b>	Cam Kaplı Izgara Kumaş
<b>TRM</b>	Elyaf Takviyeli Tekstil Polimer Kumaş
<b>NSM</b>	Monte Takviyeli Şerit
<b>LVDT</b>	Linear Variable Differential Transformer (Deplasmanölçer-Potansiyometre)
<b>TBDY</b>	Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği
<b>ASCE</b>	ABD Deprem Yönetmeliği
<b>NZSEE</b>	Yeni Zelenda Deprem Yönetmeliği
<b>OPC</b>	İtalya Deprem Yönetmeliği
<b>Ş</b>	Şahit Numune
<b>TT1-1</b>	Tek Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 1. Numune
<b>TT1-2</b>	Tek Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 2. Numune
<b>TT2-1</b>	Tek Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 1. Numune
<b>TT2-2</b>	Tek Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 2. Numune
<b>ÇT1-1</b>	Çift Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 1. Numune
<b>ÇT1-2</b>	Çift Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 2. Numune
<b>ÇT2-1</b>	Çift Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 1. Numune
<b>ÇT2-2</b>	Çift Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 2. Numune
<b>TS</b>	Türk Standartları
<b>TEC2007</b>	Turkish Earthquake Code 2007
<b>ASTM E-119</b>	Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials (Bina İnşaatı ve Malzemelerinin Yangın Testleri için Standart Test Yöntemleri)
<b>ASTM</b>	American Society and Testing Materials

<b>E 915M-10</b>	Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages1 (Diyagonal Yükleme Deneyi Standardı)
<b>TS-EN-998-1</b>	Türk Standardı- Kâgir harcı- Özellikler- Bölüm 2: Kâgir harcı
<b>TS-EN-1015</b>	Türk Standardı- Kagir Harcı Deney Metodları
<b>MD</b>	Machine Direction
<b>CMD</b>	Cross Machine Direction
<b>SPSS</b>	Statistical Package for the Social Sciences (Sosyal Bilimler için İstatistik Programı)
<b>TEC 2007</b>	Turkish Earthquake Cod 2007 (Türkiye Deprem Yönetmelikleri 2007)
<b>OPCM</b>	Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri
<b>DFO</b>	Dayanım Fazlalığı Oranı
<b>NSM</b>	Yüzeye yakın monte takviyeli şerit
<b>TS EN 197-1</b>	Türk Standardı: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri



## 1. GİRİŞ

Ülkemizin büyük bir kısmı deprem riski ile karşı karşıyadır. Her ne kadar deprem konusunda bilincimiz artmış, yönetmelikler güçlendirilmeye çalışılmış, yeni yapılar daha dikkatli oluşturulmaya çalışılsa da; ülkemizin kırsal kesimlerinde hala mühendislik çalışması gerektirmediği düşüncesiyle yığma yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapılarda fazlaca bulunan işçilik hataları ve kullanılan alanın zamanla işlevinin değişmesi dolayısıyla hesaplarda belirlenen yüklerin dağılımının değişmesi yapılardaki riski arttırmaktadır. Yığma yapılar sadece ülkemizde değil tüm dünyada yaygın olarak kullanılmış ve kullanılmaya devam eden bir yapı türüdür.

Yığma yapıların depreme karşı dayanıksız olmalarının ana parametrelerinden biri de sünek davranış göstermemeleridir. Yük taşıma kapasitesi bile yeterli düzeyde olmayan bu yapıların üretim malzemeleriyle sünek davranması beklenen bir durum değil ancak istenen bir durumdur. Gerekli dayanım ve sünekliği sağlamayan yapıların; can ve mal güvenliğinin korunması amacıyla depreme karşı güçlendirilmesi gerekmektedir.

Yığma yapıların taşıyıcısı duvarlar olduğu için güçlendirme duvarlara yapılmaktadır. Duvar güçlendirme yalnızca yığma yapılara değil betonarme yapılarda da kullanılabilir. Duvar güçlendirme üzerine gerek yığma gerekse betonarme yapı üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Birçok güçlendirme malzemesi farklı parametrelerle değerlendirilip literatüre eklenmiştir.

Güçlendirme işlemi eğer kullanılmakta olan bir yapıya uygulanacaksa güçlendirme yöntemi seçilirken yapının boşaltılması gerektiği durumda kısa sürede bitecek bir güçlendirme yöntemi veya bina sakinleri yapıda durmaya devam edecekse bu duruma uygun bir güçlendirme yöntemi seçilmelidir. Eğer bir tarihi esere güçlendirme yapılacaksa yapının mevcut özelliklerini bozmadan, manevi değerini kaybettirmeden ve mümkün olduğunca uzun süreli dayanacak bir güçlendirme yöntemi seçilmelidir.

Günümüzde inşaat alanında yaygın bir konu olmaya başlayan güçlendirme konusu üzerinde birçok çalışma vardır. Teknoloji ilerledikçe güçlendirme yöntemlerine yenileri eklenmektedir. Geçmişten günümüze yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemleri; püskürtme beton uygulaması, betonarme paneller, çelik çubuk-çerçeve kullanımı, FRP ve GFRP kullanımı, tekstil takviyeli harç kullanımı, epoksi reçine kullanımı, kompozit malzemelerin kullanımı gibi.

Kullanılan güçlendirme yöntemleri olumlu sonuçlar verdiği gibi dezavantajları da mevcut olduğu için üzerinde çalışılmaya devam edilen bir konudur. Mevcut güçlendirme yöntemlerinin genel dezavantajları; malzemenin pahalı olması, malzemenin kolaylıkla bulunamaması, işçiliğinin zor olması, istenilen performansı yeterli düzeyde sağlamaması, yapıyı ağırlaştırması, mevcut yapı üzerinde birçok tadilata ihtiyaç duyması, uygulanacak alanın uzun süreli boşaltılması gerekmesi gibi.

Bu çalışmada güçlendirme amacıyla kullanılacak malzeme; plastik kompozit donatıdır. Bu malzeme inşaat mühendisliği alanında bir zemin malzemesi olarak üretilen ve kullanılan piyasa kataloglarında geosentetik ürünlerin içinde yer alan geogrid adı verilen bir malzemedir. Ancak günümüzde yapı güçlendirmesi alanında kullanımı da yaygınlaşan ve bu yüzden de türevleri üzerinde de çalışılan bir malzemedir. Bu çalışma için bu malzemenin seçilme nedenleri; düşük maliyetli olması, hafif olması, kolayca ulaşılabilir olması, kolay uygulanabilmesi, yapısı itibariyle deformasyon yapabilmesi gibi özellikleridir. Çalışmada kullanılmak üzere İstanbul Teknik Firması'ndan katalog adıyla 2 farklı tipte çift yönlü geogrid temin edilmiştir. "İnşaat mühendisliğinin çeşitli uygulamalarındaki çift yönlü geogrid ihtiyaçları için geliştirilmiş, yüksek mukavemetli malzemelerdir. Polyester mikro iplikçiklerin dikdörtgenler şeklinde örülüp üzerinin PVC ile kaplanması yöntemiyle üretilir. Düğüm noktalarında daha sağlam olabilmesi için özel tasarlanmış bir dikiş yöntemi sayesinde yüksek performans sağlamaktadır.", (<https://www.istanbulteknik.com/geosentetikler/geogrid/fortex-tek-yonlu-geogrid>).

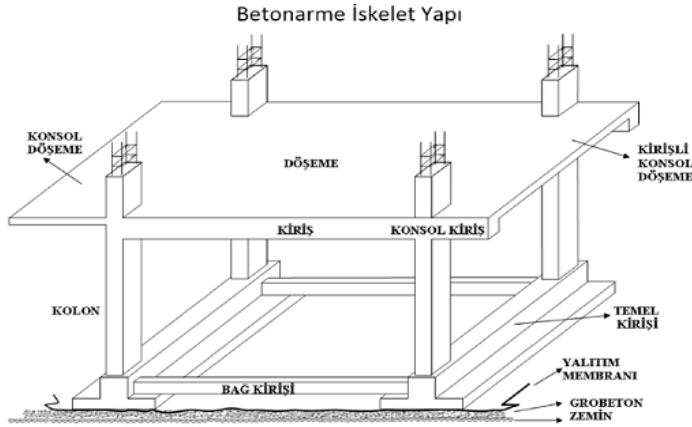
Deneysel çalışmalar İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma için 80\*80 cm boyutlarında 9 adet tuğla duvar inşa edilmiştir. Bu tuğla duvarlardan bir adedi şahit olması amacıyla yalın halde bırakılmıştır. Diğer 8 tuğla duvar plastik kompozit donatı ve sıvanın birlikte uygulanması ile güçlendirilmiştir. Değişken parametre olarak tek yüze ve çift yüze uygulanma durumu seçilmiştir. 9 adet tuğla duvara diyagonal yükleme deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarında yük-deplasman değerleri elde edilip grafikleri oluşturuldu. Sonuç olarak; maksimum yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi, kırılma anında yaptıkları deplasmanlar, kayma dayanımları elde edilip değerlendirilmiştir.

## 2. YIĞMA YAPI

### 2.1. Taşıyıcı Eleman Çeşitlerine Göre Yapıların Sınıflandırılması

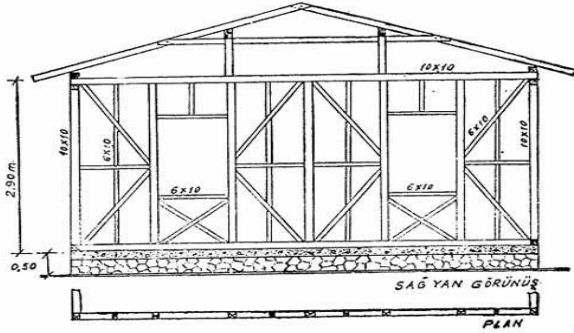
#### 2.1.1. İskeletli (karkas) yapılar

Binanın iskeleti için kullanılan malzemelerinin türüne göre; betonarme karkas (Şekil 2.1), ahşap karkas (Şekil 2.2), çelik karkas (Resim 2.1) olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Bu yapılar üzerlerine gelen yükleri kolon ve kiriş aracılığıyla alarak temellere iletirler. İskeletli (karkas) yapılarda duvarlar taşıyıcı eleman görevinde değil, sadece bölme amacıyla kullanılmaktadırlar.



Şekil 2.1. Betonarme iskeletli yapı,

(<https://docplayer.biz.tr/2987507Yapilarinsiniflandirilmesi.html>)



Şekil 2.2. Ahşap iskeletli yapı,

(<http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=2>)



Resim 2.1. Çelik iskeletli yapı, (<https://www.erkiz.com.tr/celik-yapilar/>)

### 2.1.2. Karma yapılar

Yapının bir bölümünün yığma bir bölümünün ise karkas inşa edilmesiyle oluşan yapılara karma yapı denilmektedir.

### 2.1.3. Yığma yapılar

Genel tanım itibariyle; bir iskelet sistemine sahip olmayan, yapıya gelen yükün duvarlar tarafından taşındığı yapı türüne yığma yapılar denilmektedir. Tuğla (Resim 2.2), taş (Resim 2.3), kerpiç (Resim 2.4) vb. elemanların harç yardımıyla birbirlerine bağlanıp mevcut veya gelen düşey yükleri bu şekilde aktarması esasına dayalı bir çalışma sistemleri vardır. Taşıyıcı elemanlarının duvarlar olması ve duvar için kullanılan malzemelerin sünekliğine bağlı olarak sünek davranışları düşüktür. Yük aktarımını basit bir sistem içerisinde gerçekleştirmelerinden kaynaklı basınç ve çekme etkilerine maruz kaldıklarında yapı deformasyona uğrayabilmektedir. Bu yapılarda duvarların hem taşıyıcı görevi hem de doğal işlevleri olan yapının odalarını bölme görevi birlikte olunca duvarlarda oluşan deformasyon tüm yapının sağlamlığını, taşıyıcılığını etkileyebilmektedir.



Resim 2.2. Tuğla yığma yapı, (<https://docplayer.biz.tr/2987507-Yapilarin-siniflandirilmesi.html>)





Resim 2.3. Taş yığma yapı,  
(<https://docplayer.biz.tr/2987507-Yapilarin-siniflandirilmesi.html>)



Resim 2.4. Kerpiç yığma yapı,  
(<https://docplayer.biz.tr/2987507-Yapilarin-siniflandirilmesi.html>)

## 2.2. Yığma Yapıların Türleri

### 2.2.1. Donatısız yığma bina

“Taşıyıcı duvarların donatı kullanılmadan sadece kagir birim ve harç kullanılarak oluşturulan süneklik düzeyi sınırlı bina cinsini kapsar.” (TBDY,2018).

### 2.2.2. Donatılı yığma bina

“Kagir birim ve harç kullanılarak oluşturulan taşıyıcı duvarlarda kurallara uygun olacak şekilde donatı yerleştirilmesi ile elde edilen süneklik düzeyi yüksek binaları kapsar.” (TBDY,2018).

### 2.2.3. Kuşatılmış yığma bina

“Birbirlerine ve döşemeye betonarme olarak bağlı, taşıyıcı duvarların örülmesinden sonra ve bunları kalıp olarak kullanarak hazırlanan yatay ve düşey hatılların kurallara uygun olacak Resimde teşkil edilmesiyle oluşturulan süneklik düzeyi sınırlı binaları kapsar.” (TBDY,2018).

#### 2.2.4. Donatılı panel sistemli bina

Önüretimli donatılı gazbeton paneller arası yivlerde bulunan donatıların temele ve kat seviyelerindeki betonarme hatıllara bağlandığı ve düşey gazbeton panellerin yan yana getirilerek taşıyıcı duvarları teşkil ettiği, yine donatılı gazbeton panellerinin betonarme hatıllara bağlanarak döşemeleri meydana getirdiği süneklik düzeyi yüksek binalardır (TBDY,2018).

### 2.3.Yığma Yapılarda Kullanılan Malzemeler

#### 2.3.1.Doğal yapı taşları

Doğada hazır halde bulunan taşlar (Resim 2.5), dayanımının yüksek olması, sert olması, işlenebilmesi, harca yapışabilmesi, aşınmaya ve dona karşı dayanıklı olması gibi özellikleri barındırmasından dolayı yapı malzemesi olarak geçmişte kullanılmış ve günümüzde de kullanımı hala devam etmektedir. Kumtaşı, granit, kireçtaşı gibi taşlar doğal taşlardır. Mozaik gibi taşlar ise yapay taşlar olarak nitelendirilmektedir. Çekme dayanımının düşük ve basınç dayanımının yüksek olmasından dolayı inşaat alanında özellikle yığma yapılarda kullanılan taşlardan en iyi şekilde verim alınabilmesi için; sert, homojen, damarsız, çatlak bulundurmayan, yüzeyi temiz, bozulma, ayrışma veya renk değiştirme gözlenmeyen taşların tercih edilmesi gerekmektedir.



Resim 2.5. Yığma yapılarda kullanılan doğal taşlar,  
(<https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/yapi-taslari>)

#### 2.3.2.Tuğla

Pişmiş veya kurutulmuş kil türevi toprağın ihtiyaca göre su, kum, kiremit tozu gibi malzemeler eklenerek hazırlanıp kalıplara dökülerek veya makinelerle şekillendirilip kurutulduktan sonra fırında (genelde hoffman veya tünel fırın kullanılır) 800-1200 C° 'de pişirilerek elde edilen inşaat yapı malzemesidir. Tuğlanın kalitesini etkileyen en önemli

faktörlerden biri hammaddesi olan kildir. Doğadan hazır halde getirilen kilin hamuru elde edildikten sonra şekillendirme aşamasına geçilmeden önce dinlendirilmesi gerekmektedir.

Basınç dayanımı yüksek olan bu malzemenin kuru ağırlığının yönetmelik gereğince %18'inden fazla suyu absorbe etmemesi gerekmektedir. Bu değer fazla olması durumunda tuğlanın basınç dayanımında düşüş görülmektedir. Tuğlaların basınç dayanımını etkileyen faktörler; porozite, tuğlanın pişirildiği sıcaklık derecesi, üretimde kullanılan toprağın türü gibidir.

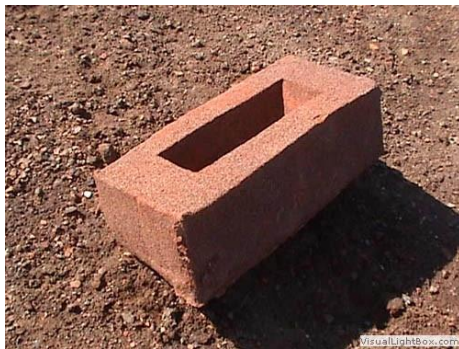
### Tuğla türleri

#### Harman tuğlası (Ocak/Ateş tuğlası)

“Kil, killi toprak ve suyun birlikte yoğurulup şekillendirildikten sonra kurutulup harman yerinde ocaklarda pişirilmesi yolu ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir” (Özışık, 19??)

Harman tuğlası yapılırken gerekli toprak temin edilip harman tuğlasının yapılacağı alana depolanır. Bir çamur çukuru oluşturulup içerisine depolanan toprakla birlikte su ilave edilerek 1 gün bekletilmektedir. Dinlenen çamur bir çamur yoğurma tankı yardımıyla yoğurulur ve şekillendirme aşamasına geçilir. Şekillendirme aşamasında gerekli malzemeler yardımıyla kalıplara yerleştirilirken üretici firmaya ait sembol ahşap ile kalıbın en altına yerleştirilir. Tuğla hamurları kalıptan çıkartıldıktan sonra kurutulur ve sahra fırını adı verilen fırın yardımıyla pişirilir (Er, 2013).

Harman tuğlası (Resim 2.6) geçmiş zamanlarda çok yaygın olarak üretilip kullanılsa da günümüzde işçiliğinin zor ve zahmetli olması, üretim aşamasında çalışacak kafiyeli çalışanların azalması, daha pratik yöntemlerle tuğlalar üretilmesinden kaynaklı üretimi çok fazla tercih edilmemektedir.



Resim 2.6. Harman tuğlası, (<http://www.adanatasmarket.com/tugla.html>)

### Standart fabrika tuğlası

Standart fabrika tuğlaları günümüzde en yaygın kullanılmakta olan tuğla çeşididir. Ana malzemeleri olan; kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı karıştırılmasıyla veya ihtiyaç duyulduğunda su, kum, tuğla ve kiremit tozu, kül gibi malzemeler ile harmanlanarak makineler yardımıyla şekillendirilip daha sonra fırında pişirilmesiyle üretilmektedir.

Fabrika tuğlaları üretirken bırakılan delik miktarlarına göre sınıflandırılmaktadır. Genelde bina yapımları için düşey/yatay delikli blok tuğlalar tercih edilmektedir. Onlarda kendi içlerinde kullanım ihtiyaa göre belirlenen boyutlarla sınıflandırılıp üretilmektedir.

### **2.3.3.Kerpiç**

Geçmiş zamanlarda yığma yapılarda çok fazla kullanılan malzemelerden biri de kerpitir. Kerpiç eski tip tuğla olarak da anılmaktadır. Toprağın saman, su, bitkisel lifli katkılar ile karıştırılıp daha sonra ahşap kalıplara dökülmesiyle birlikte güneş vasıtasıyla kurutulmasıyla elde edilen kerpiç (Resim 2.7); üretiminin kolay olması, malzemelerin rahatlıkla bulunabilmesi gibi sebeplerden dolayı tarihin çok eski zamanlarında dahi bulunduğu düşünülmektedir.

(<https://www.muhendisbeyinler.net/kerpic-nedir/>),

(<https://insapedia.com/kerpic-nedir-kerpic-kullanım-alanları-ve-yapı-elemanları/>).



Resim 2.7. Kerpiç yapımı, (<https://tr.wikipedia.org/wiki/Kerpi%C3%A7>)

### **2.3.4.Beton briket**

Pomza veya bims'in imento karışımıyla hazırlanan harç karışımının kalıplara dökülüp sıkıştırılmasıyla elde edilir. İhtiyaç duyulursa doğal ya da yapay katkı malzemeleri eklenebilmektedir. Boşluklu veya tam şekilde üretilmektedirler.

Üretim malzemesine özellikleri değişkenlik gösterebilmektedir. Hafif olmasından dolayı sıklıkla tercih edilenler bims ile üretilenlerdir. Daha ağır olan ve bu sebeple de dayanımı

daha yüksek olanlar ise kum ya da çakılla üretilenlerdir (<https://insapedia.com/briket-nedir-briket-duvarlarin-orulmesi/>). Yığma yapıların kullanımlarında kum, çakılla üretilenlerin kullanılması tercih edilmektedir.

Briketler (Resim 2.8); ucuz olması, ısı ve ses yalıtımlarının yüksek olması, donma-çözünme dirençlerinin ve basınç dayanımlarının yüksek olması, hafif olması gibi özelliklerden dolayı sıklıkla tercih edilmektedirler.



Resim 2.8. Beton briket, (<https://www.yapikulubu.com/briket-nedir-olculeri/>)

### 2.3.5.Ahşap (Çantı)

Çok eski tarihlerden itibaren özellikle ormanlık alanı bol olan kesimlerde ülkemizde ise Doğu Karadeniz kesimlerinde yaygın olarak kullanılmış yığma yapı türüdür. Tıpkı tuğla, taş vb. gibi ahşap yığma yapılarda da (çantı yapı) taşıyıcı sistem duvarlardır ve ahşap duvarların yük taşımadaki önemli görevinin yanı sıra yangın, nem, hayvan istilaları gibi etkenlere karşı korunması gerekmektedir.

Yapım malzemelerinin uygun olması, kolay erişilebilir olması, estetik olarak güzel durması, bulunan ortama uygun olması, yapım tekniğinin bilinmesi gibi sebeplerden dolayı dünya genelinde milattan önceki zamanlarda dahi kullanılmıştır. Günümüzde ise yayla evlerinde veya turizm amaçlı yerlerde estetik etkisinden dolayı kullanılmaktadır.

### 2.3.6.Harç

Yığma yapılarda kullanılan harçlar, kullanılan malzeme ile birlikte aderans sağlayarak malzeme ile harcın birbirine yapışmasını sağlar bu sayede birbirinden bağımsız hareket edemeyen taşıyıcı eleman olan duvarların dayanımları artmaktadır. Bir bütün olan harç ve duvar malzemesinde harçlar hem yapıştırma hem de dayanım arttırma görevindedir.

“Türkiye’de en çok kullanılan harç cinsi çimento ile takviyeli kireç harcıdır” (<http://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1805>).



“Harç dayanımları genelde düşüktür. Tuğla dayanımlarının da düşük olduğu gerçeği karşısında yüksek dayanımlı harç kullanmanın fazla bir yararı yoktur çünkü düşük dayanımlı tuğla ile yüksek dayanımlı harç kullanılmasının duvar basınç dayanımında önemli bir artış sağlamadığı bilinmektedir” (<http://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1805>).

Harç içerisinde; çimento, agrega, su ve gerektiğinde farklı malzemelerinde katıldığı organik olmayan bir karışımdır. Harç hesabı TS yönetmeliği gereğince çimento: kum: su = 1: 3: 0.5 oranındadır. Aynı oran farklı ülkelerin standartları gereğince değişebilmektedir.

Harç içerisine katılan agreganın kullanılan duvar malzemesine uyumlu olması beklenir. Böylece daha verimli bir aderans sağlanmış olur. Tuğla yapılarda genellikle doğal (tabii) ince agrega; 0-4mm kullanılması beklenmektedir.

#### **2.4.Yığma Yapıların Avantajları**

Geçmişten günümüze geleneksel bir şekilde aktarılmış ve uygulanmaya hala devam eden yığma yapıların tercih edilmesinin pek çok sebebi vardır. Tuğla yapıların avantajlarından bazılarını sıralayacak olursak:

- Tuğlanın uygun fiyatlı olması
- Bağlayıcı harç malzemelerinin uygun fiyatlı olması
- İşçiliğinin kolay ve bilinen bir sistemden oluşması
- Tuğla ile harcın iyi bir aderans sağlaması
- Kültürel mirasımızın büyük bir çoğunluğunu oluşması
- Estetik açıdan farklı tasarımlarda kullanılabilmesi
- Tuğlanın basınç dayanımının yüksek olması
- Tuğla duvarların genleşmelere dirençlerinin yüksek olması
- Gerekli güçlendirmeler yapıldığında deprem gibi yanal kuvvetlere karşı dayanıklı olması
- “Kutu şeklindeki taşıyıcı sistemleri basit ve süreklidir.” (Koç, 2016).
- “Düşey yükleri taşıyan duvar elemanları yatay yükler altında perde duvarı olarak görev yaparlar.” (Koç, 2016).

-“Taşıyıcı sistemde düğüm noktaları olmadığı için iç kuvvetler belirli bölgelerde aşırı değerlere ulaşmazlar ve oldukça düzgün bir dağılım gösterirler.” (Koç, 2016).

-“Yığma sistemin kuruluşu ve yapımı basit olduğundan kalifiye işçilik gerektirmez, sistem işçilik hataları tolere edebilir.” (Koç, 2016).

## 2.5. Yığma Yapıları Oluşturan Elemanlar

### 2.5.1. Duvarlar

#### Duvarların özellikleri

Genel tanımıyla üzerine gelen yükleri temele ileten ve binalarda odaları birbirinden ayırıp binayı dıştan saran yapı elemanıdır duvarlar. Yığma yapılarda duvarlar taşıyıcı elemanlardır. Bu yüzden yönetmelikleri gereğince inşa edilmesi ve belirli inceliklere dikkat edilmesi gerekmektedir.

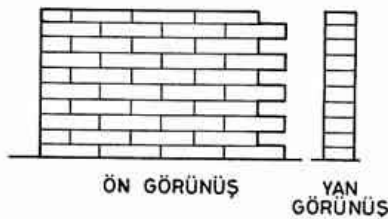
“Boşluklu beton briketler, dolgu duvarlar için üretilmiş diğer tuğlalar, kerpiç, moloz, taş, ponza taşı ve benzeri biçim verilmiş bloklar, hiçbir zaman taşıyıcı duvar malzemesi kullanılmayacaktır.” (TBDY,2018).

#### Duvar örgü tipleri

##### Düz örgü

Yan yana dizilmiş tuğlalardan ilk sıra oluşturulduktan sonra her sırada alt sıradan yarım tuğla boşluğu bırakılarak yan yana örülen örgü tipidir (Şekil 2.3). Bu örgü tipinin duvar kalınlıklarınının az olmasından kaynaklı olarak yük taşımayan duvarlar için kullanılmaktadır.

YARIM TUĞLA KALINLIĞINDA, DÜZ ÖRGÜ İLE  
TUĞLA DUVAR YAPILMASI

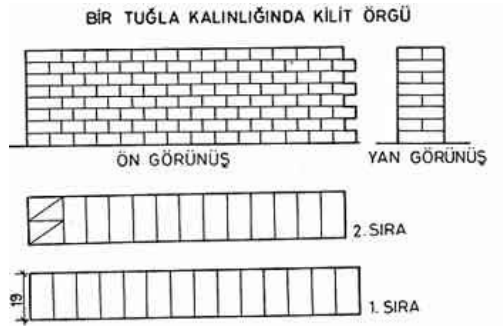


Şekil 2.3. Düz örgü görüntüleri,

(<http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=196>)

### Kilit örgü

Bu örgü tipinde (Şekil 2.4) üst üste yerleştirilen örgü sıraları arasında çeyrek tuğla mesafe bırakılmaktadır. Genellikle dolgu duvarlar için kullanılmakta olan kilit örgü tipi çok fazla tercih edilmemektedir.

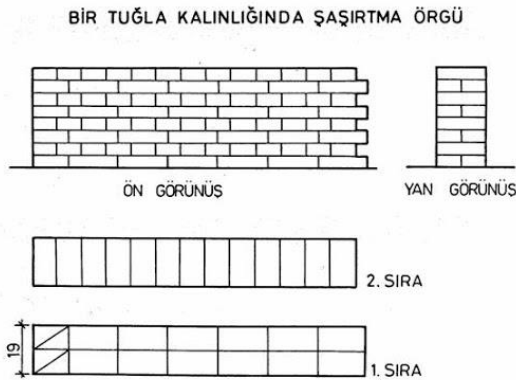


Şekil 2.4. Kilit örgü görünüşleri,

(<http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=196>)

### Şaşırtma (Blok) örgü

En sık kullanılan bu örgü tipinde; hem düz örgü tipi hem de kilit örgü birlikte kullanılmaktadır. 1 sıra düz örgü olarak yapılırken devamı kilit örgü olarak gelir bu şekilde devam etmektedir (Şekil 2.5).



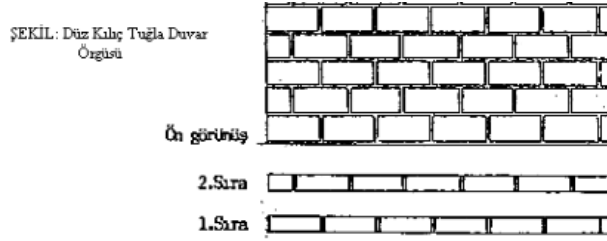
Şekil 2.5. Şaşırtma örgü görünüşleri,

(<http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=196>)

### Düz kılıç örgü

Şaşırtmalı olarak örgü sıralarının üst üste gelmesiyle örülen örgü tipidir (Şekil 2.6). Bu örgü tipi genellikle yük taşımayan ve yükseklik-uzunluğu yüksek olmayan bölme duvarlarda kullanılmaktadır.



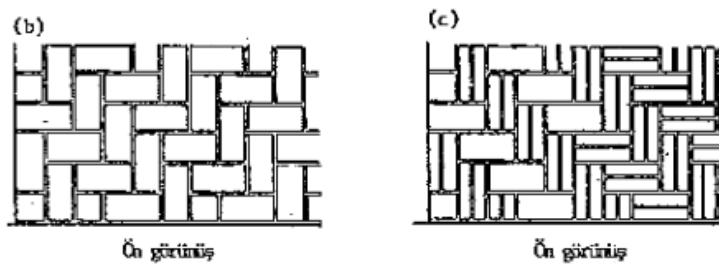


Şekil 2.6. Düz kılıç örgü görünüşleri,

(<https://ders.insaatbolumu.com/yapi-elemanlari/baslica-tugla-duvar-orguleri/>)

### Katona örgü

Estetik açıdan değerlendirilmek için kullanılan düz kılıç örgü tipine benzerlikleri bulunan örgü tipidir (Şekil 2.7).

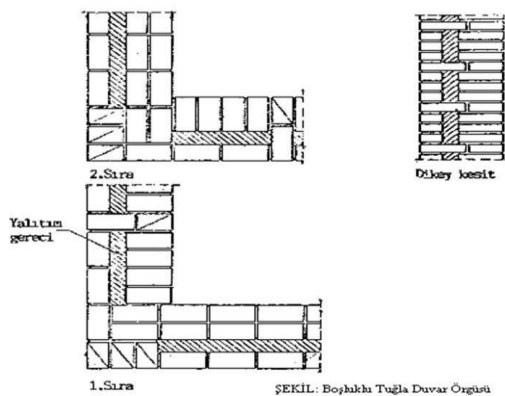


Şekil 2.7. Katona örgü görünüşleri,

(<https://ders.insaatbolumu.com/yapi-elemanlari/baslica-tugla-duvar-orguleri/>)

### Boşluklu duvar örgüsü

Tuğla sıraları arasında 5 cm boşluk bırakılarak oluşturulan örgü tipidir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Boşluklu duvar örgüsü, (<https://slideplayer.biz.tr/slide/2892904/>)

Tuğla duvarlar örülürken dikkat edilmesi gereken kurallar mevcuttur. Bu kurallar aşağıda sıralanmıştır:

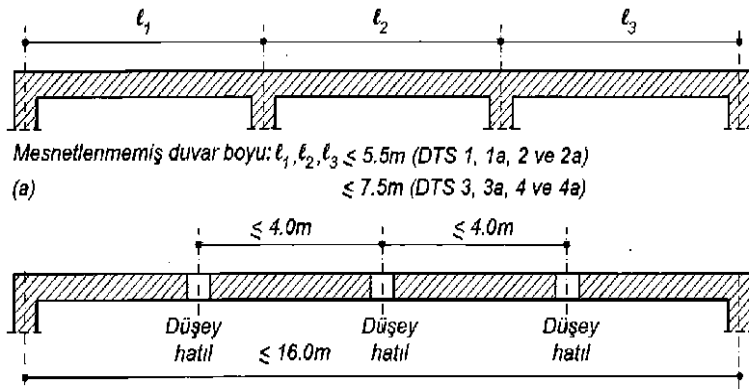
- 1) Duvar örümü için kullanılacak olan tuğlaların yüzeyleri temiz ve şekillerinin düzgün olması gerekmektedir.
- 2) Duvarlar örülmeden önce tuğlaların suyla ıslatılması gerekmektedir.
- 3) Duvarlar örülürken öncelikle 2 kenar kısımdan örülmeye başlanılır ve ortalar daha sonra doldurulur.
- 4) Eşitliklerinin kontrolleri için ip çekilmeli ve su terazisinden yardım alınmalıdır.
- 5) Üst üste dizilen duvarların dik derzlerinin aynı doğrultularda buluşmaması gerekmektedir.
- 6) Don olma ihtimali ile karşılaşıldığında bu duruma özel ilave önlemler alınmalıdır.
- 7) İnce derz kullanılmasına dikkat edilmelidir.
- 8) Duvar örülen tarafın şekül ile kontrol edilmesi gerekmektedir.
- 9) Tuğlalar kullanılan harca bastırılarak yerleştirilmelidir.
- 10) Harcın fazla konulmamasına dikkat edilmeli, dışarıya taşmaması gerekmektedir.
- 11) Genel olarak tam tuğla kullanılmalı, örgü tipine göre  $\frac{1}{2}$  veya  $\frac{1}{4}$  vb. şekilde kullanılmalıdır.

### **2.5.2. Temeller**

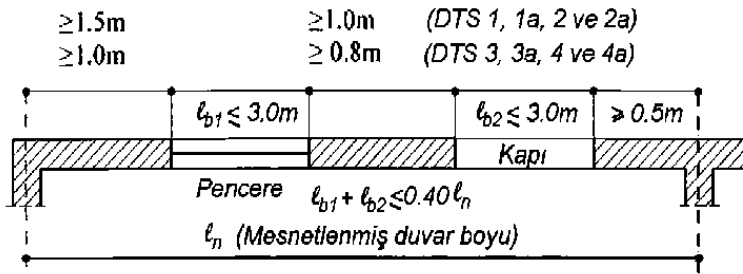
Duvar altı temellerde kullanılan yığma yapılar yük taşıdıklarından dolayı tüm duvarların altına temel yapılmasına dikkat edilmelidir. Proje aşamasında temel boyutları çok dikkatli seçilmelidir. Duvar altında bırakılacak konsol boyutu ise ancak projeler oluşturulurken gelen yük miktarı ve zeminin taşıma gücüne bağlı olarak seçilmektedir.

### **2.5.3. Lentolar ve hatıllar**

Lentolar ve hatıllar atılırken 2018 Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği'nin sunduğu kurallar doğrultusunda atılmasına özen gösterilmesi gerekmektedir (Şekil 2.9 ve Şekil 2.10).

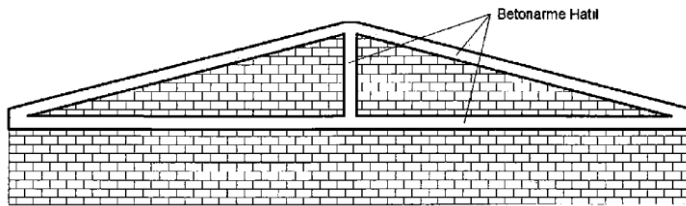


Şekil 2.9. "Taşıyıcı duvarların desteklenmemiş en büyük uzunlukları ve düşey hatıllar arası mesafeler" (TBDY,2018)



Şekil 2.10. Kapı ve pencere boşlukları için verilen kuralların görseli, (TBDY,2018)

#### 2.5.4. Çatılar



Şekil 2.11. Çatıdaki hatılın görseli, (TBDY,2018)

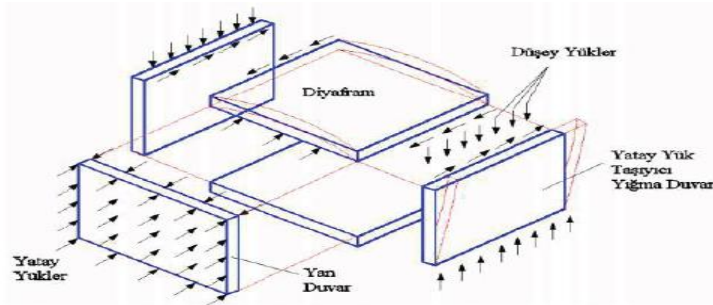
"En üst kattaki yatay hatıla oturan çatı kalkan duvarının yüksekliği 0.8 m'den büyük ise düşey ve eğik hatıllar yapılacaktır (Şekil 2.11)." (TBDY,2018).

#### 2.5.5. Döşemeler

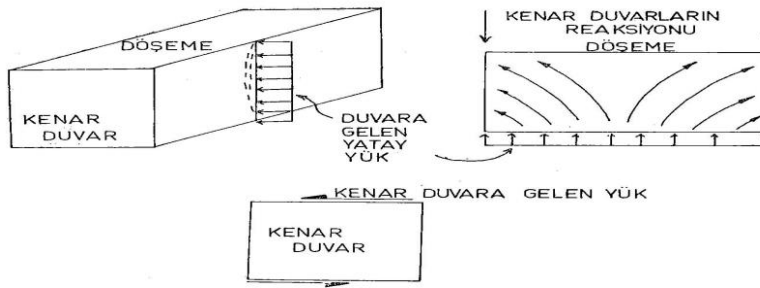
Uygulanacak döşeme türü duvarların üzerini kapatıp kutu şeklinde bir sistem oluşturmaktadırlar. Ahşap, betonarme vb. döşeme tipleri kullanılabilir ancak her aşamada olduğu gibi bu aşamada da duvarlar taşıyıcı sistem olduklarından ölçülerin dikkatli bir şekilde hazırlanıp titizlikle uygulanması gerekmektedir.

## 2.6. Yığma Yapıların Deprem Hesabı

İlgili bir statik programında modellemesi yapılan taşıyıcı sistemin yükleri etki ettirildikten sonra çözümlenmesi yapılmalıdır (Şekil 2.12 ve Şekil 2.13).



Şekil 2.12. “Deprem kuvvetlerinin aktarılması” (Çöğürçü, 2007)



Şekil 2.13. Yığma duvarlarda yatay yük altında yükleme durumu, (TBDY,2018)

2018 Türkiye Bina ve Deprem yönetmeliğinin izin verdiği 2 adet yapısal çözümleme yöntemi vardır; 1) sonlu elemanlar, 2) eşdeğer çubuk

“Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, taşıyıcı duvar; ayrıntılı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme veya makro modelleme teknikleri kullanılarak modellenebilir.” (TBDY,2018).

“Eşdeğer çubuk yöntemi kullanılarak yapılacak çözümlemede, yığma duvarın rijitliği kayma ve eğilme deformasyonları dikkate alınarak hesaplanacaktır.” (TBDY,2018).

## 2.7. Yığma Yapılarda Görülen Hasarların Sınıflandırılması

Yığma yapılar; taşıyıcısı diğer yapı türlerinde ve yığma yapılarda da bölme ve çevreleme amaçlı kullanılan yapı elemanı duvarlar olan yapı türüdür. Bu nedenle duvarlarda görülen bir hasar tüm yapının dayanımını ve rijitliğini etkilemektedir. Yığma yapıların davranışlarının tayini kesinlik içeremediği için oluşan hasarların tüm yapıda tam olarak nasıl bir zararı teşkil ettiği bilenememekle birlikte yapılarda oluşan hasarların neden oluştuğu hakkında birçok araştırma vardır. Betonarme bir yapının duvarlarında görülen kılcal

çatlaklar basit nedenlerle açıklanıp yapıya çok büyük bir zararı olmadığı dile getirilebilirken yığma yapılar için bu durum farklıdır. Yapının davranışlarını etkileyecek bir kılcal çatlaksa yani bu çatlak ilerleyip daha büyük bir çatlakla karşılaşılacaksa önlemler alınması gerekmektedir.

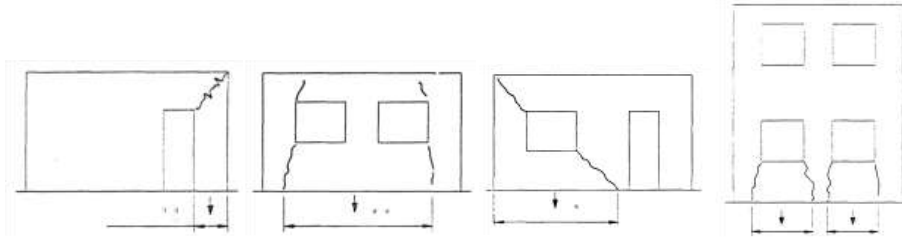
Yığma yapıların ağırlıklarının fazla olması bununla birlikte rijitliğinin yüksek olması deprem gibi bir yanal kuvvet karşısında gevrek davranıp çatlama, kırılma, kopma ve dağılma davranışları göstermektedir. Yığma yapılar inşa edilirken dikkat edilmesi gereken noktalara özen gösterilmeyip, yönetmelikteki maddelere uyulmadan inşa edilmesi de yapının başlangıçtan depreme karşı yetersiz üretilmesini sağlamaktadır.

### **2.7.1. Temel oturma çatlaklarının oluşması ve meydana getirdiği hasarlar**

Oturmanın miktarına göre ya da olduğu bölgeye göre yığma yapılarda çatlaklar gözlemlenebilmektedir (Şekil 2.14). Bu çatlakların üst yapıya yansması farklı çeşit ve genişliklerde olmaktadır.

Çatlakların olduğu kısımlara göre oturmalar değerlendirilecek olunursa; çatlaklar oturmanın kendisinden dolayı oluşuyorsa çatlakların gözlemlendiği yer ile çatlakların çeşitlerine göre oturmaların hatta varsa çökmelerin ortaya çıktığı bilinebilmektedir. Eğer oturmalar yapının köşelerinde oluşuyorsa çatlaklar üst kısımlara doğru devam edebilmektedir, oturmalar köşe kısımlarda değil de orta kısımlarda gözlemlenirse çatlaklar üst kısımlara doğru azalmaktadır.

Oturmaların meydana gelmelerinin ana sebebi temellerin dayanımlarındaki düşmelerdir. Yığma yapıların taşıyıcı duvarlar olduğu için her duvarın altında sömeller mevcuttur. Meydana gelecek oturmalarda yapının bütün dayanımını etkilemektedir. Zemine aktarılan yük miktarı çok fazla olmadığı için incelenmesi gereken bölüm zeminin kendisidir. Temellerde oturmaların oluşmasına sebep olacak bazı olaylar; yeraltı sularının aracılığıyla kuraklık veya su kaçağı ile zemindeki dayanımın düşmesi, zemin türü killi topraktan ise dolaylı olarak belli bir süre sonucunda konsolidasyon oturması oluşmaktadır.



Şekil 2.14. “Yığma yapılardaki çeşitli temel oturma çatlakları” (Bayülke, 2001)

### 2.7.2. Depremden kaynaklanan hasarlar

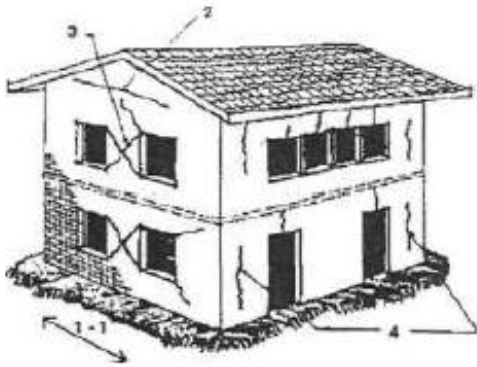
Yığma yapılar genellikle kırsal kesimlerde herhangi bir mühendislik çalışması olmadan inşa edilmektedir. Yönetmelik gereğince yapılması gerekenler yapılmayıp, alınması gereken önlemler alınmadığı için deprem karşısında savunmasız kalmaktadır. Bu yığma yapılar depreme karşı yetersiz olsalar bile günümüzde bazı tedbirlerin alınması sayesinde savunma mekanizması arttırılabilmektedir. Duvar altı ve duvar üstü hatıllar bu konudaki tedbirlerden biridir. Duvarları kaplayan bu hatılların malzemesi basit bile olsa etkisi yadsınamaz. Duvar hatılı kullanılmazsa zemine gelen yükler güçlkle gelmektedir. Eğer kullanılırsa yayılı bir yük zemine aktarılıyormuş gibi davranarak duvarlar ve yapı-zemin etkileşimlerinde güzel sonuçlar vermektedir.

Yığma yapıların deprem hasarlarına bakıldıklarında duvarların düzlem dışı kırıldığı gözlemlenmektedir (Şekil 2.15). Bu durum duvarın eğilmeye çalıştığını ve bunun doğrultusunda oluşan göçmeyle ilişkilidir. Düzlem içi kırılmalar ise ezilme dayanımları ile ilişkilidir. Yığma yapıların duvarlarının düzlem içi dayanımları düzlem dışı dayanımlarına göre daha yüksektir. Bu duvarların üst alanlarında yönetmelik gereğince uygun rijitlik değerlerinde döşeme, lento bulunmuyorsa düzlem dışı hasarlar görülür. Bunun yanı sıra eğer su basman, kapı, pencere hatılı ve döşeme hatılı gibi yatay eleman bağlantıları yönetmeliğe göre yapılmamışsa risk fazladır. Toplu kullanılan alanlarda bu konuya dikkat edilmesi gerekmektedir.

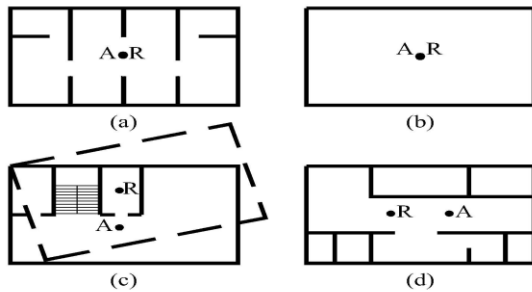
Yığma yapılar basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük yapılardır. Bu sebeple çekme gerilmelerine karşı güçsüz olan ve ağırlıkları fazla olan rijit yığma yapılar deprem yükü geldiği zaman sünek davranış sergileyemediği ve çok fazla yer değiştirme yapamadığı için gelen yüklerle birlikte çatlamaya başlar. Bu çatlamalara çekme-kesme zorlanmaları denir. Bu çatlaklar deprem yükünün geldiği sırada veya daha sonra ilerlemeye devam edip derinleşebilir hatta kopma ve göçme davranışı gösterebilirler. Bu çatlakların derinlikleri, kılcallanmaların tipi duvarın tipine ve kullanım amacına, kullanılan malzemeye göre

değişkenlik göstermektedir. Özellikle kapı ve pencere boşluklarının alanlarında fazlasıyla görülmektedir.

Şartnamelere uygun hazırlanmış bir yığma yapı simetrik davranış gösterir ve ağırlık merkeziyle rijitlik merkezinin yığma yapının tabiatı gereği uygulamada çakışmaması bile yakın bulunması gerekmektedir ki yapının çatlaması önlenibilsin. Fakat yönetmeliğe dair bir bilgi olmadan, mühendislik alanında herhangi bir çalışma olmadan yapılan yığma yapılarda simetrik bir planı olmadığı için ağırlık merkezi ve rijitlik merkezi birbirine yakın değildir (Şekil 2.16).



Şekil 2.15. Deprem kuvvetiyle yığma binada meydana gelen hasarlar (Döndüren, 2008)



Şekil 2.16. Yığma yapı plan örnekleri (Çamlıbel, 2000)

a ve b resimlerinde ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi çakıştığı için ve gelen yanal deprem kuvveti yapı ağırlık merkezine etkidiği için rijitlik merkeziyle çakışması durumunda yapının büyük hasarlar alması önlenmiş olmaktadır. Fakat c şeklinde ağırlık merkeziyle rijitlik merkezi birbirinden uzak konumdadır. Olası bir depremde ağırlık merkezi rijitlik merkezine doğru dönmeye başlayacak ve burulma meydana gelecek bu da burulma çatlaklarına hatta ilerlerse kopma ve göçmeye kadar ulaşacaktır. D şeklinde de duvarlar çok fazla yer değiştirme yapacakları için çatlamalar oluşacaktır.

Yığma yapılarıdaki hasarlar genellikle temelin oturması, duvarlarda çatlakların meydana gelmesi, malzeme bozulması ve deformasyon olarak bilinmektedir. Bunlardaki en büyük etkenlerden bir diğeri ise duvar ve harçtır. Yapıya kullanılan malzemelerin özellikleri farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Duvar ve harç arasında yeterli aderans sağlanmamışsa bir bütünlük oluşturamadıkları için çok az bir zorlanmada dahi göçme gözlemlenmek mümkündür.

## **2.8. Yığma Yapıların Deprem Hasar Düzeyleri**

Yığma yapıların hasar düzeylerinin belirlenmesi ve bilinmesi yapının durumuna göre hangi müdahalenin yapılması gerektiğini açıklamaktadır. 5 durumla ifade edilebilen hasar düzeyleri; hasarsız veya az hasarlı, az hasarlı, orta hasarlı, ağır hasarlı, yıkılmış yığma yapı olarak sınıflandırılmaktadır.

### **2.8.1. Hasarsız veya az hasarlı yığma yapılar**

Bu tarz hasar düzeyleri herhangi bir çatlakın gözlemlenmediği ya da yüzeysel olarak oluşan çatlakların kılcal çatlak boyu 1 mm'yi geçmeyen hasar düzeyidir. Gözlemlendiği yapıda herhangi bir onarım ve güçlendirme yapılması beklenmez.

### **2.8.2. Az hasarlı yığma yapılar**

Az hasarlı yığma yapılarda çatlakların kılcal boyu 1-10 mm arasındadır. Çatlakların duvarına için inmiş olabileceği ihtimali düşünülmelidir. Bu çatlak tipi kesme çatlaklarıdır ve X şeklindedir.

### **2.8.3. Orta hasarlı yığma yapılar**

Bu hasarın anlaşılması duvarlar oluşan X kesme çatlaklarıdır. Yalnız çatlakların genişlikleri az hasarlı yığma yapılarıdaki çatlaklara göre 10-25 mm daha fazladır. Duvarlarda genel olarak çok önemli bir hasar yoktur (Önal ve Koçak, 2008).

### **2.8.4. Ağır hasarlı yığma yapılar**

- a- Çatlak genişlikleri 25mm'den fazladır.
- b- "Duvarlarda düşeylerden uzaklaşma" (Önal ve Koçak, 2008).
- c- "Köşelerden duvarların ayrışması" (Önal ve Koçak, 2008).



**d-** “Duvarlarda düşey yüklerden dolayı şişmeler ki bunlar kesme kuvvetlerinin oluşturduğu çatlakların etkisi ile zayıflamış ve paralanmış duvarların düşey yükleri de taşıyamaz duruma gelmiş olduklarını gösterir” (Önal ve Koçak, 2008).

### 2.8.5. Yıkılmış yığma binalar

“Taşıyıcı duvarlarının önemli bölümü yıkılmış, döşemeler birbiri üstüne yığılmış ya da oturdukları duvarları yıkılması sonucu kendilerinde de çatlaklar ve kırılmalar olmuş döşemeleri olan yığma yapılardır. Onarılamazlar.” (Önal ve Koçak, 2008).

“Yığma yapıların hasar düzeyi ve onarılıp onarılamayacağı ya da güçlendirmenin gerekip gerekmediği yine yapıdaki hasar ile oluşan depremin şiddeti arasındaki ilişkiden gidilerek yapılmalıdır.” (Önal ve Koçak, 2008).

“1. ve 2. düzeydeki hasar yığma yapılarda VI-VII şiddetindeki depremlerde beklenmelidir. 3. ve 4. düzeyindeki hasar VIII-IX şiddetlerinde, 5. düzeyindeki hasar ise IX’dan büyük şiddetlerde oluşması beklenen hasar düzeyleridir.” (Önal ve Koçak, 2008).

Çizelge 2.1. İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Denetim Uygulama Merkezi tarafından hazırlanan çizelge, “Yığma yapılar için hasar kriterleri”, (Özsaraç, 2009)

Çatlak Genişliği	Hasar Derecesi	Açıklama
0.1 mm'den az	Önemsiz	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0.1-0.3 mm	Önemsiz-Az	Taşıyıcı sisteme ve kullanıma etkisi yoktur
0.3-1 mm	Az	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir
1-2 mm	Orta	Taşıyıcı sisteme etkisi yoktur. Mimari tamirler gerekir
2-5 mm	Orta	Taşıyıcı sistem etkilenir. Dış duvarlardan içeriye gelen hava akımı hissedilir. Yapının kullanımı etkilenir.
5-15 mm	Orta-Ağır	Pencere ve kapılar sıkışır. Su ve kanal bağlantıları kırılır. Yapı içine su ve soğuk girer. Pencere camları kırılır. Tuğla duvarlar parçalanır. Yığma kemerler çöker. Kabul edilemez çatlak sınırına ulaşmıştır.
15-25 mm	Ağır	Yapının taşıyıcılığı büyük tehlike altındadır. Önemli tamir ve takviyeler gereklidir.
25 mm'den çok	Çok ağır	Yapıda ağır hasar mevcuttur. Çok önemli takviye ve yıkım gereklidir.

## 2.9. Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi

Mevcut bir yığma yapı deprem vb. etkilerden dolayı hasar gördüğünde yapının tekrar eski haline getirilip yük taşıyabilen bir duruma ulaşmasını sağlamaya yapının onarımı denilmektedir. Yapı deprem vb. etkilerden hasar görmüş ya da herhangi bir hasar görmeden bile mevcut durumundan daha iyi bir yük taşıma kapasitesine sahip olması gibi dayanımını artırıcı özelliklere erişmesi istenirse de bu duruma yapının güçlendirmesi denilmektedir.

Yığma yapı şartlar normalken bile yapıda çatlaklar, deformasyonlar gözlemleniyorsa güçlendirme uygulandığında mevcut halinden daha iyi bir davranış sergilemesi gerekmektedir ki deprem vb. olası yıkıcı etkilere karşı daha sağlam bir davranış sergilesin. Zaten güçlendirmenin amacı da mevcut halinden daha iyi bir konuma getirilmesidir.

Bir yapıya güçlendirmenin mi yoksa onarımın mı uygulanacağını belirlemek için bazı durumlar vardır. Bahsedilen yöntem mevcut bir yapı üzerinden ele alınmadığı için genel kapsamı içermektedir çünkü yapıdan yapıya birçok farklı etken bu durumu değiştirebilmektedir. Yapı ağır hasarlı sınıftaysa; taşıyıcı elemanların da ağır hasar aldığı anlamına gelmektedir. Bu durumda yapının onarım ya da güçlendirilmesi için çok fazla işlem ve takviye gereklidir. Eğer yapı kültürel miras kategorisinde değil ise uygulanması planlanan yöntemin maliyeti hesaplanır ve büyük ihtimalle yapının yıkılıp tekrar yapılması hem maliyet açısından hem de taşıyıcı sistemin güvenilirliği açısından daha uygun bir karardır. Eğer yapı az hasarlıysa; yapıda gerekli incelemeler yapıldıktan sonra onarım uygun olarak ifade edilebilir. Fakat isteğe göre ya da yapı bir deprem bölgesinde ise sıklıkla karşılaşılabileceği depremler için yapının daha dayanımlı olması gerekmektedir ve bunun için de yapının güçlendirilmesi gerekmektedir. Eğer yapı orta hasarlı ise; gerekli tüm incelemeler detaylı olarak yapılmalıdır. Az hasarlı yapıdaki gibi çatlakların bu yapıda devamının olma ihtimali göz önünde bulundurulması gereken etkenlerden biridir. Yapının durumuna karar verildikten sonra güçlendirme yapılacaksa hangi tür güçlendirmenin yapılacağı çok önemlidir. Güçlendirme türüne karar verilirken yapının içinde bulunan canlıların çıkarılıp çıkarılmaması gerektiği, güçlendirmenin zaman aralığı gibi durumlarda dikkate alındıktan sonra maliyet hesabı yapılmalıdır.

Yığma yapıların güçlendirilmesi için 2 adet güçlendirme yöntemi vardır; temellerin güçlendirilmesi ve duvarların güçlendirilmesi.

### **2.9.1. Temellerin güçlendirilmesi**

Yığma yapıların temellerinin güçlendirilmesindeki asıl amaç yapının taşıyıcı sistemine bir zarar verilmeden güçlendirilen kısım ile yapının mevcut kısmın bir bütün halinde birlikte çalışması sağlanarak yük aktarımının daha başarılı bir şekilde gerçekleşmesini sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda temellerin güçlendirilmesi için farklı yöntemler kullanılabilir. Temel hatıllarına takviye yapılması, temelin altına yeni ayakların yapılması gibi yöntemler tercih edilmektedir. Temel hatıllarına yapılan takviye ile yapıdan gelen yükler artık takviye yapılmış temellere aktarılması sağlanmaktadır. Temelin altına yeni ayakların eklenmesi ile ise gelen yükün eski sistemden yeni ayaklara aktarılması sağlanmış olmaktadır.

### **2.9.2. Duvarların güçlendirilmesi**

Yığma yapıların güçlendirilmesinde en çok kullanılan yöntem yığma duvarların güçlendirilmesidir. Yığma yapılarda yükü taşıyan elemanlar duvarlar olduğu için duvarları güçlendirerek yapının dayanımını direkt etkilemesi amaçlanmaktadır. Geçmişte yaşanan depremlerden sonra günümüzden birkaç yıl öncesine kadar olan süreçte duvar güçlendirme yaygınlaşan bir çalışma olmuştur. Gerek üniversitelerde gerekse ilgili birimlerde bu konu üzerine ağırlık verilerek üzerinde çalışılmış ve çalışılmaya devam edilmektedir. Güçlendirme işleminin ilgili uzman firmalar ve uzman insanlar tarafından yapılması gerekmektedir. Sadece ülkemizde değil dünya çapında yaygın olan bu konu hakkında birçok ülke kendini geliştirip yönetmeliklerini tamamlamış olsa da ülkemizde hala araştırma konusu olup gelişmeye ve düzenlenmeye ihtiyacı vardır.

Güçlendirilen yöntemin; ekonomikliği, işçiliğinin kolay uygulanabilmesi, güçlendirilme yapılacak malzemenin ulaşılabilirliği, güçlendirilme yapılacak malzemenin ağırlığı, yapının tarihi eser olması, yapının içi boşaltılmadan uygulanabilmesi gibi etkenlerden dolayı birçok farklı güçlendirme yöntemi söz konusudur. Uygulanan yöntemler kendi içlerinde hemen hepsinde istenilen amacın yani yapının depreme karşı dayanımının artması sağlanmış olsa da birbirleriyle kıyaslandığında farklı parametreler doğrultusunda bazı yöntemler kendini öne çıkarıp bazıları ise tercih edilmemekle kalmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan güçlendirme yöntemlerinden bazıları aşağıda detaylı olarak verilmektedir. Bu güçlendirme yöntemleri ile ilgili çalışmalar da önceki çalışmalar bölümünde verilmiştir.

### Püskürtme beton ile güçlendirme yöntemi

Püskürtme beton ile güçlendirme sistemi yığma, betonarme, çelik yapılarda güçlendirme aşaması için uygundur. Günümüzde yaygın olarak hasar görmüş yapılarda veya hasar görmemiş ama yapının dayanımı arttırmak istendiğinde yığma ve betonarme yapılarda güçlendirme amacıyla kullanılmaktadır. Püskürtme beton yapıya kalıp yapılamadığı zamanlarda ve ekonomiklik açısından tercih edilmektedir.

“Püskürtme beton ile güçlendirmede kullanılan beton basınçlı hava ile uygulanan bir malzemedir. Karışımın hazırlanmasında iki ayrı metot kullanılmaktadır.” (Orulkaya, 2019). Bunlar: Kuru karışım püskürtme beton ve ıslak karışım püskürtme betondur.

1) Kuru karışım püskürtme beton: Çimento ve agrega belirli oranlarda karıştırılır. Basınçlı havayla hortumun ucuna aktarılan karışım basınçlı su ilavesiyle uygulanacak yüzeye püskürtülmesiyle yapılmaktadır (Şekil 2.17).

2) Islak karışım püskürtme beton: Çimento, agrega ve su bir arada karıştırılır. Hazır olan karışım basınçlı havayla birlikte hortumun ucuna aktarılır ve bu şekilde uygulanır (Şekil 2.18).



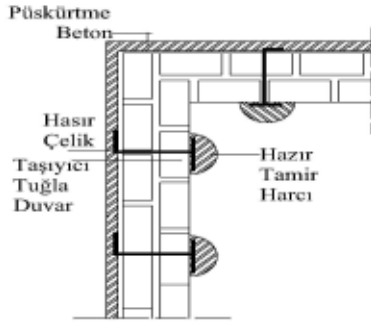
Şekil 2.17. Püskürtme betonu-kuru sistem (Bekişoğlu, 1993)



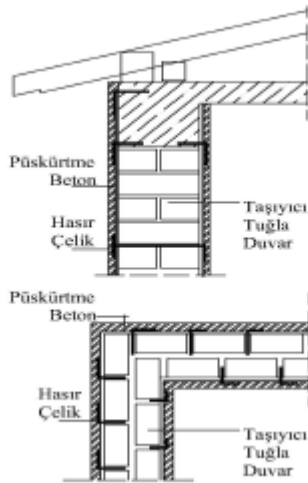
Şekil 2.18. Püskürtme betonu-ıslak sistem (Bekişoğlu, 1993)

Püskürtme beton duvarın çift yüzüne uygulanabileceği gibi tek yüzüne de uygulanabilir (Şekil 2.19), (Şekil 2.20). Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre çift yüzü

uygulanan püskürtme betondan alınan sonuçlar daha iyidir. Püskürtme beton için kullanılacak hortumun kuru karışım uygulanacaksa su basınçlı, yaş karışım uygulanacaksa hava basınç olması gerekmektedir.



Şekil 2.19. “Tek taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması”, (Onar, 2007)



Şekil 2.20. “Çift taraflı hasır çelik ve püskürtme beton uygulaması” (Onar, 2007)

Püskürtme beton uygulanacak duvar yüzeyinin ilk başta temizlenmesi ve eğer kuru ise ıslatılıp nemli bırakılması gerekmektedir. Eğer uygulanacak yüzeye uygulama amacı basit düzeyde bir onarım ise donatı kullanılmasına gerek yoktur. Ama güçlendirme uygulaması için yapıya uygun nitelikte ve boyutlarda donatı seçilmesi önemlidir. En çok tercih edilen donatı türleri yuvarlak ve hasır olanlardır. Duvara yerleştirilen donatının uygulama aşamasında yerinden çıkmaması için fazla hareket etmemesi gerekmektedir. Uygulanacak karışım standartlara uygun olarak hazırlandıktan sonra püskürtme beton uygulamasında uzman kişinin hortumu uygulanacak yüzeye dik bir şekilde ve 1 veya 1.5m uzaklıktan uygulaması gerekmektedir. Eğer daha yakından uygulanırsa istenilen düzeyde yapılaşma gerçekleşmeyebilir. Daha uzaktan uygulanırsa kesikler meydana gelebilir ve bu da ilerde

çatlaklara sebep olabilir. Katmanlar halinde uygulanacak püskürtme betonun ilk katmanı bittikten sonra tamamen kurumadan ikinci katmana geçilmelidir.

#### Çimento enjeksiyonu ile güçlendirme yöntemi

Tuğla ve taş duvarlar için uygun olan yaygın olarak moloz taş duvarlar için kullanılan çimento enjeksiyonu yöntemi, duvarların içlerine de yetiyecek şekilde boruların yerleştirilmesi ile başlar. Bu işlem için delikler açılırken duvarın durumuna göre hareket edilmelidir, genellikle 30-40 cm mesafede bir açılan delikler her duvar için bunu gerektirmez. Enjeksiyon yapılacak duvarlara borular yerleştirildikten sonra hem iç kısmına hem de dışa sıva uygulanır. Enjeksiyon kullanılan çimento güçlendirme için önemlidir. Yaygın olarak portland çimentosu kullanılmaktadır. Hazırlanan çimento şerbeti açılan deliklere aktarılır ve içleri doldurulur. Bu sayede enjeksiyon yapılan yığma yapıların dayanımları arttırılmış olur.

#### Çelik elemanlar ile güçlendirme yöntemi

Bu yöntem birçok farklı şekli yapılabilmektedir. Çelik elemanlar; çelik, profil, lif, şerit gibi malzemeler olabilmektedir. Kullanılan çelik elemana ve güçlendirme yapılacak duvarın mevcut durumuna göre yapılacak çeşide karar verilir. Genellikle yapıda çatlak bulunması ve bu çatlağın ilerlemesini önlemek için bu yöntem başvurulur.

Eğer yapının mevcut durumu buna elverişli ise duvarlarda delikler açılır, açılan deliklere donatılar yerleştirilir ve donatıların uçlarına çelik elemanlar(somun, levha) takılarak sıkıştırılır. Bu şekilde sıkışan duvarlarda mevcut çatlağın ilerlemesi önlenmiş olunur.

Bir başka yöntemi ise duvarda delik açma işlemi olmadan duvarın etrafının köşebentler ve çelikler ile kaplanmasıdır. Veya duvarın donatı ile bağlanması gibi yöntemlerde vardır.

Yöntemler değişse de üzerinde çalışmaları devam eden bu konu hakkında hepsindeki amaç çatlakların genişleyip ilerlemesini önlemek ve yapıda güçlendirme sağlamaktır.

#### Epoksi reçine enjeksiyonu ile güçlendirme yöntemi

Çatlak onarımlarında genel olarak epoksi reçinesi iki şekilde tercih edilmektedir.

1) Epoksi enjeksiyon yöntemi: Genellikle 0.2-0.3 mm genişliğindeki çatlakların onarımı için uygun olduğu düşünülmektedir. “Düşük viskoziteli epoksi reçinesi sürekli bir düşük basınç altında iştirilmektedir. Bu yöntemle betondaki ince ve kılcal eğilme çatlakları kapatılmakta ve çatlak yüzeyinde çekme kuvveti aktarımı gerçekleştirilmektedir.” (Önal ve Koçak, 2008).

2) Epoksi harcı ile doldurma yöntemi: Bu yöntem daha çok ezilmiş, parçalanmış ya da dökülmüş betonlara doldurma yapmak için kullanılmaktadır. “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.” (Önal ve Koçak, 2008).

#### Betonarme mantolama ile güçlendirme yöntemi

Günümüzde yaygın olarak yığma duvarlar için kullanılan güçlendirme yöntemlerinden biridir. Bu yöntem uygulanırken öncelikle duvarda delikler açılıp hasır çelikler bu delikler vasıtasıyla duvara yerleştirilir. Temiz duvar yüzeyine ilk önce yüksek basınçlı su püskürtülür. Bu işlemin yapılma nedeni eğer duvar yüzeyindeki temizliğin yapılmasıdır. Ve daha sonra yine yüksek basınçla beton püskürtülür. Önceden ıslak olan duvar yüzeyine gelen beton bu şekilde daha iyi bir aderans sağlayarak yapışır. Ayrıca kopma gözlenen yerlerde su ile ıslatılıp püskürtme beton aktarıncaya kadar onarımda sağlanmış olunur. Yaklaşık 5 cm olacak şekilde püskürtülen beton kullanılan adıyla beton bant oluşturulmuş olunur.

#### Perde duvar ile güçlendirme yöntemi

Bu yöntem bazı kaynaklarda yığma duvarların depreme karşı dayanımının artırılması amacıyla güçlendirme yöntemlerinden en çok dayanım sağlayan olarak geçmektedir. Bunun yanında ise bazı olumsuz yanları da mevcuttur.

Bu yöntem yapılırken duvarların bazıları yıkılıp temelden başlayarak en üste kata kadar uygulanması gereken perde duvarlar yapılır. Yapıyla simetrik bir şekilde olmasına dikkat edilerek uygulanan bu yöntem yapıya rijitlik katar. Temelden başlayan perde duvarlar için temel kazısı gerekmektedir. Eğer yapının dışından yapılıyor ise bu aşamada çok fazla bir sorunla karşılaşılmaz. Eğer yapının içinden uygulanıyorsa işler zorlaşmaktadır çünkü kalıp hazırlama, beton dökümü gibi işlemlerin binanın içinden uygulanması zordur.

Bu yöntemin çalışması yapılırken bina dışından uygulanan perde duvar için bina sakinlerinin yapıyı boşaltmasına gerek duyulmayabilir. Bina içinden ise yapının boşaltılması gerekmektedir. Yöntemin uğraştırıcı olması, büyük alanlarda çalışılması gerekmesi, temel kazısı istemesi, yapıyla bir bütünlük içinde çalışmasının istenmesi ve bunun bazen sağlanamaması gibi sebepler de bu yöntemin olumsuz yanlarıdır.

Günümüzde bu olumsuzluklar doğrultusunda birçok yeni güçlendirme yöntemi eklenmiş ve hala eklenmeye, araştırılmaya devam edilmektedir. Yeni daha pratik güçlendirme

yöntemlerinin olmadığı zamanlarda ise sağladığı avantajlardan dolayı kullanımı yaygın olan bir güçlendirme yöntemi.

*Lifli polimerler/fiberler/kompozitler ile güçlendirme yöntemi*

*FRP:* Fiber Reinforced Polimers, Elyaf takviyeli polimerler. İçerisinde; yüksek mukavemetli fiberler, plastik formu reçine gerekli katkı maddelerini bulunduran bir malzemedir. Farklı üretim şekilleri ve farklı katkı malzemeleri ile üretilen çeşitleri piyasada mevcuttur. İçeriğindeki malzemelere ve yapım şekillerine göre isimleri değişen bu malzemelerin kullanım amacı güçlendirmedir.

“Kısaca FRP'ler, güncel formlara uyabilen çeşitli boyutlarda ve şekillerde imal edilebilen, uzay bilimleri, otomotiv sektörü ve spor gibi orijinal ve pahalı sektörlerde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir.” (Myers, Murthy and Micelli, 2001).

“1940'lardan beri 50 – 60 yıllık servis tecrübesiyle inşaat sektörü için uygulanmaya hazır bir teknolojiye sahip olan, bazı yerlerde çeliğin yerini rahatlıkla doldurabilecek, düşük ağırlıkta, yüksek rijitlik ve mukavemette, çevrenin zararlı etkilerine dayanıklı ve de pahalı malzemelerdir.” (Myers, Murthy and Micelli, 2001).

En sık kullanılan fiber türleri:

*GFRP:* Cam elyafı fiberlerdir. Yüksek dayanıma sahip olması ve glassfiber özelliğinden dolayı elektrik alanında da çok yaygın olarak kullanılmaktadır (Çizelge 2.2).

“-Her bir fiber, aşınmayı en aza indirmek ve epoksiyle rahat bütünleşebilmek için yüzey iyileştirme malzemeleriyle kaplanır,

-Fiyatı düşüktür.

-Elastisite modülü düşüktür.

-Yüksek mukavemetlidir.

-Sürekli ve tekrarlı yüklere karşı dayanımı nispeten düşüktür,

-Neme karşı direnci düşüktür.

-İzolasyon özellikleri yüksektir.” (Çöğür, 2007).



Çizelge 2.2. GFRP özellikleri, (Çögürçü, 2007)

	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>
Elastisite Modülü	72 Gpa	78 Gpa
Çekme Mukavemeti	3300 Mpa	4500 Mpa
Kopma Uzaması	%4.8	5%

Karbon fiberler: Kullanımı yaygın, olan bu türün öne çıkan özelliği aşınmayı önlemesidir (Çizelge 2.3).

- “ -Yüksek mukavemet ve rijitlik,
- Düşük birim boy uzaması,
- Düşük darbe direncine sahiptir.
- Titreşimli yüklerden fazla etkilenmez.
- Rutubet ve kimyasallara karşı direnci mükemmeldir.
- Galvanik korozyondan etkilenir.
- 2000 C sıcaklığa kadar dayanıklıdır.
- Isı ve elektriği iyi derecede iletir” (Çögürçü, 2007).

Çizelge 2.3. Karbon fiberlerin özellikleri (Çögürçü, 2007)

	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>
Elastisite Modülü	290 Gpa	400 Gpa
Çekme Mukavemeti	2400 Mpa	5700 Mpa
Kopma Uzaması	%0.3	%1.8

PVA: ‘Polyvinyl Alcohol Fiber’, beton ve harç için kullanıma uygunluğu ile bilinen bu fiberler çatlak onarımı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Güçlendirmedeki başarılı davranışlarından dolayı çelik formlu ürünler ile kıyaslanmaktadır (Çizelge 2.4).

- “ -Fiyatı ucuzdur.
- Rijitliği düşüktür.

-Asit, alkali ve tuz gibi kimyasallara dayanıklıdır.

-Su emme miktarı oldukça fazladır.” (Çöğürçü, 2007)

Çizelge 2.4. PVA özellikleri (Çöğürçü, 2007)

	<b>Minimum</b>	<b>Maksimum</b>
Elastisite Modülü	8 Gpa	28 Gpa
Çekme Mukavemeti	870 Mpa	1350 Mpa
Kopma Uzaması	9%	17%

FRP’lerin birçok çeşidinin olmasından dolayı yığma yapıda ve tarihi eserlerde güçlendirme amacıyla birçok kullanımı mevcuttur. Tek parça formunda olan FRP’ler duvar yüzeyine; sıvalı veya sıvasız, yapıştırma gereci kullanılarak veya kullanılmayarak, uygulanan duvarın tek yüzüne veya çift yüzüne uygulanması gibi farklı parametrelerle uygulanmaktadır. Küçük parçalar halindeki formları ise genellikle fiberleri harç içerisine katarak uygulanmaktadır.

Fiberlerin gelişen teknoloji ile yeni formlarının üretilmesi, mevcut fiberlerin farklı özelliklerinin keşfedilmesi, kullanım alanında farklı bir alanda kullanılmasıyla verilen sonuçların merak edilmesi gibi sebeplerden dolayı üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir. Günümüzde dünya üzerinde en yaygın kullanılan güçlendirme yöntemlerinden biri olduğunu rahatlıkla dile getirebiliriz.

### 3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Duvarların güçlendirilmesi ülkemizde ve yurtdışında son yıllarda öne çıkan konulardan biridir. Birçok araştırma, deneysel çalışma, sayısal modellemeler yapılan bu alanda önceki çalışmalar yol göstericidir.

#### 3.1. Yığma Duvar ile İlgili Çalışmalar

Aldemir, Erberik ve Sucuoğlu (2011), tuğla yığma duvarlara performans dayalı bir değerlendirme yapmışlardır. Yığma yapıların yatay yükler altında zayıf davranış gösterdiği tasarlanırken güncel yöntemlerin geliştirilmesinden bahsetmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında sonlu eleman modelleri ANSYS programıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sonlu eleman modelleri 8 düğüm noktalı katı elemanlardır (SOLID65). Bu şekilde kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. FEMA356’da önerilen doğrusallaştırma metodu ile 2 çizgi ve 4 parametre olacak şekilde basitleştirilmiştir. Daha sonra amprik bir denklem elde edilmiş ve bu denklem duvarın geometrik özelliklerine, aksenal yük oranına ve basınç dayanımına bağlı olarak yük-yer değiştirme kapasitesini sonlu elemanlar yaklaşımı olmadan tahmin etme olanağı sağlamaktadır. Son olarak çalışmada elde edilen basitleştirilmiş denklem yardımıyla elde edilen yöntem ile sonlu eleman analiz sonuçlarının birbiriyle tutarlılığını ölçebilmek adına mevcut bir bina ele alınmıştır. Her iki yöntemle elde edilen kapasite eğrileri karşılaştırıldığında sonuçların oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Demirel, Erberik ve Sucuoğlu (2011), tuğla yığma binaların performans esaslı değerlendirilmesi için doğrusal olmayan eşdeğer çerçeve modeline değinmişlerdir. Yığma yapıların performans esaslı hesap yönteminin zor olduğundan çünkü doğrusal olmayan modelinin oluşturulmasının güç olduğundan bahsetmişlerdir. Doğrusal olmayan analize en uygun modelin kullanım kolaylığı ve güvenilirlikle birlikte eşdeğer çerçeve modeli olduğu düşünülmektedir. Yığma yapıların eşdeğer çerçeve modeli SAP2000 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmada önerilen eşdeğer çerçeve modelinin doğrulanması için Pavia Üniversitesi’nde döngüsel itme deneyi ve İsmes Laboratuvarlarında dinamik sarsma tablası deneyi yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında ise uyum fark edilmiştir. 1995 Dinar depreminde hasar gören bir binaya doğrusal olmayan eşdeğer çerçeve modeli uygulandığında yapının deprem hasar seviyesinin başarıyla taklit edildiği gözlemlenmiştir.

Can ve Yıldızoğlu (2018), 1944-1947 yılları arasında inşa edilen Bayburt ilinin merkezinde bulunan Korkut Ata lisesi ele alınarak yığma yapılarda performans analizini belirlemişlerdir. Günümüzde betonarme ve çelik yapılar için sayısal metotlarla gelişmiş birçok performans

analizi mümkünken tarihi yığma yapılarda değişen malzeme özellikleri ve içerdiği süreksizlikten dolayı yapısal performansını belirlemekte zorlanılmaktadır. Çalışmanın birinci aşamasında incelenecek yapının yapım tekniği, malzeme özellikleri, konum özellikleri ve yapıda gözlenen mevcut problemler belirlenmiştir. İkinci aşamada yapı modelini oluşturmak için röleve çizimleri hazırlanmıştır ve AutoCAD programına aktarılmıştır. Üçüncü aşamada StatiCAD-Yığma programıyla 2007 Deprem Yönetmeliği ve 2013 Riskli Yapılar Yönetmeliği esas alınarak analizleri yapılmıştır. Dördüncü aşamada ise analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Sonuçlarda yapının iyileşmesi için duvarlarda güçlendirme yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Karaşin ve Karaesmen (2005), 1 Mayıs 2003'te meydana gelen Bingöl depreminde hasar gören yığma yapıları incelemiştir. Deprem büyüklüğü 6.1 ile 6.4 arasındadır ve 177 can kaybına neden olmuştur. Yapıların büyük çoğunluğu yığma yapılardan oluşmaktadır ve yıkık veya ağır hasarlı binalar yaklaşık %30'dur. Belirtilen bu duruma öneri olarak; depreme karşı yetersiz dayanımı olan yığma yapıların güçlendirme dayanımı artırma olanakları vardır. Özellikle sismik açıdan riski yüksek olan bölgelerde güçlendirme çalışmalarına başlanması gerektiğini vurgulamıştır.

Jafarov, Köksal, Doran ve Karakoç (2012), donatısız yığma duvarların doğrusal olmayan davranışı üzerine bir irdeleme yapmışlardır. Yığma yapıların artan yükler altındaki davranışının bilinmesinin önemi vurgulanarak yapısal analizlerde yığma yapı elemanlarının birçok numerik modelleri ve malzeme davranışı ile ilgili yaklaşımlar olduğunu belirtmişlerdir. Mevcut çalışmada da tuğla ile harç arasındaki etkileşim dikkate alınarak 3 boyutlu bir mikro modelleme tekniği önermişlerdir. Önerilen numerik modelde tuğla ve harç, 3 boyutlu, 8 düğüm noktalı izoparametrik katı elemanlar ile modellenerek doğrusal olmayan 3 boyutlu çözümleme ile davranışı irdelenmiştir. Elastoplastik analizlerde kırılma kriteri olarak Drucker-Prager modeli kullanılmıştır. Sonuç olarak önerilen çözüm yöntemi ile literatürde yer alan mevcut deneysel çalışmalar karşılaştırıldığında oldukça yakın sonuç çıktığını belirtmişlerdir.

Önal ve Koçak (2008), ülkemizin iki aktif deprem kuşağı arasında olması ve mevcut yapıların önemli bir kısmının yığma yapı olmasından dolayı depremde can kayıplarının çok fazla olduğunu belirtmişlerdir. Yığma yapılarda oluşan hasarlar; taşıyıcı duvarda dikkatsiz bir şekilde konulmuş duvar elemanlarının kuvvetli bir harçla bağlanmaması, duvarların bütünlüğünü bozacak şekilde kapı ve pencere boşlukları açılması, binanın duvarında tek tür malzeme kullanılmaması; taş, kerpiç, hımış gibi malzemelerin karıştırılması gibi

nedenlerden oluştuğu söylenmiştir. Hasar biçimleri olarak; deprem, dış yük ve temelerde oluşan oturmalarından dolayı hasarlar meydana gelir ve çatlaklar oluşur. Çatlakların biçimi, yeri ve boyutu yapıyı etkileyecek düzeyde veya önemsiz olabilirler. Bu durumda hasar düzeyleri 5 gruba ayrılmıştır: Hasarsız ya da az hasarlı yapı, az hasarlı yapılar, orta hasarlı yığma yapılar, ağır hasarlı yığma yapılar, yıkılmış yığma yapılar. Yığma binaların döşemelerinde oluşan hasarlar döşemelerin mesnetlerinde oluşan negatif moment nedeniyle döşeme çatlakları üst yüzeyde görülebilmektedir. Duvarlarda ise: Yığma yapılarda dayanım tuğla ile harç arasındaki yapışmadan dolayıdır. Derzler çatlayınca aderansın sağladığı mukavemet biter ve harç ile tuğla arasındaki sürtünmeden kaynaklı taşıma gücü kalır. Yatay yükten dolayı tuğlalar birbiri üzerinde kaymaya başlar ve çatlaklar oluşuktan genişler, tüm duvara yayılır. Bu sebeple duvarlar parçalanır, yük taşıyamaz duruma gelir. Çatlakların onarımında genişliklerine göre değişen yöntemler kullanılmaktadır; yığma yapılarda küçük çatlakların onarımı, çimento şerbeti ile onarım, çimento enjeksiyonu ile onarım, epoksi reçineleri ile onarım, sıvama ile onarım başlıkları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Güçlendirme yöntemleri; yığma yapılarda duvarların güçlendirilmesi, yığma yapılarda temellerin güçlendirilmesi, yığma yapının tümünün güçlendirilmesi ana başlıkları altında incelenmiştir. Sonuç olarak çatlakların onarılabilmesi için çatlakların durmuş olması gerektiğine dikkat çekilmiştir ve çatlak onarımı çatlağa neden olan etki ortadan kaldırıldıktan sonra yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Hazırlık (2016), yığma yapılar için yapının genel durumu ve temel taşıyıcı sistem elemanlarının durumunun incelendiği (Şekil 3.1) 2 temel aşama vardır. Birinci aşama dışarıdan inceleme: bölgesel veya bütünüyle göçme; bu kısımda bütünüyle veya bölgesel bir göçme olması durumunda yapının ağır hasarlı olduğuna karar verilir ve incelemeye son verilip diğer aşamalara geçilmez. Katlar arası kalıcı yer değiştirme kontrolü; bu kısımda eğer yapının en büyük yer değiştirme yapmış olan kalıcı görelî öteleme oranı 0.02'den büyükse yapı ağır hasarlı olarak sınıflandırılıp diğer aşamalara geçilmez. Zemine ilişkin incelemeler; temeldeki farklı oturmalarından ötürü binada 3 derecenin üzerinde bir yatma varsa bina ağır hasarlı olarak sınıflandırılıp diğer aşamalara geçilmeyecektir. 1 ile 3 arasında bir oturma varsa orta hasar olarak belirlenip incelemeye devam edilir. İkinci aşama yapının içeriden incelenmesidir. Bu aşamada yalnızca taşıyıcı olan duvarlar incelenip karar verilir. Şematik bir kat planı oluşturulup taşıyıcı duvarların hasar düzeyi ve sınıfı belirlenir. Sıvadaki çatlak ve dökülmeler; taş, tuğla veya briket gibi malzemelerdeki ezilmeler; duvarın kısmen yıkılması ve parçalanması gibi hasar unsurları incelenir. Ayrıca yapıdaki her bir duvarın

uzunluğu ve kalınlığı ölçülüp hesaplanıp net duvar uzunluğu kullanılır. Çatlak genişlikleri çatlakın en büyük olduğu kısımda kontrol edilir ve sıva varsa sıva kaldırılıp incelemeye devam edilir. Bu şekilde yapının hasar sınıfları tespit edilmiş olur. Her bir hasar sınıfına ait hasar çarpanı gerekli tablodan elde edilir (Şekil 3.2) ve hasar yüzdeleri elde edilir (Eşitlik 3.1). Elde edilen hasar yüzdeleri ile yapının hasar durumu belirlenmiş olur.

Hasar Kodu	Hasar Sınıfı	Ölçütler
O Tipi Hasar	Hasarsız	Duvarda çatlak, ezilme yok. Sıvada çatlak veya dökülme olabilir.
A Tipi Hasar	Hafif Hasar	Kılcal çatlaklar (≤1 mm)
B Tipi Hasar	Orta Hasar	Çatlak genişliği ≤ 5 mm, harçta dökülmeler
C Tipi Hasar	Ağır Hasar	Çatlak genişliği ≤ 10 mm, bloklarda ezilme, harçta dökülme
D Tipi Hasar	Çok Ağır Hasar	Taşıyıcı duvarın kısmen veya tamamen parçalanması, yıkılması ve/veya devrilmesi

Şekil 3.1. Eleman hasar sınıfları (Hazırlık 2016)

Hasar Kodu	Hasar Sınıfı	Hasar Çarpanı
O Tipi Hasar	Hasarsız	0.00
A Tipi Hasar	Hafif Hasar	0.15
B Tipi Hasar	Orta Hasar	0.35
C Tipi Hasar	Ağır Hasar	0.65
D Tipi Hasar	Çok Ağır Hasar	1.00

Şekil 3.2. Hasar sınıfları ve hasar çarpanları (Hazırlık, 2016)

$$AHY = \frac{[A \times 0,15 + B \times 0,35 + C \times 0,65 + D \times 1]}{A + B + C + D} \times 100$$

Eşitlik 3.1. Hasar çarpanı ile hasar yüzdesi elde etme denklemi, (Hazırlık 2016)

Hesaplanan Düşey AHY ve Yatay AHY değerleri;

- Düşey AHY %0 - %20 arasında ise veya Yatay AHY %0-%75 arasında ise yapı **AZ HASARLI**,
- Düşey AHY %20 - %50 arasında ise veya Yatay AHY %75 ve daha büyük ise yapı **ORTA HASARLI**,
- Düşey AHY %50 - %100 arasında ise ve Yatay AHY %75 ve daha büyük ise yapı **AĞIR HASARLI**,

- Düşey AHY = %50 ve daha büyük ise yapı AĞIR HASARLI

Kömürcü ve Gedikli (2017), yığma yapıları, yığma birimler (tuğla, taş, vb.) ile bağlayıcı bir malzemeyle ya da bağlayıcı bir malzeme olmadan oluşturulan yapılar olarak tanımlanmışlardır. Mirasımız olan tarihi eserleri koruyabilmek, onarabilmek ve güçlendirmek ayrıca yeni yapılacak yığma yapılar için yığma yapıların davranışlarının iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla deneysel ve numerik olarak çalışmalar yapmışlardır. Donatısız yığma duvarlar kullanılan çalışmada ANSYS programı kullanılarak modelleme yapılmıştır. Yığma duvarların modellenmesi homojenleştirme yöntemi olarak bilinen makro modelleme ile yapılmıştır. Boşluklu ve boşluksuz olan duvarlar modelleme sonrasında sonlu eleman analizleri yapılarak duvarlarda oluşan gerilmeler ve duvarlarda oluşan kırılma mekanizmaları incelenmiştir. Modellemede SOLİD65 sonlu elemanı ve malzeme için CONCRETE malzeme modeli kullanılmış. Modellenen ve analiz edilen duvarlarla deneysel çalışmalara uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Homojenleştirme yöntemi doğrusal olmayan analizlerde ve yapıdaki hasar durumunun belirlenmesi için olumlu bir yöntemdir ancak doğrusal olmayan analizler yapıldığında istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır.

Bayülke (2011), giriş bölümüyle yığma yapıların özelliklerine ve kullanımına değinmiştir. İkinci kısımda taşıyıcı elemanın duvar olduğu belirtilmiş ve duvar malzemeleri açıklamıştır; taş ve tuğla. 1995 Dinar depremi örnek verilip çok delikli tuğla kullanımının olumsuz etkilerinden bahsetmiştir. Harç olarak yoğun kullanımın çimentolu kireç harcı olduğu söylemiştir. Yığma yapıların duvar dayanımı duvar malzemesi olan pişmiş toprak ya da beton blokların basınç dayanımı ile bu blokları birbirine bağlayan bu harçların dayanımlarına bağlıdır. Ayrıca harçların kalınlığı ve derz kalınlığı da önem taşımaktadır. Yığma yapıların basınç dayanımı için; yüksek dayanımlı tuğla ile yüksek dayanımlı harç kullanılmalıdır ve derz kalınlıkları yüksek olmamalıdır. Kesme dayanımı için; deprem dayanımları genelde duvarların kesme kuvveti dayanımına bağlıdır. Yüksek dayanımlı harç kesme dayanımını arttırmaktadır. Çok boşluklu tuğla kullanılmaması gerekmektedir. Elastisite modülü ise 2007 deprem yönetmeliğine göre duvar basınç dayanımının 200 katı olarak verilmektedir. Deprem davranışlarına gelince; yığma yapılarda depremde gelen yatay yükler altında iki tip davranış gözlenir. Kat düzeyinde betonarme döşemesi olan yapılarda “rijit” döşeme deprem yüklerini duvarlara rijitlikleri ile orantılı olarak dağıtmakta ve duvarlarda “kesme” kırılmaları olmaktadır. Depreme dayanıklı tasarım bölümünde niteliksel bazı kuralların olduğundan söz edilmiştir; kat sınırlaması, en az duvar kalınlığı gibi. “Yığma yapıların en çok 4 katlı olmasına karşılık hemen bütün yerleşimlerde imarın en az 5 katlı

yapıya izin vermesi IV. derece deprem bölgesinde bile yığma yapı yapılması caydırıcı olmuştur. Bir başka caydırıcı etmen tuğlaların basınç dayanımlarının düşük olması ve % 35'den az delik oranlı tuğlaların daha ağır olmaları nedeni ile hem inşaat alanına taşınması hem de duvara konulması daha çok emek ve bedel gerektirmesidir. Genel olarak tuğla yığmanın istediği nitelikli duvar örgü işçiliğinin bedeli de yükselmiştir. Delik oranı % 35'den az olan tuğlaların pişirilmeden önce çok iyi, belki de enerji harcanarak kurutulma gereksinimi de bedellerinin yükselmesine ve üretimden kaçınılmasına neden olmaktadır.”

Sonuç olarak mevcut yığma yapıların deprem dayanımı ve davranışlarını yerinde belirlemek ve bu alanda ki deneyleri geliştirmek gerekmektedir. Anıtsal değeri olan yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesine önem verilmesinden bahsedilmiştir.

Aldemir (2010), yığma yapıların; ekonomik olması, ısı ve ses izolasyonuna sahip olması, yangına dayanıklı olması, istenilen renk ve formda üretilebilmesi gibi avantajlarından dolayı gerek kent gerekse kırsal kesimde mevcut olduğunu söylemiştir. Bu yapıların karmaşık malzeme özelliklerinden dolayı depreme karşı davranışının tam olarak açıklanamadığı belirtilmiştir. Bu çalışmada bu eksiklikler dikkate alınarak tuğla yığma yapıların değerlendirilmesi için yeni metot üzerine çalışılmıştır. Çalışmada ANSYS programı yardımıyla sonlu eleman analizleri yapıp bu sonuçlarla SPSS'teki regresyon analizi kullanılarak dikey elemanların kapasite eğrileri için basit bir yöntem geliştirilmiştir. Daha sonra tüm elemanların etkileri birleştirilerek yığma binanın performans noktaları ve kapasite eğrilerinin elde edildiği belirtilmiştir. Son olaraksa binanın olası bir deprem karşısındaki performansı için TEC2007'deki metotlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu metotla yığma yapıların deprem performansının çok kısa sürede elde edilebileceğini açıklamıştır.

### **3.2. Tarihi Yığma Yapılar ile İlgili Çalışmalar**

Mahrebel (2006), ülkemizde ve dünyada bulunan miras niteliğinde tarihi eserlerin yeterince korunamadığını ve doğal afetler, olumsuz çevre koşulları, fiziksel-kimyasal bozulmalara maruz kaldığını belirtmiştir. Bu doğrultuda çalışmada; tarihi yapıların tanımı, bunların yapı türleri ve bu yapılarda kullanılan malzemelerin özellikleri, yapıyı oluşturan taşıyıcı sistemlerin özellikleri, günümüze kadar meydana gelen hasarları ve hasar tespit yöntemleri, yığma yapıların incelenmesi, tarihi yapılarda kullanılan onarım ve güçlendirme konularına değinmiştir. Çok geç olmadan tarihi yapıların bilinçli bir şekilde korunması ve güçlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.



Dalkılıç, Halifeoğlu F.M ve Halifeoğlu Z (2007), Mardin’de yer alan tekke camii olarak geçen Şah Sultan Hatun Medresesi uzun süre işlevsiz kalması, bakımsızlık, doğal koşullar (özellikle nem) ve yanına yapılan ilköğretim binasının olumsuz etkilerinden dolayı 2006-2007 yılları arasında restorasyona uğramıştır. Yapı tarihi birçok yapı gibi yığma yapı olarak inşa edilmiştir. Mimari özellikleri incelenip bozulmaları belirlenmiş, geleneksel yapım tekniği ile yapının tarihi dokusu bozulmadan sağlamlaştırılmaya çalışılmıştır. İlk aşama olarak temizlenmesi yapılan Şah Sultan Hatun Medresesi daha sonra sağlamlaştırma aşamasına geçilmiştir. Sağlamlaştırma yöntemi olarak duvarlardaki çatlaklar için puzolanik esaslı güçlendirme malzemeleriyle düşük basınçlı enjeksiyon sistemi ile doldurularak bağlayıcıları arttırılmıştır. Daha sonra bütünleme, yenileme ve sağlıklılaştırma yapılmıştır. Bu restorasyon yöntemi ile yapı daha önce yaşadığı yok olma ve bozulma süresinden kurtulup, sağlamlaştırılmıştır.

Kasapgil (2007a), Bu çalışmada, tarihi yığma yapıların taş, tuğla vb. minare, kubbe, tonoz, duvar ve temel elemanları arasında geçen zamanla birlikte deprem etkileri, hava şartları gibi nedenlerle meydana gelen yarık, açıklık ve boşluklar yük aktarımını engellediğini söylemiştir. Bu şekilde yük aktaramayan tarihi yapılar yanal kuvvetlere karşı desteksiz kalmaktadır. Ayrıca temele akan yağmur suları yeraltı ve zemin suları boşluklar oluşturarak yığma yapıların düşey stabilitelerini korumasını önlemektedir. Bu tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi için yapılardaki temel takviyesi ve zemin stabilizasyonu, temelin altını boşaltan su vb. sızıntı ve kaçakların durdurulması, duvarlarda oluşan parçalanma ve deformelere en uygun ve doğru çözümün; basınç, çekme ve yapışma dayanımı, düşük viskozite ve oto enjeksiyon etkisi, plastik ve elastik özellik, duraylılık ve çevre dostu olması gibi avantajları bulunan kimyasal enjeksiyon ve ankraj olduğu söylenmiştir.

Kasapgil (2007b), FRP ve kompozit malzemelerin günümüze kadar 200.000’den fazla yapısal elemanın güçlendirilmesinde kullanıldığından bahsetmektedir. Tarihi eserlerin FRP ile güçlendirmesi daha çok yaygınlaşmakta ve artmaktadır. FRP Fibrwrap sistemleri; betonarme, yığma, çelik, ahşap yapıların ve yapı elemanlarının güçlendirilmesi amacıyla kullanılmakta olan hafif fakat çok yüksek dayanıma sahip, ayrıca korozyona dayanıklı yaklaşık 40 civarında; cam, karbon ve aramid esaslı sargı (wrap), şerit (strip) ve ankraj sistemlerini ve özel yapıştırma epoksilerini içerdiği söylenmiştir. FRP Fibrwrap sisteminin en önemli avantajları; ASTM E-119’a göre yangına dayanıklı çözümler sunabilmesi ve su altında kullanılabilme özelliklerini içermesine değinilmiştir. Ayrıca tarihi eserlerdeki dokuları kapanmasına engel olarak şeffaf wrap uygulamaları ile taş vb. duvarların

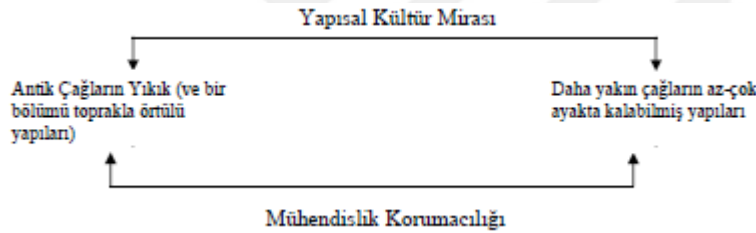
güçlendirilmesi mümkün olduğunu söylemiştir. Çalışmada Avrupa komisyonunun 6. Avrupa programı olan Operha Projesinden bahsedilmiş, Frp sargı sistemleri ve karbon şerit levhaların teknik özellikleri sunulmuştur.

Sesigür, Çelik ve Çılı (2007), son yıllarda tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesi ile ilgili pek çok çalışma yapıldığı ve güçlendirme için çağdaş yöntemlerin yanı sıra geleneksel yöntemlerinde kullanımının yaygınlaştığına değinmişlerdir. Ahi Çelebi Camii'nin onarım ve güçlendirme örneğiyle; düşey yükler, mesnet çökmeleri, deprem vb. etkiler sebebiyle hasar görmüş yığma kagir yapı incelenmiştir. Yapı SAP2000 programı ile doğrusal elastik ve 3 boyutlu kabuk eleman olarak modellenmiştir. Kubbede 2 tür çatlak belirlenmiştir. Birinci tür çatlak kubbenin dış yüzeyinde ve meridyen doğrultusunda çekme bölgesindedir. Bu tür çatlağın onarım ve güçlendirilmesi için enjeksiyon ya da çatlak genişlikleri fazla olan bölgelerde çatlağın her iki yanı çürütülüp yeni tuğla ile örülerek yapılmıştır. İkinci tür çatlağınsa kubbenin çeşitli bölgelerinde sınırlı ve yerel olduğu gözlemlenmiştir. Bu tür çatlakların onarım ve güçlendirilmesi için yapının harç kalitesine benzer fiziksel özelliklerde bir malzemenin enjeksiyonu yoluyla yapılmıştır. Daha sonra yapıya uygulanan bu onarım ve güçlendirmenin deprem etkisi altındaki davranışını incelemek için yapı zaman tanım alanında elastik hesap yöntemi ile 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi ivme kaydı kullanılarak çözümlenmiş ve elde edilen verilerden çekme gerilmelerinde %60'a varan azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Eskici (2007), restorasyonun (onarım) aslında bir basit bir tamir değil çeşitli uzmanlık alanlarından yararlanan bilimsel bir disiplin olduğu konusuna dikkat çekmiştir. Gelişmiş ülkelerde tarihi eserlerin korunmasının uluslararası bilgi ve deneyimlere dayandığını ülkemizde ise maalesef bu bilgi ve deneyimin yeterince oluşmadığını, temel sorunların çözülemediği belirtilmiştir. Gerek projeli gerekse projesiz yapılan bu onarım ve güçlendirmelerde malzeme kullanıma yönelik 2 temel yanlış mevcuttur. Yaklaşım yanlışlığı ve yanlış malzeme seçimi. Yaklaşım yanlışlığına değinilecek olunursa, tarihi bir binanın onarımının yeni inşaat onarımı ile eşdeğer görmek, bize miras kalan ürünün ortaya koyduğu koşullara sadık kalınmaması, onların anlaşılmasındadır. Yanlış malzeme seçimi ise; tarihi binaya ait özgün ahşap doğramalar yerine PVC veya alüminyum kullanılması, mimari elemanların yapıştırılması ve desteklenmesinde paslanmaz çelik yerine demir kullanılması, tuğla yerine briket gibi niteliksiz malzemelerin kullanılmasıdır. Sonuç olarak Türkiye'de karşılaşılan bu sorunların idari ve teknik açıdan sıralanması yapılmıştır.

Küçükdoğan, Sevgili ve Karaesmen (2007), Birinci Aşama: Olaya Genel Bakış

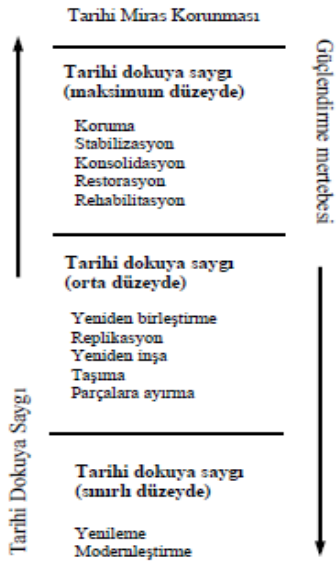
Konunun mimarlık, şehir planlaması, inşaat mühendisliği, sanat tarihi ve yapı restorasyonu disiplinlerinin yanı sıra toplumsal gelişme sosyolojisi ve felsefesiyle de ilgili boyutlar taşıdığı belirtilmektedir (Şekil 3.3). Bu çalışmadaki aşamalar içinde ülkemizdeki uygulamaların şimdiki işleyiş biçiminde öneminin farkına çok az varıldığı gözlenen “desteklenecek-güçlendirilecek yapıyla ilgili mevcut durumun saptanması ve ön değerlendirme” aşaması üzerinde daha kapsamlı durulacak olduğu söylenmiştir. Bir miktar hasar görmüş ve ayakta kalabilmiş binalar ile henüz zaman etkisinin yorgunlaştırıcılığından öte aşikar bir hasar görmemiş binaların, anıtların ve diğer tür tarihi yapıların korunabilmesi için yapı sistemlerinin desteklenmesi gerektiğine, çok ağır hasar görmüş ve neredeyse yerle bir olmuş yapıların parçalarının bir araya getirilerek yeniden bir bütün oluşturulması konusu ise daha farklı teknik destekleme ihtiyaçları sergileyeceğine, kısmi hasarlı/çok hasarlı, yakın gelecekte doğal afetlerin etkisiyle ya da aşırı eskime sonucu olarak kısmen /tamamen yıkılma ihtimaliyle karşı karşıya bulunan yapılarda kapsamlı bir yapısal destekleme ve güçlendirme operasyonu gerçekleştirilmesinin söz konusu olduğuna değinilmiştir.



Şekil 3.3. Korumacılık olayına genel bakış (Küçükdoğan, Sevgili ve Karaesmen, 2007)

İkinci Aşama: Güçlendirme ya da takviye ihtiyacının belirlenmesi

Eskime, deprem ve sel gibi nedenlerle tarihi eserlerde hasarlar meydana gelmişse veya hasarlı bir durum olmamasına rağmen deprem riski yüksek bir alanda yer alıyorsa gibi durumlarda gerekli olduğu belirtilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Güçlendirme mertebeleri ve tarihi dokuya saygı şeması (Küçükdoğan, Sevgili ve Karaesmen, 2007)

Üçüncü Aşama: İhtiyaç belirlendikten sonra ortaya çıkan durum

Mevcut durumun saptanması için; müdahale edilecek yapının sanat tarihi yönünden incelenmesi, topoğrafik ve jeolojik durumunun incelenmesi, yapının geometrik özelliklerinin belirlenmesi, malzeme incelemesi, deprem etkisinin incelenmesi, yapının ön analizinin yapılması, sistematik fiziksel hareket etme ve ölçüm alma düzeneğinin kurulması, yapı sistemi kimliğinin belirlenmesi durumları incelendikten sonra uygulamaya geçilir ve yürütülür. Sonuç olarak özellikle tarihi eserlerin korunması alanında teknik elemanların yetersizliği konusuna değinilip teknik müdahalenin çok önemli olduğu vurgulanarak gelişmeye ihtiyacımız olduğu söylenmiştir.

Koçu (2007), geçmişten günümüze miras olarak kalan Selçuklu dönemine ait nadir örneklerden biri olan Konya'daki Alaeddin Köşkü'nün durumu, sorunlarının araştırılması, korunmasının önemi ve geleceğe güvenle devredilmesinin öneminden bahsetmiştir. Yapılan araştırmalarda, yapı malzemeleri gözleme dayalı olarak tespit edilmiş, yapının gerçek hali literatür taramalarıyla elde edilmiş ve yapının son durumu ise yerinde incelenmiştir. Yapıya giren suyun kerpiç malzemeyi bozduğu, harç ve duvarların yıkılmasına neden olduğu tespit edilmiş ve yıkılmasının en önemli nedeninin koruma önlemlerinin alınmaması olduğu söylenmiştir. Ayrıca su ve nemin bozucu etkilerine dayanıklı olmayan kerpiç malzemeli duvarlarda çatlamların oluştuğu tespit edilmiştir. Yapının en son kalıntısı olan duvar ve detaylarının yok olma tehlikesiyle karşı karşıya olduğu vurgulanmıştır. Çalışmanın sonuç bölümünde; Selçuk Döneminden kalma Alaeddin Köşkü kalıntısının yıkılmaktan

kurtarılması ve güçlendirilerek onarımlarının yapılmasının acil çözüm bekleyen bir konu olduğunu vurgulamıştır.

Kuran (2015), ülkemizde tarihi yapıların deprem analizleri için bir standart veya yönetmelik olmadığını, deprem yönetmeliğinin ise tarihi yapıları kapsamadığı söylenmiştir. Tarihi yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi için tasarım depremde beklenen performans seviyelerinin tanımlandığı, analiz yöntemlerinin ve kısaltmalarının açıklandığı onarım ve güçlendirme kriterlerini belirlemek için bir ihtiyaçtır. Çalışmada da deprem yönetmeliğinin sunduğu yığma yapıların tasarımı için verilen analizlerle tarihi yapılar analiz edilmiştir. Çeşitli deprem yönetmelikleri için deprem yükü azaltma katsayıları ( $R_a$ ) ve donatısız yığma bina için  $R_a$  değerleri kıyaslanıp açıklanmıştır. Bu konuda yapılmış deneysel ve analitik çalışmalardan sonra yığma binaların doğrusal olmayan davranışlarının ihmal edilmesi gerektiğine karar verilip, yığma binalarda sınırlı da olsa süneklilik kapasitelerinin olduğuna karar verilmiştir. OPCM3431’le birlikte birçok yönetmelikte de olduğu gibi yığma binaların ve tarihi yığma binaların lineer elastik deprem analizlerinde dayanım azaltma katsayısı ve DFO içermelidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar göz önüne alındığında deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a:3$ , düşeyde düzensizlik içeren yapılarda ise  $R_a:2.25$  alınmalıdır önerisi sunulmuştur. Ayrıca ülkemizde tarihi yapıların deprem güvenliklerinin belirlenip güçlendirilmesine yönelik yönetmelikten ziyade bir rehber doküman oluşturulması gerektiği belirtilmiştir.

Karabörk, Çelik ve Koçak (2015), tarih boyunca geleneksel yapı malzemesi olarak taş ve tuğla gibi malzemeleri kullanılmaktadır ve bu taş, tuğla türü malzemelerin harç ile birleştirilmesi ile imal edilen duvarların çekme dayanımlarının düşük olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada yığma yapıların kayma ve çekmelerine dayanım sağlamak ayrıca yapı sistemlerinin birlikte hareket etmesini sağlamak için kullanılan kenet, zıvanalar gibi farklı bağlantı elemanları araştırılmıştır. Deneyler için yapay horasan harcı kullanılarak 5 adet  $150*650*730$  mm<sup>3</sup> boyutlarında taş duvar imal edilmiştir. Bu duvarların kesme dayanımını arttırmak için 3 farklı yeni kenet tipi geliştirilmiştir. Üretilen duvarlardan biri donatısız (şahit), birinde ise zıvana kullanılmıştır. Sonuç olarak deneyler yapıldığında yeni geliştirilen kenet modelleri yığma duvarlara uygulanınca; kayma dayanımı büyük bir oranda artmış ve büyük yer değiştirmeler yaparak enerji yutma kapasitesini arttırmıştır. Ve kırılma şekli olarak da donatısız numunenin diğerlerine göre gevrek bir şekilde kırıldığını belirtilmiştir.

Atashafrzeh, Bingöl ve Caf (2015), tarihi eserlerde yığma yapıların yaygın olarak kullanıldığını hatta günümüzde de kullanılmaya devam ettiğinden bahsetmişlerdir. Yığma yapılar düşük direnç, düşük plastisiteye sahiptir ve mevcut yükleri fazladır. Bu yapılar bağlayıcı malzemelerden dolayı yüklere karşı, farklı bölgelerde farklı davranış göstermektedirler. Bu çalışmada 4 farklı uzunluk ve yükseklikteki yığma duvarlar bir sonlu elemanlar yazılımı olan ABAQUS yardımıyla modellenmiş ve düşey donatılarla güçlendirilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen verilere göre duvarlarda kesme, diyagonal ve lokal olarak hasarlar görülmektedir. Bu hasarlar duvar boyunun yüksekliğine oranı; 1'den büyük, eşit, 1'den küçük olması durumunda sırasıyla arttığı belirtilmiştir. Ayrıca duvarlarda düşey donatı kullanılması dayanımlarını arttırarak güçlendirilmesini sağlamıştır.

Kalkan ve Gündüz (2017), yüzyıllardır tarihi eserlerin yapımında harç ve sıva olarak kullanılan kirecin horasan harcı olarak da bilindiğini söylemişlerdir. Horasan harcı; genel olarak içine pişirilmiş ve öğütülmüş toprak ürünleri katılarak hazırlanan bazen de kireç, kum ve çakıl katıldığı gözlemlenen bir harçtır. Bu malzeme hidrolik özelliklerinden dolayı sadece tarihi eserlerin inşasında değil onarımında da kullanılmaktadır. Çalışmada horasan harç ve sıvalarda kullanılan tuğlaların yüksek derecede pişirildiklerini, kil oranının az olduğunu bu nedenle puzolanik özelliklerinin yok denecek kadar az olduğu belirtilmiştir. Bu dezavantajdan dolayı günümüzde yeni bir harç ihtiyacı olduğu söylenmiştir. Organik veya inorganik bağlayıcılı, doğal veya yapay bulunabilen agregalarla üretilmiş yeni nesil harç türlerinin katkı sağlayacağı belirtilip, bu çalışmada doğal kalsiyum sülfat anhidrat bağlayıcılı kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Üretilen harçların gözeneklilik oranı, kılcal su emme değeri, kütlece su emme değeri, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı incelenmiştir. Deneysel çalışmalarla kalsiyum sülfat anhidrat bağlayıcı oranı arttıkça numunelerin mekanik dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Ulukaya ve Yüzer (2017), mevcut yığma yapıların statik elastisite modülünün bulunması için 2 yöntem uygulandığını söylemişlerdir. Birinci yöntemde yapının yığma duvarından büyük bir parça alınıp laboratuvara getirilmekte ve tek eksenli basınç deneyi ile elastisite modülü elde edilmektedir. İkinci yöntemdeyse yığma yapının yatay derzdeki harçlarının bir bölümü kesilerek içine yassı hidrolik krikolar yerleştirilmekte ve yük altında derzler arasındaki şekil değiştirmeler ölçülerek elastisite modülüne ulaşılmaktadır. İlk yöntem de yapıya bütünüyle zarar verilip örnek alındığı için tarihi eserlerde kullanılması uygun bir

yaklaşım olmayabilir. İkinci yöntem literatürde ‘flatjack yöntemi’ olarak geçen bu yöntem yerinde ölçüm yapma durumuna olanak sağladığı ve daha gerçekçi sonuçlar verdiği için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı bahsedilen 2 yöntem ile deneysel olarak bulunacak elastisite modülünü malzeme parametreleri cinsinden ifade etmek ve deney sonuçlarına göre türetilen matematiksel modellerden elde edilecek teorik değerler ile gerçek değerleri kıyaslamaktır. Deneyler için toplam 12 adet tuğla duvar inşa edilip bu duvarların 6 tanesinde farklı kireç harcı kullanılmıştır. Kullanılan kireç harçlarının içerikleri ve miktarı için tarihi eserlerden yardım alınmıştır. Gerçek duvar davranışına benzer sabit düşey yükler altında ikili flat-jack yöntemi kullanılmıştır. Deney sonuçlarında makro model yaklaşımı ile sayısal analizlerde kullanılmak üzere eleman modelleri oluşturulmuştur. Flat-jack yöntemiyle belirlenen kompozit eleman elastisite modülleri ile birleşen malzemelerin elastisite modülleri arasında oluşturulan modelin gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Turgut ve Yeşilata (2009), atık otomobil lastiklerinin uygun geometri ve koşullarda harç içerisine ilave edilip termo-mekanik özelliklerinin etkisini araştırmışlardır. Çalışmada atık bir otomobil lastiğinin çelik tel bulunan alın yüzeyi ile bulunmayan alın yüzeyi farklı amaçlarda kullanılmıştır. Çelik tel bulunan lastikler şerit şeklinde kesilerek harç içerisine döşenmiş, çelik tel bulunmayan lastikler ise granül boyutuna getirilerek briket içerisinde agrega olarak kullanıldığı söylenmiştir. Böylece harç numunelerde; farklı miktar ve dizilişin ısı yalıtım performansı üzerindeki etkisi araştırılmış, briket numunelerde ise; ilave edilen atık lastik miktarının ısı yalıtım performansı ile fiziko-mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak atık lastik miktarına bağlı olarak yalıtımda sağlanan minimum iyileşme oranları; harç numunede %6.5-13.3 ve briket numunede %4.5-10.8 olarak bulunmuştur. Numunelerin mekanik özelliklerinde düşüşler ve fiziksel özelliklerinde bazı iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir.

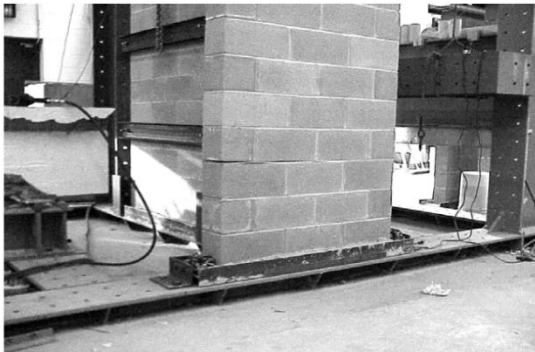
Sesigür, Çelik ve Çılı (2009), tarihi yapılar ülkenin kültürel mirası için çok önemlidir. Gelecek nesillere aktarılabilmesi için onarım ve güçlendirme önem taşımaktadır ve bilinçli olunması gerekmektedir. Bu çalışmada 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi’nde hasar gören İzmit Sultan Abdülaziz Av Köşkü örnek verilerek esnek döşemeli tarihi yığma kagir yapıların üzerinde durulmuştur. Tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesinde ilk öncelik yapının gözlemlenmesindedir. Bu gözlemler aşamasında, çatlak oluşumu ve çatlağın yeni/eski olma durumu, elemanlarda ezilme durumu, yığma duvarlarda oluşan dönmeler, farklı oturma durumları, gergilerdeki mesnet sıyrılmaları ve kopmaları, yapının taşıyıcı

sistemi olan duvarların yapım sistemi ve mevcut durumu gibi durumlar incelenir, anlaşılmaya çalışılır. Her türlü malzemenin mekanik özellikleri belirlenir, teme sistemleri araştırılıp yapının mevcut güvenliğinden emin olunur. Yapının elastisite modülü, birim ağırlık, dayanım gibi mekanik özelliklerini belirlemek için yapıdan örnek alınmıştır. Güçlendirme aşamasında X şekilli çelik şeritler betonarme hatıllarla uygulanmıştır.

### 3.3. Lifli Polimerler, Fiberler ve Kompozitler ile İlgili Çalışmalar

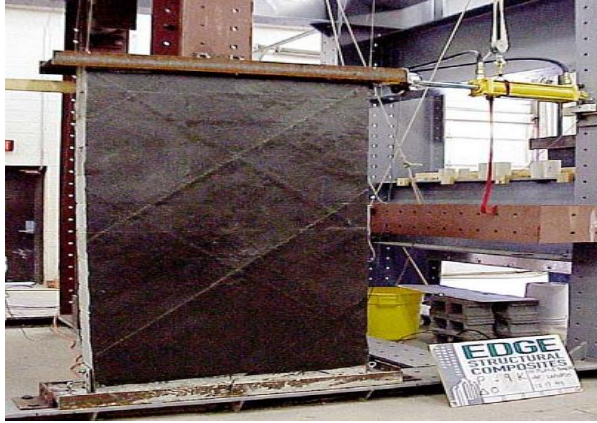
Triantafillou (1998), yığma duvarlarda güçlendirme yöntemi olarak lifli polimer malzemeler kullanmıştır. Deneyde düzlem içi kayma-düzlem dışı eğilme-düzlem içi eğilme etkileri gözlemlenip analitik bağlantılarla belirtilmiştir. Deney sonuçlarında güçlendirilmiş numunelerde lifli polimerler numune yüzeyinden ayrılarak göçme gerçekleşmiş ve ankraj uygulamasının olumlu bir etki sağladığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarıyla birlikte lifli polimer malzemelerin güçlendirmede ki olumlu etkisi gösterilmiştir.

Vandergrift, Gergely ve Joung (2002), CFRP ile güçlendirme metodunu kullanılmışlardır. Deneyler için 6 adet yalın tuğla duvar (1219\*2438 mm ebatlarında) kullanılmıştır (Resim 3.1). Çalışmalar kompozit güçlendirme öncesi ve sonrası test edilmiştir. Duvar numunelerinden 3 adedi düzlem içi (kesme) diğer 3 ise düzlem dışı (eğilme) bırakılmıştır. Deney sonuçlarında CFRP bantlar (Resim 3.2) sayesinde; düzlem içi kesme ve düzlem dışı eğilme dayanımlarını önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Ayrıca süneklilikte artış görülmüştür. Fakat CFRP bantları her ne kadar süneklilik ve enerji yutma kapasitesini arttırmış olsa da; duvarların orta kısımlarında ağır hasar oluşmasını engelleyememiştir ve yüksek deplasmanlarda duvarda bir bütünlük sağlayamamış ve duvarın parçalanmasına engel olamamıştır.



Resim 3.1. Güçlendirme öncesi duvar numunesi (Vandergrift, Gergely ve Joung, 2002)





Resim 3.2. CFRP bantları uygulanmış duvar numunesi (Vandergrift, Gergely ve Joung, 2002)

Erdem, Akyüz, Ersoy ve Özcebe (2006), 2 tip güçlendirme yöntemi üzerine çalışılmışlardır. 2 adet 1/3 ölçekli, 2 katlı, 3 bölmeli zarar görmemiş çerçeveler testlere tabi tutulmuştur. Bu çerçevelerden birinin iki katına da orta açıklığına tuğla duvar örülmüş ve CFRP şeritler yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Diğeri ise aynı yere betonarme perde ekleyerek güçlendirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gerekenin; CFRP şeritlerle güçlendirilen duvarın tıpkı bir betonarme eleman gibi gelen yükü kolonlara iletmesi için yani daha etkin olması için bağlantı sayısının fazla tutulması gerektiği vurgulanmıştır. Deney sonuçlarında her iki yöntemde hemen hemen benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

El-Dakhkhni, Hamid, Hakam ve Elgaaly (2005), yığma yapıların güçlendirilmesi üzerine yapılan deneysel çalışmada dolgu malzemesi olarak tuğla kullanmışlardır. Yapılan deneyler 2 farklı tiptedir. Birincisi; W-S(Zayıf çerçeve(weak)-Güçlü çerçeve(strong)) şeklinde parametreler seçilmiştir. İkincisinde ise; B-U-R(Yalın(bare)-Güçlendirilmemiş(unretrofitted)-Güçlendirilmiş(retrofitted)) olarak üretilmiştir. Bu çalışmada güçlendirme yöntemi olarak duvarların her iki yüzüne de cam FRP (GFRP) uygulanmıştır. Düzlem içi yatay ötelemeler uygulanarak yapılan testlerin sonucunda güçlendirme yapılan duvarların kullanıldığı çerçevelerin rijitlik ve yük taşıma kapasitesi özelliklerinin arttığı; hasar almasına rağmen duvarların bütünlüğünün bozulmadığı gözlenmiştir.

Binici, Özcebe ve Özçelik (2007), içi boş tuğla duvarlar güçlendirildikten sonra yanal yüke dayanıklı elemanlara dönüştüğü söylemişlerdir. Deneylerde güçlendirme yöntemi olarak FRP ile güçlendirme yöntemi uygulanmıştır. Deneyin amacı FRP uygulaması yaparak katlar arası deformasyonu sınırlamaktır. Önceki çalışmalar kapsamlı olarak tarandıktan sonra basit bir model önerilmiştir. Çalışmanın sonucunda FRP uygulanan duvarlarda; deformasyonu

sınırlandırdığı ve verilen hasarı azalttığı görülmüştür. Böylece hem verimli hem de ekonomik bir şekilde önlem alınmıştır.

Altın, Anıl, Kara ve Kaya (2008), periyodik yükler altında CFRP şeritleriyle güçlendirme yöntemi kullanılarak duvar dolgulu betonarme çerçevelerin davranışını deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler için 10 adet test örneği oluşturulmuş ve periyodik yanal yükleme altında test edilmiştir. Deney numuneleri; 1/3 ölçekli, tek katlı delikli tuğla ile örülmüş sünek olmayan çerçevelerdir. Deneyde CFRP şeritlerini; farklı genişliklerde uygulayarak, her iki yüze de uygulayarak, duvarın ya içine ya da dışına uygulayarak verilecek sonuçlar araştırılmıştır. Test sonuçlarında CFRP şeritlerinin yanal kuvveti ve rijitliği önemli ölçüde arttırdığı gözlemlenmiştir. Simetrik bir şekilde her iki yüze de uygulanan CFRP şeritlerinin yanal kuvvet ve rijitliğinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Aynı boyutlardaki CFRP şeritlerinin duvarın iç yüzeyine ya da dış yüzeyine uygulanmasıyla sonuçların benzer olduğu görülmüştür.

Corradi, Borri ve Vignoli (2008), yeni güçlendirme yöntemlerinin tuğla duvar üzerindeki kayma davranışlarını araştırmışlardır. Kayma mukavemeti ve rijitlik değerlerini bulmak için duvarlar üzerinde testler yapılmış ve raporlanmıştır. Deneyler için 25 adet duvar numunesi laboratuvarında, 63 adet duvar numunesi ise yerinde test edilmiştir. Güçlendirme teknikleri hasarlı duvarlar için tamir veya olası durumları için önlem/takviye olarak yapılmıştır. Yeni kireç esaslı karışımlarla hazırlanan harçlar, çürüme göstermiş duvarları güçlendirmek için uygulanmıştır. Farklı güçlendirme yöntemi olarak GFRP, epoksi reçinesi veya hidrolik bir harçla yapıştırılarak uygun testler yapıldı. Bir başka güçlendirme yöntemi olarak, hasar görmüş ve görmemiş duvarlara propilen lifler uygulanmıştır. Deney sonucunda uygulanan güçlendirme yöntemlerinin yöntemine göre farklı sonuç göstermesine rağmen genel olarak yanal direnç(dayanım) ve rijitlikte artışlar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin avantajlarının yanı sıra sınırlamaları da belirtilmiştir.

Valuzzi, Tinazzi ve Vignoli (2002), FRP ile tuğla duvarları güçlendirerek alternatif bir güçlendirme yöntemi ortaya koymak istemişlerdir. Deneyler için 9 adet güçlendirilmemiş tuğla duvar ve 24 adet güçlendirilmiş tuğla duvar hazırlanmıştır ve bunlar diyagonal basınç testine tabi tutulmuştur. Farklı konfigürasyonlar oluşturmak için FRP tek taraflı ve çift taraflı uygulanmıştır. Deney sonuçlarında tek taraflı uygulanan FRP'nin pek bir etkisi olmazken çift taraflı uygulanan FRP'nin daha sünek davrandığı görülmüştür. Sonrasında deneylerden elde edilen sonuçlar ile analitik modelleme ile elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

Özcebe ve diğerleri (2003), normalde kullanılan güçlendirme yöntemlerinin uygulanması için güçlendirme yapılacak binanın boşaltılması gerektiği ve bunun çok zor olmasından dolayı alternatif bir güçlendirme yöntemi aradıklarını belirtmişlerdir. Uygulaması kolay, hafif, ucuz malzemeler ile yapmak istemişlerdir. Bu istekleri karşılayan FRP ve CFRP gibi yüksek mukavemetli ürünler mevcuttur. Bu çalışmada CFRP ile hasarsız betonarme çerçevelere güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı betonarme yapıların sismik performansını arttırdığı bilinen tuğla duvarların güçlendirilmesidir. Deneyler için 7 adet 1/3 ölçekli, iki katlı betonarme çerçeveler inşa edilmiştir ve tersinir yükler altında test edilmiştir. Numuneler gerçeklik açısından normalde de çok sık görülen hatalar ile inşa edilmiştir. Test sonuçlarına göre CFRP ile yapılan güçlendirmenin yanal rijitlik ve dayanıma önemli ölçüde katkı sağladığı görülmüştür.

İlki, İspir, As, Demir ve Kumbasar (2008), tarihi yapıların güçlendirilmesinin zor olduğunu, zor olmasının nedeni olarak da; malzemelerin değişiklikler göstermesi, kullanılan malzeme çeşitlerinin farklı olması, yapıların büyük olması, kullanılan malzemelerin örneğinin bulunamaması gibi özellikler olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada 135 yıllık Tarihi Akaret Sıralı Evlerinin malzemeleri değerlendirilmiştir. Bu yapıda restorasyon sırasında kaldırılacak duvarlardan elde edilen malzemeler laboratuvarında deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bu sayede deneyler için çok fazla farklı numune toplanabilmiş olmuştur. Bu numunelerin güçlendirilmesinde cam lifli polimerler kullanılmıştır. Deney sonuçlarında güçlendirilen tuğla duvarların dayanım ve rijitliklerinde artışlar meydana gelmiştir. Deney esnasında cam lifli polimerlerin bazen duvardan ayrıldığı gözlemlenmiş ve ayrılma durumunda duvarın göçmesi meydana gelmiştir. Bu durumun engellenmesi ve istenilen etkiyi arttırmak için ankraj uygulaması yapılmıştır ve bu sayede süneklikte de artış meydana gelmiştir.

Alcaino ve Santa-Maria (2008), mevcut yığma yapıları lifli polimerle güçlendirme yöntemi kullanmışlardır. Deneyler için; 6 adet çelik konstrüksiyon ile güçlendirilmiş, 16 adet adet tam ölçekli tuğla duvar karbon fiber şeritlerle güçlendirilmiştir ve kesme yüküne maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak ise; karbon fiber güçlendirilen duvarların dayanımı %13-84 oranında, deformasyonda ise %51-146 oranında artacağını göstermiştir. Makalede maksimum kayma dayanımının tahmini için deney sonuçları kullanılarak basit bir analitik denklem önerilmiştir.

Öztaş (2009), mevcut bir 3 katlı yığma yapı (Resim 3.3) ele alınarak analizler yapmıştır. Böylece güçlendirme öncesi veriler elde edilmiştir. Güçlendirme yöntemi olarak 2 farklı

yöntem kullanılmıştır. Birincisi betonarme panellerle güçlendirme yöntemi, ikincisi ise cam lifli polimerle güçlendirme(GFRP) yöntemidir. Sonuçlara bakınca; betonarme perdelerle güçlendirme sisteminde, mevcut yapının deprem dayanımı artmış, diğer sistemlere göre daha az yer değiştirme yapması sağlanmıştır. Ayrıca bu güçlendirme binanın iç kısmında yapılarak yapının tarihi dokusu koruma altına alınmıştır. GFRP ile güçlendirme yönteminde ise, eğer uygulanacak yapıda bitişik bir yapı yoksa çift taraflı uygulanması zorunluluğu vardır. Duvarın 2 yüzüne de uygulamak binanın tarihi dokusunu kapatmaktadır. Bu güçlendirme yöntemi ile betonarme güçlendirme yöntemine göre daha fazla yer değiştirme meydana getirmektedir.



Resim 3.3. İncelenen yığma yapı (Öztaş, 2009)

Coza (2009), diğer güçlendirme çalışmalardan farklı olan konusu; bitişik nizamdır. Dolgu duvarlı betonarme yapılarda tek veya çift taraflı sıva/güçlendirme etkisini incelemiştir. Çalışmada 6 adet, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı numuneler ile oluşturulan sistemlerin; yatay yük taşıma kapasitesi, rijitliği ve enerji sönümlenmesi gibi özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu numuneler; boş çerçeve, dolgu duvarlı tek/çift yüzü sıvalı çerçeve ve dolgu duvarlı tek yüzü sıvalı tek/çift yüzü CFRP (Resim 3.4) ile kaplanmış çerçeve olarak hazırlanmıştır.

Deney düzeneği hazırlanmış ve numuneler yerleştirilmiştir. Numunelerin yer değiştirmeleri tekrarlı yükler altında göçme oluşuncaya kadar ölçülmüştür. Deney sonuçlarına bakacak olursak; tek ve çift taraflı güçlendirme yönteminin her ikisinin de yatay yük taşıma gücü, enerji sönümlenme miktarı ve rijitliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir. CFRP'nin tabaka kalınlığının önemli olduğu anlaşılmıştır. Çift kat CFRP erken dayanım kaybı ve kopmayı engellemiştir. Numunelerin her iki yüzünü de güçlendirmek, çift taraflı ankraj uygulamak(ankraj sayısını arttırmak) güçlendirmeyi olumlu etkilemiştir. CFRP ile güçlendirilmiş duvar numunelerinde köşe kırılmaları ve çatlakların bir bölgede toplanması engellenmiştir.



Resim 3.4. Deneyler için kullanılan CFRP malzeme (Coza, 2009)

Yılmaz (2010), aynı harç tipiyle farklı boyutlarda hazırlanan duvar numunelerini CFRP ile güçlendirmenin; dayanım, rijitlik, deformasyon ve enerji yutma özelliklerini nasıl değiştirdiğini araştırmıştır. Diyagonal çekme etkileri oluşturulacak şekilde deney düzeneği kurulup deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarında; numunenin boyutunun artması ile basınç-kayma dayanımı ve deformasyon yeteneğinin azaldığı, CFRP ile güçlendirmeyle ise basınç-kayma dayanımı, enerji yutma, özellikle de deformasyon yeteneğinin arttığı gözlemlenmiştir.

Leone, Sciolti ve Aiello (2012), güçlendirilen tuğla duvarların davranışlarını incelemek için FRP kullanmışlardır. Deneyler için 10 adet duvar numunesi ve güçlendirme içinde BFRP (Bazalt Elyaf Takviyeli Polimer) hazırlanmıştır. BFRP duvarlara 2 farklı şekilde uygulanmıştır; ızgara (Resim 3.5) ve çapraz (Resim 3.6). Deney sonuçlarında güçlendirilmemiş duvarlara kıyasla güçlendirilen duvarlar önemli artışlar göstermiştir. Özellikle ızgara şeklinde uygulanan FRP li duvar süneklik açısından daha iyi performans göstermiştir ayrıca en yüksek kayma dayanımı değerine sahip olduğu görülmüştür.

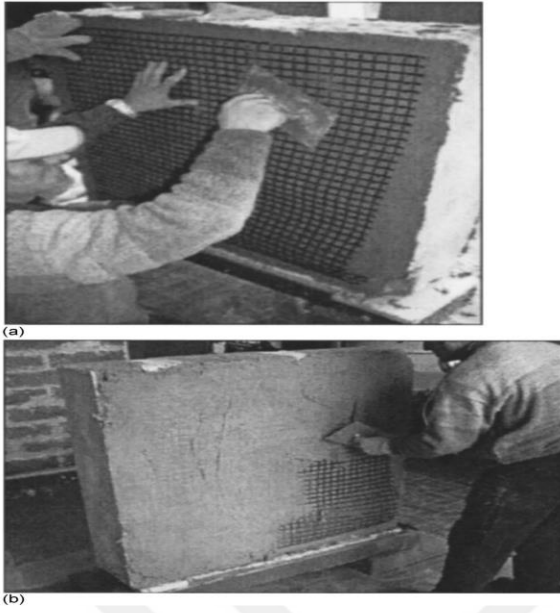


Resim 3.5. BFRP malzemenin duvara birinci uygulanma yöntemi (Leone, Sciolti ve Aiello, 2012)



Resim 3.6. BFRP malzemenin duvara ikinci uygulanma yöntemi (Leone, Sciolti ve Aiello, 2012)

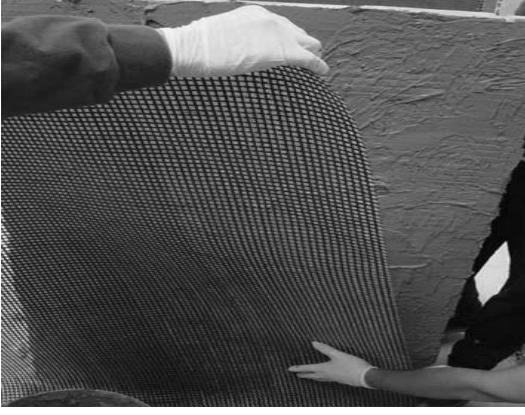
Prota, Marcari, Fabbrocino, Manfredi ve Aldea (2006), Akdeniz Bölgesinde yaygın olan tük binalara değinmişlerdir. Sismik kuvvetlere karşı korunmaları gerektiğini ve son zamanlarda bunun için birçok çalışma olduğunu belirtmişlerdir. Kompozit malzemelerle güçlendirme için kapsamlı deneyler yapılmıştır. Deneyler için toplamda 12 adet aynı ebatlarda duvar inşa edilmiştir. Güçlendirme için CMG sistemi denilen cam kaplı ızgara şeklinde bir çeşit kumaş kullanılmıştır. Bu malzeme işçiliği kolay, sisteme uyumlu, nem sağlayabilen(hava aldirabilen) bir malzemedir. Deneylerde çift kat güçlendirilmiş, tek tarafi güçlendirilmiş, çift tarafi güçlendirilmiş olarak farklı parametreler denenmiştir. Duvar numunelere iyice yapıştırıldıktan sonra (Resim 3.7) diyagonal yükleme yapılmıştır ve böylece deformasyon ve dayanımın nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına göre; orta derecede bir sertlik ancak çift yüze, çift kat uygulanan güçlendirme ile meydana gelmiştir. Ayrıca çift yüze ve çift kat uygulanan güçlendirmede düzgün kırılma ve kesme gözlemlenmiştir. Dayanım ve süneklilikte olumlu sonuç olan matris ızgara, güçlendirme yöntemlerine bir alternatif olarak sunulabilmektedir. Farklı çeşitlerde uygulanması ile ilgili araştırmalar da devam edilmektedir.



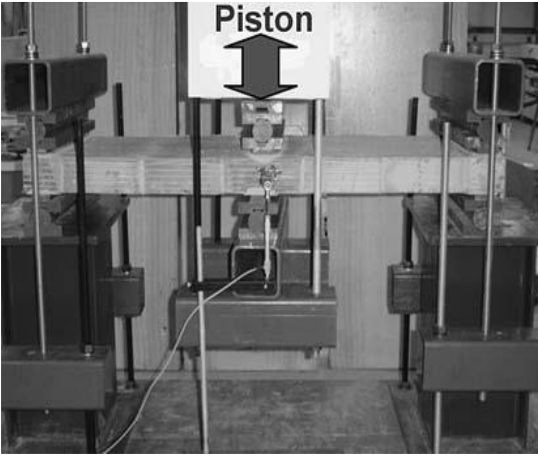
Resim 3.7. Güçlendirme uygulaması yapılan duvar numunelerinden örnek (Prota ve diğerleri, 2006)

Triantafillou, Papanicolaou, Karlos ve Papathanasiou (2007), dünyanın birçok yerinde yaygın olarak yığma duvarların olduğunu ve bunların olası deprem riskine karşı güçlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bu yüzden bir güçlendirme yöntemi olan tekstil takviyeli harç ile tuğla duvarların güçlendirilmesi üzerine çalışılmıştır (Resim 3.8). Deneyleerde; düzlem dışı yükleme maruz kalmamış tuğla duvarların yük taşıma kapasitesi ve deforme edilebilirliği arttırmak için tekstil takviyeli harç gibi yeni bir yapısal malzemenin kullanılması deneysel olarak incelenmiştir. Tekstil takviyeli harç(TRM); elyaf takviyeli polimerler(FRP) veya yüzeye yakın monte takviyeli şeritlerle(NSM) kıyaslanabilmektedir. Tekstil takviyeli harç; uygulamalarda performanstan ödün vermeyerek bazı dezavantajlara maruz kalsa da FRP ye alternatif olarak düşünülebilmektedir. Deneyleerde (Resim 3.9) düzlem dışı yüklemeye maruz kalan 12 adet ½ ölçekli tuğla duvarlarla testler yapılmıştır. Bu testlerde incelemeye alınan parametreler; harç bazlı ve reçine bazlı matriks materyaller, katman sayısı, moment vektörünün köşe bağlantı noktalarına göre uyumu FRP-NSM ye göre performansdır. Sonuç olarak tekstil takviyeli harç kılıfının güç ve deforme olabirlikte önemli bir artış sağladığı görülmüştür. Diğer güçlendirme yöntemleriyle kıyaslandığında; güç ve deforme olabirlik açısından daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır. NSM şeritleriyle kıyaslandığında ise; kontrollü bağlama nedeniyle daha düşük mukavemetlidir ancak deforme olabirlik açısından yüksektir. Sonuç olarak tekstil donatılı harç ile güçlendirilmede istenilen sonuçlara ulaşılmıştır.





Resim 3.8. Uygulama aşaması (Triantafillou ve diğerleri, 2007)



Resim 3.9. Deney düzeneği (Triantafillou ve diğerleri, 2007)

Triantafillou, Papanicolaou ve Lekka (2011), tuğla duvarların yük taşıma ve deformasyon kapasitesini arttırmak üzerine çalışmışlardır. Bunun için güçlendirilmemiş tuğla duvarlar dışarıdan yapıştırılan ızgaralar(grid) ile güçlendirilmiştir (Resim 3.10). Deneyler için; delikli tuğlarla ve masif taşlarla farklı 2 grup duvar örülmüştür. Deney numuneleri döngüsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Deney için dikkate alınan parametreler; güçlendirici tabakanın kalınlığı (her iki yüze uygulanan tek kat veya çift kat), ızgara tipi (karbon, cam veya bazalt polipropilen-polyester içeren ağ yapıları), bağlayıcı malzemenin (harç) tipidir. Ayrıca yükleme yapılan numunelere uygulanan basınç seviyesi de farklı verilerek bu parametrelere dahil olmuştur. Birçok durum göz önüne alınıp yapılan deneylerin sonucunda; güçlendirme olarak kullanılan ızgara(grid) istenilen özellikler bakımından mevcut yapıların güçlendirilmesi için ümit verici, önerilebilir bir çözüm olmuştur.





Resim 3.10. Yükleme öncesi numunelerin hazırlanması (Triantafillou, Papanicoiaou ve Lekka, 2011)

İlki ve Kumbasar (2001), günümüzde duvar güçlendirme alanında yaygın olarak bilinen karbon lifli polimer kompozit (CFRP) malzemenin deneysel çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalar 2 ana başlıkta toplanmıştır. Birincisi; önceden hasar görmüş elemanların onarılıp CFRP ile güçlendirilerek sabit eksenel kuvvet ve yön değiştiren tekrarlı eğilme momenti etkileri altında incelenmesidir. İkincisi ise; hasarlı ve hasarsız elemanların CFRP ile onarılıp güçlendirilerek eksenel yükler altında incelenmesidir. Deney sonuçlarına bakıldığında CFRP ile onarılıp güçlendirilen numunelerin yanal yük taşıma kapasitelerini %28 ile %77 arasında arttığı gözlemlenmiştir. Bu numunelerin şekil değiştirebilme özellikleri artmış, süneklik özelliği iyileştirilmiş ve enerji yutma kapasiteleri artmıştır. Söz konusu güçlendirme yönteminin deneysel olarak olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Karadoğan, Erol, Yüksel, Saruhan ve Sağbaş (2003), tuğla duvarları güçlendirmek için karbon lifler kullanmışlardır. Deney parametreleri; duvarların sıvalı veya sıvasız olması, karbon liflerinin duvara uygulanma şekilleri, karbon liflerinin genişlikleri ve duvar kalınlığıdır. Tüm numunelerde karbon lifleri duvarın her iki yüzüne de uygulanmıştır ve karbon liflerinin doğrultusu duvar yüzlerine paraleldir. Toplam 28 adet duvar numunesi belirtilen şekilde güçlendirilmiş ve ASTM-C-1391-81 de önerilen çekme deneyine benzer bir deney tekniği ile test edilmiştir. Yer değiştirme ölçer yardımıyla düşey ve yatay yer değiştirmeler saptanmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarında; sıvasız olarak karbon lifle güçlendirilen duvarların dayanımlarında ve rijitliklerinde oldukça büyük artışlar gözlemlenmiştir. Sıvalı numunelerde de sıva ile karbon lifleri ayrılmamakla birlikte rijitlik ve dayanımlarda artışlar gözlemlenmiştir.

Çöğürçü (2007), yığma yapıları güçlendirmek için; düzlem dışı yüklenen yığma duvarların ve yığma duvarlarda oluşan çatlamların kontrol alması düşüncesiyle epoksi reçineli FRP ile yatay derz takviyesi uygulaması analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Deneyler için gerçekçi boyutlara sahip aynı malzeme ve geometride 2 adet duvar üretilmiştir. Birinci duvar deprem etkisini modelleyen düzlem dışı tersinir yük altında denenmiş ve kırılma davranışı araştırılıp incelenmiştir. İkinci duvarın yatay derzleri epoksi reçineli FRP ile takviye edilmiş ve aynı şartlar altında denenerak duvarı ne kadar güçlendirdiği incelenmiştir. Deney sonuçlarında epoksi reçineli FRP ile yatay derzlere takviye uygulanan duvarın kırılmaya karşı 3 kat daha fazla dayandığı gözlenmiştir.

Özsaraç (2009), Türkiye’de ki mevcut yapıların büyük bir çoğunluğunun yığma yapılardan oluştuğunu ve taşıyıcı duvarlarda en fazla kullanılan malzemenin de tuğla olduğu söylenmiştir. Tuğlaların düşük yük taşıma kapasiteleri yüksektir fakat deprem gibi yatay yüklere karşı yetersizdir ve ülkemizin fay hattına yakın olduğu göz önüne alındığında yığma yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye’de üretimi bulunan kompozit bir malzeme olan GFRP, bu çalışmada dokuma GFRP malzemesinin değişik form ve miktarlarda kullanılıp güçlendirmesiyle dayanım ve süneklığe olan etkisi incelenmiştir. Deneyler için 3 seri her seride 12 adet duvar olmak üzere toplamda 39 adet model tuğla duvar üretilmiştir. Seri 1’de dokuma GFRP 2.5 cm kalınlığında 2 adet şerit kesilerek çapraz şekilde uygulanmıştır. Seri 2’de duvarın her köşegenine 1 adet 1.5 cm ve 2 adet 0.5 cm genişliğinde CFRP dokuma uygulanmıştır. Seri 3’te duvar numunesinin tüm yüzünü kaplayacak şekilde uygulanmıştır. Her serideki numunelerden 6 adedine önceden hasar verilmiştir ve epoksi ile onarımı yapıldıktan sonra güçlendirme aşaması uygulanmıştır, 6 adedi ise hasar verilmeden sadece güçlendirilmiştir. Bu duvar numunelerinin 3’er adedi sadece tek yüzü, 3’er adedi ise her iki yüzü de güçlendirilmiştir. Duvar numunelerinde tek eksenli basınç yükü uygulanmıştır. Sonuç olarak dokuma CFRP malzemesi; yatay ve düşey dayanımı arttırmış ve sargılayıcı-kuşatıcı davranarak duvarların parçalanmasını önlemiştir. En yüksek dayanım artışı Seri 3’te gözlemlenmiş ve Seri 1’de de kayda değer bir artış gözlemlenmiştir. Bütün numunelerde süneklilikte artış görülmüştür.

Schwegler ve Kelterborn (1996), CFRP ile güçlendirme yöntemini ele almışlardır. İsviçre’nin Zürih şehrinde mevcut olan eski bir yığma yapı üzerinde çalışılmıştır. Bitişik nizamlı binanın deneyler sonucunda depreme dayanıklı olması istenmiştir. Duvarlara CFRP malzemesi epoksi reçinesi ile uygulanmıştır. CFRP levhaların çelikten yapılmış levhalara göre avantajlı olduğu belirtilmiştir. Çünkü CFRP levhaların; korozyon ve dayanım açısından

çelik levhalara göre üstün olduğu ayrıca uygulama açısından elle kolayca uygulanabildiği belirtilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre; yük taşıyan tuğla duvarların dayanım ve rijitliğinin önemli ölçüde artmış olduğu belirtilmiştir. Ayrıca püskürtme beton ile güçlendirme gibi benzer güçlendirme yöntemlerinden daha ucuz olduğu belirtilmiştir. Ekonomiklik ve kolay uygulanabilirlik açısından CFRP şeritler ile güçlendirmede depreme karşı bir dayanıklılık elde edilmiştir.

Mezrea (2014), 1930'lu yıllardan kalma tarihi yığma yapıları güçlendirmek için tekstil takviyeli harç kullanmıştır. Deneyler için 14 adet, 755\*755\*235 mm boyutlarında duvar numunesi üretilmiştir. 2 adet numune şahit olarak yalın halde bırakılmıştır. 2 adet numune düşük dayanımlı harç ile sıvanmış ve diğer 10 adet numune ise farklı kombinasyonlarda güçlendirilmiştir. Daha sonra diyagonal yükleme test düzeneği kullanılarak duvar numuneleri test edilmiştir. Deneylerdeki değişken parametreler; sıva için yapılan harcın mekanik özellikleri, tekstil malzemesinin cinsi ve ankrajdır. Tekstil malzemesi ile güçlendirilen numunelere tekstil malzemesini yapıştırmak için harç kullanılmıştır. Diyagonal basınç yüklemesi sonucunda numunelerde; maksimum yük kapasitesi, kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi, kayma modülü ve tüketilen enerji kıyaslanmıştır. Deneysel sonuçlarında; yalın haldeki numuneler gevrek kırılmış, sadece sıvalı numuneler referanslara göre daha sünek kırılmıştır. Güçlendirme uygulanan numuneler ise hem referanslara hem de sadece sıvalılara göre belirgin bir şekilde sünek kırılmıştır. Kayma dayanımı ve yük taşıma kapasitesinde; hem sıva hem de tekstil malzemesi dayanımı arttırmıştır. Ankraj uygulaması kayma dayanımında önemli bir artış sağlamamıştır ama deformasyon kapasitesini arttırmıştır. Tekstil takviyeli harç ile güçlendirilen numunelerde şekil değiştirme özelliği iyileşmiştir. Tüm deneysel sonuçlara bakıldığında tekstil takviyeli harç ile güçlendirilen tuğla duvar numunelerinin istenilen özellikleri artmıştır.

Tekeli, Avcı, Üreyen ve Sasa (2019), güçlendirme yöntemi olarak lifli polimer malzeme (FRP) kullanmışlardır. Bu kapsamda toplam 5 adet tuğla duvar numunesi inşa edilmiştir. Bunlardan 2 adedi güçlendirilmeden sıvalı ve sıvasız olarak bırakılmıştır. Kalan 3 numune ise çift taraflı lifli polimer malzeme ile güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerde ankrajların kullanılıp kullanılmaması, ankraj sayısı değişken parametreler olmuştur. Numunelerin güçlendirme işlemi tamamlandıktan sonra yükleme düzeneklerine yerleştirilip deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlarında en büyük taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitesi ankraj sayısı arttırılan güçlendirilmiş numunede görülmüştür. Ankraj sayısının seçiminin,

kare levhaların uygulanmasının deney sonuçlarında önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.4. Püskürtme Beton ile İlgili Çalışmalar

Elgawady, Lestuzzi ve Badoux (2006), yığma yapıların güçlendirilmesi yöntemi olarak püskürtme beton (Resim 3.11) kullanılan bu çalışmada 3 adet ½ ölçekli tuğla duvar inşa edilmiştir. Bu duvarlardan biri referans olarak seçilmiştir. Bir diğerinin tek yüzü 40 mm kalınlıkla püskürtme beton ile güçlendirilirken son numunenin her iki yüzü 20 mm kalınlıkta püskürtme beton ile güçlendirilmiştir. Deney sonuçlarında püskürtme beton ile güçlendirilen tuğla duvarların yanal mukavemetinin yaklaşık 3.6 kat artabildiği gözlemlenmiştir. Ancak çift taraflı püskürtmede sünekliğin daha az olduğu ve enerji kaybının olduğu gözlemlenmiştir. Kısacası deney sonuçları püskürtme beton kullanılarak güçlendirme işleminin artabildiğini ortaya koymuştur.



Resim 3.11. Püskürtme betonun numuneye uygulanması (Elgawady, Lestuzzi ve Badoux, 2006)

Ateş (2013), yığma yapıları içten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirip, duvarların mekaniksel davranışı ve güçlendirme yönteminin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Güçlendirilmemiş model duvar (D0) ve sadece ön yüzü güçlendirilmiş (D1) çalışmaları daha önce yapılmış, bu çalışma onların devamı niteliğinde olup her iki yüzü de güçlendirilen (D2) duvar numuneleri aynı şartlarda, aynı özelliklerde üretilip, mekaniksel davranışı araştırılmıştır. D0 ve D1 ile kıyaslamalar yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarında; kırılmalarda D0,D1,D2 benzer çatlak şekilleri oluşmuştur. D2 duvarı, D0 duvarına 4,58 kat ve D1 duvarına göre 1,47 kat daha fazla kırılma yüküne dayanabilmektedir. D2 duvarı, D0 duvarından 2,79 kat ve D1 duvarından 1,05 kat daha fazla süneklik göstermektedir. Enerji

tüketme kapasitesi; D0 duvarından 28,12 kat ve D1 duvarından 2,01 kat daha olduğu gözlemlenmiştir. Rijitlik; D0 duvarına göre 2,92 kat ve D1 duvarına göre ise 1,23 kat daha azaldığı gözlemlenmiştir. Yıkılmadan dayanabileceği en büyük ivme; D0 duvarına göre 4,56 kat v D1 duvarına göre 1,46 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda yapılan güçlendirme çalışmalarında yıkıp yeniden inşa etmek yerine çift tarafı donatılı püskürtme betonla güçlendirilen yığma yapılar önerilmektedir.

Atta Ur Rehman Khan ve diğerleri (2015), eski tuğla duvarların depreme karşı çok dayanıksız olduğu ve bunların donatı püskürtme yöntemi ile güçlendirilmesi gerektiği öne sürmüşler. Bu amaçla deneylere başlanmıştır ve 8 adet donatısız tuğla duvar prizması inşa edilmiştir. Bunlar ikisi yalın halde bırakılmıştır. Kalan 6 numunenin yüzüne de farklı kalınlıklarda donatı püskürtme işlemi yapılmıştır. Bu numuneler diyagonal yükleme düzeneğine yerleştirilerek sonuçlarına bakılmıştır. Bu aşama çatlakların prizmanın genel bütünlüğünü bozduğu ana göre test edilmiştir. Sonuçlarda donatı püskürtme ile güçlendirilmiş deney numunelerinin kapasitesinin püskürtülen donatının kalınlığı ile doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Test sonuçları püskürtülen donatı kalınlığıyla; kayma dayanımı ve çekme dayanımını açısından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kayma dayanımının kuvvetlenmesinde çok etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca güçlendirilmiş tuğla duvar prizmalarının sünekliği arttığı gözlemlenmiştir.

Orulkaya (2019), mevcut yığma yapıların güçlendirilmesinde püskürtme beton uygulaması yapmıştır. Çalışmalar için deprem performansı yeterli olmayan 1. derece deprem bölgesinde bulunan 2 katlı tuğla yığma yapı seçilmiştir. Bu örnek bina SAP2000 programında yığma duvarlar 'shell' elaman kullanılarak modellenmiştir. Program üzerinden gerekli analizler yapılmıştır. Yığma binanın güçlendirme aşaması için ilk olarak duvarların üzerindeki sıva tabakaları temizlenmiştir. Güçlendirme 5 farklı alternatif ile yapılmıştır. A) Tüm duvarlar içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmiştir. B) Tüm duvarlar tek taraflı 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmiştir. C) Sadece dayanımı yetersiz olan duvarlar içten ve dıştan 5 cm kalınlığında güçlendirilmiştir. D) Tüm iç duvarlar her iki taraftan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmiştir. E) Tüm dış duvarlar içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmiştir. Deney sonuçlarında; tüm alternatiflerden sadece 'A' ( tüm duvarların içten ve dıştan 5 cm kalınlığında püskürtme beton ile güçlendirilmesi ) deprem etkisine karşı yeterli güvenliği sağlayabilmiştir. En elverişsiz çözüm 'B' olmuştur. 'C' ve 'D' birbirine çok yakın sonuçlar vermiş ve kısıtlı

çözümlemeler elde edilmiştir. 'E' ise 'A'dan sonra ki en güvenilir sonuçları veren alternatif olmuştur.

Sallıo (2005), Türkiye yapı stoğunun yaklaşık yarısı yığma binalardan oluşmaktadır. Bu binalar genellikle ağır çatı yükleri ile kapatılmaktadır ve bu çatılar deprem anında binanın şiddetli bir şekilde yıkılmasına sebep olmaktadır. Bu yapılar orta şiddetli depremlerde bile hasar görebilmektedir. Eski kamu binalarının büyük bir kısmı yığma yapı olarak yapılmıştır. Bu çalışmada, 1950 yıllarında yığma yapı olarak inşa edilen Buldan Göğüs Hastalıkları Hastanesi binasının mevcut durumuyla kesme kuvvetlerini karşılayacak yeterli dayanım ve rijitlikte olamaması sebebiyle incelenmiş ve yapının bazı duvarlarına rijitliğinin artırılması aynı zamanda duvar kesme dayanımlarının yeterli seviyeye ulaşması için güçlendirme metodu olan püskürtme beton uygulaması yapılmıştır. Yapının mevcut durumu ve güçlendirilmeden sonraki durumu SAP2000 programı ile analiz edilip karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler ve analizlerin sonucunda; güçlendirme işlemi ile yapının rijitliği artırılmıştır, duvarlara gelen kesme kuvvetleri azaltılarak kesme kapasiteleri artırılmıştır, büyük hasarlara sebep olan düzlem dışı kuvvetler ve deplasmanlar azaltılmıştır.

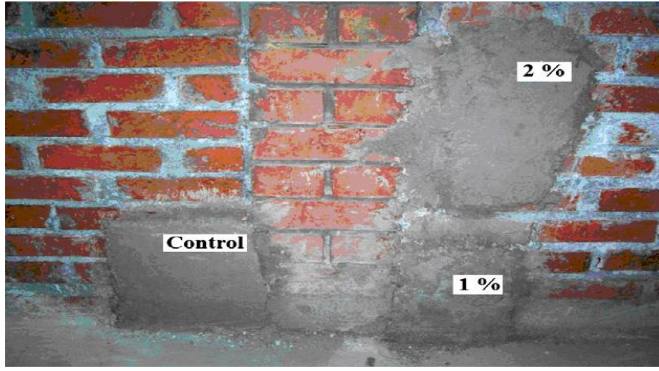
Kaya (2013), dünya üzerinde çok fazla farklı işçilik ve farklı malzemelerle üretilmiş halde bulunan yığma yapıların özellikle deprem bölgelerinde yer alanların güçlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Son yıllarda bu tür çalışmaların analitik ve deneysel olarak incelenmesinin arttığını söylenmiştir. Bu tez çalışmasında da mevcut güçlendirme yöntemlerinden biri olan püskürtme beton üzerine çalışılmıştır. Deney çalışmaları için; 2 adet yalın tuğla duvar, 2 adette 10 cm kalınlığında  $9 \text{ kg/m}^3$  propilen lif katkılı kuru karışım püskürtme ile güçlendirilmiş tuğla duvar olmak üzere 4 adet numune üretilmiştir. Propilen lif tercih edilmesinin sebebi; diğer malzemeler çatlak oluşuktan sonra çatlağın büyümesini engellerken propilen lifler çatlağın oluşumunu engellemektedir. Yapılan deneylerin sonuçlarında; yalın numunelere göre taşıma güçleri artış göstermiştir. Propilen lif ile güçlendirme malzeme kolaylığı, uygulama kolaylığı gibi avantajlardan dolayı tercih edilebilir ama püskürtme uygulaması sırasında püskürtme işi zorlaştırdığı açıkça söylenebilmektedir.

Yedek (2013), dünyada yaygın olarak kullanılan yığma yapıların, güçlendirme çalışmalarının son yıllarda arttığını belirtmiştir. Bu tez çalışmasında da güçlendirme yöntemlerinden biri olan püskürtme beton ile güçlendirme üzerine çalışılmıştır. Deneyler için 4 adet tuğla duvar numunesi inşa edilmiştir. Bunlar 2 seri olacak şekilde; birinci seride

2 adet yalın tuğla duvar, ikinci seride ise çelik hasır üzerine 5 cm kalınlığında kuru karışım püskürtme beton diğer 2 adet tuğla duvar numunelerine uygulanmıştır. Bu deney numunelerinin dayanımı ve davranışı hakkında inceleme yapılarak, deney verilerinden kırılma yükleri, yer değiştirmeleri ve kırılma modları araştırılmıştır. Deney sonuçlarında; güçlendirilen numunelerin taşıma gücü yalın numunelere göre artış göstermiştir. Güçlendirilen numuneler yalın numuneler gibi geniş ve büyük çatlaklar oluşturmamıştır, kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Ancak zamanla püskürtme beton ile duvar yüzeyi birbirinden ayrılma durumu sergilemiştir.

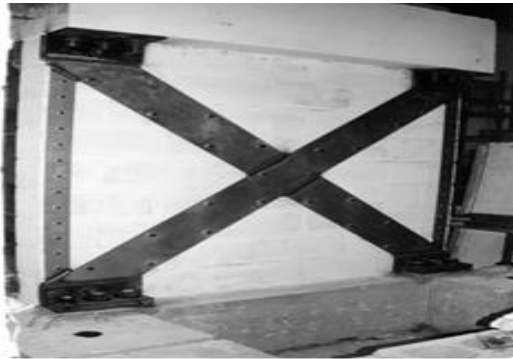
### **3.5. Çelik Lifler, Şeritler ve Profiller ile İlgili Çalışmalar**

Sevil, Baran, Bilir ve Canbay (2010), duvarların güçlendirilmesi için ekonomik ve yapım uygulaması açısından pratik bir yöntem elde etmek istemişlerdir. İçi boş tuğla duvarlara uygulanan çelik lifli harç ile yığma yapılar neredeyse güçlü ve katı dolgulara dönüştürülmüştür. Deney için; kimyasal katkı maddesi olarak portland çimentosu, ince agrega, su ve plastikleştirici madde veya bağlayıcı madde bileşimi ile iki farklı karışım oranı üretilmiştir. Harç içindeki plastik ve bağlayıcı madde kullanımını netleştirmek için hacimce %1,%2veya %4 oranında çelik lifli harçla testlere başlanmıştır (Resim 3.12). 20 mm kalınlıktaki harçlarla, referans olarak çelik lif içermeyen ve % 1, % 2 ve % 4 hacim oranında çelik lif içeriği duvara uygulanmıştır. Deneylerde %4'lük ilave edilen harç hiçbir şekilde duvara yapışmamıştır. %1 ve %2 de ise harç duvara çok az sabitlenmiştir. Daha sonra %0, %1 ve %2'lik harçlarla deneyin gerçekleşmesine karar verilmiştir ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre güçlendirici malzeme olarak plastikleştirici ve %2 çelik lifli harç karışımı en uygun karışım olmuştur. Plastikleştirici ve %2 oranında çelik lifle güçlendirmiş tuğla duvarın performansı ile güçlendirilmemiş tuğla duvar kıyaslanmıştır. Bu şekilde bir güçlendirme yöntemi ile duvarın daha güçlü ve çatlak oluşumuna daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kullanımı yaygın olan CFRP ile güçlendirme metoduyla karşılaştırıldığında bu yöntemin daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Çünkü çelik lifler, CFRP ye göre daha ucuzdur, çelik lifli harcın üretim ve uygulaması neredeyse sıradan harca benzediği için ve CFRP uygulamasında kalifiyeli işçilik gerektirdiği için bu yöntemin daha avantajlı olduğu öne sürülmüştür.



Resim 3.12. Çelik lif uygulanmış numune (Sevil, Baran, Bilir ve Canbay, 2010)

Taghdi, Bruneau ve Saatçioğlu (2000), dikdörtgen kesitli 6 adet duvar inşa etmişlerdir. Duvarlardan 4 adedi tuğla duvar, 2 adeti betonarme duvar olarak inşa edilmiştir. Çelik şeritlerle güçlendirme metodu kullanılan bu çalışmada duvarların her iki yüzüne de diyagonal çelik şeritler yerleştirilmiştir ve duvarların uzun kenarından uzanan çelik şeritler vasıtasıyla güçlendirilmiştir (Resim 3.13). Deney sonuçlarına göre; genel olarak güçlendirilmiş tüm duvar örnekleri diğerlerine göre üstün davranış sergilemiştir. Ayrıca güçlendirilmiş duvarlarda çatlak genişlikleri kontrol edilmiş olup ve çatlakların duvarın her yerine daha düzgün yayıldığı gözlemlenmiştir. Düzlem içi dayanım ve süneklilik artmıştır. Çelik şerit sistemindeki sürekliliği sağlamak için kullanılan detaylar ve bağlantılar kayma sürtünme direncini arttırmıştır.



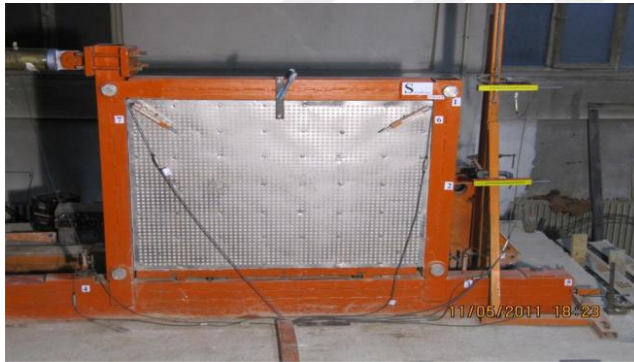
Resim 3.13. Çelik şerit uygulanmış duvar numunesi (Taghdi, Bruneau ve Saatçioğlu, 2000)

Özbek ve Can (2012), günümüzde güçlendirme yöntemleri arasında popüler olan karbon lifli kumaşlara bir alternatif olarak çelik profillerin kullanımını araştırmışlardır. Çelik profillerin, karbon lifli kumaşlara göre daha ucuz, yerli üretim ve kolay elde edilebilir olması belirtilmiştir. Çalışmada betonarme çerçeve içinde olan 6 adet tuğla duvarlar ele alınmıştır. Bu duvarlardan 1 adedi referans olup hepsi 1/2 ölçekli olarak üretilmiştir. Deney elemanları yatay yük altında gerçek yapıdaki zorlanmaları benzeştiren dört köşesi mafsallı dikdörtgen çelik çerçevenin içine yerleştirilmiştir. Tersinir ve tekrarlanır yükler altında deney



numuneleri denenmiştir. Sonuç olarak; güçlendirilmiş tuğla duvarların dayanımının yaklaşık 3.5 kat, rijitliğin ise 3 kat arttığı gözlemlenmiştir.

Babayani (2012), mevcut yapıların depreme dayanıksızlığında önemli bir etki yetersiz yanal rijitliktir. Yapıları güçlendirmek için kullanılan güçlendirme yöntemlerinin çok zahmetli olduğunu bunun için ekonomik, etkili, pratik ayrıca yanal rijitliği artırıp, davranışı iyileştiren güçlendirme yöntemi olarak delikli çelik levhalarla güçlendirme yöntemi önerilmiştir. Deneyler için 1 tanesi referans olmak üzere 13 tane sıvalı tuğla duvar üretilmiş ve deprem yüküne benzer tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney numuneleri 3 farklı kalınlığa sahip delikli saç levha ile sabitlenmiştir (Resim 3.14). Deneyin parametreleri olarak; levha kalınlığı, bulon aralığı ve yetersiz boyuttan kaynaklanan levhalarda bindirmeli ek bulunmasıdır. Testler analiz edilip numunelerin dayanıp, rijitlik, enerji dağıtımı ve süneklik özelliklerine bakılmıştır. Deney sonuçlarına bakıldığında, önerilen güçlendirme yönteminin sıvalı tuğla duvarların depreme karşı dayanımında çok etkili olabileceği önerilmiştir.



Resim 3.14. Çelik levha ile güçlendirilmiş duvar numunesi (Babayani, 2012)

Seydanlıoğlu (2013), tuğla duvarların güçlendirilmesinde lifli polimer kumaşlar veya çelik levhaların kolay uygulanabilir olduğunu belirtmiştir. Lifli polimer kumaşların ithal edildiği için pahalı olduğu ve çeliğe göre gevrek davrandığını öne sürerek çelik şeritlerle güçlendirmenin daha cazip olduğu belirtmiştir. Deney aşamasında; 1 adet referans ve 13 adet delikli çelik şeritlerle güçlendirilmiş olarak deney elemanları düşey yükler altında incelemiştir (Resim 3.15). Deney sonuçlarında güçlendirilmiş duvarların; dayanım, süneklik oranı ve enerji tüketim değerlerinde fark edilebilir bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca tuğla duvar numunelerinin gevrek kırılmayla parçalanıp dağılmasının önlediği belirtilmiştir.



Resim 3.15. Delikli çelik levha ile güçlendirilmiş numunenin yükleme sonrası durumu (Seydanlıoğlu, 2013)

Cumhur, Altundal, Kalkan ve Aykaç (2015), tuğla duvarlar için etkili, ekonomik ve pratik bir güçlendirme yöntemi olarak öngörülen genişletilmiş hafif çelik plakalar ile güçlendirme yöntemi hem deneysel hem de sayısal olarak incelemişlerdir. Tuğla duvarların katkısını arttırarak yapının yanal mukavemeti ve sertliğini arttırıp yapısal hasarı en aza indirmek amaçlanmıştır. Deneysel için 11 adet tuğla duvar numunesi genişletilmiş hafif çelik plakalar ile güçlendirilmiştir. Daha sonra bu numuneler diyağonal yüklemeye cihazı ile test edilmiştir. Deneysel parametre olarak; duvarın her iki yüzüne yapıştırılan plaka kalınlığı ve civata ağırlığı seçilmiştir. Deneysel sonuçlarında plakalar; diyağonal yüklerin neden olduğu gerilmelerin büyük bir kısmını taşıyabilmektedir. Sonuç olarak duvarın yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği ve enerji yutma kapasitesi önemli ölçüde artmıştır.

İlyas, Farooq, Qazi ve Umair (2009), gelişmekte olan dünya ülkelerinden biri olan Pakistan'da yığma yapıların çok fazla kullanıldığını belirtmişlerdir. Mevcut yapıları güçlendirmek için bu çalışmada çelik şeritler kullanılmıştır. Deneysel 3 gruba ayrılarak her bir grupta; donatı ve en-kesit-boy oranları farklı kullanılmıştır. 3 farklı grupta her gruptan 3 adet olmak üzere toplam 9 farklı duvar numunesi üretilmiştir. Deneysel sonucunda yük taşıma kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. Duvarların çelik şeritlerle güçlendirilmesinin oldukça uygun ve ucuz bir seçenek olduğu belirtilmiştir.

Acun ve Sucuoğlu (2005), güçlendirme yöntemlerine; yapı performanslarına katkısı, sosyal olarak kabul edilebilmesi, ekonomik olmaları, yeni malzeme ve yöntemlerle gelişmeye açık olması gibi özelliklerinden dolayı başvurulması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada yığma yapıları güçlendirmek için hasır donatı ile güçlendirme yöntemi kullanılmıştır. Deneysel;

1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı, tuğla dolgulu duvarlı betonarme çerçeve üzerinde çalışılmıştır. Deney elemanları küre alınıp istenilen dayanımı kazandıktan sonra tuğlalarla dolgu duvar örülmüştür. Duvar örüm aşaması bittikten hemen sonra duvarlar sıvanmıştır. Daha sonra sıvanın yeterli dayanımı kazanması beklenilmiştir. Toplamda 4 adet; 1'i referans 3'ü güçlendirilecek olan dolgu duvarlı betonarme çerçeve elemanları farklı parametrelerle deneye tabi tutulmuştur. 1.duvar; düşük dayanımlı sıva ve tek hasır donatı ile güçlendirilmiştir. 2.duvar; sıvanın etkisini inceleyebilmek adına 1.duvara uygulanan sıvadan daha güçlü bir sıva ve hasır donatı oranı 1.duvarla aynı biçimde tek hasır donatı ile güçlendirilmiştir. 3.duvar; 2.duvar ile aynı sıva ve hasır donatının miktarının etkisini inceleyebilmek adına çift sıra hasır donatı uygulanarak güçlendirilmiştir. Deney sonuçlarında; 1.duvar, referans duvara göre daha fazla rijit davranmış ve yatak yük kapasitesinde artım olmuştur. 2.duvar da 1.duvar gibi referansa göre dayanım ve rijitlikte artı meydana gelmiştir. 3.duvar ise test edilen diğer deney elemanlarına göre en yüksek kapasite ve dayanıma sahip olmuştur. Sonuç olarak hasır donatı ile güçlendirmede elemanları yatay yük taşıma kapasitesi ve rijitliklerinde artı meydana gelmiştir.

Tekeli ve diğerleri (2014), dolgu duvarları hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirme yönteminin etkilerini araştırmışlardır. Deneyler için 4 tane aynı yapısal özelliklerde dolgu duvarlı betonarme çerçeve üretilmiştir. Duvar numunelerinden 1 tanesi referans olarak bırakılmış diğer 3 tanesi ise dolgu duvar ile örülmüştür. Tuğla dolgu duvarlı numunelerin 1 tanesi sadece sıvalanmış 2 tanesinin de tek tarafı bu yöntem ile güçlendirilmiştir. Bunların ankraj aralığı ve işçilikleri farklı uygulanmıştır. Numune yüzeylerine hasır donatı epoksi yardımıyla yerleştirilmiştir. Deneyler sonuçlandığında yük taşıma kapasitesinin yanında enerji yutma kapasitesinde de artış olduğu gözlemlenmiştir. Yük taşıma kapasitesi referans numuneye göre; dolgu duvarlı numunede %120, seyrek ankraj ile güçlendirilen numunede %160, sık ankraj ile güçlendirilen numunede ise %180 artmıştır. İşçiliği kötü olan numunede deney sırasında güçlendirme yüzeyinin ayrıldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu güçlendirmenin deney numunelerinin tek tarafına değil de her iki yüzüne de uygulanması gerektiği düşünülmüştür.

Koprıman, Özmen, Özdemir ve Özgedik (2018), yığma yapıların; ekonomik olması, işçiliğinin kolay olması, doğal malzemelerin kullanılmasından dolayı yaygın olarak bulunduğunu ancak yatay dayanım ve rijitliğinin yeterli olmadığı durumlarda güçlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışma kapsamında güçlendirme amacıyla 4 adet tuğla yığma duvar inşa edilmiş ve 3 tanesi çelik elemanlar ile farklı tipte uygulanarak

güçlendirilmiştir. Güçlendirilen duvarlar yüklemeye düzeneğine yerleştirilerek duvarların; kayma dayanımı performansı, deformasyon ve enerji yutma kapasitelerine erişilerek karşılaştırmıştır. Deney sonuçlarında; önerilen yöntemle amaçlanan hedef başarılı sonuçlar vermiş ve kayma taşıma gücünde artış, enerji yutma kapasitesinde iyileşme görüldüğü belirtilmiştir.

### **3.6. Epoksi Reçine Enjeksiyonu ile İlgili Çalışmalar**

Araki, Yasojima ve Kagawa (2011), yığma yapıları güçlendirme yöntemi olarak epoksi reçine enjeksiyon yöntemi kullanmışlardır. Bu yöntemin basınç, kayma ve eğilme özelliklerini değerlendirmek için 3 tip yüklemeye testi yapılmıştır. Deneyin değişken parametreleri; harcın dayanımı ve uygulanan aksel kuvvettir. İncelemek için 3 tuğla duvar üzerine yüklemeye testleri yapılmıştır. Deney sonuçlarında; istenen özelliklerde artışlar gözlemlenmiştir. Ancak harcın dayanımı, tuğla duvarın kayma ve eğilme dayanımını etkilememiştir. Ek olarak epoksi reçine enjeksiyon yöntemi ile güçlendirilmiş duvarların gücünü tahmin edebilmek için denklemler önerilmiştir.

Bu, Li ve Salih (2011), 2008 Wenchuan Depremi sonrası çok fazla maddi hasar ve insan kaybı meydana geldiğinden mevcut bulunan tuğla duvarların güçlendirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Güçlendirme yöntemi olarak epoksi reçinesi enjeksiyon yöntemi kullanılmıştır ve gerekli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerdeki temel amaç bu güçlendirme yönteminin tuğla duvar üzerindeki davranışlarını incelemektir. Deney sonuçlarında epoksi reçine enjeksiyon yönteminin kullanılması ile dayanım, rijitlik ve süneklik değerlerini arttırdığı gözlemlenmiştir.

Çalışkan Demirci, Aydoğan, Aras ve Çerçevik (2015), ankrajlarda epoksi kullanımını incelemişlerdir. Epoksi reçineler inşaat alanlarında; onarım aşamasında çatlakların doldurulması, betonun içerisinde sonradan yerleştirilecek olan çelik donatılarda yerleştirilmesi gibi yaygın olarak kullanılmakta olduğu belirtilmiştir. Son yıllarda ise onarım ve güçlendirme alanında; donatı kohezyonu, yangın hasarlarını, sehimi kontrol edebilmesi, yapı güvenliğini artırması gibi özelliklerinden dolayı önem kazanmıştır. Epoksi kullanımının avantajları arasında; yüksek yapışma dayanımı, maliyetinin düşük olması, işçiliğinin kolay olması, aşınmaya karşı dayanıklılık, boşluk doldurma özelliği, ısısal kararlılık, düşük rötre gibi sıralanabildiği açıklanmıştır. Çalışma kapsamında epoksi reçinelerin kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri detaylı olarak verilmiştir. Epoksi uygulamalarında dikkat edilecek hususlar olarak; anktaj delik çapları kılavuza uygun olarak

dikkat bir şekilde açılmalı, ankraj ekimi yapılırken delinecek eleman kontrol edilmeli ve donatılara zarar vermemeli, delik içi temizlenmelidir. Sonuç olarak epoksi reçinesi onarım ve güçlendirme için uygun yapıştırıcı olarak öne çıktığı belirtilmiştir. Ürünün seçilirken teknik özelliklere dikkat edilmesi, amaca ve kullanıma en uygun ürünün tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

### 3.7. Betonarme Paneller, Prekast Paneller ve Betonarme Perdeler ile İlgili Çalışmalar

Baran ve Tankut (2011), betonarme çerçevelerin prefabrik beton panellerle güçlendirilmiş ve döngüsel yükler altındaki davranışı araştırmışlardır. Deneyler için 11 adet 1/3 ölçekli tek açıklıklı ve 2 katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler oluşturulmuştur. Güçlendirme için 6 farklı panel tipi kullanılmıştır ve duvarlara epoksi yardımıyla yapıştırılmıştır. Deney sonuçlarında prefabrik beton panellerle güçlendirilen çerçevelerin; mukavemet, yanal sertlik ve enerji yutma kapasitelerinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir.

Baran, Aktaş ve Aykaç (2014), mevcut kullanılan güçlendirme yöntemleri için binanın boşaltılması ve uzun süre şantiyeye dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada bina sakinlerini sokağa dökmeden, ekonomik ve aynı zamanda yapısal olarak etkili bir güçlendirme yöntemi olan şerit beton/betonarme panellerle güçlendirme önerilmiştir. Uygulama olarak da kolayca mevcut sıvanmış tuğla dolgu duvarların üzerine yapıştırarak uygulanabilmektedir. Deneylerde 1/2 ölçekli 7 adet sıvanmış tuğla duvar numuneleri tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney numunelerinden 6'sı beton/betonarme paneller yapıştırılarak güçlendirilmiştir (Resim 3.16). Deney sonuçlarında beton panel yapıştırılan tuğla dolgulu duvarların yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı ve davranışlarının iyileştiği gözlemlenmiştir.



Resim 3.16. Betonarme panel uygulanmış tuğla duvar numunesi (Baran, Aktaş ve Aykaç, 2014)

Can (2009), Türkiye'nin %95'inin deprem riski altında olduğunu ve yaşanan depremlerde meydana gelen can ve mal kaybının sadece kentsel alanları değil kırsal alanları da etkilediğini söylemiştir. Yığma yapıların; kolay inşa edilmesi, ekonomik olmaları ve yöresel inşaat malzemelerinin kullanımı gibi avantajlarından dolayı yaygınlığı söz konusudur. Bu yüzden bu yapıların hasar tespiti ve onarımı büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmalarda depreme maruz kalan yığma yapının kırıldığı ortaya konulmuştur. Bu çalışmada belirtilen sebeplerden dolayı güçlendirme olarak; prekast paneller olarak üretilip birbirine eklenerek oluşturulacak perde duvarların yapıya dıştan monte edilmesi üzerine deneyler yapılmıştır. Ayrıca deneysel çalışılan bu yöntemin yığma yapılara uygulanmasında perde duvarın; döşeme hizasında hatıllara bağlantı çubuklarıyla ve temel hizasında sömellere ankraj çubuklarıyla birleşimi yapılarak performanslarının artırılmasının düşünüldüğü açıklanmıştır. Laboratuvar şartlarında perde-döşeme birleşim yeri ve perde-perde birleşim yeri olarak 2 farklı birleşim yeri üzerinde çalışılmış ve deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarında taşıma kapasiteleri; perde-döşeme birleşim yeri deneyinde 297 kN, perde-perde birleşim yeri deneyinde ise 255 kN olarak sonuçlanmıştır. Daha sonra ise örnek bir yığma yapıda deprem hesapları yapıp öngörülen çalışma uygulanarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Akyüz (2005), sistem iyileştirilmesi üzerinedir. Sistem iyileşmesi; dayanımı ve rijitliği yetersiz çerçevelerden yeni bir yük taşıyıcı sistemi oluşturmak olarak tanımlanmıştır. Deprem gibi olası felaketlere karşı onarım ve güçlendirme 2 tür olarak belirtilmiştir. 1) Genel sistemin davranışının iyileştirilmesi 2) Elemanın onarımı/güçlendirilmesi. Sistem iyileştirilmesinde yanal dayanım ve yanal rijitliği arttırmak için yeni taşıyıcı elemanlar yerleştirilmektedir. Eğer mevcut taşıyıcı elemanlarda bir zayıflık görülürse o zamanda eleman onarımı ya da güçlendirme uygulanmaktadır. Bu çalışmada deneylerde 2 farklı yöntem kullanılmıştır. 1.yöntem; karbon lifli fiber ile güçlendirmedir. 2.yöntem ise tuğla duvarların önüretimli paneller ile güçlendirilmesidir. Karbon lifli fiber ile güçlendirilen tuğla duvarlarda; köşe ezilmeleri önlenmiş, diyagonal çatlağın tüm duvara yayılmasını sağlayarak hasar görse bile duvar bütünlüğünü korumuştur. Öte yandan farklı özelliklerle araştırılan karbon lifli fiberlerin pahalı olmasından dolayı sadece tüm duvarı kaplamak yerine diyagonal bant olarak kullanılmasının daha ekonomik olacağı öngörülmüştür.

Uçar, Ghafourzadeh Toumatari ve Ertutar (2014), mevcut bir yapıya güçlendirme amacıyla perde eklenmesi en sık kullanılan güçlendirme yöntemlerinden birisidir. Bu çalışmada bir betonarme bina ele alınarak güçlendirme amacıyla perdeler 3 farklı tipte yerleştirilip

sonuçlarına ulaşılmıştır. Çalışmada Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılabilmesi için binanın; doğal titreşim periyodu, etkin kütle oranı gibi modal parametrelere etkisi dikkate alınmıştır. SAP2000 programı kullanılarak binanın dinamik analizleri yapılmış ve 3 farklı şekil uygulanacak perdelerin her bir şekli için yapı projelendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları ayrıntılı bir şekilde açıklanmış ve 3 tip güçlendirme içinde genel olarak yapının yanal rijitliğinin arttığı belirtilmiştir.

Altın ve Kanıt (2009), 1. Derece deprem bölgesinde olan Konya ilinde bulunan deprem güvenliği bakımından incelenmesine izin verilen Ilgın ilçesi Argıthanı Milli Eğitim Vakfı Çok Programlı Lisesi ve Doğanhisar Endüstri Meslek Lisesi binalarının incelemesi yapılmıştır. Aynı tip 2 okul binası betonarme perde duvar ilavesi ve kolon mantolama yöntemleriyle güçlendirilecektir. Binaların ön hazırlığı yapılmış, projelendirilmiş ve analizleri İdeCAD programı ile yapılmıştır. Yapım maliyeti için araştırmalar yapılmıştır ve güçlendirme maliyeti belirlenmiştir. Çalışmanın bir kaynak olarak bulunması, maliyet hesaplarının dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir.

Sezer ve Akın (2011), dolgu duvarların güçlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Deneysel çalışma kapsamında davranışları araştırılmak üzere iki katlı, tek açıklıklı, ½ ölçekli, tuğla dolgu duvarlı 3 tane betonarme çerçeveden 1 tanesi şahit olarak bırakılmıştır. Diğer 2 numune ise tuğla dolgu duvarlı dayanımı yüksek ön üretimli beton paneller ile güçlendirilerek (A ve B tipi) yanal yükler uygulandığında ki davranışları incelenmiştir (Resim 3.17), (Resim 3.18). Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarında; rijitlik ve dayanımda artış olduğu görüldüğü belirtilmiştir.



Resim 3.17. Güçlendirilen A tipi numune, (Sezer ve Akın. 2011)





Resim 3.18. Güçlendirilen B tipi numune, (Sezer ve Akın. 2011)

Aksoylu ve Kara (2019), bina güçlendirme tekniğinin hedeflerinden biri bina sakinlerinin binayı terk etmesine gerek kalmadan güçlendirme işleminin yapılmasıdır. Çalışma kapsamında; iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli, deprem dayanımı düşük olan referans numune üretilmiştir. Ve bu numuneyle aynı özelliklere sahip 1 adet betonarme çerçeve dolgu duvarı, önüretimli, yüksek dayanımlı yeni çapraz beton paneller ile güçlendirerek deprem etkisine benzer titreşimlerle yatay yükleme altındaki davranışlarının test edildiği açıklanmıştır. Aynı zamanda deney sonuçları SAP2000 programında analitik olarak çalışılıp, karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışmalarla elde edilen sonuçlara göre; deney numunelerinin enerji yutma kapasitelerinin arttığı ve deprem davranışının iyileştiği söylenebilmiştir.

Arı ve diğerleri (2006), 2002 yılında Afyon depreminde hasar görmüş Afyon Şeker Fabrikası içinde bulunan lojmanları ele almışlardır. Çalışma için yapı bilgileri elde edilip yapıdaki hasarlar gözlemlenmiştir. Binalar için zemin çalışmaları da yapıлып parametreleri belirlenmiştir daha sonra mevcut yapının beton dayanımını tespit edilip laboratuvar çalışmalarına geçilmiştir. Mevcut yapıdan alınan karotlar laboratuvarda incelenip bulguları tespit edilmiştir. Onarım ve güçlendirme proje aşamasında röleve bilgileriyle STA4CAD programı üzerinden analizler yapılmıştır. Yapının onarım ve güçlendirme çalışmalarında zemin takviyesi ve yetersiz-hasarlı kolonlara betonarme kolon takviyesi yapılmıştır. Kolon mantolama için beton sınıfı C20, donatı sınıfı ise S420 seçilmiştir. Çalışmanın sonuçlarında yapının güvenliğinin arttırıldığı belirtilmiştir.

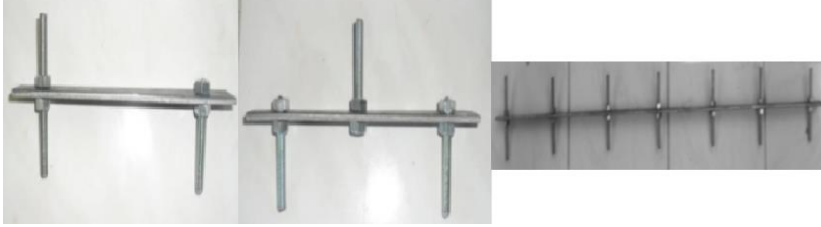


### 3.8. Metal Bağlantı Elemanları ile İlgili Çalışmalar

Koçak (2013), taş yığma yapıların kayma dayanımlarının düşük olmasından dolayı bu yapıları güçlendirme üzerine çalışmıştır. Kullanılan güçlendirme yöntemi metal bağlantı elemanlarıdır (Resim 3.19). Çalışma için 3 farklı metal bağlantı elemanı (Resim 3.20) geliştirilmiştir. 150\*630\*750 mm boyutlarında 10 adet deney numunesi yapılarak kayma dayanımı incelenmiştir. Deney sonuçlarında elde edilen değerlerle ampirik denklemler geliştirilmiştir. Deney sonuçlarında geliştirilen metal bağlantı elemanları ile yığma yapıların kayma dayanımı ve sünekliği önemli bir şekilde artmıştır.



Resim 3.19. Metal bağlantı elemanın numuneye uygulanması (Koçak, 2013)



Resim 3.20. Deneylerde kullanılan 3 tip metal bağlantı elemanı (Koçak, 2013)

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

### 4.1. Materyal

Bu yüksek lisans tezi kapsamında; yığma yapıların taşıyıcı sistemini oluşturan tuğla duvarların güçlendirilmesi amacıyla İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Güçlendirme yöntemi olarak plastik kompozit donatı malzemesi ile güçlendirme seçilmiştir. Piyasadaki ismi geogrid olup bir zemin malzemesi olarak bilinmektedir. Bu malzeme; zemin iyileştirme ve güçlendirme yöntemlerinde, istinat duvarlarında, erozyon kontrolü, zemin drenajı gibi inşaat mühendisliği alanlarında kullanılmaktadır. Duvar güçlendirme deneyler için çift eksenli olanları tercih edilmiş ve bu çift eksenlilerden 2 farklı mukavemete sahip plastik kompozit donatı temin edilmiştir. 2 farklı mukavemete sahip bu malzemelere, karışıklık olmaması adına Çizelge 4.1’de Tür 1 ve Tür 2 isimleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Plastik kompozit donatıların deneylerde kullanılacak kısaltmaları

Piyasada geçen ismi	Deneylerde kullanılan ismi
GG 40/40 P	TÜR 1
GG 80/80 P	TÜR 2

Toplamda 9 adet 80\*80 cm boyutlarında tuğla duvar inşa edilmiştir. Bu duvarlardan farklı parametreler yardımıyla çeşitli güçlendirilmiş tuğla duvarlar elde edilmiştir. Plastik kompozit donatı ve sıva kullanılarak yapılan güçlendirmenin duvarlar üzerindeki davranışları incelenmiştir. Duvarlar:

- 1 adet şahit
- 2 adet tek yüze sıvayla uygulanmış Tür 1
- 2 adet tek yüze sıvayla uygulanmış Tür 2
- 2 adet çift yüze sıvayla uygulanmış Tür 1
- 2 adet çift yüze sıvayla uygulanmış Tür 2, olarak hazırlanmıştır.

## 4.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

### 4.2.1. Tuğla

Deney düzeneği için uzunluk\*genişlik\*yükseklik = 19\*19\*13,5 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlası kullanılmıştır (Resim 4.1). Temin edilen tuğlalar hasar görmeden laboratuvarlarda depolanmıştır (Resim 4.2). Deneylere başlarken yüzeylerinin temizliğine dikkat edilmiştir.



Resim 4.1. 13.5'luk yatay delikli tuğla,  
([http://www.donmezinsaat.com.tr/urun\\_delta-135-luk-blok-tugla\\_71\\_4\\_20](http://www.donmezinsaat.com.tr/urun_delta-135-luk-blok-tugla_71_4_20))



Resim 4.2. Laboratuvar ortamında depolanan tuğlalar

### 4.2.2 Plastik kompozit donatı

Deneylerde kullanılmak üzere ilgili firmadan 2 farklı tipte plastik kompozit donatı temin edilmiştir. Çift yönlü ve tek yönlü olarak üretilen bu malzemelerden deneyler için çift yönlü üretilenleri temin edilmiştir. Plastik kompozit donatılar yüksek mukavemetlere sahiptir (Çizelge 4.2), (Çizelge 4.3). Piyasada geoteknik alanında yaygın olarak kullanılan bu malzemelerin günümüzde duvar güçlendirme olarak kullanımı da yaygınlaşmıştır.

“ İnşaat mühendisliğinin çeşitli uygulamalarındaki çift yönlü geogrid ihtiyaçları için geliştirilmiş, yüksek mukavemetli malzemelerdir. Polyester mikro iplikçiklerin dikdörtgenler şeklinde örülüp üzerinin PVC ile kaplanması yöntemiyle üretilir. Düğüm

noktalarında daha sağlam olabilmesi için özel tasarlanmış bir dikiş yöntemi sayesinde yüksek performans sağlamaktadır.”(<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/ /inc/uploads/5. ForTex GG 80-80 Geogrid.pdf>)

Avantajları:

- “Zayıf zemin üzerine serilecek dolgu katmanının daha ince kalınlıkta serilmesine imkan tanır” (<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/ /inc/uploads/5. ForTex GG 80-80 Geogrid.pdf>).
- “Zayıf zeminler üzerine teşkil edilen dolgu ile bir platform oluşturulur ve farklı oturmaları engeller”(<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/ /inc/uploads/5.ForTex GG80-80Geogrid.pdf>).
- “Zayıf zeminlerin üzerine katmanlar halinde uygulanarak zeminin taşıma kapasitesini artırır” (<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/ /inc/uploads/5. ForTex GG 80-80 Geogrid.pdf>).
- “İstenen nitelikte olmayan mevcut zeminin hafriyatındaki kazı miktarını azaltır” (<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/ /inc/uploads/5. ForTex GG 80-80 Geogrid.pdf>).
- “Dayanıklı, uzun ömürlü, güvenilir, düşük maliyetli olup sismik ve dinamik yüklere dayanımlıdır”(<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/inc/uploads/5.ForTexGG8080Geogrid.pdf>)

Çizelge 4.2. Güçlendirme malzemesi Tür 1’in mukavemet özellikleri,  
(<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/uploads/5ForTexGG8080Geogrid.pdf>).

<b>TS EN ISO 10319</b>	<b>Değerler</b>
Gerilme Mukavemeti (kN/m)	
MD (makine yönü)	40
CMD (makine yönüne dik yön)	40
Nominal Mukavemette Uzama (%)	
MD	12(+2)
CMD	12(+2)

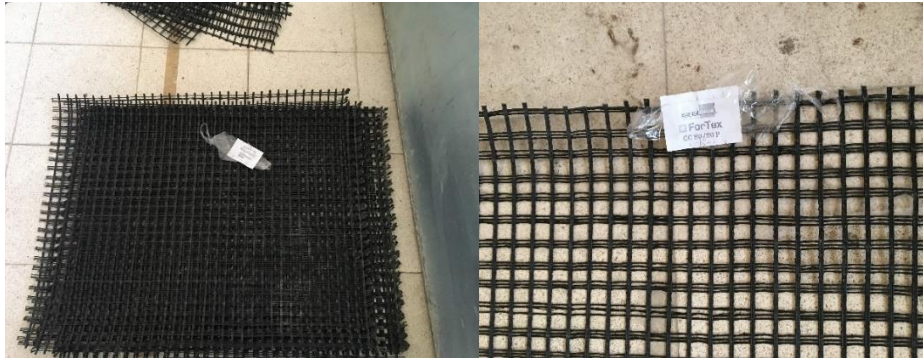
Çizelge 4.3. Güçlendirme malzemesi Tür 2'nin mukavemet özellikleri,  
(<http://www.tbyalitim.com.tr/admin/uploads/5ForTexGG8080Geogrid.pdf>).

TS EN ISO 10319	Değerler
Gerilme Mukavemeti (kN/m)	
MD (makine yönü)	80
CMD (makine yönüne dik yön)	80
Nominal Mukavemette Uzama (%)	
MD	12(+2)
CMD	12(+2)

Temin edilen Tür 1 ve Tür 2 plastik kompozit donatılar (Resim 4.3) deneylerden önce üretilecek olan tuğla duvar boyutlarına göre Resim 4.4'de görüldüğü gibi kesilip hazır hale getirilmiştir. Kesilme işlemi makas yardımıyla kolaylıkla yapılmıştır. Kesilirken düğüm noktalarına denk gelmeden kesilmesine özen gösterilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında numunelerin kolaylıkla ayırt edilebilmesi için bir miktar pay bırakılmış ve o pay da yükleme deneyleri sırasında kesilmiştir.



Resim 4.3. Tür 1 ve Tür 2 numuneleri



Resim 4.4. Duvar boyutlarına göre kesilmiş plastik kompozit donatılar

### 4.2.3. Doğal/Tabii ince agrega

Tuğla duvar derz harcı ve sıva işlemlerinde kullanılmak üzere doğal/tabii ince agregalar (0-4 mm) laboratuvarında depolanmıştır.

### 4.2.4. Çimento

İlgili firmadan ihtiyaç doğrultusunda tuğla duvar derz harcı ve sıva yapımı için 50kg'lık portland çimentoları temin edilmiştir. Beton ve harç yapımlarında sıklıkla kullanılan portland çimentosunun ana bileşenleri kalker ve kildir. Doğada saf şekilde bulunmayan bu bileşenlerle birlikte içeriğinde farklı maddelerde barındırmaktadır. TS EN 197-1 kapsamında 5 ana şekilde sınıflandırılmıştır; CEM I Portlant çimentosu, CEM II Portland-kompoze çimento, CEM III Yüksek fırın cürufu çimento, CEM IV Puzolanik çimento, CEM V Kompoze çimento İçeriğinde bulunması istenilen malzemeye göre üretimleri vardır; sülfatlara dayanıklı portland çimentosu, uçucu küllü portland çimentosu...

### 4.3. Tuğla Duvar Derz Harcı Yapımı

Duvar yapımında bağlayıcı madde olan derz harcı deneysel çalışma için üretilecek olan tuğla duvarlarda kullanılmak üzere TS-EN 998-2 yönetmeliğindeki standart karışım oranlarına göre agrega, su, çimento (3:0,5:1) miktarı belirlenmiştir. Laboratuvarında bulunan mikser yardımıyla hazırlanacak olan harç karışımı için kullanılacak oranlar Çizelge 4.4'de verilmiştir:

Çizelge 4.4. 1 mikser (27 dm<sup>3</sup>) için çimento-su-agrega oranları

Çimento	14,11 kg
Su	7,055 kg
Agrega	42,33 kg

Malzemeler darası alınmış tartıda Resim 4.5, Resim 4.6 ve Resim 4.7'de görüldüğü gibi tek tek tartılıp mikserin içine yerleştirilmiştir. Mikser çalıştırılıp harç karıştıktan sonra el arabalarına aktarılmıştır (Resim 4.8). Bir koordine halinde çalışılması ve harcın çok bekleyip kurumaması için 1 mikser harç hazırlandıktan sonra tuğla duvarların yapımına başlanılmış diğer taraftan da tekrar harç hazırlanmaya devam edilmiştir. Hazırlanan her mikser karışımdan sonra basınç ve eğilme dayanımlarını ölçmek için karotlar alınmıştır.





Resim 4.5. Derz harcının hazırlanması



Resim 4.6. 27 dm<sup>3</sup> hacmindeki mikser



Resim 4.7. Miksere malzemelerin yerleştirilmesi



Resim 4.8. Hazırlanan derz harcının el arabasıyla taşınması

#### 4.3.1. Tuğla duvar derz harcından karot alınması

TS EN 1015-11 yönetmeliği gereğince harcın basınç ve eğilme dayanımı tayini için hazırlanan tuğla duvar derz harcından karotlar alınmıştır. Karot alma işlemi için ilk önce Resim 4.9’da görüldüğü gibi mevcut karot kalıpları temizlenmiş ve içleri yağlanmıştır.



Resim 4.9. İçi temizlenip, yağlanan karot kalıplarından bir tanesi

Hazırlanan her derz harcından bu karot kalıplarının içine yerleştirilmiş (Resim 4.10) ve yüzeyi bir mala yardımıyla düzeltilmiştir.





Resim 4.10. Kalıba yerleştirilmiş derz harcı

Kalıpları içerisindeki harçlar kuruduktan sonra kalıplardan çıkartılmıştır. Numuneler 28 günlük dayanımlarının ölçülmesi için kür havuzuna bırakılmış ve 28 gün havuzda tutulmuştur. 28 günün sonunda havuzdan alınıp Yapı Malzemesi Laboratuvarında bulunan basınç deney düzeneği yardımıyla basınç ve eğilme dayanımları ölçülmüştür. Bu deneyde ilk önce tüm numune cihaza yerleştirilerek eğilme dayanımı ölçülür (Resim 4.11) ve değerleri cihazın ekranından alınır. Daha sonra kırılan numunenin basınç dayanımı ölçülür (Resim 4.12), son kalan numune parçasının da aynı şekilde basınç dayanımı ölçülür. Bu işlem alınan tüm karot numuneleri için tekrarlanır.



Resim 4.11. Eğilme dayanımının ölçülmesi için numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi



Resim 4.12. Basınç dayanımının ölçülmesi için numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi

#### 4.4. Tuğla Duvarların Yapımı

Tuğla duvarların örülmesi için laboratuvarında depolanan 19\*19\*13.5 cm lik yatay delikli fabrika tuğlaları ile 80\*80 cm tuğla duvar şaşırtma örgü tipinde örülmüştür. Her tuğla duvar örülürken ilk sırada toplam 4 adet tuğla 1 cm derz aralıklarıyla örülüp devamında gelen sıra ise şaşırtmalı olacak şekilde yerleştirilip bu şekilde 4 sıra örülmüştür (Resim 4.13 a,b,c,d).



Resim 4.13.a) Tuğla duvarların örülmesi



Resim 4.13.b) Tuğla duvarların örülmesi



Resim 4.13.c) Tuğla duvarların örülmesi



Resim 4.13.d) Tuğla duvarların örülmesi

Tuğla duvarlar örülürken numunelerin aynı hizada olması için ip kullanılmıştır. Eşit devam edilmesine dikkat edilmiş ve Resim 4.14’da görüleceği üzere şakulden yardım alınmıştır.



Resim 4.14. Tuğla duvarlar örülürken şakulle kontrol edilmesi

Hepsi aynı örgü tipiyle aynı ölçülerde toplam 9 adet tuğla duvar numunesi üretilmiştir.

#### 4.5. Tuğla Duvarların Güçlendirilmesi

Üretilen tuğla duvarlar farklı parametreler doğrultusunda güçlendirilmiştir. Toplam 9 adet olan tuğla duvar numunelerinden 8 adedine güçlendirme işlemi için sıva hazırlanmıştır. Sıva hazırlarken kullanılan çimento-agrega-su oranı, derz harcı için hazırlanan oranla aynıdır. Laboratuvarda hazır olan gerekli malzemelerle derz harcı hazırlarken yapıldığı gibi darası alınmış teraziyle agrega, su ve çimento miktarları ölçülüp mikser yardımıyla karıştırılmıştır (Resim 4.15). Hazırlanan sıvadan, önceden temizlenip içleri yağlanmış olan karot kalıplarına yerleştirilmiştir. Tıpkı derz harcında yapıldığı gibi sıvanın da kurumaması için koordine bir şekilde çalışılmıştır (Resim 4.16). Hazırlanan sıvadan da karot alınmıştır (Resim 4.17).





Resim 4.15. Sıva malzemelerinin mikserle yerleştirilmesi



Resim 4.16. Numunelere uygulamak için hazırlanan sıva



Resim 4.17. Sıvadan alınan karot numuneleri

Tuğla duvarların farklı güçlendirme parametreleri Çizelge 4.5’de verilmiştir:

Çizelge 4.5. Numunelerin üretilme tipleri

Numune Sayısı	Üretilme Tipi
1 adet	Şahit (Yalın)
2 adet	Tek yüzü Tür 1 ve sıvayla güçlendirilmiş
2 adet	Çift yüzü Tür 1 ve sıvayla güçlendirilmiş
2 adet	Tek yüzü Tür 2 ve sıvayla güçlendirilmiş
2 adet	Çift yüzü Tür 2 ve sıvayla güçlendirilmiş

Tuğla duvar numunelerine sıva, uygulanan her duvarda aynı olacak şekilde 2 cm kalınlığında uygulanmıştır.

Tür 1 ve Tür 2 plastik kompozit donatı ile güçlendirilecek duvarlara; yüzeyi temiz olan duvarlara epoksi reçinesi gibi herhangi bir yapıştırıcı gereç kullanılmadan uygulanmıştır. Duvar numunelerinin üzerinde eşit duracak şekilde el yordamıyla plastik kompozit donatı tutulurken üzerine 2 cm kalınlığında sıva yapılmıştır. Mala yardımıyla uygulanan sıva düzeltildikten sonra (Resim 4.20.a,b) duvara yapıştırılan plastik kompozit donatı sıvayla bütünleşmiştir. Birbirleriyle iyi bir aderans sağlayan plastik kompozit donatı, sıva ve duvar üçlüsü için başka işlem yapılmamıştır. Aynı aşamaları çift yüzüne uyguladığımız duvarlarda (Resim 4.18.a,b) yaparken herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Bu şekilde 8 adet tuğla duvar numunesinin Tür 1 ve Tür 2 olmak üzere farklı parametrelerle güçlendirme işlemi tamamlanmış (Resim 4.19), (Resim 4.21). 1 adet tuğla duvar numunesi şahit amaçlı yalın halde bırakılmıştır. Sıva işlemi bittikten sonra tuğla duvarlar gün aşırı sulanmıştır (Resim 4.22).



Resim 4.18. a) Çift yüzü sıva ile uygulanan plastik kompozit donatı

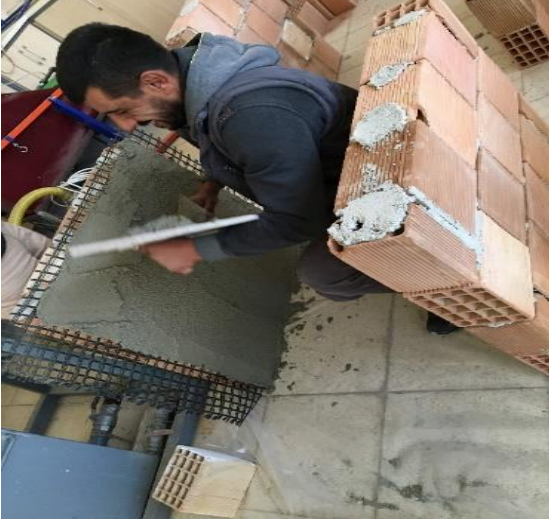


Resim 4.18. b) Çift yüze sıva ile uygulanan plastik kompozit donatı



Resim 4.19. Tek yüze sıva ile uygulanan plastik kompozit donatı





Resim 4.20. a) Uygulanan sıvanın mala ile yüzeyinin düzeltilmesi



Resim 4.20. b) Uygulanan sıvanın mala ile yüzeyinin düzeltilmesi



Resim 4.21. Sıva uygulaması



Sıvadan alınan karotlar kuruduktan sonra kalıplardan çıkarılıp 28 gün bekletilmek üzere kür havuzuna bırakılmıştır. 2 günün sonunda eğilme ve basınç dayanımlarının tayini için yine deney düzeneğine yerleştirilip deneyler yapılmıştır.



Resim 4.22. Sıva sonrası tuğla duvar numunelerinin sulanması

#### 4.6. Diyagonal Yükleme Düzeneğinin Hazırlanması

Diyagonal yükleme deneyleri için hazırlanan tuğla duvar numuneleri (Resim 4.23) tek tek yükleme cihazının çevresine Resim 4.24'de görüldüğü gibi el arabası yardımıyla dikkatli bir şekilde taşınmıştır. Sıva ile güçlendirme aşamasında tuğla duvarlara uygulanan farklı plastik kompozit donatıların birbirleriyle karışmaması adına duvar boyutundan bir miktar fazla olacak şekilde kesilerek uygulanmıştır. Sıva kuruduğu ve diyagonal yükleme deneylerine başlanacağı için kenarlardan çıkan plastik kompozit donatılar makasla kolaylıkla kesilmiştir.



Resim 4.23. Sıva ve güçlendirme işlemlerinden sonra yükleme deneylerine hazır tuğla duvar numuneleri



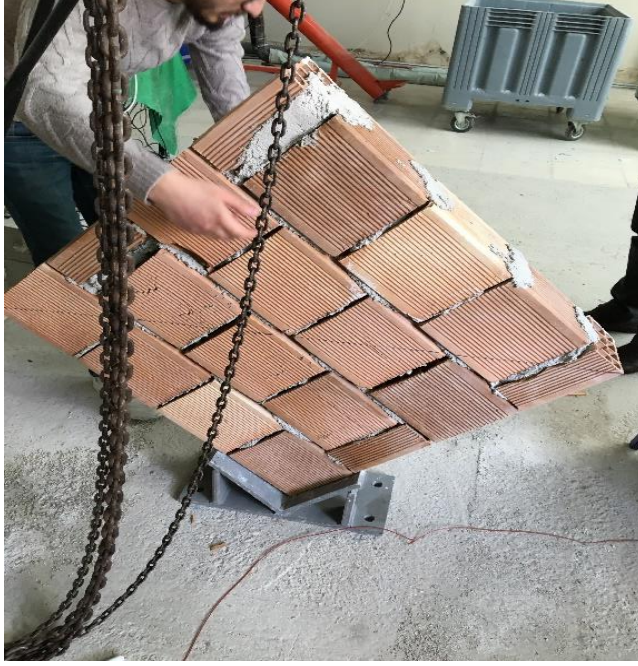
Resim 4.24. El arabası yardımıyla yükleme düzeneğinin etrafına taşınan tuğla duvar numunesi

Diyagonal yükleme deneyi, alt ve üst başlık yardımıyla diyagonal bir şekilde duvarların cihaza yerleştirilip yük cihazı yardımıyla ve düzeneğe yerleştirilen deplasmanölçer (LVDT, potansiyometre) yardımıyla bilgisayar sistemi üzerinden duvara gelen yük ve duvarın yaptığı deplasman değerleri kaydedilebilmektedir. Elde edilen verilerle istenilen çalışma doğrultusunda Excel'e aktarılıp grafikler oluşturulabilmektedir. Bu şekilde çalışan diyagonal yükleme deneyleri için İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan diyagonal yükleme cihazını deneylere hazırlamaya başlanmıştır (Resim 4.25).

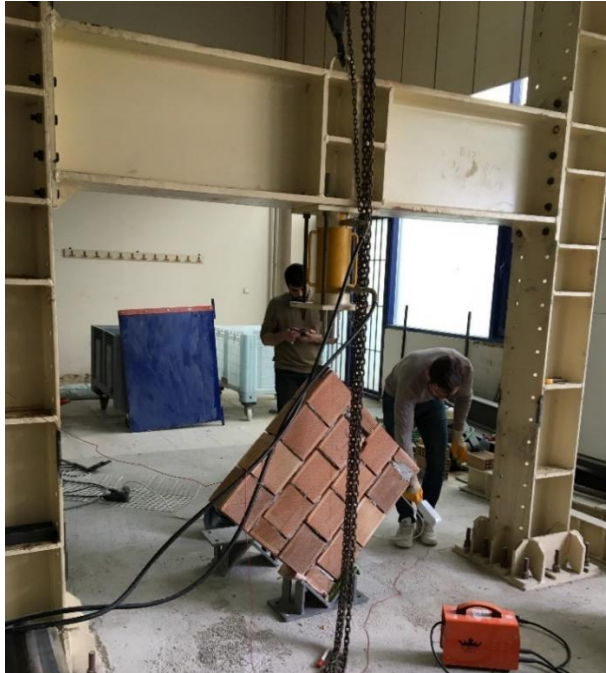


Resim 4.25. Diyagonal yükleme deneylerinin yapılacağı yükleme düzeneği

Cihaza ait alt ve üst başlıklar yükleme düzeneğinin tam ortasına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Alt başlığın üstüne ve üst başlığın altına; duvarın rahatça yerleşebilmesi, kaymaması ve sabitlenmesi için bez parçaları yerleştirilmiştir. Daha sonra yükleme yapılacak tuğla duvarlar Resim 4.26 a ve Resim 4.26 b’de görüldüğü gibi sırasıyla bu başlıklara koyulmuştur.



Resim 4.26.a) Alt başlığın üzerinde yerleştirilen yalın tuğla duvar numunesi



Resim 4.26.b) Alt başlığın üzerinde yerleştirilen yalın tuğla duvar numunesi

Tuğla duvarların gelen yüklere karşı yapacağı deplasmanı ölçebilmek için deplasman ölçer (Resim 4.27) bu sisteme yerleştirilmelidir.



Resim 4.27. Deneysel ortamda kullanılan deplasman ölçer

Tuğla duvar numuneleri başlıklara yerleştirildikten sonra duvarın yatay ve düşey noktaları fosforlu kalemle çizilmiştir. E915M-10 yönetmeliği gereğince duvarların istenilen noktaları belirlenip işaretlenmiştir. Bir matkap yardımıyla Resim 4.28’de görüleceği gibi şartnamede belirtilen nokta delinmiştir. Delme işlemi yapılırken duvarın başlıklardan çıkmaması için duvar sıkıca tutulmuştur ve duvarın hasar görmemesi için matkabın ucu duvarın diğer tarafından çıktıktan sonra daha fazla devam edilmemiştir. Matkaba güç hızlı bir şekilde ve bir anda verilmemiştir. Açılan deliğe çelik bir çubuk yerleştirilmiştir. Çubuğun deplasmanölçerin olmadığı tarafı vidayla sabitlenmiştir. Deplasmanölçerin konumlandırılacağı yüzünde ise çubuğun ucuna somonlar, küçük profiller ve lamalar (Resim 4.29) yerleştirilip daha sonra vidayla sabitlenmiştir (Resim 4.30), (Resim 4.31). Bu işlemin yapılma amacı deplasmanölçerin ucu çelik çubuğa yerleştirilen küçük profile denk gelmesini sağlamaktır. Bu şekilde deplasmanölçer tuğla duvarın yaptığı deplasmanın verilerini alabilmektedir. Bu aşamada deplasmanölçerin duvara sıfır noktasında konumlandırılmaması gerekmektedir. Plastik kompozit donatılı tuğla duvarlarda sıvadan dolayı duvarın kalınlığı arttığı için deplasmanölçerin ucunun, profile yetişebilmesi adına fazladan somon yerleştirilmiştir. Vidayla sabitlenmeden önce su terazisiyle eşitliği sağlanmıştır.

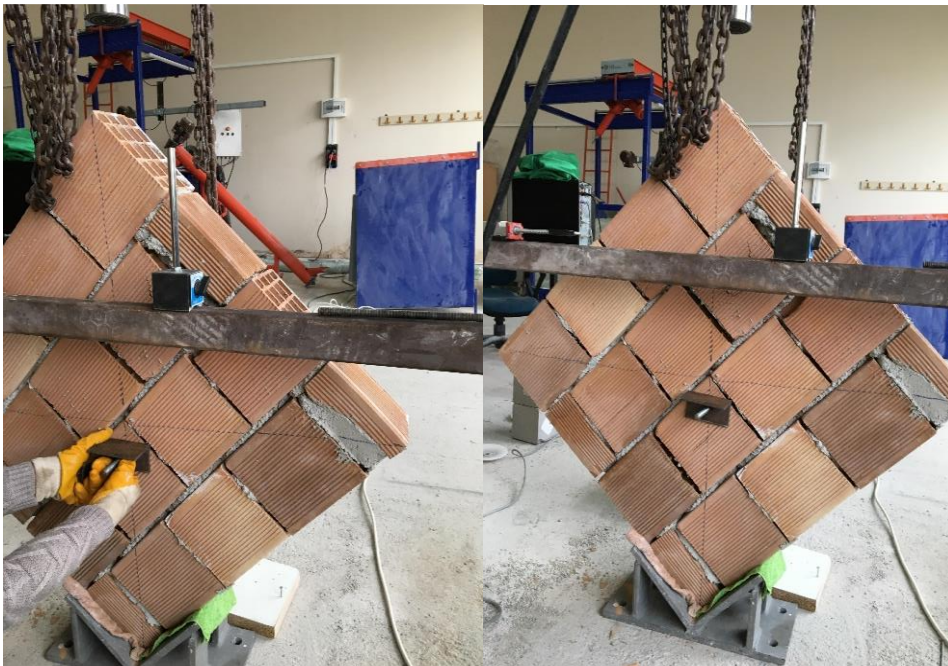




Resim 4.28. Tuğla duvarın matkapla delinmesi



Resim 4.29. Sabitleme amacıyla kullanılan somon, lama, profil

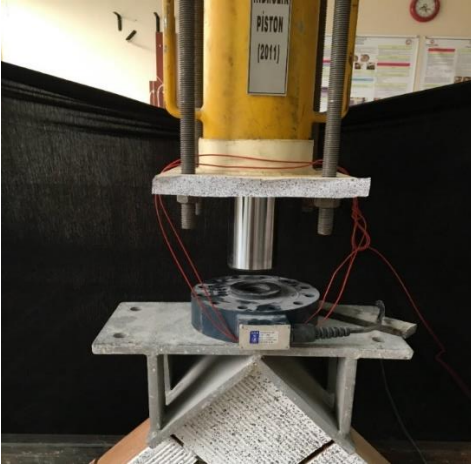


Resim 4.30. Matkapla delinen duvar arka yüzünün çeşitli profillerle sabitlenmesi



Resim 4.31. Matkapla delinen duvar ön yüzünün vidayla sabitlenmesi

Üst başlığın üzerinde bulunan yükleme başlığının (Resim 4.32) düzenekten ayrılmaması ve herhangi bir sarsıntı sırasında düşüp hasar görmemesi için ip yardımıyla düzenekten ne tam bağımsız ne de tamamen sabit bir şekilde olmamasına dikkat edilerek konumu düzeltilmiştir (Resim 4.33).



Resim 4.32. Yükleme başlığı



Resim 4.33. Yükleme başlığının sisteme yerleştirilmesi

Yük (güç) ünitesi adı verilen elle sisteme yük verdiğimiz cihazla (Resim 4.34) yük cihazının sabitlenmesi yapılmıştır. Bu sırada bilgisayar sistemi üzerinden duvara gelen yükler görülüp, takip edilmektedir.



Resim 4.34. El yardımıyla yük verdiğimiz cihaz

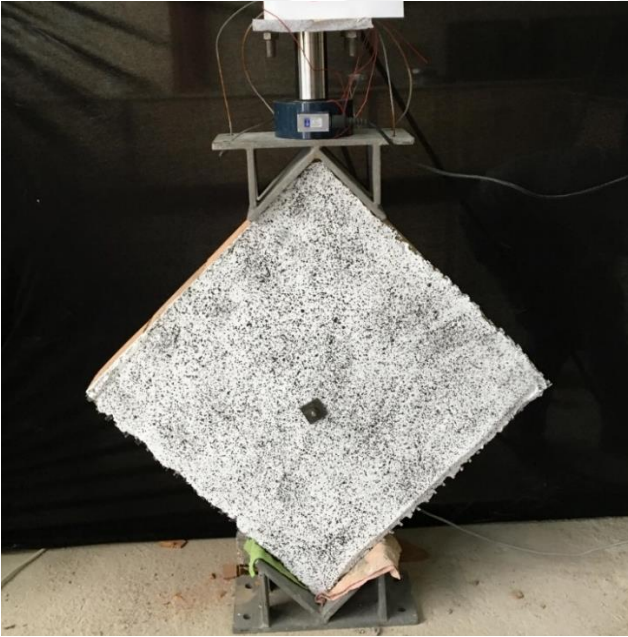
#### 4.7. Diyagonal Yükleme Deneylerinin Yapılışı

Diyagonal yükleme deney düzeneği hazırlandıktan (Resim 4.35), (Resim 4.36) sonra deneylerin yapımına başlanmıştır. Her duvar numunesi yükleme başlığına yerleştirildikten sonra Yükleme Düzeneğinin Hazırlanması bölümünde bahsedildiği gibi deplasman ölçerlerin yerleşim şekli bir tahta parçasına sabitlenmiş olan deplasman ölçerler kullanılarak yapılmıştır. Yükleme başlığı sisteme yerleştirildikten sonra bilgisayar üzerinden yükleme başlığının ve deplasman ölçerinin deney hazır durumda olduğu kontrol edilmiştir (Resim 4.37).





Resim 4.35. Yüklemeye hazır bir adet tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 4.36. Yüklemeye hazır bir adet tuğla duvar numunesinin ön yüzü

Diyagonal yükleme deneyi tuğla duvarlara yük verilerek başlatılmıştır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta; yükleme yük kontrollü veya deplasman kontrollü olmayıp el yardımıyla verildiği için yükü veren kişinin hep aynı hızda vermesi gerekmektedir. Bilgisayar ortamından verilen yük takip edilirken deney düzeneğinde olan tuğla duvarında gelen yüke karşı davranışı dıştan da gözlemlenmiştir. Yük verilir duvar kırıldıktan sonra aynı hızda yük verilmeye devam edilmiştir. Bu şekilde sistemde kırılma sonrası yaptığı deplasmanları da görüp tuğla duvarların enerji yutma kapasitelerine ulaşmak amaçlanmıştır.





Resim 4.37. Bilgisayar ortamından yüklemeye ait verilerin alınması

9 adet tuğla duvar numunesi tek tek aynı aşamalardan geçerek diyagonal yüklemeye deneyine tabi tutulmuştur. Her duvarın kırılma öncesi ve sonrası fotoğrafları, yük-deplasman eğrileri ve enerji yutma kapasiteleri detaylı olarak incelenmiştir.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

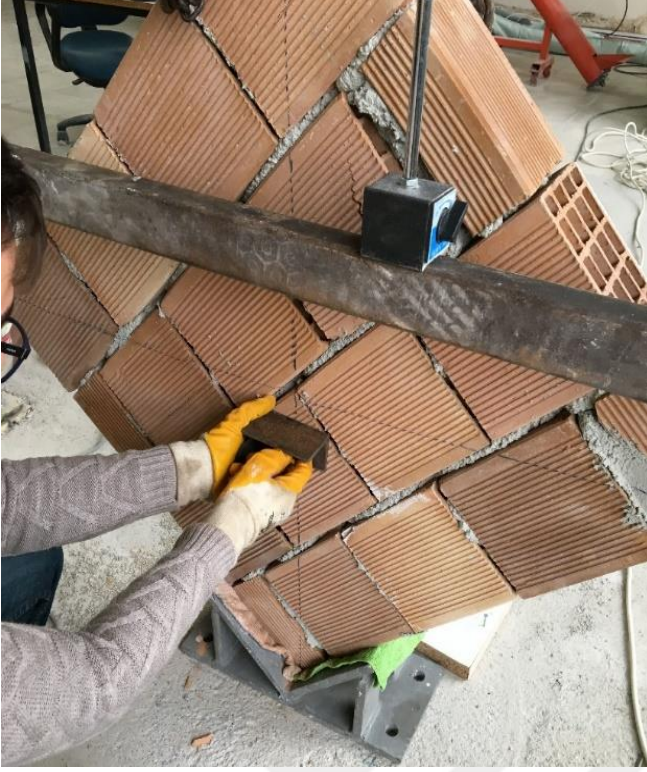
Plastik kompozit donatı malzemelerinin duvarların güçlendirilmesindeki davranışlarını incelemek adına farklı parametrelerde 80\*80\* cm boyutlarında tuğla duvarlara laboratuvar ortamında sıva ile birlikte uygulanmıştır. 9 adet üretilen tuğla duvarlar güçlendirme işlemleri sonrasında diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulmuştur. Her duvar yük çerçevesine yerleştirilip yük verilip buna karşılık yaptığı deplasman değerlerine ulaşılmıştır. Bu doğrultuda elimizdeki verilerle yük-deplasman grafikleri oluşturulmuş, enerji yutma kapasiteleri elde edilmiştir. Farklı parametrelere sahip duvarlar birbirleriyle kıyaslanmış ve en etkili yönteme ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla üretilen her duvar bu bölümde detaylı bir şekilde incelenmiş ve fotoğraflar sunulmuştur.

### 5.1. Şahit (Yalın) Tuğla Duvar

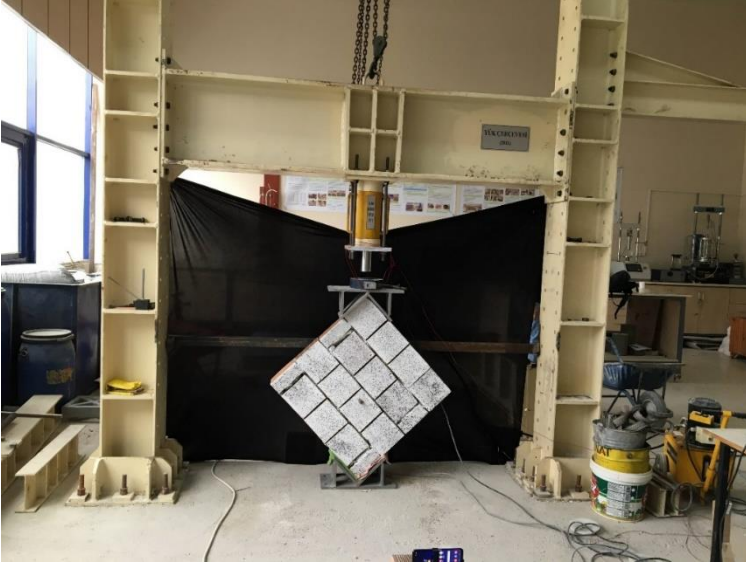
80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar şahit amaçlı yalın halde bırakılmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.1-5.3) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.4), yük-deplasman eğrisi (Şekil 5.1) aşağıda verilmiştir.



Resim 5.1. a) Şahit numunenin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.1. b) Şahit numunenin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.2. Diyagonal yükleme deneyine hazır şahit numunenin ön yüzü





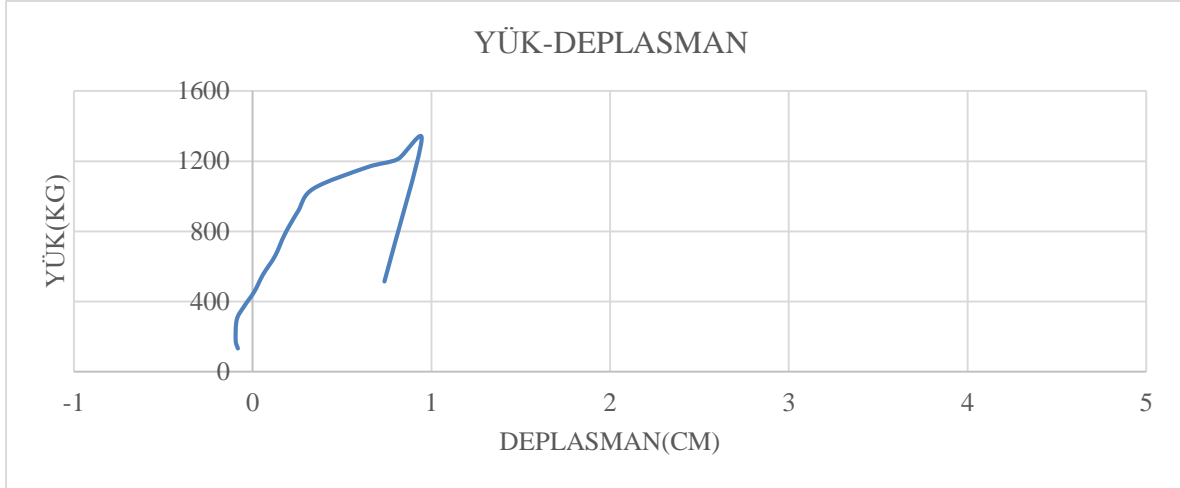
Resim 5.3. Diyagonal yükleme deneyine hazır şahit numunenin arka yüzü

Yalın halde bırakılmış tuğla duvar numunesi yükleme deneylerinde maksimum 1321 kg yüke dayanmış ve aniden kırılmaya başlamıştır. Maksimum yük noktasına gelene kadar başlangıçta kılcal çatlaklar yükün artmasıyla daha derin çatlaklar oluşmuştur. Ancak maksimum yüke eriştikten sonra gevrek bir kırılma davranışı sergileyip parçalanmıştır.



Resim 5.4. Diyagonal yükleme deneyi sonrası parçalanmış şahit numune

Diyagonal yükleme deneyi uygulanan şahit tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



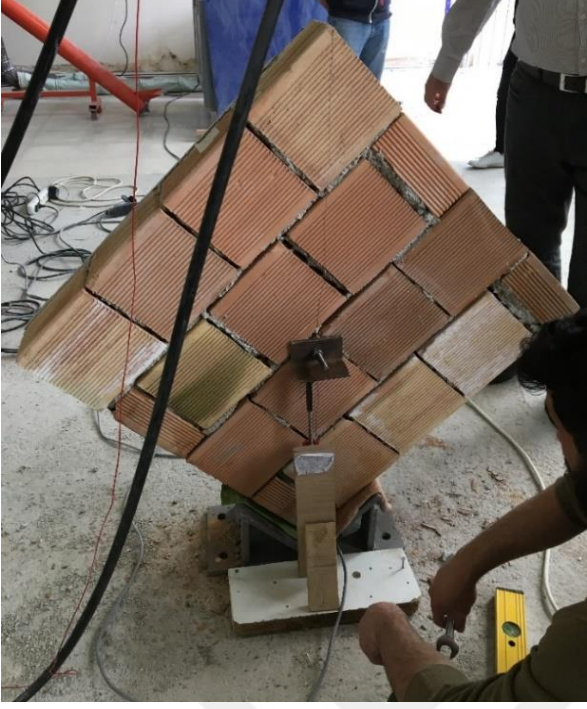
Şekil 5.1. Şahit numuneye ait yük-deplasman grafiği

## 5.2 Tek Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar

80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar tek yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı sıva ile birlikte uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.5-5.7) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.8-5.11), yük-deplasman eğrisi (Şekil 5.2) aşağıda verilmiştir.



Resim 5.5. a) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması

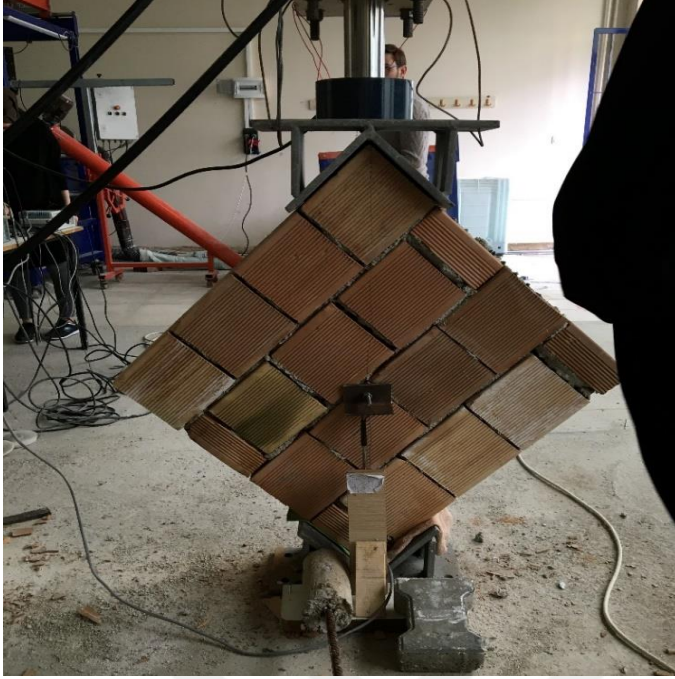


Resim 5.5. b) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.5. c) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması





Resim 5.6. Diagonal yüklemeye hazır tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın arka yüzü



Resim 5.7. Diagonal yüklemeye hazır tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvarın ön yüzü

Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinde deney başlayıp yük verildiğinde gözle görebileceğimiz büyük çatlaklar oluşmamıştır. Yükleme devam ederken maksimum dayanım noktasına geldiğinde kılcal çatlaklar görülebilmeye başlamıştır. Maksimum 6343.6 kg yüke dayanan numunede plastik kompozit donatının etkisinden dolayı aniden parçalanma gözlemlenmemiştir ve sünek bir davranış gözlemlenmiştir. Maksimum dayanımına ulaştıktan sonra ise parçalanmamış olan numunede çatlakları ve kopan kısımları

inceleme fırsatı olmuştur. Duvarın arka yüzünde az miktarda kopmalar gözlemlenirken ön yüzünde kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir fakat plastik kompozit donatıda herhangi bir hasar görülmemiştir.



Resim 5.8. Diagonal yüklemeye maruz kalan duvarın ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar



Resim 5.9. 'Resim 5.8'de gözlemlenen kılcal çatlakların işaretlenmiş durumu



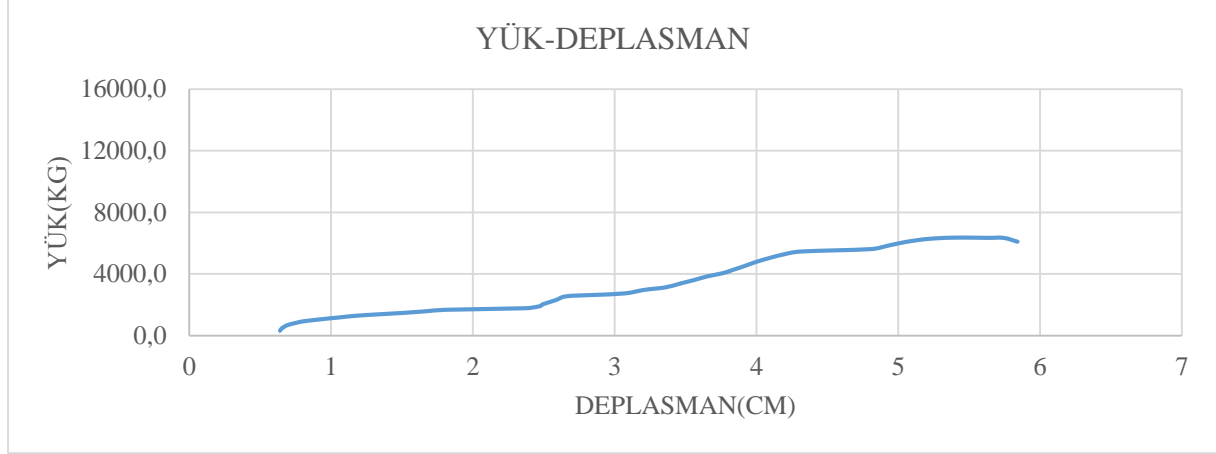


Resim 5.10. Diagonal yüklemeye deneye sonrasinda tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunenin ön yüzü



Resim 5.11. Diagonal yüklemeye deneye sonrasinda tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunenin arka yüzünde oluşan hasarlar

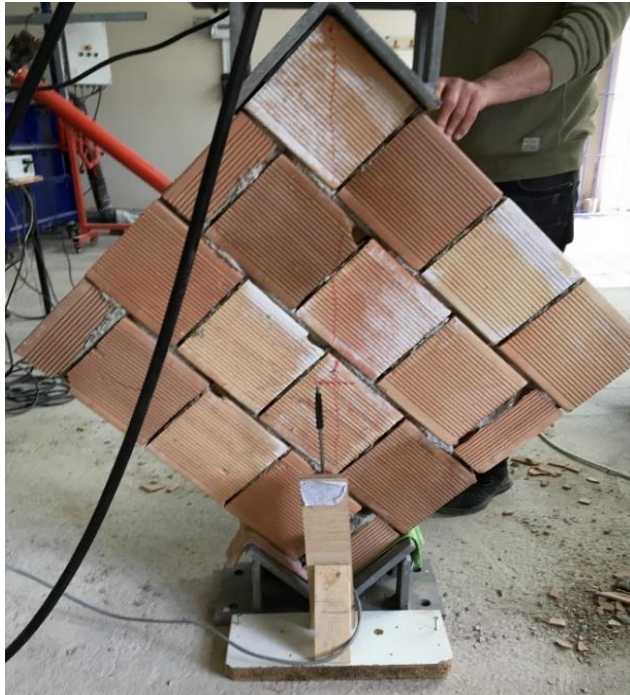
Diyagonal yükleme deneyi uygulanan tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



Şekil 5.2. Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numunenin yük-deplasman grafiği

### 5.3. Tek Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar

80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar tek yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.12-5.13) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.14-Resim 5.16), yük-deplasman grafiği (Şekil 5.3) aşağıda verilmiştir.



Resim 5.12. a) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



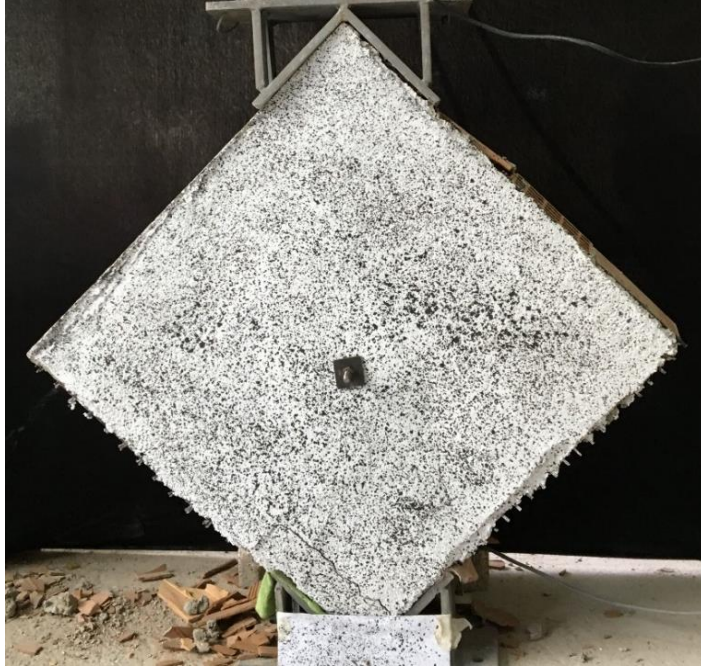


Resim 5.12. b) Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması

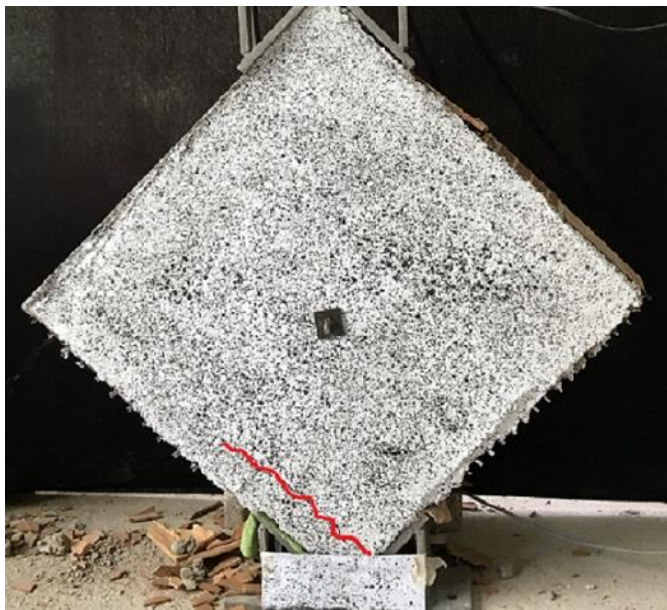


Resim 5.13. Diyagonal yükleme deneyine hazır tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü

Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi diyagonal yükleme deneyleri sırasında davranış olarak tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesi ile benzerlik göstermiştir. Bu duvar numunesinin maksimum taşıyabildiği yük 6068 kg'dır. Bu numunede de aynı parametrelerle uygulanmış diğer numunede ki gibi plastik kompozit donatıda herhangi bir hasar gözlemlenmemiştir, duvarın ön yüzünde gözle görülebilecek kılcal çatlak çok az bulunmaktadır.



Resim 5.14. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar

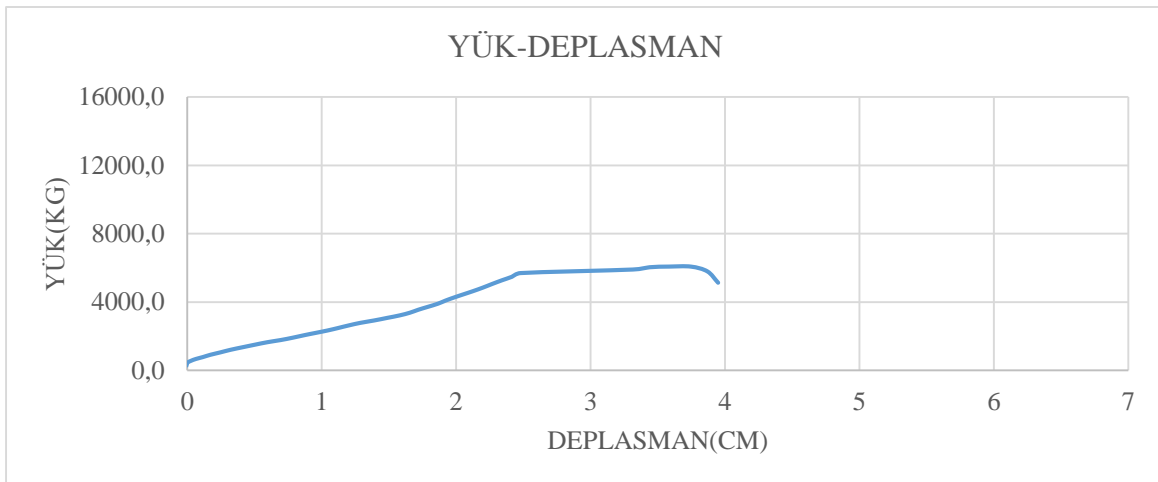


Resim 5.15. 'Resim 5.14'de meydana gelen kılcal çatlakların işaretlenmiş durumu



Resim 5.16. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzünde oluşan hasarlar

Diyagonal yükleme deneyi uygulanan tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



Şekil 5.3. Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. numunenin yük-deplasman grafiği

#### 5.4. Tek Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar

80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar tek yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.17-5.19) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.20-5.22), yük-deplasman grafiği (Şekil 5.4) aşağıda verilmiştir.





Resim 5.17. a) Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.17. b) Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.18. Diagonal yüklemeye hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 5.19. Diagonal yüklemeye hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzü

Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinde yüklemeye başladığında yük verildiğinde gözle görebileceğimiz büyük çatlaklar oluşmamıştır. Yüklemeye devam ederken maksimum dayanım noktasına geldiğinde çatlaklar görülebilmeye başlamıştır. Bu aşamalarda tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş tuğla duvar numuneleri ile benzer davranışlar göstermiştir. Maksimum 5707.3 kg yüke dayanan numunede plastik kompozit donatının etkisinden dolayı aniden parçalanma gözlemlenmemiştir ve sünek bir davranış gözlemlenmiştir. Maksimum dayanımına ulaştıktan sonra ise parçalanmamış olan numunede çatlakları ve kopan kısımları inceleme fırsatı oluşmuştur. Duvarın arka yüzünde az miktarda

kopmalar gözlemlenirken ön yüzünde kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir fakat plastik kompozit donatıda bir hasar görülmemiştir.



Resim 5.20. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzünde oluşan hasarlar



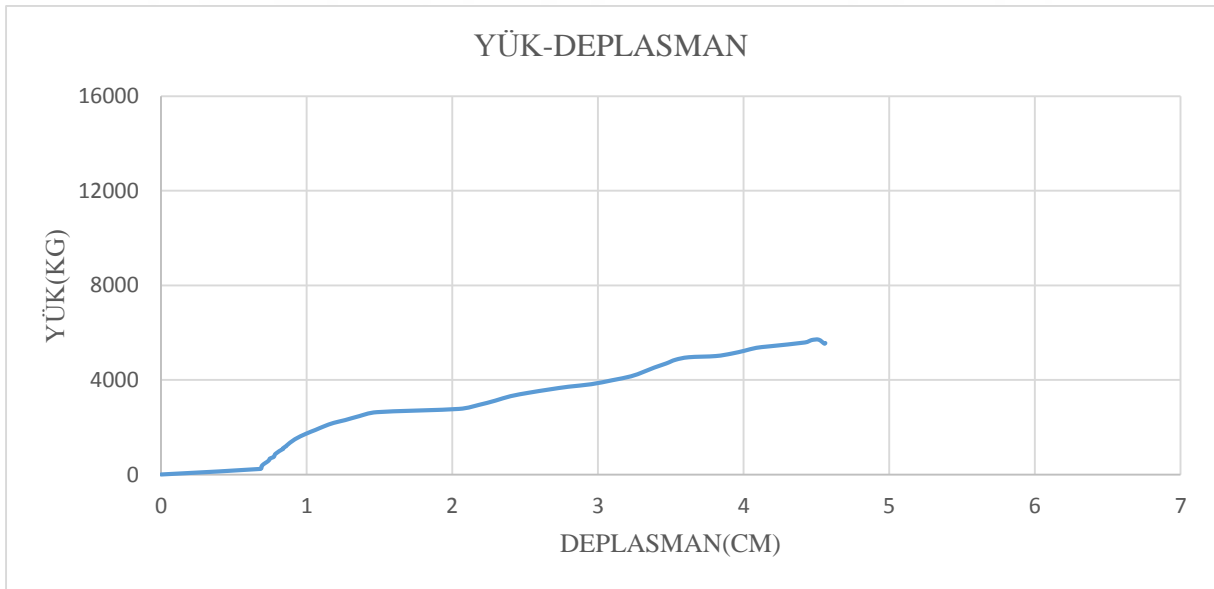
Resim 5.21. Diyagonal yükleme deneyi sonrasında tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar





Resim 5.22. 'Resim 5.21'de meydana gelen kılcal çatlakların işaretlenmiş durumu

Diyagonal yükleme deneyi uygulanan tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



Şekil 5.4. Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. numunenin yük-deplasman grafiği

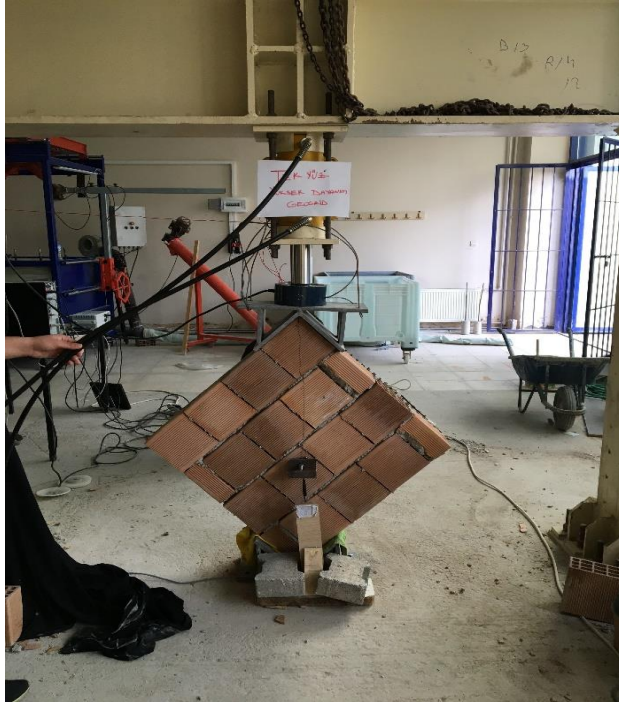
### 5.5. Tek Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar

80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar tek yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme

deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.23-5.25) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.26-5.29), yük-deplasman grafiği (Şekil 5.5) aşağıda verilmiştir.



Resim 5.23. Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yüklemeye hazırlanması



Resim 5.24. Diyagonal yüklemeye hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 5.25. Diagonal yüklemeye hazır tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü

Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinde yüklemeye başladığında yük verildiğinde gözle görebileceğimiz büyük çatlaklar oluşmamıştır. Yüklemeye devam ederken maksimum dayanım noktasına geldiğinde çatlaklar görülebilmeye başlamıştır. Bu aşamalarda aynı malzeme ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesi ile benzer davranışlar göstermiştir. Maksimum 5998.7 kg yüke dayanan numunede plastik kompozit donatının etkisinden dolayı aniden parçalanma gözlemlenmemiştir ve sünek bir davranış gözlemlenmiştir. Maksimum dayanımına ulaştıktan sonra ise parçalanmamış olan numunede çatlakları ve kopan kısımları inceleme fırsatı oluşmuştur. Duvarın arka yüzünde tek yüzü güçlendirilen diğer numunelere göre daha fazla kopmalar gözlemlenirken ön yüzünde kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir fakat plastik kompozit donatıda bir hasar görülmemiştir.



Resim 5.26. Diagonal yüklemeye sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar





Resim 5.27. 'Resim 5.26'in işaretlenmiş durumu



Resim 5.28. a) Diyagonal yükleme deneyi sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzünde oluşan hasarlar



Resim 5.28. b) Diyagonal yükleme deneyi sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. Tuğla duvar numunesinin arka yüzünde oluşan hasarlar

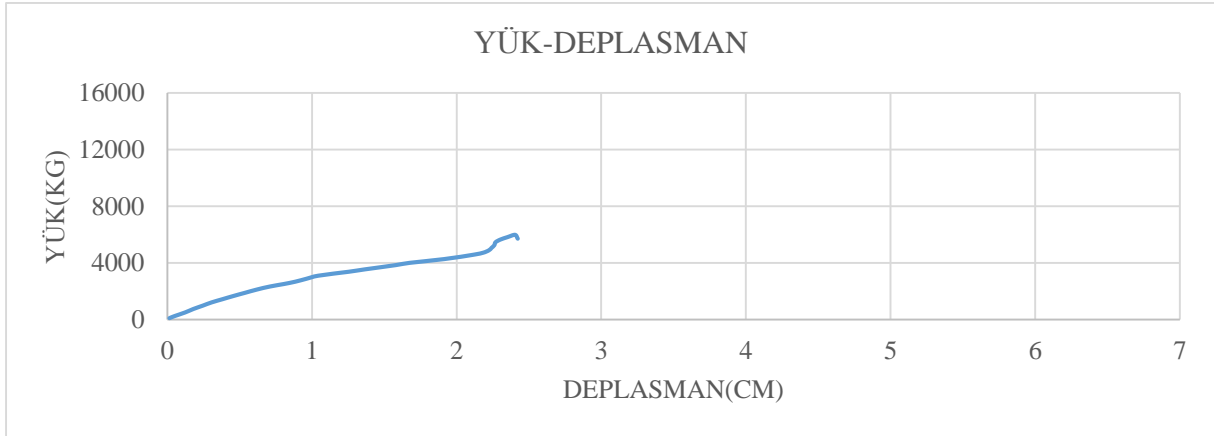


Resim 5.29. a) Diagonal yüklemeye deneyi sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi



Resim 5.29. b) Diagonal yüklemeye deneyi sonrası tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi

Diyagonal yüklemeye deneyi uygulanan tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



Şekil 5.5. Tek yüzü Tör 2 ile güçlendirilmiş numunenin yük-deplasman grafiği

### 5.6. Çift Yüzü Tör 1 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar

80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar çift yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.30-5.32) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.33-5.36), yük-deplasman grafiği (Şekil 5.6) aşağıda verilmiştir.

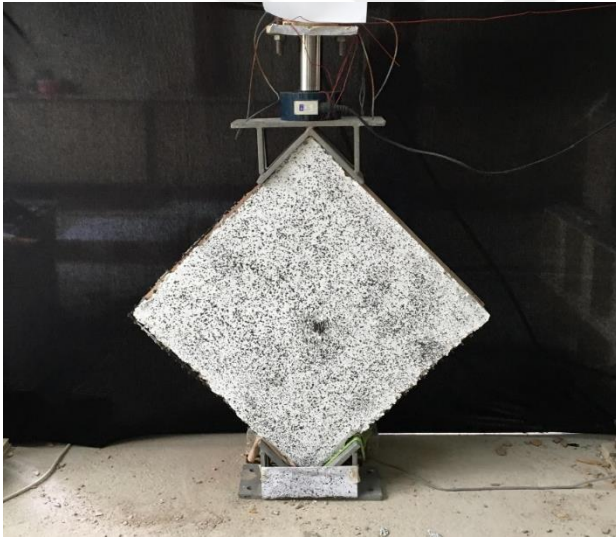


Resim 5.30. Çift yüzü Tör 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması





Resim 5.31. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 5.32. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzü

Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinde yükleme başladığında yük verildiğinde gözle görebileceğimiz büyük çatlaklar oluşmamıştır. Yükleme devam ederken maksimum dayanım noktasına geldiğinde çatlaklar görülebilmeye başlamıştır. Maksimum 11618.9 kg yüke dayanan numunede plastik kompozit donatının etkisinden dolayı aniden parçalanma gözlemlenmemiştir ve sünek bir davranış gözlemlenmiştir. Maksimum dayanımına ulaştıktan sonra ise parçalanmamış olan numunede oluşan hasarları inceleme fırsatı oluşmuştur. Duvarın arka yüzünde bir bölgede şişme gözlemlenirken ön yüzünde ve arka yüzünde kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir fakat plastik kompozit donatıda bir hasar görülmemiştir.



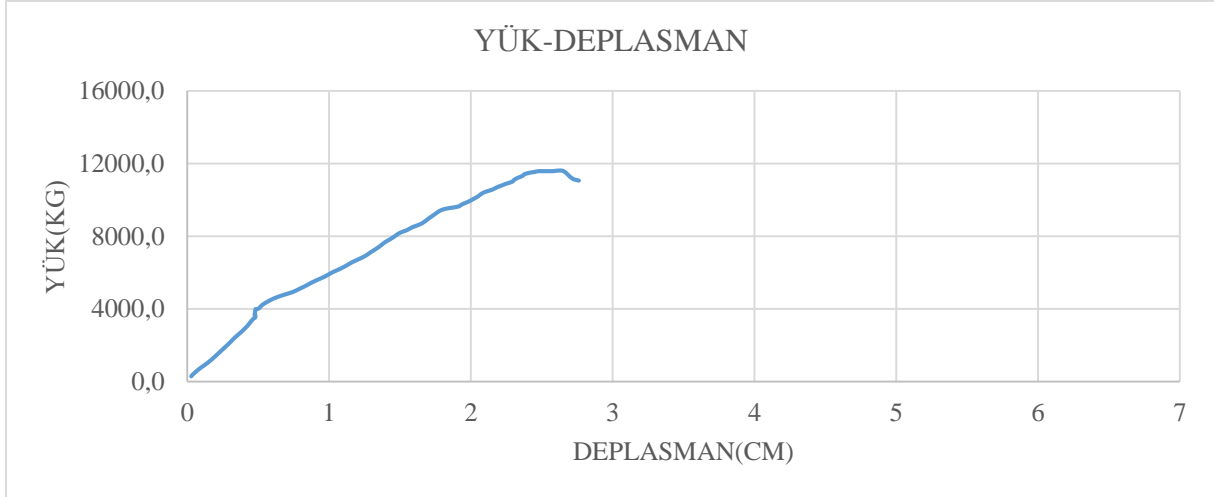
Resim 5.33. Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzünde oluşan kılcal çatlaklar



Resim 5.34. Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. Numunenin arka yüzünde oluşan kılcal çatlaklar



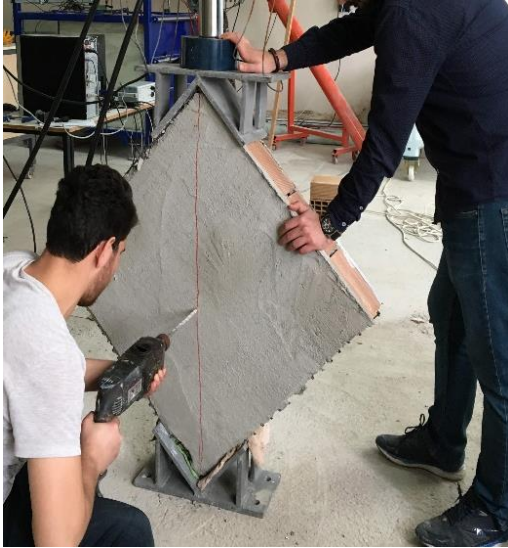




Şekil 5.6. Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. Numunenin yük-deplasman grafiği

### 5.7. Çift Yüzü Tür 1 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar

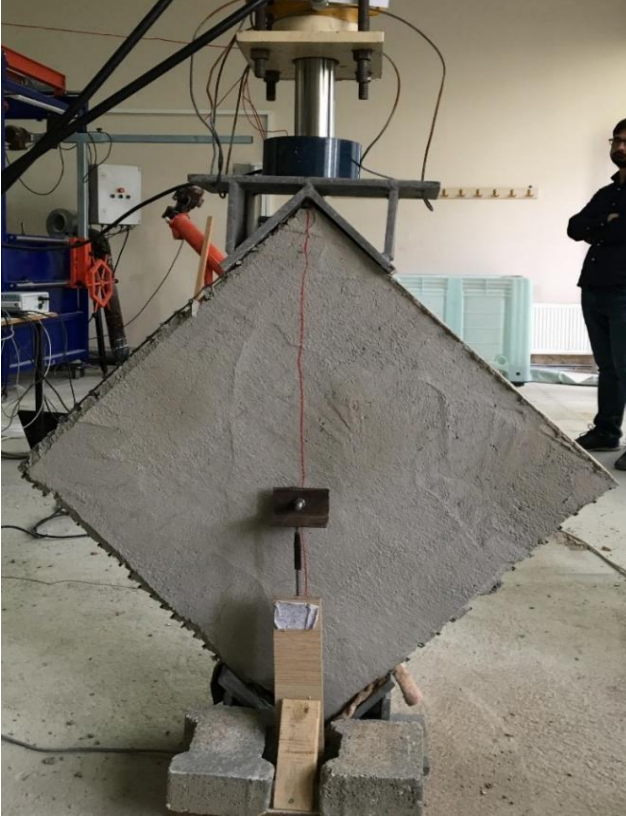
80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar çift yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.37-5.39) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.40-5.42), yük-deplasman eğrisi (Şekil 5.7) aşağıda verilmiştir.



Resim 5.37. a) Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.37. b) Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. Tuğla duvar numunesinin diyagonal yüklemeye hazırlanması



Resim 5.38. Diyagonal yüklemeye hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. Tuğla duvar numunesinin arka yüzü

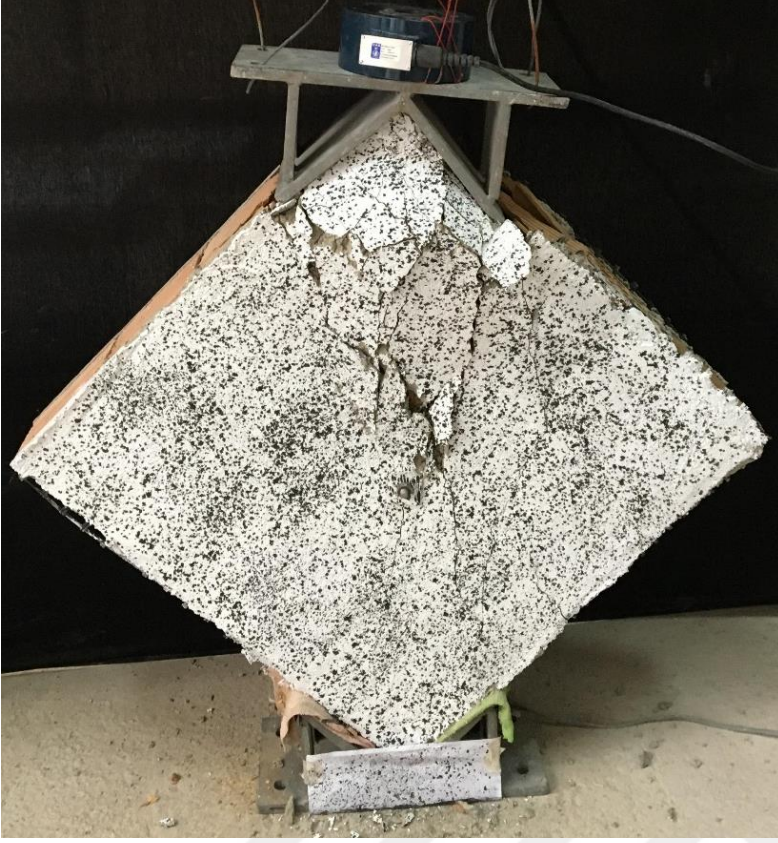




Resim 5.39. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. Tuğla duvar numunesinin ön yüzü

Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinde yükleme başladığında yük verildiğinde gözle görebileceğimiz büyük çatlaklar oluşmamıştır. Yükleme devam ederken maksimum dayanım noktasına geldiğinde çatlaklar görülebilmeye başlamıştır. Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. Numune ile benzer davranışlar sergilemiştir fakat kılcal çatlaklar ve hasar bu numunede 1. Numuneye göre daha fazladır. Maksimum 12061.6 kg yüke dayanan numunede plastik kompozit donatının etkisinden dolayı aniden parçalanma gözlemlenmemiştir ve sünek bir davranış gözlemlenmiştir. Maksimum dayanımına ulaştıktan sonra ise parçalanmamış olan numunede oluşan hasarları inceleme fırsatı oluşmuştur. 1.numunenin ön yüzünde oluşan şişme bu duvarda yükleme esnasında hem ön yüz hem de arka yüzde gözlemlenmiş, maksimum dayanım noktasına geldiğinde ise şişen bölge patlak vermeye başlamıştır.





Resim 5.40. a) Diagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü



Resim 5.40. b) Diagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü



Resim 5.40. c) Diagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü



Resim 5.40. d) Diagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin ön yüzü





Resim 5.41. Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 5.42. a) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi



Resim 5.42. b) Diyagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi



Resim 5.42. c) Diyagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi



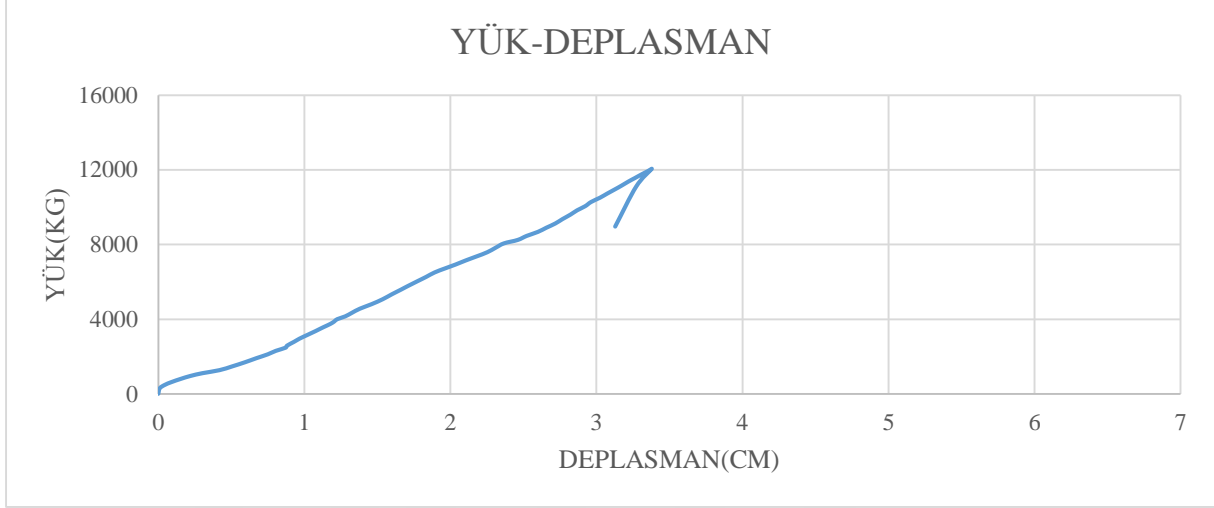
Resim 5.42. d) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi



Resim 5.42. e) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi



Diyagonal yükleme deneyi uygulanan çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



Şekil 5.7. Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. Numunenin yük-deplasman grafiği

### 5.8. Çift Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 1. Tuğla Duvar

80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar çift yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.43-5.45) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.46-5.49), yük-deplasman eğrisi (Şekil 5.8) aşağıda verilmiştir.



Resim 5.43. a) Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması

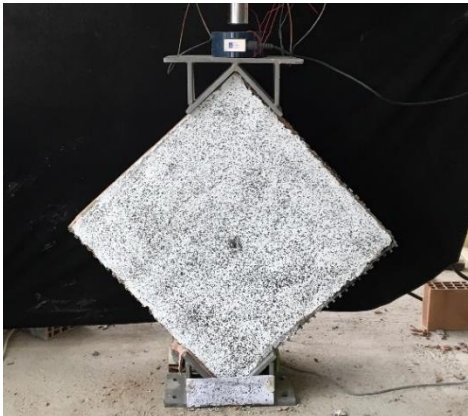




Resim 5.43. b) Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



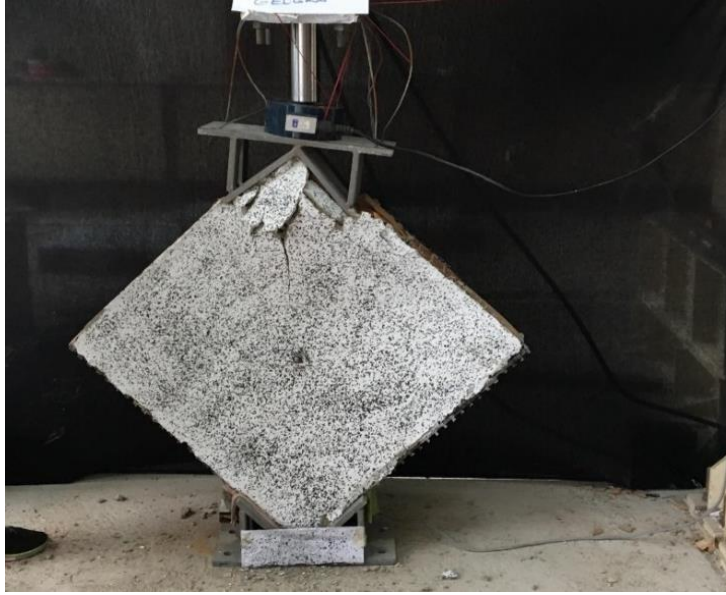
Resim 5.44. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. Tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 5.45. Diyagonal yükleme deneyine hazır çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. Tuğla duvar numunesinin ön yüzü

Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinde yükleme başladığında yük verildiğinde gözle görebileceğimiz büyük çatlaklar oluşmamıştır. Yükleme devam ederken

maksimum dayanım noktasına geldiğinde çatlaklar görülebilmeye başlamıştır. Maksimum 10414.9 kg yüke dayanan numunede plastik kompozit donatının etkisinden dolayı aniden parçalanma gözlemlenmemiştir ve sünek bir davranış gözlemlenmiştir. Maksimum dayanımına ulaştıktan sonra ise parçalanmamış olan numunede oluşan hasarları inceleme fırsatı oluşmuştur. Duvarın arka yüzünde çift yüzü güçlendirilmiş diğer numunelerde olduğu gibi belli bir bölgelerde şişme ve patlak verme gözlemlenirken ön yüzünde ve arka yüzünde kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir fakat plastik kompozit donatıda bir hasar görülmemiştir.



Resim 5.46. Diagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin ön yüzü



Resim 5.47. a) Diagonal yüklemeye sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 5.47. b) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü



Resim 5.47. c) Diyagonal yükleme sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin arka yüzü



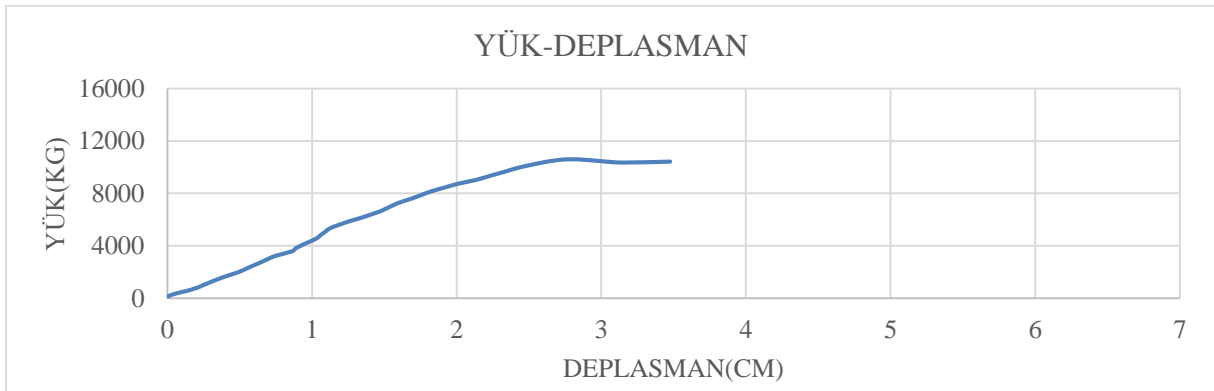


Resim 5.48. Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. Numunenin cihazdan alınıp, taşınması



Resim 5.49. Diyagonal yükleme deneyi sonrası plastik kompozit donatının son durumu

Diyagonal yükleme deneyi uygulanan çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



Şekil 5.8. Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. Numunenin yük-deplasman grafiği

### 5.9. Çift Yüzü Tür 2 ile Güçlendirilmiş 2. Tuğla Duvar

80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile üretilen tuğla duvar çift yüzüne güçlendirme amacıyla plastik kompozit donatı uygulanmıştır. Bu duvar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulduğunda deney öncesi fotoğrafları (Resim 5.50-Resim 5.51) ve deney sonrası fotoğrafları (Resim 5.52 a,b,c), yük-deplasman grafiği (Şekil 5.9) aşağıda verilmiştir.



Resim 5.50. a) Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.50. b) Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvarın diyagonal yükleme deneyine hazırlanması



Resim 5.51. Diagonal yüklemeye hazır çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. Tuğla numunesinin ön yüzü

Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinde yüklemeye başladığında yük verildiğinde gözle görebileceğimiz büyük çatlaklar oluşmamıştır. Yüklemeye devam ederken maksimum dayanım noktasına geldiğinde çatlaklar görülebilmeye başlamıştır. Maksimum 10256 kg yüke dayanan numunede plastik kompozit donatının etkisinden dolayı aniden parçalanma gözlemlenmemiştir ve sünek bir davranış gözlemlenmiştir. Maksimum dayanımına ulaştıktan sonra ise parçalanmamış olan numunede oluşan hasarları inceleme fırsatı oluşmuştur. Duvarın arka yüzünde çift yüzü güçlendirilmiş diğer numunelerde olduğu gibi belli bir bölgelerde şişme ve patlak verme gözlemlenirken ön yüzünde ve arka yüzünde kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir fakat plastik kompozit donatıda bir hasar görülmemiştir.





Resim 5.52. a) Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi

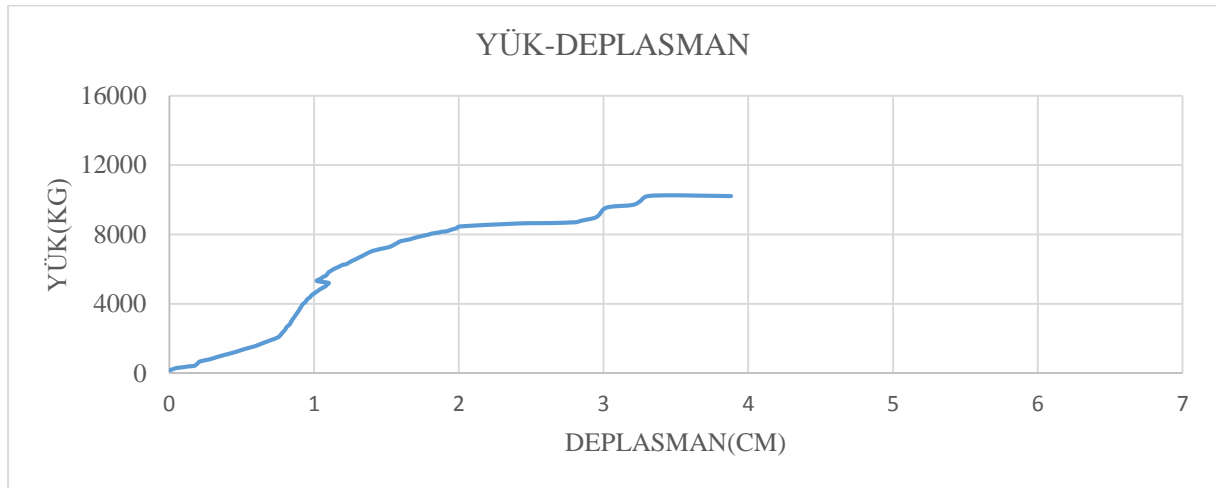


Resim 5.52. b) Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi



Resim 5.52. c) Diyagonal yükleme deneyi sonrası çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesi

Diyagonal yükleme deneyi uygulanan çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. tuğla duvar numunesinin deney boyunca sergilediği yük ve deplasman davranışlarından elde edilen yük-deplasman grafiği incelenmiştir.



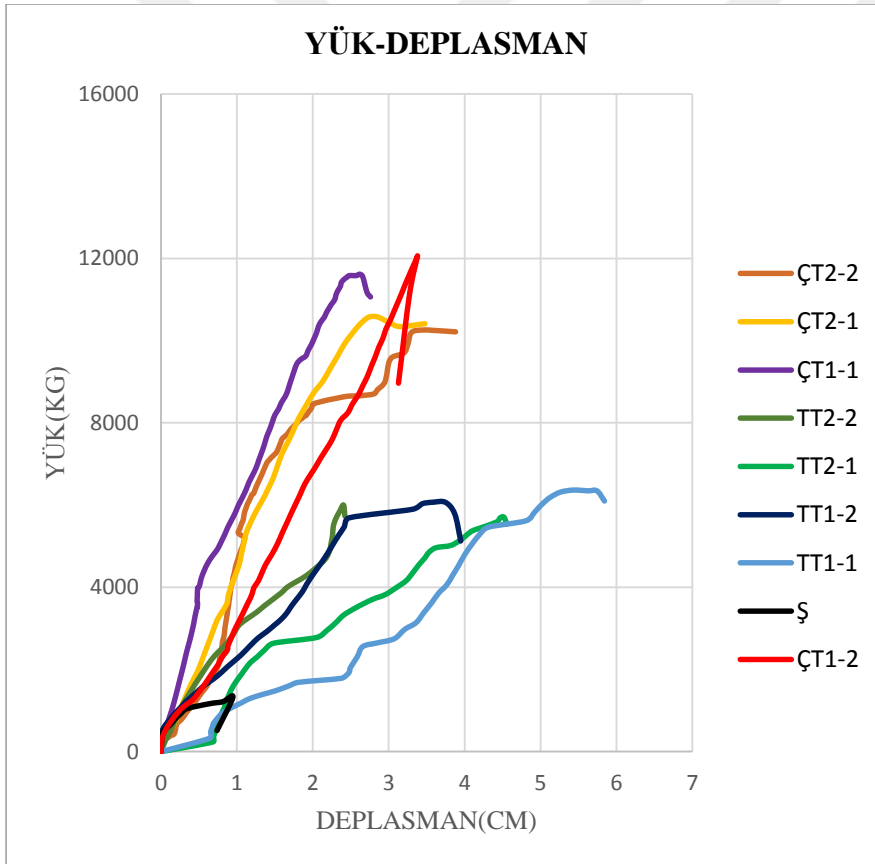
Şekil 5.9. Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. numunenin yük-deplasman grafiği

### 5.10. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde diyagonal yükleme deneyi sonrasında 9 adet numuneden elde edilen değerlerle kendi içlerinde karşılaştırılması yapılacaktır. Grafiklerde belirtilmek üzere numunelere kısaltma isimler verilmiştir. Bu isimler Çizelge 5.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 5.1. Numunelerin kısaltma isimleri

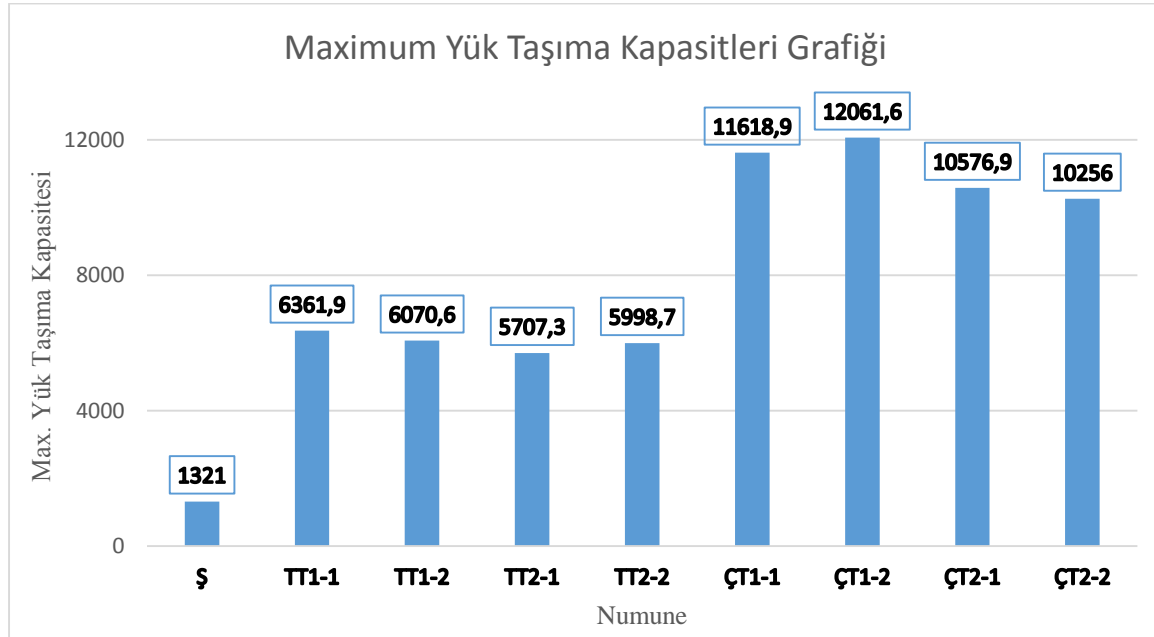
Şahit	Ş
Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numune	TT1-1
Tek yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. numune	TT1-2
Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. numune	TT2-1
Tek yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. numune	TT2-2
Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 1. numune	ÇT1-1
Çift yüzü Tür 1 ile güçlendirilmiş 2. numune	ÇT1-2
Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 1. numune	ÇT2-1
Çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiş 2. numune	ÇT2-2



Şekil 5.10. Tüm numunelerin yük-deplasman grafiği

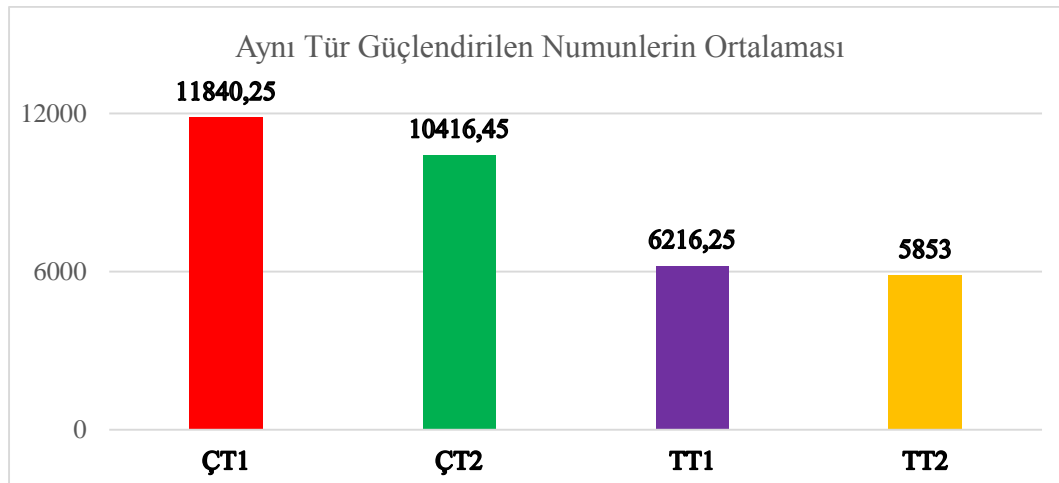
Yukarıda görüldüğü gibi Şekil 5.10'da tüm numunelerin yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.

### 5.10.1. Maksimum yük taşıma kapasiteleri



Şekil 5.11. Numunelerin maksimum yük taşıma kapasiteleri

Şekil 5.11'den anlaşılacağı üzere; en çok yük taşıyan numuneler çift yüzü güçlendirilmiş numunelerdir. Şahit numune diğer numunelerin hepsine göre çok az miktarda yük taşımıştır. Tuğla duvar yüzüne güçlendirme amacıyla uygulanan Tür1 ve Tür2 malzemelerinin olduğu numunelerin ortalaması incelenecek olunursa;

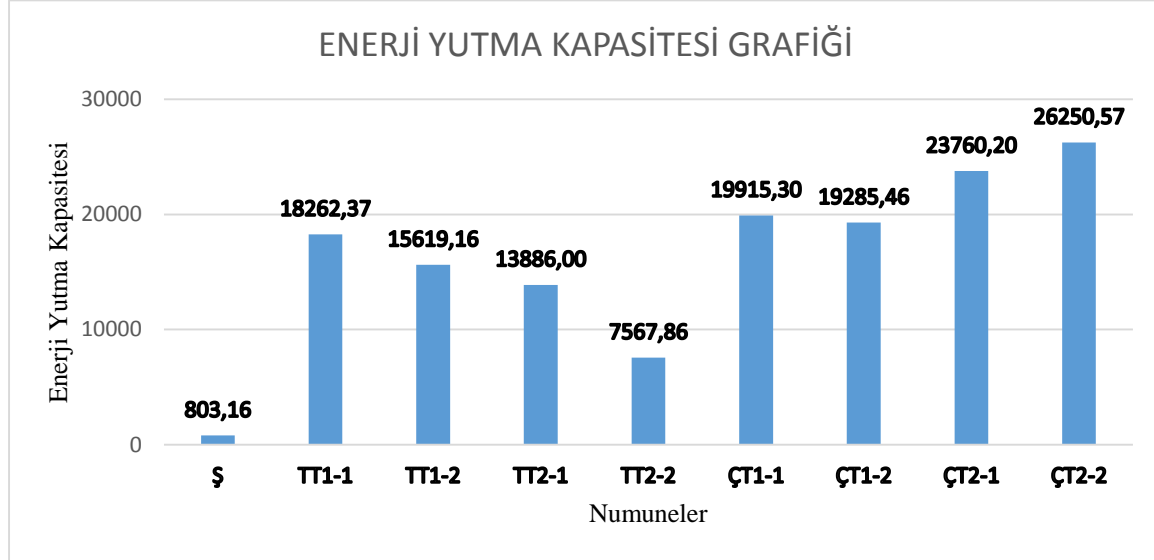


Şekil 5.12. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin yük taşıma kapasitelerinin ortalamaları

Şekil 5.12'de görüleceği üzere; Güçlendirme uygulanan numunelerden en fazla yük karşılayabilenler çift yüze uygulananlardır fakat bunlarda güçlendirme amacıyla kullanılan plastik kompozit donatının türüne göre farklılık göstermektedir. Çift yüze ve tek yüze

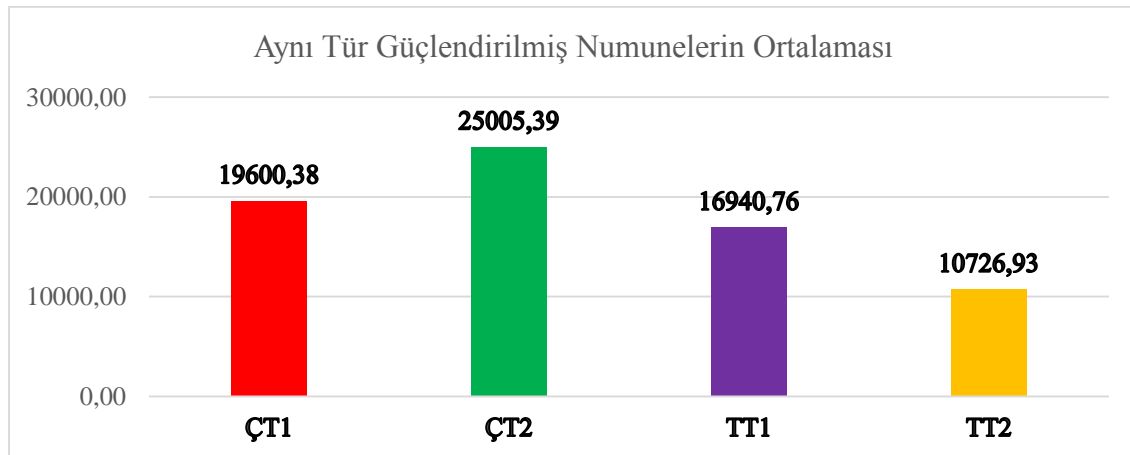
uygulanan plastik kompozit donatılarda yük taşıma kapasitesi seviyesini en çok arttıran Şekil 5.12'den de anlaşılacağı gibi Tür 1 olmuştur.

### 5.10.2. Enerji yutma kapasiteleri



Şekil 5.13. Numunelerin enerji yutma kapasiteleri

Yapıların enerji yutma kapasiteleri depremde dolayı gelen kuvvetlere karşı önemlidir. Enerji yutma kapasiteleri yük-deplasman grafiklerinin altında kalan alan bulunarak elde edilmiştir. Şekil 5.13'den anlaşılacağı gibi şahit(yalın) numune, plastik kompozit donatı ile güçlendirilen numunelere göre çok daha az enerji tutma kapasitesine sahiptir. Güçlendirilen numuneler hakkında yorum yapmak için aynı tür plastik kompozit donatı ile güçlendirilen numunelerin enerji yutma kapasitelerinin ortalaması olan Şekil 5.14 incelenecek olursa;



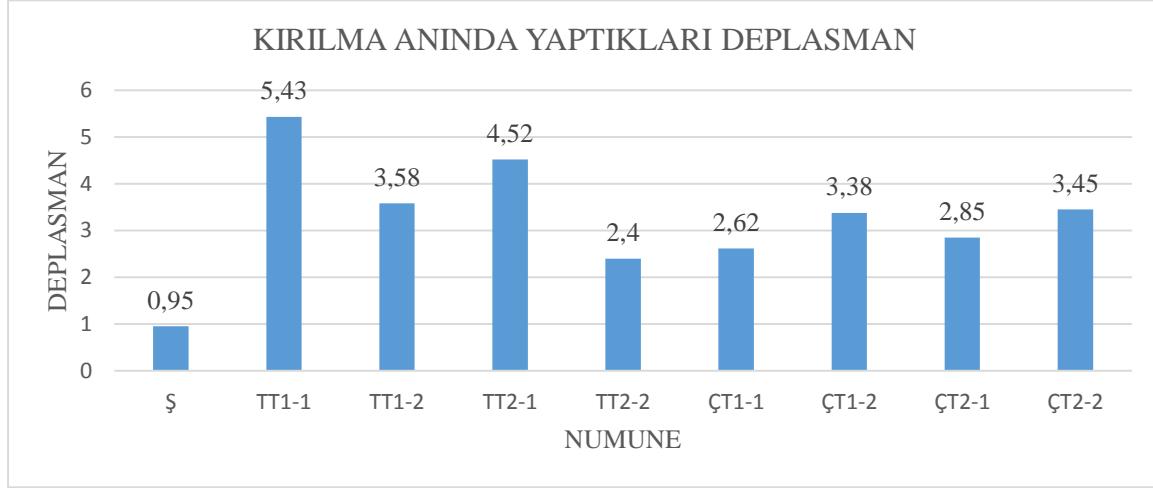
Şekil 5.14. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin enerji yutma kapasitelerinin ortalaması

Çift yüzü plastik kompozit donatı ile güçlendirilen numuneler tek yüzü plastik kompozit donatı ile güçlendirilen numunelere göre daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir.



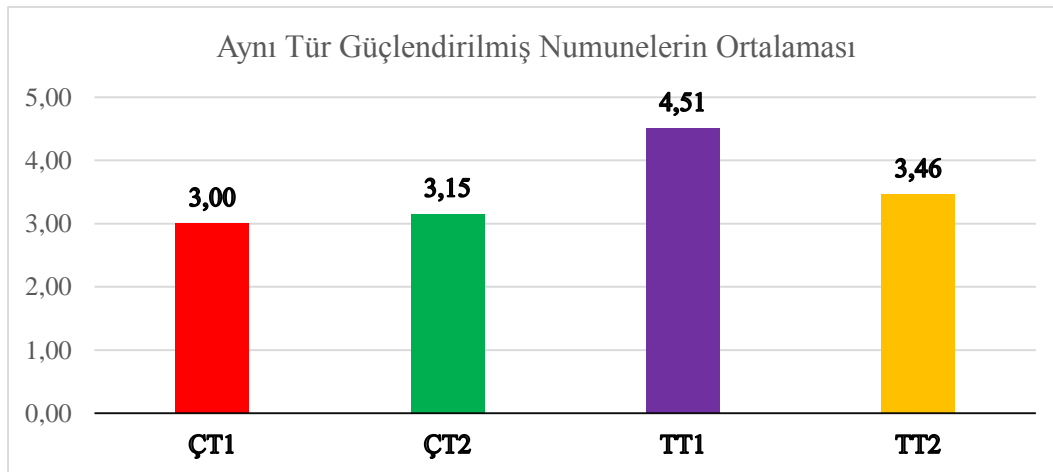
Uygulanan plastik kompozit donatıların Tür 1 ve Tür 2 olarak bakılırsa; Tür 1 uygulanan numuneler daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir.

### 5.10.3. Kırılma anında yaptıkları deplasmanlar



Şekil 5.15. Numunelerin kırılma anında yaptıkları deplasmanlar

Yapının yaptığı deplasman deprem kuvveti karşısında sünek kırılması için önemlidir. Yapının ideal olanı hem sünek davranıp hem de yük taşıma kapasitesinin iyi olmasıdır. Deneysel numunelerinin kırılma anlarında yaptıkları deplasmanları Şekil 5.15’den incelenecek olunursa; şahit numune en az deplasman yapan numunedir, deneyler sırasında da belirtildiği gibi gevrek bir şekilde kırılmıştır. Güçlendirilen numunelerin kırılma anında yaptıkları deplasmanlar incelenecek olunursa;

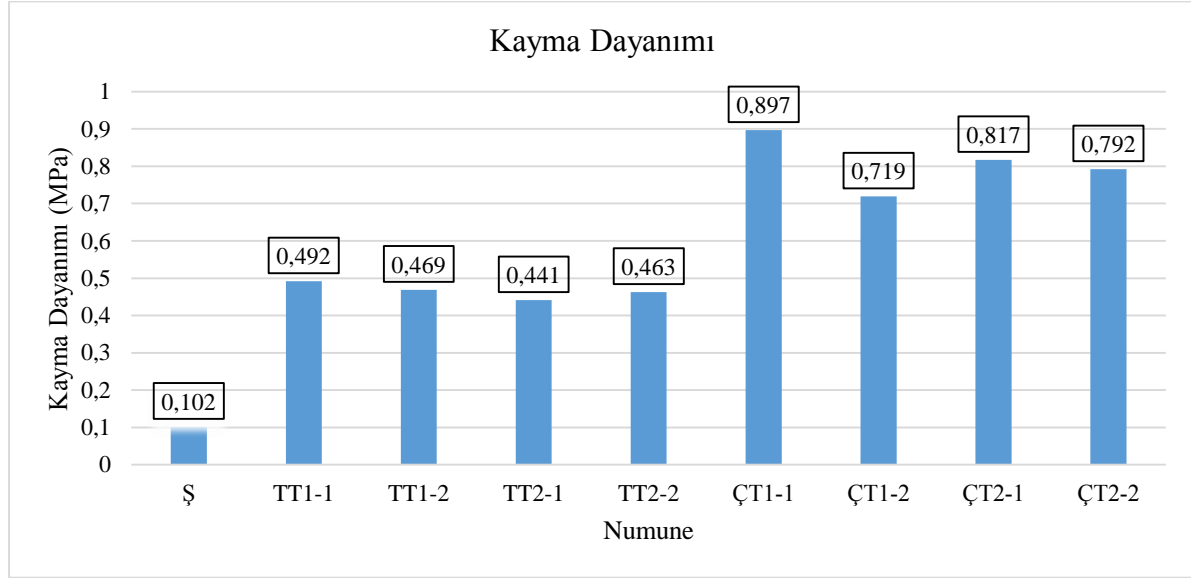


Şekil 5.16. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin kırılma anındaki deplasmanlarının ortalaması

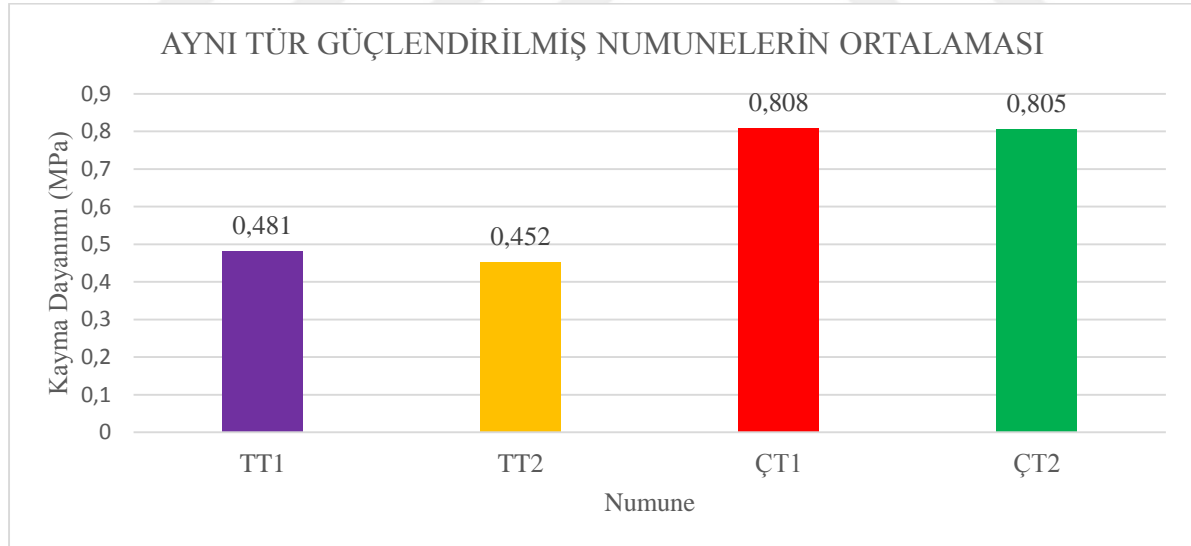
Şekil 5.16’da görüldüğü gibi güçlendirilmiş tuğla duvar numunelerinden kırılma anında en çok deplasman yapanlar tek yüzüne plastik kompozit donatı uygulananlardır. Tek yüzü

güçlendirilen numunelerde de Tür 1 uygulanmış numuneler daha fazla deplasman yapmışlardır. Çift yüze uygulanan plastik kompozit donatılarda ise Tür 2, Tür 1'e göre daha fazla deplasman yapmasını sağlamıştır.

#### 5.10.4. Kayma Dayanımları



Şekil 5.17. Numunelerin kayma dayanımları



Şekil 5.18. Aynı tür güçlendirilmiş numunelerin kayma dayanımlarının ortalaması

Numunelerin kayma dayanımları Eşitlik 5.1'de verilen formülle hesaplanmıştır:

$$\tau(mPa) = \frac{P_{max}(kN) \cdot \cos 45 \cdot 1000}{h(mm) \cdot d(mm)}$$

Eşitlik 5.1. Kayma dayanımı formülü

Hesaplanan değerler Şekil 5.17'den gösterildiği gibi bulunmuştur. Çift yüzü güçlendirilen duvar numuneleri en yüksek değerlere sahiptir. Şahit numune ise kayma dayanımı en düşük olan numunedir.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yığma yapılar dünya üzerinde ve ülkemizde çok yaygın bulunan bir yapı türüdür. Gerek konutlar gerekse tarihi yapılar olarak mevcut olan bu yapıların yeterli dayanımları sağlamadığı tespit edildiğinde güçlendirilmesi gerekmektedir. Yığma yapıların taşıyıcı elemanları duvarlar olduğu için güçlendirme duvarlara yapılmaktadır. Bu yüksek lisans tez çalışmasında duvar güçlendirme doğrultusunda İskenderun Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarlarında çalışmalar yapılmıştır. Güçlendirilecek yapılar tuğla duvar olarak seçilip, 9 adet 80\*80 cm boyutlarında yatay delikli fabrika tuğlaları ile tuğla duvar örülmüştür. Bunlardan 1 adedi şahit olarak seçilip yalın halde bırakılmıştır. Diğer 8 duvar güçlendirilmiştir.

Güçlendirme malzemesi olarak günümüzde bu konuda türevleri yaygınlaşan plastik kompozit donatı seçilmiştir. İlgili firmadan 2 farklı özelliklere sahip plastik kompozit donatı ile duvarlara güçlendirmeler yapılmıştır. Bu güçlendirme malzemeleri Tür 1 ve Tür 2 olarak adlandırılmıştır. Yapılan tuğla duvarlardan 2 adedinin tek yüzü Tür 1 ile, 2 adedinin tek yüzü Tür 2 ile, 2 adedinin çift yüzü Tür 1 ile, 2 adedinin çift yüzü Tür 2 ile güçlendirilmiştir. Hazırlanan tuğla duvarlar diyagonal yükleme deneylerine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarında edilen yük ve deplasman değerleriyle ilgili grafikler hazırlanıp deneyler sonuçlandırılmıştır.

### 6.1. Sonuçlar

9 adet tuğla duvar numunesi deney sonuçlarında incelendiğinde;

- Şahit numune deney sırasında gevrek kırılmıştır. Maksimum yük taşıma kapasitesine göre bakıldığında TT1'ler şahit numuneye göre %370,57 daha fazla yük taşımıştır. TT2'ler %343,07, ÇT1'ler %796,31 iken ÇT2'ler 688,53 daha fazla yük taşımış ve dayanımı arttırmıştır. Enerji yutma kapasitelerine bakılırsa; TT1: %2009,26, TT2: %1235,59, ÇT1: 2340,41 ve ÇT2: %3013,37 daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir. Kırılma anında yaptıkları deplasmanlar incelendiğinde; TT1: %374,74, TT2: %264,21, ÇT1: %215,79 ve ÇT2: %231,58 şahit numuneye göre daha fazladır. Kayma dayanımı; TT1: %371,57, TT2: %343,14, ÇT1: %692,16 ve ÇT2: %689,22 daha fazladır.
- Tek yüzü plastik kompozit donatı ile güçlendirilen numuneler Tür1 ve Tür2 olarak incelediğimizde; maksimum yük taşıma kapasitelerinde TT1'ler TT2'lere göre % 6,21 daha fazla dayanmışlardır. Enerji yutma kapasitelerinde TT1'ler TT2'lere göre %57,93 daha fazla

enerji yutmuşlardır. Kırılma anında yaptıkları deplasmanlarda TT1 numuneleri TT2 numunelerine göre %30,35 daha fazla deplasman yapmışlardır. Kayma dayanımlarında ise TT1 numuneler TT2 numunelere göre %6,41 daha büyüktür. Deney sonrasında ise kırılan numunelerden gözlemlenen sonuçlara göre en az hasar alan numuneler tek yüzü plastik kompozit donatı ile güçlendirilmiş numunelerdir.

- Tür1 plastik kompozit donatısının tek yüze ve çift yüze uygulanmasında elde edilen sonuçlara göre; çift yüze uygulananlar(ÇT1), tek yüze uygulananlardan(TT1) %90,47 daha fazla yük taşımıştır. Çift yüze uygulananlar, tek yüze uygulananlara göre %15,7 daha fazla enerji yutmuştur. Kırılma anında yaptıkları deplasmanlarda ise tek yüze uygulananlar, çift yüze uygulananlardan %50,33 daha fazla deplasman yapmıştır. Kayma dayanımı ÇT1'ler TT1'lerden %67,98 daha büyüktür.
- Çift yüzü plastik kompozit donatı ile güçlendirilen numuneler Tür1 ve Tür2 olarak incelendiğinde; ÇT1 numuneleri ÇT2 numunelerine göre %13,67 daha fazla dayanmıştır. Enerji yutma kapasitelerinde ÇT2'ler ÇT1'lere göre %27,58 daha fazla enerji yutmuştur. ÇT2 numuneleri ÇT1 numunelerine göre %5 kırılma anında daha fazla deplasman yapmıştır. Kayma dayanımlarında ise ÇT1'ler ÇT2'lere göre %0,37 daha büyüktür.
- Ayrıca çift yüzü plastik kompozit donatı ile güçlendirilen numuneler deney sırasında başlangıçta küçük kılcal çatlaklar oluşturmaya başlamış fakat daha sonra duvarın iki yüzünde de sıva olmasından kaynaklı belirli bölgelerde şişme gözlenmiş ve bazı numunelerde kırılma noktasındayken şişen kısımlar çatlamıştır. Bu durumun nedeni olarak ise deplasman yapamayan numune gelen kuvvete bu şekilde tepki vermiştir.
- Tür2 plastik kompozit donatısının tek yüze ve çift yüze uygulanmasında elde edilen sonuçlara göre; çift yüze uygulananlar(ÇT2), tek yüze uygulananlardan(TT2) %77,97 daha fazla yük taşımıştır. Çift yüze uygulananlar, tek yüze uygulananlara göre %133,11 daha fazla enerji yutmuştur. Kırılma anında yaptıkları deplasmanlarda ise tek yüze uygulananlar, çift yüze uygulananlardan %9,84 daha fazla deplasman yapmıştır. Kayma dayanımı ÇT2'ler TT2'lerden %78,1 daha büyüktür.
- Plastik kompozit donatı ile duvar güçlendirme yöntemi literatürde geçen diğer güçlendirme yöntemleri ile kıyaslandığında; perde duvar ekleme, püskürtme beton, çelik levhalar ile güçlendirme gibi yöntemlere göre malzemenin hafif olmasından dolayı uygulama açısından daha kolaydır. Literatürde geçen birçok güçlendirme yöntemine göre



çok daha uygun fiyatlıdır. Aynı zamanda sağladığı süneklik ve yük taşıma kapasitesi açısından yüksek değerler vermektedir.

- Yapılan deneylerle plastik kompozit donatının yığma yapıların güçlendirilmesi amaçlanmıştı ve deney sonuçlarında plastik kompozit donatıdan başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## 6.2 Öneriler

Deney sonuçlarından elde edilen verilere göre;

- Dayanımı yetersiz olan yığma yapıların yalın halde bırakılmaması gerekmektedir. Yalın halde olan bu tuğla duvarlardan elde edilen veriler çok tehlikelidir ve bu yüzden ne can güvenliği ne de tarihi miraslarımız bu sonuçları bilerek tedbirsiz bırakılmamalıdır. Günümüz şartlarında güçlendirilemeyen yapıların en azından sadece tek yüzüne veya çift yüzüne sıva uygulanması gerekmektedir ki bu çok istenilen bir durum değildir çünkü sıvalı numuneler sünek davranış açısından yeterli değildir.
- Bu çalışmada duvar güçlendirme malzemesi olarak kullanılan plastik kompozit donatılar başarılı sonuçlar vermiştir. Literatüre geçilmesi gereken malzemenin başka çalışmalarda da incelenmesi önerilmektedir. Plastik kompozit donatının ilgili firmalardan geçen isimleri ile çift yönlü geogrid GG 40/40P ve GG 80/80P türündeki malzemelerinin uygulandığı duvar sayısı artırılıp daha detaylı sonuçlara ulaşılması önerilmektedir. Ayrıca plastik kompozit donatının farklı çeşitleri elde edilip onlarında güçlendirilme de kullanılması gerekmektedir. Çalışmalara sayısal modellemenin eklenmesi de önerilmektedir. Bu çalışmada üzerinde çalışılan duvar türü tuğla duvardır, farklı duvar türlerinde ne tür sonuçlar verdiği incelenip kıyaslamalarının yapılması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Acun, B., ve Sucuoğlu, H. (2005). Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin hasır donatı ile güçlendirilmesi, *Deprem Sempozyumu, Kocaeli 2005*, ODTÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Aksoylu, C. ve Kara, N. (2019). Güçlendirme tekniği olarak yeni nesil ön üretimli beton panel uygulamasının araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi, cilt:7, sayı:2*, 346-361
- Akyüz, U., Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., Karadoğan, F., İlki, A., Yüksel, E., Özden, Ş., Baran, M., Özdemir, G. ve Demir, C. (2005). Mevcut binalar için güçlendirme yöntemleri geliştirilmesi, *PROJE NO: 101I004 (İÇTAG-I575)*, Tübitak, Ankara.
- Alcaino, P. and Santa-Maria, H. (2008). Experimental Response of Externally Retrofitted Masonry Walls Subjected to Shear, *Loading, Journal of Composites for Construction*, 489-498.
- Aldemir, A. (2010). A simple seismic performance assessment technique for unreinforced brick masonry structures. Master of Science in Civil Engineering Department, Middle East Technical University, METU.
- Aldemir, A., Erberik, M.A. ve Sucuoğlu, H. (2011). Tuğla yığma duvarlar için performansa dayalı bir değerlendirme yöntemi, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, ANKARA*.
- Altın, S., Anıl, O., Kara, M.E. ve Kaya, M. (2008). An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips. *Composites Part B: Engineering* 39 (4), 680-693
- Altın, M. ve Kandı, R. (2009). Aynı iki tip okul binasının güçlendirme öncesi ve sonrası karşılaştırılması. *e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 4, Number: 4, Article Number: 1A0048. ISSN:1306-3111*.
- Araki, H., Yasojima, A. and Kagawa, J. (2011). Strength of masonry walls retrofitted with epoxy resin injection”, *Appl. Mech. Mater.*, 82:545-550.
- Arı, K., Elcuman, H., Uncuoğlu, E., Somuncu, B., Altun F., Kara, H.B. ve Haktanır, T. (2006). Afyon depreminde hasar görmüş betonarme bir yapının güçlendirme çalışması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, cilt:6, sayı:1*, 81-96
- Atashafrazeh, M., Bingöl, A.F., Caf, M. (2015). Tarihi eserlerde yığma duvarların geometrik etkisine göre taşıma kapasitesinin araştırılması ve düşey donatılar kullanılarak güçlendirilmesi. *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 145-153.
- Ateş, T. (2013) İçten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilen yığma duvarların düzlem dışı tekrarlı yük altındaki davranışı, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.

- Babayani, R. (2012). Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranış ve dayanımı, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Baran, M. and Tankut, T. (2011). experimental study on seismic strengthening of reinforced concrete frames by precast concrete panels, *ACI Struct. Journey*, 108:227.
- Baran, M., Aktaş, M. ve Aykaç, S., Sıvanmış tuğla dolgu duvarları şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Ankara, cilt 29, no1, 23-33.
- Bayülke, N. (2001). Yapıların onarım ve güçlendirilmesi. 9. Baskı, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.
- Bayülke, N. (2011). Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliği. 1. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, ANKARA, Tema\_N.Bayulke*
- Bekişoğlu Ş. (1993). Beton kaplamalı kanallarda sızdırmazlık önlemleri mastik asfalt ve püskürtme beton uygulaması. *Devlet Su İşleri Matbaası, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı*, 24-49s., Ankara.
- Binici, B., Özcebe, G. ve Özçelik, R. (2007) “Analysis and design of FRP composites for seismic retrofit of infill walls in reinforced concrete frames”, *Composites: Part B: Engineering* 38, 575-583.
- Bu, C., Li., Y. and Salih, O.A. (2011). Experimental study on seismic behavior of masonry walls retrofitted using epoxy resin injection, *Applied Mechanics and Materials, Vol 94-96*, 1373-1377
- Can, Ö. (2009). Yığma yapıların dıştan perde duvar ile güçlendirilmesinde perdenin birleşim yerleri performansının deneysel araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Can, Ö. ve Yıldızoğlu, H. (2018). Yığma binalarda deprem performansının belirlenmesi (Bayburt Korkut Ata Lisesi örneği). *GÜFBED/GUSTIJ (2018) 8 (2): 372-380, DOI: 10.17714/gumusfenbil.380259.*
- Corradi M., Borri A., Vignoli A. (2008). Experimental evaluation of in-plane shear behavior of masonry walls retrofitted using conventional and innovative methods, *Masonry International*, 21 (1), 29-41.
- Coza, H. (2009). Dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin karbon lifli kompozitlerle güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Cumhur, A., Altundal, A., Kalkan, İ. ve Aykaç, S. (2015). Genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş yatay boşluklu tuğla duvarların davranışı, 6. *Çelik Yapılar Sempozyumu*, Eskişehir.
- Çamlıbel, N. (2000) Yapıların taşıma gücünün iyileştirilmesi, İstanbul

- Çöğürçü, M.T. (2007). Yığma yapıların yatay derz güçlendirme yöntemiyle güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya
- Dalkılıç, N., Halifeoğlu, F.M. ve Halifeoğlu, Z. (2007). Mardin Tekke Cami-Şah Sultan Hatun Medresesi restorasyon çalışması. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu (1), 1. Oturum*, 23-36.
- Değirmenci, Ö.Ç., Aydoğan, İ., Aras, M. ve Çerçevik, A.E. (2015). Ankrajlarda epoksi kullanımı, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:2. Sayı:1, ISSN: 2148-2330*, 69-74
- Demirel, I.O., Erberik, M.A.ve Sucuoglu, H. (2011). Tuğla yığma yapıların performans esaslı değerlendirilmesi için doğrusal olmayan çerçeve modeli, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, ANKARA*.
- Döndüren, M.S. (2008). Bağlayıcı özelliği artırılan duvar ve sıva harcının düzlem dışı Yüklenen tuğla duvarların mekaniksel davranışına etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya.
- El-Dakhkhni, Hamid, A.A., Hakam, Z.H.R. and Elgaaly, M. (2005) Strengthening and hazard mitigation of urm walls using FRP, *10th Canadian Masonry Symposium, Banff, Alberta, June 8 – 12*.
- Elgawady, M.A., Lestuzzi, P. and Badoux, M. (2006). Retrofitting of masonry walls using shotcrete, *Proceedings of 2006 New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference, Napier, New Zealand*, 45-53.
- Er, A.C. (2013). Geleneksel harman tuğlası ve üretimi, *Mesleki Bilimler Dergisi*, MBD 2013, 2(2): 61–70
- Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U. ve Ozcebe, G. (2006) An experimental study on two different strengthening techniques for RC Frames”, *Eng. Struct.*, 28:1843-1851.
- Eskici, B. (2007). Mimari onarımlarda malzeme kullanımı ve yöntem sorunları *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu (1), 2. Oturum*, 257-268.
- Hazırlık, A., (2016). Depremin etkilediği betonarme ve yığma yapılarda hasar tespiti, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 44. Dönem oda kurulu, Ankara, 2016, Oda Yayın No: İMO/16/01, ISBN: 978-605-01-0810-1*.
- İlki, A., Ispir, M., As, F., Demir, C. ve Kumbasar, N. (2008). FRP retrofit of walls constructed with historical bricks, *Challenges for Civil Construction Torres Marques et al.(Eds)*, FEUP.
- İlki, A. ve Kumbasar, N. (2001). Karbon lif takviyeli polimer kompozitlerin yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde kullanılması. *Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı, Bildiriler ve Laboratuvar Olanakları, İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, TUBİTAK, Ankara*, 105-110
- İlyas, M., Farooq, S.H., Qazi, A.U. and Umair, R. (2009). Masonry confinement using steel strips, *Pak. J. Engg. & Appl. Sci. Vol. 5*, 1-9.

İnternet: Tezcan, T., Yapıların sınıflandırılması ders notu, Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü, URL: <https://docplayer.biz.tr/2987507-Yapilarin-siniflandirilmesi.html> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=2> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://www.erkiz.com.tr/celik-yapilar/> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/yapi-taslari> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <http://www.adanatasmarket.com/tugla.html> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://www.muhendisbeyinler.net/kerpic-nedir/> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kerpi%C3%A7> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://insapedia.com/briket-nedir-briket-duvarlarin-orulmesi/> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://www.yapikulubu.com/briket-nedir-olculeri/> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <http://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1805> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://insapedia.com/kerpic-nedir-kerpic-kullanim-alanlari-ve-yapi-elemanlari/> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=196> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://ders.insaatbolumu.com/yapi-elemanlari/baslica-tugla-duvar-orguleri/> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://slideplayer.biz.tr/slide/2892904/> , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: [http://www.tbyalitim.com.tr/admin/inc/uploads/5\\_ForTex\\_GG\\_80-80\\_Geogrid.pdf](http://www.tbyalitim.com.tr/admin/inc/uploads/5_ForTex_GG_80-80_Geogrid.pdf) , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: [http://www.donmezinsaat.com.tr/urun\\_delta-135-luk-blok-tugla\\_71\\_4\\_20](http://www.donmezinsaat.com.tr/urun_delta-135-luk-blok-tugla_71_4_20) , Son Erişim: 18.04.2020

İnternet: URL: <https://www.istanbulteknik.com/geosentetikler/geogrid/fortex-tek-yonlu-geogrid> , Son Erişim: 18.04.2020

Jafarov, O., Köksal, H.O., Doran, B. ve Karakoç, C. (2012). An investigation on the nonlinear behaviour of unreinforced masonry walls, *Journal of Engineering and Natural Sciences, Sigma30, 133-143, 2012.*

Kalkan, Ş.O. ve Gündüz, L. (2017). Tarihi eski yapıların onarımı amaçlı yeni nesil kompozit harçların kullanımı üzerine bir inceleme. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2-3-4 Kasım 2017, 153-162*



- Karabörk, T., Çelik, T. ve Koçak, Y. (2015). Tarihi taş yığma duvarların kayma dayanımını arttırmak amacıyla geliştirilen metal bağlantı elemanları. 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 71-83
- Karadoğan, F., Erol, G., Yüksel, E., Saruhan, H. ve Sağbaş, G. (2003). Sıvalı ve sıvasız gevrek tuğla duvarlarının davranışı ve karbon lifleriyle güçlendirme. *Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı (2), Bildiriler, İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu, TUBİTAK, Ankara*, 57-61.
- Karaşin, A. ve Karaesmer, E. (2005). 1 Mayıs Bingöl Depreminde meydana gelen yığma yapı hasarları, *Yığma Yapıların Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı, 17 Şubat 2005, ODTÜ, ANKARA*
- Kasapgil, M.E. (2007). Eski eserlerde yığma duvarların, kubbelerin, tonozların ve temellerin enjeksiyon reçineleri ve ankraj sistemleriyle güçlendirilmesi, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu (1), 1. Oturum*, 215-218.
- Kasapgil, M.E. (2007). FRP Fibrwrap kompozit sistemleri ile tarihi eserlerin güçlendirilmesi, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu (1), 1. Oturum*, 225-229.
- Kaya, F. (2013). Yığma yapıların polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- Khan, S.A.U.R., Ashraf, M., and Adil, M. (2015). Shear strength evaluation of strengthened unreinforced brick masonry walls by using shotcrete. *ARPN Journal of Science and Technology, VOL. 5, NO. 3, ISSN 2225-7217*
- Koç, V. (2016). Depreme maruz kalmış yığma ve kırsal yapı davranışlarının incelenerek yığma yapı yapımında dikkat edilmesi gereken kuralların derlenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2016:2, 1, 36-57
- Koçak, Y. (2013). Yığma duvarlarda kayma dayanımının artırılması amacı ile farklı bağlantı elemanı uygulamaları, Aksaray Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray.
- Koçu, N. (2007). Konya’da Selçuklu Dönemi yapılarından Alaeddin Köşkü’nün durumu ve korunmasının önemi, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu (1), 2. Oturum*, 531-542
- Koprman, Y., Özmen, R.E., Özdemir, A. ve Özgedik, A. (2018). Çelik elemanlarla güçlendirilen tuğla duvarların kayma dayanımının araştırılması, *Politeknik Dergisi, DergiPark, Cilt 21- Sayı 2*, 471-476
- Kömürcü, S. ve Gedikli, A., (2017). Donatısız yığma duvarların düzlem içi davranışlarının nümerik olarak incelenmesi. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu / 2-3-4 Kasım 2017, 17940\_07\_041*.
- Kuran, F. (2015). Tarihi yığma yapıların lineer elastik analizinde kullanılan deprem yükü azaltma katsayısı (Ra) hakkında bir irdeleme. 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve*

*Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 11-26.

- Küçükdoğan, B., Sevgili, G. ve Karaesmen E. (2007). Yapısal güçlendirme yoluyla korumacılık uygulamasının aşamaları, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu (1), 2. Oturum*, 309-317.
- Leone, M., Sciolti, M.S. ve Aiello, M.A. (2012). In-plane shear behaviour of BFRP reinforced masonry panels, CICE.
- Mahrebel, H.A. (2006). Tarihi yapılarda taşıyıcı sistem özellikleri, hasarlar, onarım ve güçlendirme teknikleri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 2006.
- Mezrea, P.E. (2014) Tarihi tuğla duvarların tekstil donatılı harç (TRM) ile güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Myers, J.J., Murthy, S. and Micelli, F. (2001). Effect of combined environmental cycles on the bond of FRP sheets to concrete, Proceedings-Composites in Construction, 2001 International Conference, Porto, Portugal
- Onar, E. (2007). Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Orulkaya, H.A. (2019). Mevcut yığma yapıların deprem yüklerine karşı güçlendirilmesinde püskürtme beton kullanımı. Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ
- Önal, M.M., Koçak, A. (2008). Yığma yapı hasarları ve onarım ve güçlendirme yöntemlerinin ayrıntıları, [www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11065.pdf](http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/11065.pdf), Erişim Tarihi: 18.04.2020.
- Özbek E. ve Can, H. (2012). Dolgu tuğla duvarların çelik profillerle güçlendirilmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara, Cilt 27, No 4, 921- 929.
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R.S.O. and Mertol, H.C. (2003). Strengthening of brick-infilled RC frames with CFRP, *Structural Engineering Research Unit*, TUBITAK, METU, Ankara
- Özışık, G. (19??) *Tuğla*, Eskişehir: Anadolu Üniversitesi, Eğitim Sağlık Bilimsel Araştırmalar Vakfı, Tuğla Srandardizasyonu Araştırma Projesi Yayın No: 2
- Özsaraç, S. (2009). Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların GFRP ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Öztaş, V. (2009). Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Papanicolaou, C.G., Triantafillou, T.C., Karlos, K. and Papathanasiou, M. (2007) "Textile-

- reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: in-plane cyclic loading”, *Materials and Structures*, 40(10): 1081-1097.
- Prota, A., Marcari, G., Fabbrocino, G., Manfredi, G. and Aldea, C. (2006). Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites, *Journal of Composites for Construction*, 223-233.
- Sallio, N. (2005). Mevcut yığma yapıların deprem bakımından incelenmesi ve güçlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale
- Schwegler, G. and Kelterborn, P. (1996). Earthquake resistance of masonry structures strengthened with fiber composites, In *Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering, (IAEE) International Association for Earthquake Engineering*, A.A. Balkema, Rotterdam, 454-458
- Sesigür, H., Çelik, O.C. ve Çılı, F. (2007). Ahi Çelebi Camisinin onarımı ve güçlendirilmesi. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu (1), 1. Oturum*, 231-238.
- Sesigür, H., Çelik, O.C. ve Çılı, F. (2005). Esnek döşemeli tarihi yığma kagir yapıların güçlendirilmesi İzmit Sultan Abdülaziz Av Köşkü Örneği. *Deprem Sempozyumu Kocaeli, 23-25 Mart 2005*, 768-770
- Sevil, T., Baran M., Bilir T. ve Canbay E. (2010) Tuğla dolgu duvarların b/a çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi; deneysel ve kuramsal çalışmalar, *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol.2, No.2.
- Seydanlıoğlu, M. (2013). Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tekdüze yükler altındaki davranışı, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Sezer, R. ve Akın, A. (2011). Dolgu duvarları önüretimli beton panellerle güçlendirilmiş betonarme çerçevelerin deprem davranışının incelenmesi, *e-Journal of New World Sciences Academy, Volume:6, Number:4, Article Number: 1A0222, ISSN: 1306-3111*.
- Taghdi, M., Bruneau, M. ve Saatcioglu, M. (2000). Seismic retrofitting of low-rise masonry and concrete walls using steel strips, *ASCE J. Struct. Eng.*, 126:1017- 1025.
- Triantafillou, T.C. (1998). Strengthening of masonry structures using epoxy-bonded FRP laminates, *Journal of Composites for Construction*, 107-115.
- Triantafillou, T.C., Papanicolaou, C.G. and Lekka, M. (2011). Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels, *Constr Build Mater*, 2011; 25: 504-14
- Tekeli, H., Avcı, C., Üreyen, M. ve Sasa, V., (2019). Dolgu duvarların lifli polimer ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, DergiPark, Cilt 8, Sayı 1*.
- Tekeli, H., Akyürek, O., Deniz, M, Hersat, E, Kara, N., Tosun U. ve Kaya, F. (2014). Betonarme çerçevede dolgu duvarların hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi, *Beü*

*Fen Bilimleri Dergisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 3(2), 179-191.*

- Turgut, P. ve Yeşilata, B. (2009). Atık lastik katkılı harç plak ve briketlerin termo-mekanik davranışlarının araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 24, No 4, 651-658, 2009*
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018). T.C. Resmi Gazete, Sayı: 30364-18 Mart 2018, Bölüm 11, 455-468
- Uçar, T., Toumatari, S.G. ve Ertutar, Y. (2014). Çerçeve düzlemi içinde eklenen perdelerin betonarme binaların yapısal özelliklerine etkilerinin incelenmesi. *Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt:3, Sayı:1, 56-68*
- Ulukaya, S. ve Yüzer, N. (2017). Tarihi yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların elastisite modülünün deneysel ve matematiksel model ile belirlenmesi, *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2-3-4 Kasım 2017, 533-542*
- Valluzzi, M.R., Tinazzi, D. and Modena, C. (2002). Shear Behavior of Masonry Panels Strengthened by FRP Laminates, *Construction and Building Materials 16*, pp 409-416.
- Vandergrift, J., Gergely, J. and Young, D.T. (2002) "CFRP Retrofit of Masonary Walls", *Proceedings of the Third International Conference on Composites in Infrastructure ICCI 02, San Francisco, CA, USA.*
- Yedek, Ç.Y. (2013). Yığma yapıların hasır çelik donatılı kuru karışım püskürtme beton uygulamasıyla güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- Yılmaz, E. (2010). Boşluklu tuğla ile örülmüş yığma duvarların LP kompozitler ile güçlendirilmesi ve davranışta boyut etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

## ÖZGEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :GÜNEŞ, Ezgi Rukiye  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 23.10.1995, Gaziantep  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (538) 552 92 39  
 Faks : ---  
 e-mail : ezggunes23@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği/İnşaat Mühendisliği ABD	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2017
Lise	Gaziantep Özel Seçkin Anadolu Lisesi	2013

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

1. Kaçın, S., Güneş, E., (2020). Duvarların Güçlendirilmesinde Plastik Kompozit Donatı Kullanımı. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9 (2), 946-955.

### Hobiler

El Sanatları, Spor, Resim

## DİZİN

**A**

agrega · 31, 45, 48, 64,  
65, 80, 95, 101

**B**

basınç · 18, 25, 27, 28,  
30, 31, 39, 45, 46, 48,  
53, 57, 59, 64, 68, 71,  
74, 75, 76, 80, 85, 95,  
97, 98, 99, 106

Beton · v, vi, ix, xi, xii,  
22, 24, 26, 27, 30, 32,  
37, 38, 45, 46, 47, 48,  
49, 51, 53, 57, 59, 65,  
66, 67, 68, 69, 70, 76,  
77, 78, 79, 80, 81, 82,  
84, 85, 86, 87, 88, 89,  
90, 95, 164, 166, 167,  
168, 170, 171, 172,  
173, 175

**C**

cam elyaf takviyeli  
polimer · 49  
CFRP · 19, 66, 67, 68,  
70, 71, 74, 75, 76, 80,  
81, 166, 171, 173

**Ç**

çekme · 25, 27, 39, 48,  
50, 51, 59, 60, 63, 64,  
70, 75, 78  
çimento · 8, 20, 30, 31,  
45, 47, 55, 57, 80, 95,  
101

**D**

deformasyon · 23, 25,  
37, 41, 43, 67, 69, 70,  
71, 72, 73, 76, 85

donatı · i, iv, vi, viii, xii,  
xiii, xvii, xviii, 23, 26,  
27, 47, 54, 57, 62, 63,  
73, 78, 83, 84, 86, 90,  
91, 92, 94, 103, 104,  
106, 109, 115, 118,  
120, 121, 123, 125,  
127, 129, 131, 133,  
136, 137, 138, 140,  
142, 148, 150, 152,  
153, 154, 158, 159,  
160, 161, 163, 164,  
165, 166, 167, 171,  
173, 174

duvar · i, iii, v, vi, vii, ix,  
xi, xii, xiii, xiv, xv,  
xvi, xvii, xviii, 22, 23,  
24, 25, 26, 27, 28, 29,  
30, 31, 32, 33, 34, 35,  
36, 37, 38, 39, 40, 41,  
42, 43, 44, 45, 46, 47,  
48, 49, 50, 51, 52, 53,  
54, 55, 57, 59, 62, 63,  
64, 65, 66, 67, 68, 69,  
70, 71, 72, 73, 74, 75,  
76, 77, 78, 79, 80, 81,  
82, 83, 84, 85, 86, 87,  
88, 89, 90, 91, 92, 94,  
95, 97, 99, 100, 101,  
102, 103, 106, 107,  
108, 109, 110, 111,  
112, 113, 114, 115,  
117, 118, 119, 120,  
121, 123, 124, 125,  
126, 127, 127, 130,  
131, 132, 133, 134,  
135, 136, 137, 138,  
139, 140, 141, 142,  
143, 144, 145, 146,  
147, 148, 149, 150,  
151, 152, 153, 154,  
155, 156, 157, 158,  
159, 160, 162, 163,  
164, 165, 166, 167,  
168, 169, 170, 171,  
172, 173, 174

**E**

enerji yutma kapasitesi ·  
1, 23, 26, 66, 83, 84,  
85, 159, 160, 163

**F**

FRP · viii, xi, xix, 22,  
49, 50, 51, 59, 66, 67,  
68, 69, 70, 71, 72, 73,  
74, 75, 76, 77, 80, 81,  
166, 167, 168, 170,  
171, 172, 173

**G**

geogrid · 23, 91, 93, 94,  
165, 169  
GFRP · vii, xix, 22, 49,  
50, 67, 68, 69, 75, 171

**P**

plastik kompozit donatı ·  
i, vi, viii, xii, xiii, xvii,  
23, 91, 92, 94, 103,  
104, 106, 109, 115,  
118, 120, 121, 123,  
125, 127, 129, 131,  
133, 136, 137, 138,  
140, 142, 148, 150,  
152, 153, 154, 158,  
159, 160, 161, 163,  
164, 165, 174

**S**

süneklik · 26, 27, 69, 71,  
74, 78, 82, 85, 165



---

**Y**

yapı malzemesi · 27, 28,  
63, 98





**TEKNOVERSİTE**



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

