

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YIĞMA TUĞLA DUVARLARIN GENİŞLETİLMİŞ
ÇELİK LEVHA VE CAM LİF KATKILI PÜSKÜRTME
BETON UYGULAMASIYLA GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Azizullah RASULY

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN
Ortak Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Alper CUMHUR

Mayıs 2020

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.


Azizullah Rasuly
22/05/2020

TEŞEKKÜR

Tüm ilk-orta-lise-üniversite ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan; karşılıksız, beklentisiz, var olan güçleriyle beni destekleyen ve benim bugünlere gelmeme sebep olan değerli aileme, abim Samiullah RASULY, Hafizullah RASULY, Asadullah RASULY'ye, sonsuz minnet ve şükran duygularımı sunarım

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, araştırmanın planlanmasından, yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden ve titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN'a, ortak danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Alper CUMHUR ve çalışma gurubumuzun değerli hocaları Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞACAKOCA, Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Zeki ÖZYURT'a, destek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışması sırasında anlayış ve desteklerini esirgemeyen her aşamada yanımda olan Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü teknikeri Talha ÖZKAN'a ve çok değerli arkadaşlarım; İnşaat Mühendisi Abdul Salam AKRAMİ, İnşaat Mühendisi Mohammadi MOHAMMADI, İnşaat Mühendisi Ezatullah AHMADZAI'ye sonsuz minnet ve şükran duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Eleman Güçlendirmesi	1
1.2. Sistem Güçlendirmesi.....	2
1.3. Çalışmanın Nedeni ve Amacı	2
1.4. Çalışmanın Kapsamı.....	4
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ÖZETLERİ	6
2.1. FRP (Lifli Polimer) İle Güçlendirme.....	6
2.2. Elyaf Donatılı Harç (FRM) ile Güçlendirme.....	10
2.3. Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirme.....	12
2.4. Çelik Lif Katkılı Harç (SFRM) ile Güçlendirme.....	13
2.5. Çelik Şerit veya Çelik Profillerle Güçlendirme.....	14
2.6. Hasır Donatılı Harç ile Güçlendirme.....	15
2.7. Ön Üretimli Panellerle Güçlendirme	17
2.8. Püskürtme Beton.....	18

BÖLÜM 3.

TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018.....	23
3.1. Dolgu Duvarlarının Güçlendirilmesi	23
3.1.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi.....	23
3.1.2. Modelleme esasları	25
3.1.3. Malzeme özellikleri	26
3.2. Dolgu Duvarlarının Lifli Polimerler İle Güçlendirilmesi.....	27
3.3. Modelleme Esasları	28

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMA	30
4.1. Deney Programı	30
4.2. Malzeme Özellik ve Dayanımları.....	32
4.2.1. Geniştirilmiş çelik levhaların dayanım ve özellikleri	32
4.3. Tie-Rot mili (Tij-Ankraj bulonu-M6 bulon)	35
4.4. Düşey Delikli Tuğla.....	37
4.5. Harç	38
4.6. Deney Elemanları	41
4.7. Deney Platformu ve Deney Çerçevesi	46
4.7.1. Yük ve deformasyon ölçüm düzeneği	48
4.7.2. Yükleme programı	50

BÖLÜM 5. PÜSKÜRTME BETON.....

5.1. Püskürtme Beton.....	51
5.2. Püskürtme Beton Uygulama Teknikleri	51
5.3. Kullanım Alanları	52
5.4. Deneysel Çalışmada Püskürtme Beton Uygulaması	52

BÖLÜM 6.

DENEYSEL SÜREÇ	56
6.1. Referans Eleman Deneyleri	56

6.1.1. R deney elemanı	56
6.1.2. RS deney elemanı	59
6.1.3. RGFR deney elemanı.....	62
6.2. Tuğla Duvar Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Levha ve Cam	
Lif Katkılı Püskürtme Beton ile Güçlendirilmiş Duvar Deneyleri.....	65
6.2.1. MBWGFR 1.5 mm -150 mm deney elemanı	65
6.2.2. MBWGFR.2.0mm-150mm deney elemanı	68
6.2.3. MBWGFR.2.0 mm -200 mm deney elemanı	71
6.2.4. MBWGFR 3.0mm-1.50mm deney elemanı	74
6.2.5. MBWGFR 3.0mm-400mm deney elemanı	77
 BÖLÜM 7.	
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	81
7.1. Taşıma Kapasitesi Analizi	81
7.2. Rijitlik.....	83
7.3. Süneklik	85
7.4. Enerji Dönüştürme Kapasitesi	87
7.5. Deney Elemanların Kayma Gerilmesi	89
7.6. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma	91
 BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
8.1. Sonuçlar	93
8.2. Öneriler.....	95
 KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
GFRP	: Cam elyaf takviyeli polimerler
LVDT	: Elektronik deplasman ölçer
M6	: 6 mm çapında bulon
MPa	: Mega pascal
Ø6	: 6 mm çapında bulon
P_{ave}	: Ortalama taşıma yükü
R	: Referans deney elemanı
Std. Sap.	: Standart sapma
TRM	: Tekstil takviyeli harç
ΔL	: Birim kısalma
ΔL_x	: Akma birim uzama
ΔL_y	: Akma birim kısalma
L_0	: İlk uzunluk
P_f	: Deneyin son deplasman anındaki taşıma gücü
P_{max}	: Maksimum taşıma gücü
P_{ort}	: Ortalama taşıma gücü
P_y	: Akma anındaki taşıma gücü
t_{inf}	: Dolgu duvarın kalınlığı
α	: Başlangıç rijitliği
δ_0	: Maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri
δ_f	: Maksimum deplasman değeri
δ_i	: Rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değeri
δ_u	: Ortalama taşıma gücünün (Port) % 85'indeki deplasman değeri
δ_y	: Akmanın başladığı andaki deplasman değeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi	25
Şekil 3.2. Dolgu duvarlarının lifli polimerler ile güçlendirilmesi.....	28
Şekil 4.1. Genişletilmiş çelik levhaların delik deseni ve boyutları	33
Şekil 4.2. ISO 6892-1 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri	33
Şekil 4.3. ASTM Standardına uygun lama tipi dikdörtgen geometriye sahip çekme deneyi numunesi	34
Şekil 4.4. Çelik levhaların deney öncesi ve sonrası görüntüleri	35
Şekil 4.5. Tie-Rot Mili(Tij-Ankraj bulonları-M6 bulon), pul ve somun geometrisi.....	36
Şekil 4.6. Ankraj Deliklerinin Açılması.....	36
Şekil 4.7. Yığma blok tuğla basınç deneyleri	37
Şekil 4.8. Referans (R,RS,RGFR) elemanları detay çizimleri	42
Şekil 4.9. Güçlendirmeden önce deney elemanları	42
Şekil 4.10. MBWGFR.1.5mm-150mm elemanı	43
Şekil 4.11. MBWGFR.2.0mm-150mm elemanı	43
Şekil 4.12. MBWGFR.2.0mm-200mm elemanı	44
Şekil 4.13. MBWGFR.3.0mm-150mm elemanı	44
Şekil 4.14. MBWGFR.3.0mm-400mm elemanı	45
Şekil 4.15. Duvarların örülmesi ve matkapla delme işlemi için hazırlanması.....	45
Şekil 4.16. Duvarlarda güçlendirme işlemleri - ankraj uygulaması.....	45
Şekil 4.17. Genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilmiş deney elemanları.	46
Şekil 4.18. Deney platformu ve deney çerçevesi çizimleri.....	47
Şekil 4.19. Deney düzeneği.....	47
Şekil 4.20. LVDT 50 mm uzaman kapasiteli	48
Şekil 4.21. LVDT 100`mm uzaman kapasiteli.....	48

Şekil 4.22. TestBox1001 Serisi veri toplama sistemi	49
Şekil 4.23. LVDT lerin yerleşim planı.....	50
Şekil 4.24. Deney sistemin uygulanan video kaydı	50
Şekil 5.1. Püskürtme beton karışımının hazırlanması.....	53
Şekil 5.2. Püskürtme beton uygulama düzeneği	53
Şekil 5.3. Duvarlara cam lif katkılı püskürtme beton uygulaması.....	54
Şekil 5.4. Cam lif katkılı püskürtme beton silindir numuneleri ve basınç deneyi ..	54
Şekil 6.1. R deney elemanın deney öncesi ve deney sonrası görselleri	57
Şekil 6.2. Referans deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	59
Şekil 6.3. RS deney elemanın deney öncesi ve deney sonrası görselleri.....	60
Şekil 6.4. RS deney elemanın yük-deplasman grafiği	61
Şekil 6.5. RGFR Deney elemanın deney öncesi durumu.....	62
Şekil 6.6. RGFR elemanının deney sonrası hasar durumu.....	64
Şekil 6.7. RGFR elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	64
Şekil 6.8. MBWGFR 1.5mm.-150mm elemanın deney öncesi durumu	66
Şekil 6.9. MBWGFR 1.5mm-150mm elemanının deneyden sonra hasar durumu .	67
Şekil 6.10. MBWGFR 1.5mm-150mm elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	67
Şekil 6.11. MBWGFR 2.0mm-150mm elemanın deney öncesi durumu	69
Şekil 6.12. MBWGFR 2.0mm-150mm elemanının deney sonrası hasar durumu ..	70
Şekil 6.13. MBWGFR 2.0mm-150mm deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	70
Şekil 6.14. MBWGFR 2.0mm-200mm elemanın deney öncesi durumu	72
Şekil 6.15. MBWGFR 2.0mm-200mm elemanının deneyden sonra hasar durumu	73
Şekil 6.16. MBWGFR 2.0mm-200mm deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	74
Şekil 6.17. MBWGFR 3.0mm.-150mm elemanın deney öncesi.....	75
Şekil 6.18. MBWGFR 3.0mm-150mm elemanının deney sonrası hasar durumu ..	76
Şekil 6.19. MBWGFR 3.0mm-150mm elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	77
Şekil 6.20. MBWGFR 3.0mm-400mm elemanın deney öncesi durumu	78
Şekil 6.21. MBWGFR 3.0mm-400mm elemanının deney sonrası hasar durumu ..	79
Şekil 6.22. MBWGFR 3.0mm-400mm elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	80

Şekil 7.1. Deney elemanların taşıma gücü, rijitlik, enerji sönümleme kapasiteleri hesabında kullanılan yük ve deplasman terimleri	84
Şekil 7.2. Taşıyıcı duvarların deprem yönündeki farklı kırılma ve hasar görme biçimleri	89
Şekil 7.3. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri	92
Şekil 7.4. Tüm deney numunelerinin enerji sönümleme kapasiteleri	92



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Tuğla duvar için önerilen değerler	27
Tablo 3.2. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi	29
Tablo 4.1. Deneysel çalışma matrisi	31
Tablo 4.2. ISO 6892-1 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri	33
Tablo 4.3. ASTM E8:2016 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri	34
Tablo 4.4. Genişletilmiş çelik levhanın çekme deneyi	35
Tablo 4.5. Bulonların eğilme dayanımı, şekil değiştirmeleri ve gerilme dayanımları	37
Tablo 4.6. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı	38
Tablo 4.7. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı	38
Tablo 4.8. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı	38
Tablo 4.9. Harç yapımında kullanılan malzemelerin ağırlıkça karışım oranları.....	39
Tablo 4.10. I. etap harç numunesi basınç dayanımı	40
Tablo 4.11. II. etap harç numunesi basınç dayanımı	40
Tablo 4.12. III. etap harç numunesi basınç dayanımı	41
Tablo 4.13. TestBox1001 Serisi veri toplama sistemi teknik özellikleri	49
Tablo 5.1. Cam lif katkılı püskürtme beton karışım oranları	52
Tablo 5.2. Cam lif katkılı püskürtme betonun basınç dayanımı	55
Tablo 6.1. Çalışma matrisi	56
Tablo 6.2. Referans deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi	58
Tablo 6.3. RS deney elemanının yük, deplasman ve temas yüzeyleri	62

Tablo 6.4. RGFR deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi	65
Tablo 6.5. MBWGFR 1.5mm-150mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi	68
Tablo 6.6. MBWGFR 2.0mm-150mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi	71
Tablo 6.7. MBWGFR 2.0mm-200mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi	74
Tablo 6.8. MBWGFR 3.0mm-150mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi	77
Tablo 6.9. MBWGFR 3.0mm-400mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi	80
Tablo 7.1. Referans deney elemanların deneysel taşıma güçleri ve göreceli taşıma gücü oranları.....	81
Tablo 7.2. Deney elemanların deneysel taşıma güçleri ve göreceli taşıma gücü oranları	82
Tablo 7.3. Bulon aralığındaki değişimin taşıma gücündeki değişime etki oranları.....	82
Tablo 7.4. Deney numunelerin rijitlikleri ve göreceli rijitlik oranları	85
Tablo 7.5. Bulon aralığındaki değişimin rijitliğe etkisi	85
Tablo 7.6. Deney numunelerin süneklikleri ve göreceli süneklik oranları	87
Tablo 7.7. Deney numunelerinin enerji dönüştürme kapasiteleri	88
Tablo 7.8. Deney elemanlarının kayma gerilmesi	90
Tablo 7.9. Deney numunelerinin tüm değerlendirme sonuçları.....	91

ÖZET

Anahtar kelimeler: Tuğla duvar, güçlendirme, lifli beton, püskürtme beton, yığma tuğla.

Dünya genelinde, özellikle yıkıcı depremlerden etkilenen bölgelerde en yüksek yapı stoğunu temsil eden yapı türlerini betonarme yapılar ve yığma yapılar oluşturmaktadırlar. Ancak, yığma yapıların düşey karakterli yük taşıma kapasitesi bakımından yeterli olduğu halde, yatay karakterli deprem yüklerine karşı çok dayanım gösteremediği; gerek şiddetli depremler sonrası yapılan gözlemler gerekse laboratuvar ortamında gerçekleştirilen birtakım deneyler sonucu yapılan gözlemler ile bilinen bir gerçek olmuştur. Bu gerçekçi durumdan hareketle yığma yapıların deprem yüklerine karşı dayanım ve taşıma kapasitesinin artırılması için çeşitli arayışlar olmaktadır. Özellikle yığma yapılarda taşıyıcı eleman görevi üstlenen duvarların güçlendirilmesi yapı davranışına etki edecek en önemli etmen olduğundan, bu çalışmada yığma (düşey delikli blok) tuğla duvarların güçlendirilmesi ile ilgilenilmiştir.

Literatürde dolgu tuğla duvarlar ve yığma (blok) tuğla duvarları; farklı güçlendirme malzemeleri ile örneğin; çelik profiller, çelik levhalar, çelik şeritler, epoksi reçinesi, lifli polimerler, kumaş elyafları, püskürtme beton, beton şeritler ve benzerleri gibi birçok farklı malzemeler kullanılarak güçlendirilmiştir. Bu çalışmada literatürde var olan ve dolgu tuğla duvarların güçlendirilmesinde kullanılan ancak yığma (blok) tuğla duvarlar üzerinde denenmemiş olan “genişletilmiş çelik levha ve cam lif katkılı püskürtme beton ile güçlendirme” tekniği kullanılmış ve farklı kalınlıklarda genişletilmiş çelik levha kullanımının blok tuğla duvar dayanım ve davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Mevcut çalışmada yığma (blok) tuğla duvarların güçlendirilmesi ana başlığı altında birisi referans, 5’i genişletilmiş çelik levhalar üzerine 30 mm cam lif katkılı püskürtme beton kullanılarak güçlendirilmiş numuneler olmak üzere, toplam 6 adet deney elemanı ele alınmıştır. Güçlendirme malzemesi olarak kullanılan çelik levhaların kalınlıkları deneyin değişken parametresi olarak belirlenmiş, hazırlanmış olan bütün numuneler diyagonal yükleme altında test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, güçlendirilmiş numunelerin, büyük çekme gerilmeleri taşıyabilen cam lif katkılı püskürtme beton, çelik levhalar ve ankraj bulonları sayesinde büyük yük taşıma ve enerji sönmüleme kapasitesine eriştiği, deney numunelerinde ani bir yük kaybı oluşmadığı, numunelerin deneyin sonuna kadar bütünlüklerini korudukları, süneklik ve rijitliklerinde büyük artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

REINFORCED MASONRY BRICK WALLS WITH EXTENDED STEEL PLATE AND GLASS FIBER ADDED SPRAY CONCRETE APPLICATION

SUMMARY

Keywords: Brick wall, reinforcement, fiber concrete, shotcrete, masonry brick.

Reinforced concrete structures and masonry structures constitute the types of structures representing the highest construction stock in the world, especially in regions affected by destructive earthquakes. However, although masonry structures have sufficient vertical load bearing capacity, they do not show much resistance against horizontal earthquake forces; it has become a well-known fact, both with observations made after severe earthquakes and with experiments carried out in labs. Based on this realistic situation, various researches are conducted to increase the resistance and bearing capacity of masonry structures against earthquake loads. Strengthening of masonry brick walls has been dealt with in this study, since the strengthening of the walls, which play the role of bearing elements especially in masonry structures, is the most important factor that affects the structure behavior.

Masonry brick walls, in the literature have been strengthened using many different materials such as, steel profiles and sheets, epoxy resin, fibrous polymer strip and fabric... etc. In this study, the “shotcrete” technique, which, in the literature, is used to strengthen infill brick walls, but has not been tested on masonry brick walls, was used and the effect of the use of expanded steel plate in different thicknesses on masonry brick wall strength and behavior was investigated.

In the current study, under the main title of strengthening masonry (block) brick walls; A total of 6 experimental elements were discussed, 1 reference and 5 reinforced samples using 30 mm glass fiber reinforced shotcrete on expanded steel plates. The thickness of the steel sheets used as reinforcement material was determined as the variable parameter of the experiment and all prepared samples were tested under diagonal loading. As a result of the study, reinforced samples reached glass fiber reinforced blasted concrete, steel plates and anchorage bolts, which can carry great tensile stresses, have a great load carrying and energy damping capacity, there is no sudden load loss in the test samples, the samples maintain their integrity until the end of the experiment, their ductility and rigidity are great. It was observed that increases occurred.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada ve Türkiye'de deprem yüklerine karşı yapıların güçlendirilmesine yönelik birçok araştırma yapılmaktadır. Yapılan araştırmalarla yeni güçlendirme yöntemleri deneysel olarak incelenmekte ve deneyler sonucunda gerek dayanım gerekse ekonomik ve teknik açıdan uygun görülen bazı yöntemler saha uygulamalarında kullanılmaktadır.

Türkiye'nin büyük bir kısmının deprem bölgesi olduğu ve mevcut yapıların önemli bir kısmının deprem yüklerine karşı yetersiz olduğu göz önüne alındığında, Türkiye'deki yapıların güçlendirilmesi ve gerekli durumlarda depreme karşı iyileştirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Mevcut yapılar, tasarım ve işçilik hataları, yapının kullanım amacındaki değişiklikler, yapıyı etkileyecek ilave servis yükleri ve yapıların yeni yönetmelik düzenlemelerince uyarlanması gibi çeşitli nedenlerle güçlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde yapılar genel olarak “Eleman Güçlendirmesi” ve “Sistem İyileştirmesi” olmak üzere iki yaklaşımla güçlendirmeye tabi tutulmaktadır.

1.1. Eleman Güçlendirmesi

Eleman güçlendirmesi yöntemi, hasarlı olmayan bir yapı elemanının yük taşıma ve/veya yük etkisi altındaki davranış sonuçlarını öngörülen ve güvenli bir düzeye getirmek amacıyla yapılan işlemlerdir. Yapılan bu işlemlerin ardından güçlendirilen yapı elemanının taşıma gücünün, sünekliğinin, rijitliğinin ve stabilitesinin artması beklenmektedir. Bu yöntemde, eleman bazında yapılan güçlendirme ile yapının taşıyıcı sisteminin deprem yüklerine karşı dayanımının artırılması ve buna bağlı olarak tüm taşıyıcı sistem davranışının iyileştirilmesi, ayrıca deprem etkisinden dolayı yapıda meydana gelebilecek gerilmelerin indirgenmesi amaçlanmaktadır.

1.2. Sistem Güçlendirmesi

Sistem iyileştirmesi, yapının bir bütün olarak düşünülerek deprem davranışını ve dayanımını artırmak için sistematik değişiklikler yapılmasını kapsamaktadır. Bu kapsamda, binaların çerçeveler arası bazı tuğla duvarlardan oluşan açıklıkların bir kısmı boşaltılıp yerine betonarme perdelerle doldurulması, binada mevcut yapısal olmayan duvarların güçlendirilmesi veya kolonlar arasına yeni elemanların (çelik çaprazlar) eklenmesi gibi yöntemler en yaygın tercih edilen iyileştirme yöntemleri olarak sayılabilir.

Sistem iyileştirme yönteminde; bazen yerinde dökme betonarme paneller, prefabrik paneller, X biçiminde çerçeve köşelerine çelik elemanların bağlanması uygulanabilirken bazen de taşıyıcı olmayan dolgu duvarların her iki doğrultuda güçlendirilerek perde duvar benzeri rijit elemanlar oluşturulabilmektedir. Sistem iyileştirme uygulamaları üzerine yapılan araştırmalar ve gözlemler, sistemin iyileştirilmesinin, deprem yüklerine maruz kalmış ve bünyesinde hasarlı taşıyıcı elemanlar bulunan yapılarda hasar almış elemanlar onarılmadan dahi sadece sistem iyileştirilmesi ile yapının deprem davranışının önemli ölçüde iyileştiği gözlenmiştir.

1.3. Çalışmanın Nedeni ve Amacı

Güçlendirmede binaların deprem yüklerine karşı dayanımını artırmak, enerji sönümleme kapasitesinin ve sünekliğin artırılmasıyla beraber yanal ötelenme rijitliğinin arttırılması amaçlanmaktadır. Bu kapsamda yığma yapılarda düşey ve yatay (deprem) yükleri karşılayan taşıyıcı elemanlar olarak tasarlanan duvarların güçlendirilmesinin yapının dayanımına önemli katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca betonarme çerçeveli binalarda taşıyıcı yapı elemanı olarak tasarlanmamalarına rağmen duvarların binaların rijitlik, süneklik ve depreme karşı dayanımına önemli ve olumlu bir şekilde katkı sağlamakta olduğu literatürde yapılan çalışmalar ile ortaya konulmaktadır.

Yığma binalarda deprem enerjisini karşılayan ve tüketen unsurlardan biri yapıların yanal ötelenme rijitliğidir. Son derece gevrek malzemeden üretilen duvarların monolitik bir yapıya sahip olmamaları ve parçalar arasındaki aderansın düşük olması nedeni ile kırılmalar ve ayrılmalar olmadan bir bütün olarak davranış sergileyebilmeleri için yanal ötelenme rijitliğinin arttırılması uygun olacaktır. Bu nedenle duvar güçlendirilmelerinin, yığma yapıların yatay yükler etkisi altındaki dayanım ve davranışına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Tuğla duvar davranışının iyileştirilmesi ile depremde duvarların eksenleri dışına çıkarak göçmesinin önleneceği, bu sayede can ve mal güvenliğinin sağlanacağı düşünülmektedir. Ayrıca güçlendirme esnasında yaşam alanlarının boşaltılmasını gerektirmediği için uygulama kolaylığı ile zaman ve maliyet açısından tasarruf sağlanabilecektir.

Literatürde duvar güçlendirilmelerine yönelik uygulanan pek çok yöntem vardır. Tuğla duvar güçlendirme yöntemleri arasında en çok araştırılan yöntemlerden biri, lifli kumaşların (FRP) duvar yüzeylerine bağlama yöntemidir. Bu yöntem, diğer güçlendirme yöntemlerine kıyasla olumlu yönleri sahip olmasına rağmen, lifli kumaşların oldukça pahalı olmasından dolayı yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Lifli polimer malzemelerin kırılma özelliğiyle sahip olması, epoksi ile uygulanan lifli kumaşların yangın duyarlılığı ve lifli kumaşların duvara yapıştırılması, bu güçlendirme yönteminin kullanımını sınırlamaktadır.

Tuğla duvarların çelik levhalarla güçlendirilmesi yöntemi son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik levha olarak deliksiz sac levhalar, delikli sac levhalar veya genişletilmiş çelik sac levhalar ile güçlendirmeler yapılmakta, levhaların duvara bağlantısı deliksiz levhalarda epoksi yapıştırıcı ile delikli levhalarda 6 mm lik ankraj bulonları ile yapılmaktadır. Bu yöntem, diğer güçlendirme yöntemlerine kıyaslandığında saclarla takviye edilmesinin duvar davranışına iki yönlü katkı sağlayacağı; düşünülmektedir. Duvardaki gerilme kuvvetlerinin büyük bir kısmını alan sac levhaların, köşegen doğrultuda oluşturulan gerilme çatlaklarının genişliğini sınırlayacağı, duvara sıkıca kenetlenen sac levhaların duvarı sarma özelliğinden dolayı

duvarın basınç dayanımının artacağı ve bu sayede basınç yönünde eğilme ve kırılmasının gecikeceği düşünülmektedir. Ayrıca bu yöntemde kullanılan malzemelerin her ülkenin yerli ve milli sanayisi ile üretebileceği ürünler olması nedeni ile maliyet olarak diğer yöntemlere kıyasla oldukça düşük bir yükün teşkil edeceği öngörülmektedir

Bu çalışmada, yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde diğer yöntemlere alternatif olarak daha ucuz, kolay ulaşılabilir ve malzeme olarak da çok daha sünek davranabilen genişletilmiş çelik levhalar kullanılmıştır.

1.4. Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmada, yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinde diğer yöntemlere alternatif olarak daha ucuz, kolay ulaşılabilir ve malzeme olarak da çok daha sünek davranabilen genişletilmiş çelik levhalar kullanılmıştır. Tüm duvarlara sıva yerine püskürtme beton uygulaması yapılmıştır.

Araştırma ve incelemeler deneysel ve analitik olarak yürütülmeye çalışılmış,

- Referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlik, süneklik, kayma girilmesi ve enerji dönüştürme kapasitelerinin belirlenmesi
- Güçlendirmede farklı kalınlıkta genişletilmiş çelik levha kullanımının yığma tuğla duvarların davranış ve dayanım üzerindeki etkilerinin incelenmesi
- Püskürtme beton içine Cam Lif katkısının duvar dayanım ve davranışı üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Şeklinde üç grupta karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir

Belirtilen amaç ve kapsam doğrultusunda, 1 adet referans 5 adet güçlendirilmiş duvar olmak üzere toplam 6 adet düşey delikli yığma tuğla duvar, statik diyagonal yük etkisi altında test edilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarında, genişletilmiş çelik levhalar duvarın her iki yüzüne de yerleştirilmiş ve bu levhalar duvara ve birbirlerine

elik bulonlar(Tie-Rot milleri) ile bağlanmıştır. Genişletilmiş elik levhanın kalınlığı, elik bulonların(Tie-Rot milleri) aralıkları ve püskürtme beton içine polimer lif katkısı deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Deney sonuçları; taşıma gücü, süneklik, rijitlik, kayama girilmesi ve enerji tüketme kapasitelerine göre değerlendirilmiştir.



BÖLÜM 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümünde, tuğla duvarların güçlendirilmesi ile ilgili yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir. Yapılan araştırmaların sonucunda duvar güçlendirmesinde, birçok farklı yöntemin kullanıldığı görülmüştür. Bu yöntemlerle ilgili yapılmış bazı çalışmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır. Her bir güçlendirme tekniği ile ilgili güncel çalışmalar özetlendikten sonra, kullanılan bu tekniğin olumlu ve olumsuz yönleri irdelenmiştir.

2.1. FRP (Lifli Polimer) İle Güçlendirme

Bu yöntemde, dolgu tuğla duvarların bir veya iki tarafına fibröz polimerlerin yapışmasını sağlayarak olası bir yükleme sırasındaki duvarların bütünlüğünün korunması böylece yatay yüklere karşı daha dayanıklı ve sünek olması sağlanmaktadır. FRP malzemelerinin dolgu duvarlara kolay bir şekilde yapışması; güçlendirmenin yapıldığı donatıda korozyonu önleyerek, yapının kullanım ömrü boyunca uzun süreli olarak kullanılmasını da sağlamaktadır. Ayrıca, elyafli polimerlerin olumsuz çevre koşullarına, korozyona, asitlere ve diğer olumsuz çevresel faktörlere karşı direncinin yüksek olması, FRP'lerin takviye işleminde kullanımının cazip olmasını sağlamaktadır. Bu nedenlerden dolayı, elyafli polimer kumaşlarla dolgu duvarlarının güçlendirilmesi birçok araştırmada konu olmuştur. Son yıllarda, bu yöntem gerçek bina güçlendirme projelerinde de kullanılmıştır.

Pickel ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, farklı dozajlarda bazalt kullanılarak oluşturulan Bazalt Lif Takviyeli Beton (BFRC) üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Kullanılan beton dayanımlarının 35 Mpa civarında olması sağlanmış, beton taze halde iken çökme, hava içeriği, sertleşmiş durumda ise basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarma dayanımı ve tokluğunun belirlenmesi için deneylere tabi tutulmuştur. Bu deneyler kullanılarak, BFRC'nin dayanım ve davranışı araştırılmış ve sonuçlar benzer

oranlarda polipropilen, polietilen sentetik lifler ve çelik lifler kullanılarak üretilen beton deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bazalt elyaf karışımlarında kesme ve eğilme dayanımlarının arttığı, basınç dayanımı ve çatlama sonrası davranış üzerinde çok az etkisinin olduğu ve bazalt liflerinin makro parçalanmadan sonra kırılma gösterdiği sonucuna varılmıştır [1].

Şahin ve Köksal (2011) çalışmalarında çelik lif katkısının ve beton karışım oranlarının yüksek dayanımlı betonunun kırılma enerjisi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Deneysel çalışmanın değişkenleri su/çimento oranı, çelik lif dayanımı ve çelik lif hacim fraksiyonu olmuştur. 0.35, 0.45 ve 0.55 su/çimento oranları ile 1100 ve 2000 MPa gerilme mukavemetli çelik lifler kullanılmış olup; çelik lif hacim oranları %0.33, %0.67 ve %1 olarak belirlenmiştir. Beton karışımların mekanik özellikleri, kırılma enerjileri ve karakteristik uzunlukları araştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, çelik lif hacim oranı ve çelik lif dayanımının, betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, kesme ve eğilme dayanımlarında önemli iyileştirmeler elde edilmiş ve yüksek çekme dayanımlı çelik lifler, düşük çekme dayanımlı liflerden daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan karışım oranları ve lif çekme mukavemetleri arasındaki ilişkinin; kırılma enerjisi ve karakteristik uzunluk üzerinde çok önemli etkileri olduğu bu ilişkinin, maksimum basınç dayanımına ulaşıldıktan sonra plastik şekil değiştirme bölgesinde gözlemlenebildiği ve yük - yerdeğiştirme eğrisinin bu ilişkiye bağlı olarak şekil aldığı kanaatine varılmıştır [2].

Karahan ve Atış (2011); çalışmalarında polipropilen lif ve uçucu kül içeren betonların dayanıklılık özellikleri üzerine kapsamlı bir inceleme yapmışlardır. İncelenen özellikler arasında taze betonun birim ağırlığı ve işlenebilirliği, sertleşmiş betonun basınç dayanımı, elastisite modülü, su emme, soğurma katsayısı, kuruma büzülmesi ve donma-çözülme direnci yer almaktadır. Beton karışımında kullanılan uçucu kül içeriği, ağırlık bazında %0, %15 ve %30, lif oranı hacim bazında %0, %0.05, %0.10 ve %0.20 değerleri kullanılmıştır. Deney sonucunda, uçucu külün beton karışımlarına ilave edilmesinin betonu iyileştirdiği; bununla birlikte, polipropilen lif kullanımının betonun işlenebilirliğini azalttığı belirlenmiştir. Uçucu kül kullanılan betona

polipropilen lif ilave edilmesinin, basınç dayanımı ve elastisite modülünü iyileştirmediği gözlemlenmiştir [3].

Cifuentes ve ark. (2013) incelemelerinde, polipropilen liflerin geometrik ve mekanik özelliklerinin, düşük, normal ve yüksek dayanımlı lif takviyeli betonun kırılma parametreleri ve sünekliği üzerindeki etkisini kapsamlı bir deneysel çalışma ile araştırmışlardır. Abdalla ve Karihaloo'nun(2003) [43] basitleştirilmiş sınır etki yöntemini kullanılarak 88 adet çentikli kiriş üzerinde üç noktalı eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Lif takviyesinin etkisi, özellikle yük-yerdeğiştirme eğrisinin maksimum basınç dayanımından sonraki plastik şekildeğiştirme davranış kısmında hissedilmiş ve bu kısımdan sonra, betonun boyuttan bağımsız özel kırılma enerjisinin etkisi analiz edilmiştir. Betonun süneklik analizini Hillerborg'un(1976) [44] kırılma enerjisi sayılarına dayanılarak yapmışlardır. Farklı beton karışımları için lif takviyesinin süneklik üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Beton matrisinde Polipropilen liflerinin varlığı ve içeriği, lif takviyeli betonun mekanik özelliklerini hafifçe artırmış olmasına rağmen kırılma enerjisini ve sünekliğini büyük ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır [4].

Afroughsabet ve Özbakkaloğlu (2015) çalışmalarında çelik ve polipropilen lifin, yüksek dayanımlı betonun(HSC) mekanik davranışı ve dayanımı üzerine etkisini araştırmışlardır. 60 mm uzunluğa sahip olan kanca uçlu çelik lifler %0.25, %0.50, %0.75 ve %1.0'lık dört farklı lif hacmi oranında, 12 mm uzunluğa sahip polipropilen lifler ise %0.15, %0.30 ve %0.45 oranlarında kullanılmıştır. Tüm lif takviyeli betonlar, %10 oranında silis dumanı içermiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları silis dumanının eklenmesinin düz betonun hem mekanik hem de dayanıklılık özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir. Sonuçlar ayrıca çelik ve polipropilen liflerin dahil edilmesinin, bu çalışmada dikkate alınan her hacim oranında HSC'nin mekanik özelliklerini geliştirdiğini göstermektedir. Ayrıca,% 1 çelik elyafın eklenmesinin betonun çatlama gerilme mukavemetini ve eğilme mukavemetini önemli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. İncelenen farklı çelik ve polipropilen elyaf kombinasyonları arasında en iyi performans,% 0.85 çelik ve% 0.15 polipropilen elyaf içeren bir karışım ile elde

edilmiştir. Son olarak, liflerin türüne bağlı olarak, liflerin betona verilmesinin su emiliminde bir azalmaya yol açtığı sonucuna varılmıştır, [5].

Kızılkant (2016) çalışmasında, karbon lifin farklı hacim oranları ile takviye edilmiş yüksek dayanımlı betonun mekanik ve kırılma özellikleri üzerine inceleme yapmıştır. Kullanılan karbon lif miktarları hacim olarak %0,25 ile %1,00 arasında seçilmiştir. Karbon lif, basınç dayanımı, yük taşıma kapasitesi, kırılma enerjisi ve betonun tokluğunu iyileştirdiği sonucuna varılmıştır. Karbon lifin eklenmesi betonun işlenebilirliği azalttığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, karışım betonlarının basınç dayanımı kontrol betonuna kıyasla artmıştır. Betona hacimce %0,75 oranında karbon lif ilavesi ile betonun basınç dayanımında, kontrol betonuna oranla %8,80 daha yüksek değer elde edilmiştir [6].

Arslan (2016) tarafından yapılan araştırmada, bazalt lif takviyeli beton ve cam lif takviyeli betonun kırılma davranışlarını karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla kırılma enerjisini belirlemek için üretilen 50x100x480 mm boyutlarında çentik derinliğinin, kiriş yüksekliğine oranı 0,3 olan çentikli kirişlerde 0,5, 1, 2 ve 3 kg/m³ lif içeriği kullanılarak üç noktalı eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çentikli kiriş numunelerinin kırılma enerjileri, RILEM tarafından önerilen çatlak ağzı açılma yer değiştirmesi ile analiz edilmiştir [7].

Noaman ve ark (2017) çalışmalarında, geri dönüşümlü öğütülmüş kauçuk agregalarının hem normal betonun (PC) hem de çelik lifli betonun kırılma özellikleri ve kauçuk agregaların yüksek enerji emme kapasitesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Deneysel çalışmada, beton tipi (normal ve çelik lifli beton) için dikkate alınan değişkenler, öğütülmüş kauçuk agrega içeriğinin % 5'i, % 10'u, % 15'i, % 20'si ve % 25'i oranında ince agrega ile değiştirilmiştir. Hacim değişim oranları. Kanca tipi lifler, en boy oranı 80 ve 0,75 mm çapında sabit bir hacim olarak % 0,5 olarak kullanılmıştır [8].

2.2. Elyaf Donatılı Harç (FRM) ile Güçlendirme

Güçlendirme işlemi esnasında yapı elemanına lifli polimerlerin yapıştırılmasında kullanılan epoksi reçinesinin yangına karşı dayanıksız olmasından dolayı, özellikle tarihi yapıların güçlendirilmesinde, içeriğinde lifli polimer dokumaların donatı malzemesi olarak kullanıldığı harçların (FRM) kullanılması gündeme gelmiştir. Harçlarda donatı malzemesi olarak kullanılan bu dokumalar, 0 ile 90 derece polimer liflerin birleşiminden oluşmaktadır. Son yıllarda, çok önemli tarihi yapıların yer aldığı Avrupa ülkelerinde FRM ile güçlendirme yöntemi birçok araştırma projesine konu olmuştur

Kabir ve Kalali (2012): yaptıkları çalışmada, boşluklu yığma duvarların cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirilmiş ve periyodik (çevrimsel) davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında 1/2 ölçekli, biri referans olmak üzere toplam 6 adet güçlendirilmemiş boşluklu tuğla duvarlar, GFRP kullanarak güçlendirmeden önce ve sonraki çevrimsel davranışlarını incelemişlerdir. Deney elemanları çimento harcı ve kil tuğlalar kullanarak, duvarların ortasında bir pencere boşluğu bırakılmış şeklinde inşa edilmiştir. Sismik hasarlı ve güçlendirilmemiş deney elemanların birine, cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) kullanarak güçlendirme yapılarak tekrar deneye tabi tutulmuştur. Güçlendirilmiş deney elemanların her iki yüzeyi de deprem yüklerine karşı güçlendirilmiştir. Deney numunelerin tamamı, sabit yük altında deneye tabi tutulmuş olup, yük kademeli artan ve düzlem içi şeklinde yüklenmiştir. Cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirmede, tuğla duvarın enerji tüketme kapasitesi ve deformasyon mukavemeti kapasitesi önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. GFRP ile güçlendirilmiş deney elemanların basınç dayanımı, sınırlandırma etkisi nedeniyle güçlendirilmemiş deney elemanlarına göre 1,68 kat artış görülmüştür [9].

Özcan ve Method, (2005). Takviye işlemi sırasında elyafli polimerlerin yapı elemanına yapıştırılmasında kullanılan epoksi reçinesi yangına dayanıklı olduğundan, elyafli polimer kumaşların, özellikle donatıda, donatı malzemesi olarak kullanıldığı harçların (FRM) kullanılması ön plana çıkmıştır. Harçlarda takviye malzemesi olarak kullanılan bu kumaşlar, 0 ila 90 derece polimer elyaf kombinasyonundan

oluşmaktadır. Son yıllarda, FRM güçlendirme yöntemi, Avrupa ülkelerinde çok önemli tarihi yapılara sahip birçok araştırma projesine konu olmuştur. Her ne kadar takviyeli malzeme (FRM) olarak harç içinde lifli polimer malzemelerin kullanımı, lifli polimer malzemelerin kuvvetlendirilmesinde ve epoksi yapıştırıcıların kullanılmasının gerekliliği bakımından lifli polimer kumaşların güçlendirilmesinde üstünlük göstermiştir, ancak Diğer malzemenin güçlendirilmesi konusunda FRP'nin üzerinde durulmakla birlikte olumsuz yönler taşımaktadır [10].

Kaya (2013): yaptığı çalışmada, polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile yığma yapıların güçlendirilmesini incelemiştir. Bu çalışmada 2 adet yalın duvar numunesi ve 2 adet yığma duvar numunesi üzerine 10 cm kalınlığında 9 kg/m³ polipropilen lif katkılı kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilerek iki grup şeklinde toplamda 4 adet deney elemanı üretilmiştir. Güçlendirilen duvar numunelerinin yük-yer değiştirmeleri, çatlak şekilleri ve kırılma rölemleri, kırılma yüklerini incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmiş deney elemanı güçlendirilmemiş elemanına göre taşıma gücü, çekmede % 592-515, itmede % 362-310 artış göstererek yaklaşık 5 kat arttığı görülmüştür [11].

Portoles ve ark. (2013). yaptıkları çalışmalarında; düz, çubuk takviyeli ve çelik elyaf takviyeli kolonlar için normal, yüksek ve ultra yüksek mukavemetli betonla doldurulmuş ince dairesel boru biçimli 24 test kolonunu güçlendirilerek hem eşmerkezli hem de eksantrik eksenel yüke maruz bırakmışlardır. Çalışma ile her bir dolgu türünün etkisinin analiz edilmesi ve pratik uygulama için en iyi seçeneğin oluşturulması amaçlanmıştır. Her testin deneysel nihai yükü, eksantrik olarak yüklenmiş testler için doğru olan Eurocode 4'ün tasarım yükleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca yapılan araştırmalarda lif oranının artırılmasının betonun sünekliğinin ve tokluk kapasitesinin arttığı görülmüştür [12].

2.3. Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirme

Kahn (2015) yaptığı çalışmada; içerisinde donatı bulunan püskürtme beton ile güçlendirmenin donatısız tuğla duvarların davranışları üzerindeki etkilerini araştırmak için 17 tane tuğla paneli diyagonal basınç yükü altında test etmiştir. Bu deneylerde, duvar yüzeyinin ıslak veya kuru olmasının veya epoksi ile kaplanmasının ve duvar yüzeyinde bağlantı çivileri bulunmasının bu yöntem üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneyler, püskürtme beton ile duvar arasında bağlantı çivileri bulunmasının veya duvar yüzeyinin epoksi ile kaplı olmasının, püskürtme beton ile güçlendirme yönteminin etkinliğini önemli bir derecede etkilemediğini göstermiştir. Ayrıca, güçlendirilmiş duvarın kesme dayanımının, püskürtme beton ve içerisindeki donatı tarafından sağlandığı ve duvarın kendi kesme dayanımının güçlendirilmiş duvarın kesme dayanımına fazla katkısının olmadığı bulunmuştur [13].

Ateş (2013) yaptığı çalışmada, yığma duvarların içten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilmesi, güçlendirme yönteminin performansını ve mekaniksel davranışı deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışma Nalan KALKAN'ın (2008) çalışmasının devamı olarak planlanmıştır. Her iki kenar yüzeyine donatılı püskürtme beton uygulanmış duvar (D2), D1 ile aynı özelliklerde üretilmiş, aynı şartlar altında deneye tabi tutulmuştur. Deneyin sonucunda mekaniksel davranışları incelenmiş ve D1'in deney sonuçlarıyla karşılaştırarak, yöntemin performansı araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda; -100 kN yükün altında güçlendirilmiş duvarda (D2) ilk çatlama ve -275 kN yükün altında duvarda kırılmalar meydana gelmiştir. İlk çatlamada duvarın rijitliği 15,38 kN/mm, enerji tüketim kapasitesi 9000 kNmm ve kırılma rijitliği ise 6,87 kN/mm olduğu görülmüştür. Deneyin sonunda D2 duvarın performansını belirlemek için, D2 ve D1'in deney sonuçlarını karşılaştırılmışlardır. Karşılaştırmanın sonucunda D2 duvarın sünekliği 1,05 kat artarak 6,15'e ulaştığı, rijitliği ise 0,44 oranında azaldığı, dayanımı 1,47 kat arttığı ve enerji tüketme kapasitesinin 2,01 kat arttığı görülmüştür [14].

ElGawady ve ark (2006). Bu çalışmada; ½ ölçekli tuğla duvarları hasır donatı ile takviye edilmiş püskürtme beton kullanarak güçlendirmiş ve eksenel ve yanal yükler

altında test etmişlerdir. Deneyler, belirli bir miktar hasır donatıyı duvarın tek yüzünde kullanmak yerine iki eşit parça halinde iki yüzde de kullanmanın, duvarın enerji tüketme ve deformasyon kapasitelerine çok büyük ölçüde katkıda bulunduğunu göstermiştir [15].

2.4. Çelik Lif Katkılı Harç (SFRM) ile Güçlendirme

Leeanansaksiri ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, sismik yüklemeye tabi tutulmuş standart genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş duvarların, tersinir tekrarlanır yükleme altında betonarme çerçevelerinin davranışları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, deprem yükü için tasarlanmamış üç katlı betonarme bir binadan bir çerçeve seçilmiştir. Betonarme boş çerçeve, tuğla duvarlı dolu çerçeve ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilmiş duvar dolu çerçeve dahil olmak üzere 1/1 oranında tam ölçekli üç deney elemanı hazırlanmıştır. Güçlendirilmiş elemanın referans elemana göre yanal mukavemetini %25, ilk yanal sertliği %26 ve enerji tüketim kapasitesini, %27 arttığı görülmüştür. Güçlendirilmemiş duvarın referans elemana göre yük taşıma kapasitesinin 1,3-2,6 kat aralığında, yatay yük kapasitesinin 1,3 –2,3 kat aralığında artmıştır. Ayrıca, enerji tüketim kapasitesi, referans elemana göre 5,09 ve 6,46 katı artmıştır. Yükleme açısından % 0,23 ötelemelerde yük kapasitelerinin güçlendirilen elemanların referans elemana göre 5,10 ve 6,12 katı olduğu ve yükleme doğrultusundaki %0,67 ve %0,73 ötelemelerde yük kapasitelerinin güçlendirilen elemanların referans elemana göre 5,62 ve 5,87 katı olduğu görülmüştür [16].

Sevil ve ark (2011). Bu çalışmada tuğla dolgu duvarların çelik lif katkılı harç ile güçlendirilmesi yöntemini araştırmış ve yaptıkları malzeme deneyleri aracılığıyla hacimce %2 oranında çelik lif içeren plastikleştirici katkılı harcın, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve aderans dayanımı gibi mekanik özelliklerinin istenilen seviyede olması açısından güçlendirme işleminde kullanılmaya en uygun harç karışımı olduğunu göstermişlerdir. Tek açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgulu betonarme çerçeveler üzerinde yapılan deneyler, % 2 oranında çelik lif ve plastikleştirici içeren harç ile dolgu duvarları güçlendirilen çerçevenin dolgu duvarları güçlendirilmemiş çerçeveye göre

iki kat daha büyük yanal dayanım, yaklaşık üç kat daha büyük rijitlik ve iki kat daha büyük enerji sönümleme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir [17].

2.5. Çelik Şerit veya Çelik Profillerle Güçlendirme

Taghdi ve ark (2000), bu çalışmada; dördü tuğla ve ikisi betonarme olmak üzere altı adet 1/1 ölçekli duvar test etmiştir. Bu duvarlar, duvarın her iki yüzüne de yapıştırılan ikişer tane diyagonal çelik şerit ve bu şeritleri birbirine bağlayan ve duvarın uzun kenarları boyunca uzanan ikişer adet dikey çelik şerit vasıtasıyla güçlendirilmiştir. Deneyler, çelik şeritlerde meydana gelen akmanın ve plastik deformasyonların tuğla ve betonarme duvarlarda duvar yüzeyine dağılmış daha fazla sayıda ve daha ince çatlağın oluşmasını sağlayarak, duvarların daha sünek davranmalarına olanak tanıdığını göstermiştir. Ayrıca, çelik şeritlerle güçlendirme yönteminin yanal yük kapasitesinde en büyük artışı donatısız tuğla dolgu duvarlarda meydana getirdiği ve çelik şeritleri duvara bağlayan bulonlarda kaymalar meydana gelene kadar duvarla şeritlerin kompozit olarak davrandığı gözlemlenmiştir [18].

Farooq ve ark. (2006), yaptıkları bu çalışmada; dört farklı tuğla paneli yalnızca basınç yükü ve dört farklı paneli eksenel basınç yükü ve yanal yük altında test etmişlerdir. Bu deneysel çalışmada, duvarın yüzeyine bulonlar vasıtasıyla bağlanan çelik şeritlerin kalınlıkları ve aralıkları ve duvarın bir veya iki yüzeyine uygulanmalarının duvarın dayanım ve sünekliğine etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneyler, sargılama etkisi sayesinde çelik şeritlerin duvarın her iki yüzüne de yapıştırılmasının, duvarın basınç ve kesme dayanımlarıyla, sünekliğini önemli ölçüde arttırdığını, çelik şeritlerin duvarın yalnızca bir yüzüne uygulanması durumunda şeritlerin aralıklarının duvarın dayanım ve sünekliğini fazla etkilemediğini göstermiştir [19].

Özbek ve ark. (2015), biri yalın ve beş tanesi güçlendirilmiş olmak üzere altı tane ½ ölçekli (1.25 mx 1.5 m ebatlarında) tuğla dolgu duvarı tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Deney elemanları duvarın iki yüzüne de 150 mm aralıklı M6 bulonlarla bağlanmış iki adet NPU40 çelik profille güçlendirilmiştir. Bu profillerin çekme kuvvetlerini üzerlerine alarak duvarda oluşacak çatlakların genişliklerini

sınırlandıracakları ve basınç kuvvetlerini üzerlerine alarak duvarın burkulmasını ve ezilmesini önleyecekleri düşünülmüştür. Ayrıca duvarların köşelerinde oluşacak ezilmeleri engellemek için bayrak levhaları kullanılmıştır [20].

2.6. Hasır Donatılı Harç ile Güçlendirme

Acun ve Sabuncuoğlu (2005) tarafından yapılan çalışmada, 1/3 ölçekli, tek açıklıklı ve iki katlı betonarme çerçeve elemanlar, tuğla dolgu duvar üzerine çelik hasır donatı uygulanarak güçlendirilmiş ve bu güçlendirme işleminin çerçevenin rijitilik ve dayanımına yapacağı katkılar araştırılmıştır. Duvar yüzeyine yapıştırılan hasır donatı katmanlarının sayısı ve bu donatının üzerine atılan sıvanın dayanımı deney parametreleri olarak ele alınmıştır. Tuğla duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı, kolon ve kirişlerde açılan deliklere epoksi ile sabitlenen ankraj donatıları yardımıyla çerçeveye bağlanmış ve daha sonra hasır donatının üzerine sıva atılmıştır. Numuneler deneye tabi tutulmuş ve sonuçların kıyaslanmasıyla, hasır donatının üzerine atılan sıvanın dayanımı arttırılarak ve bir yerine iki kat hasır donatı kullanılarak, çerçevenin rijitliğinin ve yanal dayanımının, boş ve referans çerçevelere kıyasla önemli derecede arttırılabileceği gösterilmiştir [21].

Cumhur ve arkadaşları (2015) yaptıkları çalışmada, dolgu duvarların üzerinde genişletilmiş çelik levhaların etkisini araştırmışlar. Çalışmanın kapsamında, bir referans 10 adet tam ölçekli güçlendirilmiş deney numunesi üretilmiştir. Deney elemanları köşegenel boyunca basınç yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Deney elemanların güçlendirilmesi, tuğla dolgu duvarların her iki yüzeyine genişletilmiş çelik levha tij ve bulonlar yardımıyla sabitlenerek güçlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda güçlendirilmiş deney elemanların kompozit bir malzeme gibi davrandığı, duvar üzerinde üç eksenli sayılabilecek bir sargılama basıncının oluştuğu ve duvarın çekme gerilmenin büyük bir kısmının karşılandığı görülmüştür. Güçlendirmenin etkisiyle deney elemanların taşıma kapasitesi 1.3 kat, enerji dönüştürme kapasitesi 17 kat, rijitliği 2.2 kat ve sünekliği 15.8 kat artış olduğu görülmüştür [22].

Tekeli ve arkadaşları (2014) yaptıkları çalışmada, hasır çelik donatılı özel sıva ile dolgu duvarların güçlendirilmesini incelenmişlerdir. Bu amaçla aynı yapısal özelliklere sahip biri referans olmak üzere 4 adet betonarme çerçevesi üretilmiştir. Referans çerçevenin içi boş bırakılarak diğer üç numunenin açıklıkların içine dolgu duvar örülmüştür. Tuğla duvarlı betonarme çerçevelerin iki tanesinin duvar yüzeyine tek taraflı hasır donatılı sıva uygulanmıştır. Güçlendirilmiş iki deney elemanında işçilik ve ankraj aralığı değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında güçlendirilmiş deney elemanların enerji tüketme kapasitesi ve yük taşıma kapasitesi arttırıldığı görülmüştür. Yanal yük taşıma kapasitesi referans deney elemanına göre, tuğla dolgu duvarlı deney elemanında %120, seyrek ankraj ile güçlendirilmiş deney elemanında %160 ve sık ankraj ile güçlendirilmiş deney elemanında %180 artış olduğu görülmüştür [23].

Babayani (2012) bu çalışmasında, yığma tuğla dolgu duvarların üzerine delikli çelik levhaları eklenerek güçlendirilmesini ele alınmıştır. Deney elemanları 1500 mm x 1250 mm ebadında, 1/2 ölçeğe sahip olacak şekilde biri referans toplamda 12 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Duvarların güçlendirmesi çelik levhaların birleştirilmesiyle yapılarak, çelik bir çerçevenin yardımıyla tersinir tekrarlanır yatay yükler deney çerçevesine uygulanmıştır. Güçlendirilmiş deney numunelerin güçlendirilmemiş (referans) deney numunelerine göre daha üstün davranış performanslarına sahiptirler. Güçlendirilmiş numunelerin sünekliklerinin güçlendirilmemiş (referans) numuneye göre %135 ile %533 arasında, ilk eğim değerleri de %147 ile %208 arasında ve enerji tüketim değerlerindeki artış %515 ile %936 arasında arttığı görülmüştür. Güçlendirilmiş numunelerin yanal rijitliği 1,47 – 2,08 kat, sünekliği 1,35 – 5,33 kat, toplam tüketilen enerji 5,15 – 9,36 kat ve yanal yük taşıma kapasitesi de 1,15 – 2,30 katına kadar yükseldiği görülmüştür [24].

Araki ve ark. (2011) yaptıkları çalışmada, epoksi reçine enjeksiyonunun, tuğla duvarların en zayıf alanları olarak tanımladıkları duvarların birleşme mukavemeti, sertliği ve sünekliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Derzlerde kullanılan harcın dayanımı ve duvara uygulanan eksenel yük deney parametreleri olarak seçilmiştir. Deneyler, epoksi reçine enjeksiyonunun, duvarların sıkıştırma, kayma ve eğilme

dayanımını önemli ölçüde arttırdığını ve eklemlerde kullanılan harcın dayanımının duvarların kayma ve bükülme dayanımını etkilemediğini göstermiştir [25].

Sevil ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, tuğla dolgu duvarlarının çelik lifi eklenmiş harç ile takviye edilme yöntemini araştırmış ve malzeme deneyleri ile % 2 oranında çelik lifi içeren plastikleştirilmiş katkılı harç sıkıştırıcıdır. Mukavemet, bükülme mukavemeti ve adhezyon mukavemeti gibi istenen mekanik özellik seviyesi açısından takviye işleminde kullanılacak en uygun harç karışımı olduğunu göstermiştir. Tek açıklıklı ve iki katlı tuğlalar doldurulmuş betonarme çerçevelerde deneyler, % 2 çelik elyaf ve plastikleştirici içeren harçla takviye edilmiş çerçevenin dolgu duvarları, iki kat yanal kuvvete, yaklaşık üç kat daha büyük ve iki kat daha büyük olduğu bulunmuştur. FRP ve betonarme betonarme donatı yöntemlerinden daha kolay ve daha az zaman harcayan bir malzeme olmasına rağmen, bu yöntem çelik liflerin işlenebilirliğini azaltmak ve sertleşme süresini kısaltmak ve betonun işlenebilirliğini artırmak için plastikleştirici beton katkı maddelerinin maliyetini arttıracaktır [26].

2.7. Ön Üretimli Panellerle Güçlendirme

Bu güçlendirme yönteminde, binaların etkili ve kullanıcılarını az rahatsız edecek biçimde güçlendirilmesi amacıyla, tuğla duvarların betonarme dolgu duvar ile değiştirilmesi yerine, mevcut tuğla duvarın her iki tarafına yerleştirilecek ön üretimli paneller ile betonarme dolgu duvar oluşturulması hedeflenmiştir.

Triantafillou ve ark. (2006) çalışmalarında, kumaş takviyeli harçların (TRM) betonun eksensel kapasitesini hapsederek arttırılmasını deneysel olarak incelenmiştir. TRM tekniği ile güçlendirmenin, performanstan önemli ölçüde ödün vermeden elyaf takviyeli polimerlere (FRP'ler) bir alternatif olabileceğini öne sürmüşlerdir. Silindir ve kısa dikdörtgen şeklindeki kolonları TRM ile güçlendirerek eksensel basınç deneyine tabi tutmuş ve sonuçlara dayanarak, tekstil harcı kılıfının basınç dayanımı ve deforme edilebilirlikte önemli bir kazanç sağladığı sonucuna varılmıştır. Bu kazancın TRM tabaka sayısı arttıkça arttığını ve harcın çekme dayanımına arttırdığını tespit

etmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan, TRM mantolamanın betonarme güçlendirmesi için son derece ümit verici bir çözüm olduğuna sunulmuştur [27].

Baran ve Tankut (2011), tarafından ODTÜ’de yapılan çalışmada, panel dayanımının çerçeve davranışı üzerindeki etkisini gözlemek amacıyla 5 adet dolgu duvarlı betonarme çerçeve test edilmiştir. 11 adet 1/3 ölçekli tek açıklıklı ve iki katlı güçlendirme işleminden önce deprem dayanımı yetersiz olan tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveyi deneysel olarak test etmiştir. Deneyler, bu güçlendirme işleminin çerçevelerin taşıma güçlerine önemli oranda katkıda bulunduğunu, panelin duvarı çevreleyen çerçeve elemanları ve temele bağlantı detaylarının çerçevenin yanal yük kapasitesini fazla etkilemese de çerçeve davranışını önemli derecede belirlediğini göstermiştir. Buna göre, çerçevenin deprem davranışında en önemli iyileşme, panelin dört taraftan da çevre çerçeve elemanlarına ankrajı durumunda ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, ön üretimli panellerin dolgu duvarlardaki kayma deformasyonlarını da azalttığı gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş olan çerçevelerin taşıma gücü, rijitlik ve enerji sönümleme kapasitelerinin, tuğla dolgu referans çerçeveye oranla daha yüksek olduğu ve panel dayanımı arttıkça güçlendirilmiş çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür. Ayrıca çatlak oluşumları, daha yüksek dayanımlı panellerle güçlendirilmiş çerçevelerde, daha düşük dayanımlı panellerle güçlendirilmiş çerçevelere kıyasla daha ileri yük çevrimlerinde başlamıştır [28].

2.8. Püskürtme Beton

Girgin ve ark. (2015) yapmış oldukları çalışmada, tünel mühendisliğinde püskürtme betonun tasarımına yönelik mekanik büyüklüklerden basınç ve eğilme dayanımlarının tasarım ve karışım bileşenlerine göre değişimi yapılan deneysel çalışmalarda işlenmemiş verilerin ışığında irdelenmiştir. Bu irdeme sırasında çelik liflerin ve hızlandırıcıların mekanik büyüklükler üzerindeki etkisi de dikkate alınmıştır. Ayrıca kuru-yaş püskürtme beton teknolojilerinin karşılaştırması, teorik ve uygulamadan gelen açılımlarla karot değerlendirmesi ve uygulamada çalışan mühendise yol göstermesi amacı ile kalite kontrol ilkeleri de belirli bir ayrıntı içinde incelenmiştir [29].

Kaufmann ve ark (2013) yapmış oldukları çalışmada, lif takviyeli püskürtme betonun mekanik performansı, lif miktarı, dağılımları ve yönelimleri gibi değişkenlik gösteren parametrelerini araştırmışlardır. Bunun için yüksek hızla püskürtülen yaş karışım betonda, çelik ve makro-sentetik liflerin geri sekme esnasındaki hareketlerini gözlemlemek amacıyla laboratuvar ortamında taş kaplamalar üzerine uygulama yaparak geri seken malzemeyi toplayıp analiz etmişlerdir. Yüksek hızlı kameralar kullanarak betondaki lif yönelimleri X ışınlı bilgisayarlı tomografi vasıtasıyla incelenmiş ve özel morfolojik filtreleme yöntemleri 8 ile plastik liflerin püskürtme yüzeyi boyunca belli bir yönetime sahip oldukları sonucuna ulaşmışlardır [30].

Topçu ve Uygunoğlu (2015), çalışmalarında atık malzeme olan mermer agregası ve uçucu külün kilitli parke taşı üretiminde kullanılmasını araştırmışlardır. Çalışmada parke taşı üretimindeki iri agrega olan kırma-taş, benzer dane dağılımına sahip mermer agregasıyla yer değiştirmiştir. Her iki tip agregayla üretilen parkelerde, çimento ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranında diğer bir atık olan uçucu kül ile yer değiştirilmiştir. Hazırlanan numunelere basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, aşınma dayanımı ve su emme deneyleri yapılmış, yoğunluk ve görünür porozite değerleri alınarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mermer atıklarının kırma-taş agregası yerine kullanılabileceği ve % 20'ye kadar uçucu külün çimento ile yer değiştirilerek kullanılabileceği ve mekanik özelliklerinin geliştirilebileceği belirtilmiştir [31].

Filiz ve ark. (2017); atık mermer tozunun parke taşlarında kullanılmasını incelemiş, bunun için iki farklı çimento tipi (CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N ve CEM I 42.5 R) ve iki farklı su/çimento oranında (0.50 ve 0.55) hazırlanmış olan karışımlara mermer tozunun hacim oranınca agrega ile yer değiştirmesinin, mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi araştırmışlardır. Elde edilen verilere göre mermer tozu 7 atığının parke taşı imalatında kullanılabilirliğini TS 2524 EN 1338 standardına göre değerlendirmişlerdir. Çalışmada mermer tozu kullanımının betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini şahit betona göre yükselttiği gözlenmiştir. Üretilen numunelerin

ilgili standartta belirtilen şartları sağladığı ve mermer tozunun parke üretiminde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır [32].

Terzi ve Çakıroğlu (2016), çalışmalarında püskürtme beton uygulamasının avantajları ve dezavantajlarından bahsederek uygulama esnasında ve sonrasında görülen problemleri araştırmış, çalışmalarında bu sorunların ortadan kaldırılması ya da minimuma indirilebilmesi için gereken yöntem ve metotlara yer vermişlerdir [33].

Demir (2015) bu çalışmasında inşaat ve yıkıntı atıklarının (İYA) geri kazanılması üzerine araştırmalar yapmış bu atıkların geri dönüşümü ve kullanımını gerektiren ekonomik, teknik ve çevresel sebepleri incelemiştir. Geri kazanılmış agreganın (GKA) bazı teknik özellikleri ve kullanım alanları, GKA ile yapılan betonların özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmaları araştırmıştır. Son olarak geri kazanılmış beton (GKB) atıklarının değerlendirilmesi önündeki zorluklar ve bunların çözümüne ilişkin öneriler sunmuştur [34].

Bekişoğlu (2014) çalışmasında, beton kaplamalı kanallarda sızdırmazlık önlemleri mastik asfalt ve püskürtme beton uygulamasını incelemiştir. Çalışmasında püskürtme hızındaki artışın malzeme kaybını arttırdığını, hava hızındaki azalmanın ise malzeme kaybını azalttığını belirtmiştir. Bunun yanı sıra karışımındaki su miktarının artmasıyla yapışmanın arttığı ve kayıpların azaldığı ancak yüzeyden akma meydana geldiğini belirtmiştir. Uygulama esnasında kum, çakıl, çimento ve su miktarlarının sürekli kontrol edilmesi gerektiği ve deneyimli bir ekibin bu uygulamayı yapmasının daha yararlı olacağını ifade etmiştir [35].

Celep ve Kumbasar (2016), püskürtme beton üzerine yapmış oldukları çalışmalarında geri sekme sorununa değinmişlerdir. Püskürtme esnasında geri sekmenin en büyük dane büyüklüğüne, donatı miktar ve şekli ile püskürtme tabakası kalınlığına bağlı olduğunu ve bunlarda değişiklik yapılarak geri sekmenin azaltılabileceğini ancak yüzeyin eğiminin de önemli bir unsur olduğunu belirtmişlerdir. Başlangıçta geri seken malzeme miktarı fazla bile olsa zamanla betonun yüzeye yapışmasıyla bu oran giderek azalmaktadır. Ayrıca püskürtme tabancasının yüzeye dik tutulmamasının,

sallanmasının ve karışım suyunun az olmasının sıçramayı arttırıcı bir etken olduğunu ifade etmişlerdir [36].

Akman (2013), yapmış olduğu çalışmada yapı hasarlarının onarımında kullanılan yöntemler içerisinde püskürtme beton uygulamasına da yer vermiştir. Bu uygulamanın yüzeysel hasarlı durumlarda daha çok kullanıldığında bahsetmiştir. Donatının pas payı betonunun patlaması durumundaki hasarlı haller için yararlı olacağından bahsetmiş ancak malzemenin boşluklu olacağı, normal betona göre daha fazla rötre yapacağı ve işçiliğin önemli bir etken olacağını belirtmiştir [37].

Ballou (2013), püskürtme beton üzerine yapmış olduğu çalışmada, bu uygulamada karşılaşılan en büyük sorunlardan biri olan geri sekmeyi incelemiştir. Geri sekmeyi beton hamuru ile kaplanmış bir beysbol topunun düz bir duvara fırlatılması ile duvarda kalan ve geri sekerek ayrılan beton miktarı ile örneklendirmiştir. Burada fırlatma açısı ve fırlatma hızının duvar yüzeyinde kaplama oluşturacak beton miktarındaki etkisine değinmiştir. Yaptığı araştırmalar sonunda yüzeyde daha iyi bir tutunma sağlamak ve geri sekme miktarını en aza indirebilmek için püskürtmeyi 90° lik bir açıyla ve püskürtme hızını azaltmadan yüksek basınçla yapmanın gerektiği, aynı zamanda dairesel hareketler ile çimento ve agreganın yüzeye daha sağlam yerleşeceği sonuçlarına varmıştır [38].

N. Kalkan (2008), çalışmasında yığma yapıların donatılı püskürtme betonla güçlendirme yöntemi deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada, 2600 mm uzunluğunda, 2700 mm yüksekliğinde ve 1100 mm yan duvar ölçülerinde harman tuğlası ve çimento harcı ile 20 mm yüksekliğinde hatıl ve 10 mm yüksekliğinde döşemeye sahip 2 adet aynı geometrik ve malzeme özelliklerinde biri referans diğere güçlendirilmiş iki adet deney elemanı üretilmiştir. Çalışmanın sonucunda; güçlendirilmemiş duvarda ilk çatlama yükünün 45 kN'da ve kırılma yükünün 60 kN de görüldüğü, güçlendirilmiş duvarda ilk çatlama yükünün 70 kN'a ve kırılma yükünün 186 kN'a ulaştığı görülmüştür. Güçlendirilmiş duvarın referans elemana göre dayanımının 3,1 kat artmıştır. Güçlendirilmemiş duvarın sünekliğin 2,2'de kaldığı, güçlendirilen duvarın sünekliğin 2.64 kat artarak 5,81'e ulaştığı görülmüştür.

Güçlendirilmiş duvarın enerji tüketme kapasitesinin 13,94 kat arttığı, rijitliğinin ise 0,46 oranında azaldığı ve duvarın sismik dayanım performansını yaklaşık 3,11 kat arttığı görülmüştür [39].



BÖLÜM 3. TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018

Türkiye de 2018 deprem yönetmeliği Bölüm 11’de yığma yapıları Donatısız yığma bina, Donatılı yığma bina, Kuşatılmış yığma bina, ve Donatılı panel sistemli bina olmak üzere dört ana sınıfa ayırarak her birini ayrı ayrı tanımlamıştır. Yığma binaların onarım ve güçlendirilmesine yönelik herhangi bir bölüm ve bilgi olmamakla beraber Bölüm 15 te dolgu duvarların güçlendirilmesine yönelik detaylı açıklamalar sunulmuştur.

3.1. Dolgu Duvarlarının Güçlendirilmesi

TBDY-2018 Bölüm 15 te dolgu duvarlar Temel üstünden yukarıya kadar üst üste süreklilik gösteren betonarme çerçeve içinde yer alan duvarlar şeklinde tanımlanmış olup, bu duvarların rijitliği ve kesme dayanımının artırılabilmesi için yönetmelik eki EK 15c de tanımlanan güçlendirme yöntemlerinden birinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Bu yöntemler başlıklar halinde aşağıda izah edilmiştir.

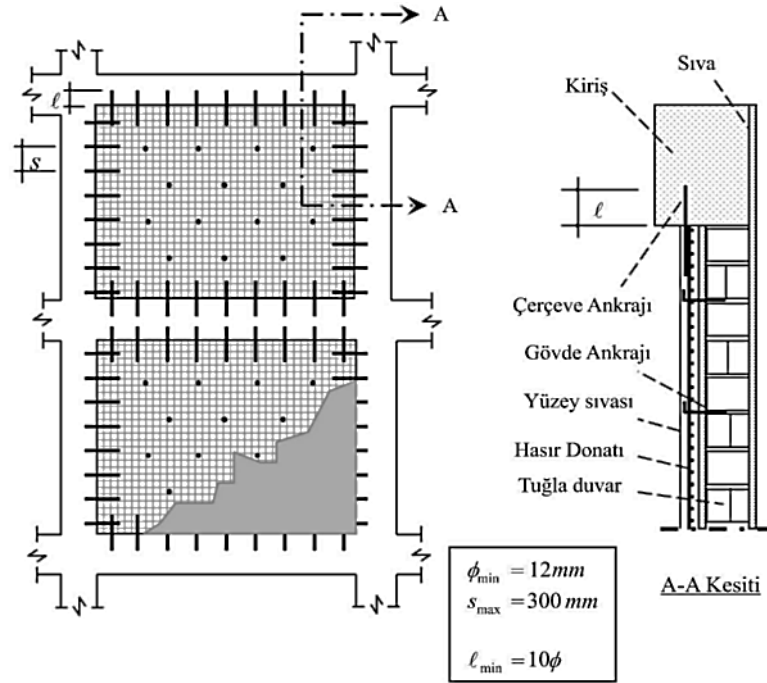
3.1.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi

Dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan hasır çelik donatılı, özel karışımlı sıva tabakası ile artırılabilir.

- Sıva tabakasının kalınlığı en az 30 mm, hasır donatı beton örtüsü ise en az 20 mm olmalıdır. Sıvanın basınç dayanımı en az 5 MPa olacaktır.
- Güçlendirilecek duvarların köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30’dan küçük olmalıdır. Bu türlü uygulamalarda mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı ve çerçeveye yük aktarımı için gerekli ankrajlar düzenlenmelidir. Bunun için uygulamanın yapılacağı

duvar yüzü ile çerçeve elemanlarının dış yüzü arasında en az 30 mm derinliğinde boşluk olmalıdır (Şekil 3.1.). Aksi halde bu tür duvar güçlendirmesi uygulanamaz.

- Donatılı sıva tabakası ile çerçeve elemanları arasında kullanılacak çerçeve ankraj çubuğunun en küçük çapı 12 mm, en az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 300 mm olmalıdır. Ayrıca donatılı sıva tabakası ile mevcut dolgu duvarın birlikte çalışmasının sağlanması için duvar düzlemine dik yönde, her bir metrekare duvar alanında dört adet gövde ankrajı yapılacaktır. Duvara dik yönde yapılacak gövde ankraj çubukları dolgu duvarın harç derzleri içine gömülecek ve çubuk çapı en az 8 mm, ankraj derinliği çubuk çapının en az on katı olacaktır. Duvar düzlemine paralel ve dik doğrultuda yapılacak tüm ankraj çubukları açılacak deliklere epoksi esaslı bir malzeme ile ekilecek ve uçları L şeklinde 90 derece bükülerek hasır donatının içine geçirilecektir. Uygulama detayları Şekil 3.1.'de gösterilmektedir. Güçlendirilen dolgu duvarlarında oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi yapılmalıdır. Hasır çelik donatı ile güçlendirilen duvarlar aşağıda verilen esaslara göre yapı modeline katılacaktır.



Şekil 3.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi (TDY-2018)

3.1.2. Modelleme esasları

Hasır çelik donatı ile güçlendirilen dolgu duvarlarının yapı modelinde temsil edilmesi için kullanılacak olan rijitlik ve dayanım özellikleri aşağıda tanımlanmıştır. Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30'dan küçük olan dolgu duvarlar göz önüne alınacaktır. Duvar yüzey alanına oranı %10'u geçmeyen boşlukların bulunduğu duvarların yapı modeline katılmasına, boşlukların konumu köşegen basınç çubuğu oluşumunu engellememesi koşuluyla izin verilebilir. Hasır çelik ile güçlendirilmiş dolgu duvarları, uygulanan deprem yönünde basınç kuvveti alan eşdeğer köşegen çubuk elemanları ile temsil edileceklerdir.,

- Rijitlik: Eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı güçlendirilmiş dolgu duvarının kalınlığına eşittir. Basınç çubuğu genişliği a_d Denk.3.1'den hesaplanacaktır.

$$a_d = 0.175 (\lambda_d h_k)^{-0.4} r_d \quad (3.1)$$

Burada a_d çubuk genişliği mm, h_k kolon boyu mm, r_d dolgu duvarı köşegen uzunluğudur mm. λ_d Denk.3.2'den hesaplanacaktır.

$$\lambda_d = \left[\frac{E_d t_d \sin 2\theta_d}{4E_{dc} I_k h_d} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (3.2)$$

Denk.4.2’de E_d ve E_c dolgu duvarı ve çerçeve betonunun elastisite modülü, t_d ve h_d güçlendirilmiş duvarının kalınlığı ve yüksekliği mm, I_k kolonun atalet momenti (mm^4) ve θ köşegenin yatay ile olan açısıdır. Köşegen basınç çubuk elemanının eksenel rijitliği Denk.3.3. ile hesaplanacaktır.

$$k_d = \frac{a_d t_d E_d}{r_d} \quad (3.3)$$

Kesme dayanımı: Hasır çelik donatı ile güçlendirilen dolgu duvarının kesme dayanımı, köşegen çubuğun eşdeğer basınç kuvveti dayanımının yatay bileşeni olarak kabul edilecektir. Yatay kesit alanı A_d , basınç dayanımı f_d ve kayma dayanımı τ_d olan güçlendirilmiş dolgu duvarının kesme kuvveti dayanımı V_d , Denk.(3.4) ile hesaplanacaktır.

$$V_d = A_d (\tau_d + f_{yd} \rho_{sh}) \leq 0.22 A_d f_d \quad (3.4)$$

Burada f_{yd} hasır donatının tasarım akma dayanımı, ρ_{sh} ise duvardaki yatay gövde donatılarının duvar brüt en kesit alanına oranıdır. Hasır donatı yatay ve düşey doğrultularda aynı donatı alanına sahip olmalıdır.

3.1.3. Malzeme özellikleri

Yukarıda verilen denklemlerde E_d , f_d ve τ_d için çeşitli tuğla türlerinden yapılan dolgu duvarlarında önerilen değerler Tablo.3.1.’de verilmiştir. Elastisite modülünün, basınç ve kesme dayanımlarının hesaplanmasında güçlendirilmiş duvarın kompozit kesit yapısı dikkate alınabilir.

Tablo 3.1. Tuğla duvar için önerilen değerler (TDY-208)

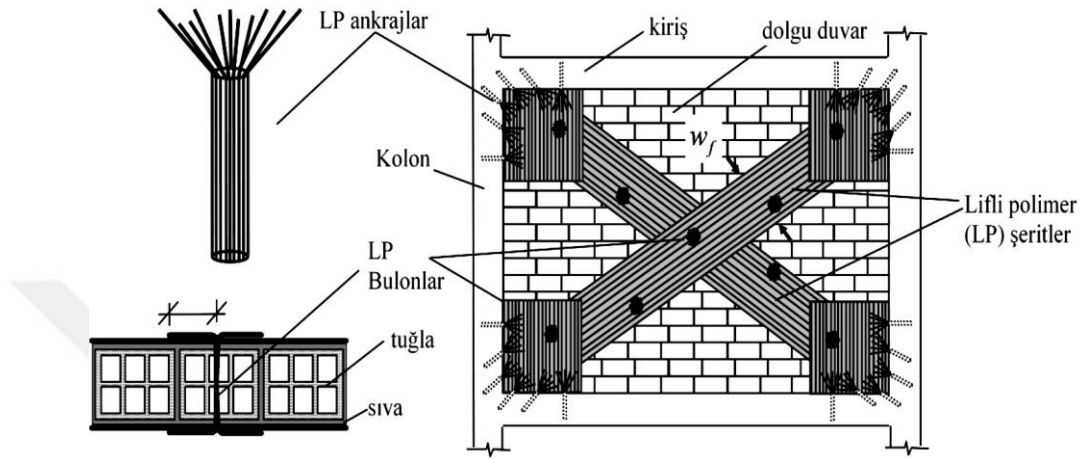
	E_{duvar} (MPa)	f_{duvar} (MPa)	τ_{duvar} (MPa)
Boşluklu fabrika tuğlası	2000	3.0	0.20
Harman tuğlası	2000	5.0	0.25
Gazbeton blok	1000	2.5	0.20

3.2. Dolgu Duvarlarının Lifli Polimerler İle Güçlendirilmesi

Uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.5 ile 2 arasında olan dolgu duvarlarının rijitliği ve kesme dayanımı, duvar yüzüne uygulanan lifli polimerler (LP) ile arttırılabilir.

- Bu tür uygulamalarda mevcut çerçeve içinde basınç çubuğu oluşumu sağlanmalı ve çerçeveye yük aktarımı için gerekli ankrajlar düzenlenmelidir. Bunun için uygulamanın yapılacağı duvar yüzü ile çerçeve elemanlarının dış yüzü arasında en az 30 mm derinliğinde boşluk olmalıdır. Aksi halde bu tür duvar güçlendirmesi uygulanamaz.
- Köşegen lifli polimer(LP) şeritlerin detaylandırılması Şekil 3.2.'de gösterilmektedir. Köşe bölgelerde yük dağılımını sağlayabilmek ve betonarme çerçeve ile LP şeritler arasında yeterli sayıda ankraj yerleştirebilmek için şerit genişliğinin 1.5 katından az olmayan genişlikte kare LP levhalar kullanılacaktır. Lifli polimer uygulaması duvarın iki tarafından yapılacak ve LP şeritler duvar kalınlığınca geçen LP bulonlar ile duvara sabitlenecektir. LP bulonlar arasındaki mesafe 600 mm'den fazla, bulonun köşegen şerit kenarına uzaklığı ise 150 mm'den fazla olamaz. Köşegen LP şerit ile çerçeve arasındaki yük aktarımını sağlamak için LP ankrajlar kullanılacaktır. LP ankrajlar LP şeritlerin epoksi ile doyurulması ve bir silikon çubuk etrafına sarılması ile oluşturulacaktır. LP ankrajların uçları yelpaze şekline getirilecek ve en az dört adet ankraj köşegen LP şerit yönünde olacak şekilde beton içinde açılan tozdan arındırılmış deliğe epoksi enjekte edilerek yerleştirilecektir. Akraj yapımında çubuk etrafına sarılan LP'nin genişliği 100 mm'den az olmayacaktır. Ankraj deliğinin çapı 10 mm'den, derinliği ise 150 mm'den küçük olmayacaktır. Buna göre hazırlanan bir ankrajın çekme dayanımı olarak, 20 kN veya silikon çubuk etrafına sarılan LP'nin çekme kapasitesinin %30'undan küçük olanı olarak alınacaktır.

- Güçlendirilen dolgu duvarlarında oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi yapılmalıdır. Lifli polimerler ile güçlendirilen duvarlar aşağıda verilen esaslara göre yapı modeline katılacaktır.



Şekil 3.2. Dolgu duvarlarının lifli polimerler ile güçlendirilmesi (TDY-2018)

3.3. Modelleme Esasları

Lifli polimerler ile güçlendirilmiş dolgu duvarları yapı modelinde köşegen basınç ve çekme çubukları çifti ile temsil edilecektir.

- Basınç çubukları: Basınç çubuklarının rijitlikleri ve kesme dayanımları Denklem 3.5'e göre hesaplanacaktır.
- Çekme çubukları: Çekme çubuğunun çekme dayanımı T_f Denk.3.5 ile hesaplanacaktır.

$$T_f = 0.003 E_f w_f t_f \quad (3.5.)$$

Çekme çubuğunun kesme dayanımı, çekme dayanımının yatay bileşeni olarak kabul edilecektir. Çekme çubuğunun eksenel rijitliği, Denk.(3.6.) ile hesaplanacaktır.

$$k_t = \frac{w_f t_f E_f}{r_d} \quad (3.6)$$

Bu denklemlerde E_f , w_f ve t_f sırasıyla lifli polimer şeritin elastisite modülü, genişliği ve kalınlığı, r_d dolgu duvar köşegen uzunluğudur. w_f değeri Denk.(3.5) ile hesaplanan genişlikten daha büyük alınamaz.

Yukarda verilen bilgiler, dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi için Tabblo 3.2. de kısaca özetlenmiştir.

Tablo 3.2. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi

TÜRK DEPREM YÖNETMELİĞİ-2018	HASIR ÇELİK DONATILI ÖZEL SIVA İLE GÜÇLENDİRİLMESİ
	Sıva tabakasının kalınlığı en az 30 mm olmalı
	Hasır donatı beton örtüsü en az 20 mm olmalı
	Sıvanın basınç dayanımı en az 5 MPa olmalı
	Güçlendirilecek duvarların köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır.
	Güçlendirilen duvar yüzü ile çerçeve elemanlarının dış yüzü arasında en az 30 mm derinliğinde boşluk olmalıdır
	Kullanılacak çerçeve ankraj çubuğunun en küçük çapı 12 mm olmalıdır
	En az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 300 mm olmalıdır.
	Yapı modelinde betonarme çerçeve içinde düzenlenmiş ve köşegen uzunluğunun kalınlığına oranı 30'dan küçük olan dolgu duvarlar göz önüne alınacaktır.
	Boşluklu fabrika tuğlası:
	$E_{\text{duvar}} = 2000 \text{ MPa}$; $f_{\text{duvar}} = 3.0 \text{ MPa}$; $\tau_{\text{duvar}} = 0.20 \text{ MPa}$
	Harman tuğlası:
	$E_{\text{duvar}} = 2000 \text{ MPa}$; $f_{\text{duvar}} = 5.0 \text{ MPa}$; $\tau_{\text{duvar}} = 0.25 \text{ MPa}$
	Gazbeton blok:
	$E_{\text{duvar}} = 1000 \text{ MPa}$; $f_{\text{duvar}} = 2.5 \text{ MPa}$; $\tau_{\text{duvar}} = 0.20 \text{ MPa}$

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmanın konusu; yığma binalarda kullanılan blok tuğla duvarların güçlendirilmesinde, literatürde kabul görmüş olan güçlendirme tekniklerinden genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirme yönteminin kullanılarak dayanım ve davranışının incelenmesi olarak belirlenmiş ve çalışma Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mustafa Kazak İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında deneysel bir çalışma olarak yürütülmüştür.

4.1. Deney Programı

Yapılan çalışmada kullanılacak genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirme tekniğinde, güçlendirme işleminde kullanılan genişletilmiş levhaların kalınlığı, bu genişletilmiş çelik levhaların duvara monte edilmesini sağlayan Tie-Rot aralığı deneysel çalışmanın değişken parametreleri olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca, uygulamada yığma binaların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan püskürtme beton uygulaması tercih edilmiş ve çalışmaya daha özgün bir değer katmak için püskürtme beton içine cam lif katılarak güçlendirme gerçekleştirilmiştir.

Toplam 9 adet deney numunesi üretilmiştir. Tüm deney numunelerinde 13,5×19×29cm'lik düşey delikli yığma blok tuğla kullanılmıştır. Güçlendirme levhası olarak 54 x 26 mm lik boşluklara sahip kalınlıkları 1,5 mm, 2 mm ve 3 mm olan 3 farklı kalınlıkta genişletilmiş çelik levhalar kullanılmıştır. Levhaların duvara ankrajı 6 mm çapında Tie-Rot milleri(Tij-Ankraj bulonları-M6 bulon) kullanılmıştır.. Duvar kalınlıkları güçlendirme levhası ve püskürtmeden beton uygulamasından sonra 25 cm olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışma Tablo 4.1.'de sunulmuştur.

Yapılan çalışma ve incelenen parametreler aşağıda özetlenmiştir:

- Genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş duvarların diyagonal basınç yükü etkisi altındaki dayanım ve davranışı incelenmiştir. Deneysel numunelerin, süneklik ve enerji yutma kapasitelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş duvar numunelerin referans duvar numunelerine oranla daha sünek davranış sergileyerek, yüksek şekil değiştirme ve enerji yutma kapasitesine ulaşması beklenmektedir.
- Deney numunelerinde Farklı kalınlıklara sahip genişletilmiş delikli çelik levhalar kullanılarak, bu değişimin diyagonal basınç kuvveti altındaki duvarın sünekliği, dayanımı ve enerji yutma kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırılmıştır.

Tablo 4.1. Deneysel çalışma matrisi

N O	NUMUNE	PÜSKÜRTME BETON	LEVHA KALINLIĞI (mm)	ANKRAJ ARALIĞI (mm)	ANKR AJ SAYISI
1	R	Sıva			
2	RS	Püskürtme Beton			
3	RGFR	Cam Lif Katkılı P.B.	-	-	-
4	MBWGFR 2.0-200	Cam Lif Katkılı P.B.	2.0	200	25
5	MBWGFR 1.5-150	Cam Lif Katkılı P.B.	1.5	150	49
6	MBWGFR 2.0-150	Cam Lif Katkılı P.B.	2.0	150	49
7	MBWGFR 3.0-150	Cam Lif Katkılı P.B.	3.0	150	49
8	MBWGFR 3.0-400	Cam Lif Katkılı P.B.	3.0	400	9

Yapılan çalışmada incelenen parametreler aşağıda özetlenmiştir:

- Genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş duvarların eksenel basınç etkisi altındaki davranışına etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada, süneklik ve enerji yutma kapasitelerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda, genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş duvar numunelerin referans duvar numunesine göre daha yüksek deformasyon ve enerji yutma kapasitesine ulaşacağı gibi sünekliğinin daha fazla olması beklenmektedir.
- Farklı kalınlıklara sahip genişletilmiş delikli levhalar kullanılarak deney numunelerinin süneklik, eksenel kuvvet altındaki dayanımı, sağlamlık ve tuğla duvarın enerji yutma kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırılmıştır.

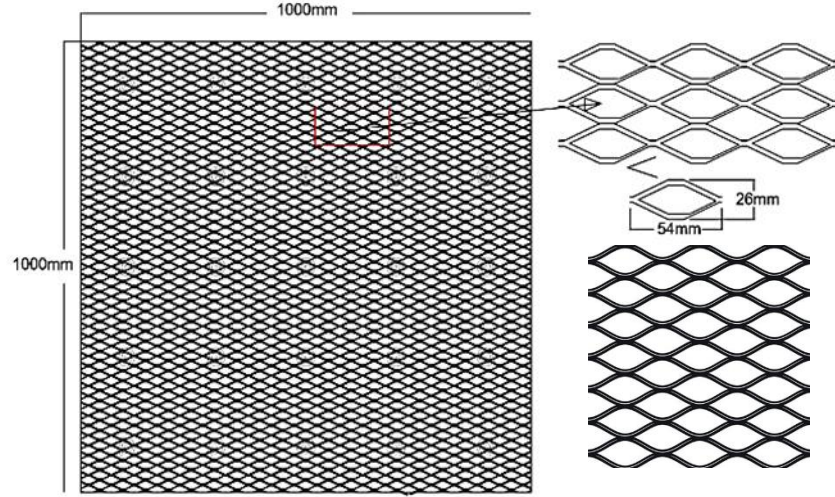
4.2. Malzeme Özellik ve Dayanımları

Deneyden elde edilen verileri karşılaştırmada sağlıklı ve gerçekçi sonuçlar elde edilmesi için, duvarların yapımında kullanılan tuğlalar aynı imalat yeri çıkışlı olacak şekilde temin edilerek, ortak teknik ve mekanik özelliklerde olması sağlanmaya çalışılmıştır. Benzer olarak, çimento, kireç, kum ve numunelerin güçlendirilmesinde kullanılan genişletilmiş çelik levhaların ve Tie-Rot millerin (Tij-Ankraj bulonları-M6 bulon) temini de tek imalat yeri çıkışlı olacak şekilde aynı satış noktasından temin edilmiştir.

4.2.1. Genişletilmiş çelik levhaların dayanım ve özellikleri

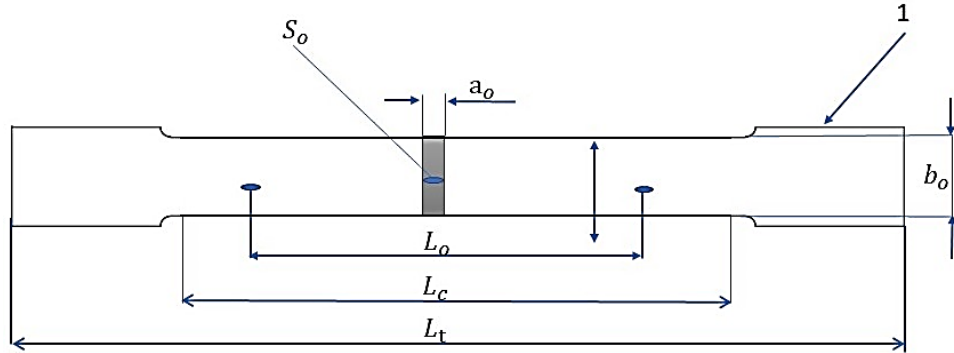
Deney numunelerinin güçlendirilmesinde delik genişlikleri 54×26 mm, kalınlıkları ise sırasıyla, 1,5 mm, 2 mm ve 3 mm olan genişletilmiş çelik levhalar kullanılmıştır.

Genişletilmiş çelik levhalar, fabrika çıkışı olarak, sacların veya ruloların işlenmesiyle hiçbir montaj veya kaynaklanma yapılmadan üretilmiş malzemeler olup, makine ile paslanmaz çelik levhalarda, yükseltilmiş veya düzleştirilmiş açık elmas desenli delme işlemi gerçekleştirilerek imal edilmiş malzemelerdir. Çalışmada yüksek aderans için yükseltilmiş dalgalı sırtlara sahip levhalar kullanılmıştır. Şekil 4.1.'de deneysel çalışmalarda kullanılan çelik levhanın deseni ve boyutları verilmiştir.



Şekil 4.1. Genişletilmiş çelik levhaların delik deseni ve boyutları

Kullanılan çelik levhanın çekme dayanımını test etmek amacıyla standartlara uygun numuneler kesilerek laboratuvarında deneye tabi tutulmuştur. Genel olarak uluslararası literatürde, metal malzemelerin çekme deneyi için ISO6892-1:2016[45] ve ASTM E8:2016[46] standartlarının kullanıldıkları görülmüştür. ISO6892-1:2016 ya göre dikdörtgen geometriye sahip, çekme deneyi numunesinin boyutları ve kesme biçimi Şekil 4.2. ve Tablo 4.2.'de verilmiştir.

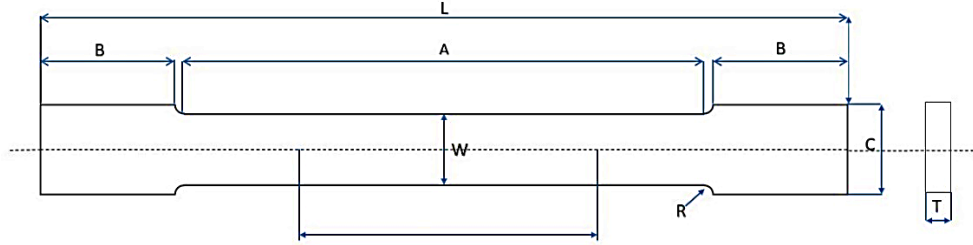


Şekil 4.2. ISO 6892-1 standardının lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri

Tablo 4.2. ISO 6892-1 standardının lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri

Numune Boyutu	(mm)
L_o İlk ölçü uzunluğu	80
b_o Gövde genişliği	20.0 ± 1.0
L_c En küçük gövde uzunluğu	90
L_c Önerilen gövde uzunluğu	120
L_T Numune kavrama uçları arasında kalan gövde uzunluğu	140

ASTM E8:2016 standardında önerilen numune boyut ve geometrisi Şekil 4.3. ve Tablo 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 4.3. ASTM Standardına uygun lama tipi dikdörtgen geometriye sahip çekme deneyi numunesi

Tablo 4.3. ASTM E8:2016 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri

	Numune Boyutu	(mm)
G	İlk ölçü uzunluğu	200 ± 0.2
W	Gövde genişliği	40 ± 2.0
T	En küçük numune kalınlığı	5
R	En küçük numune kavis yarıçapı	25
L	Numune toplam uzunluğu	450
A	En küçük numune gövde uzunluğu	225
B	Numune kavrama uçları uzunluğu	75
C	Gövde genişliği	50

ISO6892 ve ASTM E8'e göre metal malzemelerin çekme deneyine tabi tutulması kapsamında, deney numunesinin çekme deneyi test makinası çenelerine yerleştirilmesinde kullanılan aparatların tanımlanması konusuna, ISO 6892-1:2016 standardında oldukça yüzeysel bir şekilde değinilmiştir. Ancak, ASTM E8:2016 standardında bu konu; lama, silindirik, yaprak, sac ve tel türü deney elemanları için son derece ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan genişletilmiş çelik levhaların çekme deneyi için ASTM E8:2016 ya uygun olarak numuneler kesilerek çekme deneyi yapılmıştır. Tablo 4.4.'de çekme deneyin sonuçları verilmiştir.



Deney öncesi

Deney sonrası

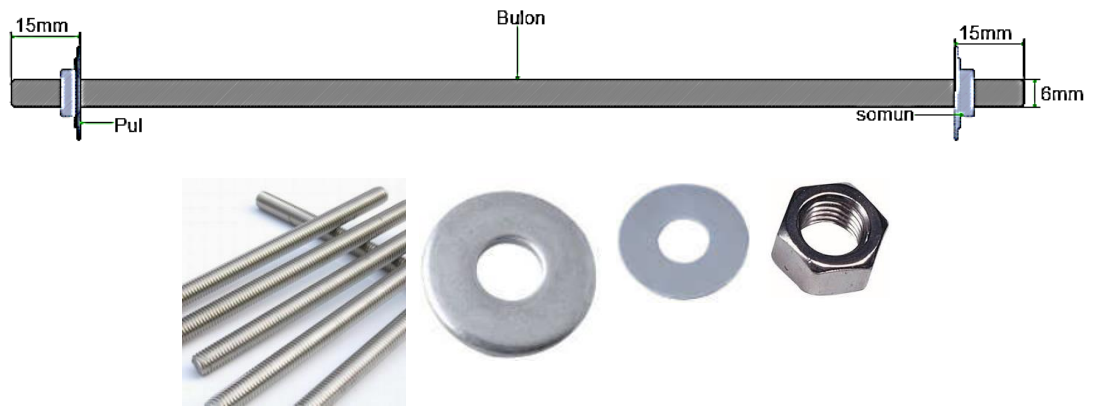
Şekil 4.4. Çelik levhaların deney öncesi ve sonrası görüntüleri

Tablo 4.4. Genişletilmiş çelik levhanın çekme deneyi

Numune Adı	Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Çekme/Akma
1,5	195,58	15,11	0,63
2,0	549,47	35,01	1,47
3,0	616,80	44,31	1,25

4.3. Tie-Rot mili (Tij-Ankraj bulonu-M6 bulon)

Çelik levhaların duvar numunelerine ankrajlanması için, çapı 6 mm ve uzunluğu 1000 mm olan Tie-Rot milleri(Tij) kullanılmıştır. Ankraj işleminin sağlıklı olması ve tijlerin duvar yüzeylerine uygulanan sıva veya püskürtme beton ile aderansının sağlanabilmesi için tij uzunlukları ankrajlama işlemi sonrası levha dış yüzeyinden itibaren 15 mm lik uç çıkmalar kalacak şekilde hesaplanarak, 250 mm olarak belirlenmiştir. Her bir duvar deney numunesi için deney matrisinde belirtilen sayıda tij kullanılmıştır. Duvar gövdelerinde tijlerin yerleştirileceği delikler darbeli bir matkap vasıtasıyla açılmıştır. Bu delikler duvar yüzeyine yatayda ve düşeyde eşit aralıklarla açılmış, bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için üzerine ölçekli karelaj çizilen mukavva bir şablon kullanılmıştır. Güçlendirilen duvarların her iki yüzüne genişletilmiş çelik levhalar yerleştirilip, tijler açılan deliklere yerleştirildikten sonra. Tijlerin her iki ucuna pul ve somun takılarak levhalar duvar yüzüne sabitlenmiş ve ankraj işlemi tamamlanmıştır(Şekil 4.5., Şekil 4.6.).



Şekil 4.5. Tie-Rot Mili(Tij-Ankraj bulonları-M6 bulon), pul ve somun geometrisi



Şekil 4.6. Ankraj Deliklerinin Açılması

Tijlerin eğilme dayanımlarının belirlenmesi için, 6 adet tije laboratuvar ortamında eğilme deneyi yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.5.'te verilmiştir.

Tablo 4.5. Bulonların eğilme dayanımı, şekil değiştirmeleri ve gerilme dayanımları

No	Max kuvvet (kN)	Max gerilme (MPa)	Max uzama (mm)	Max zaman (sn)
1	306,2	722,1	23,5	352,5
2	314,1	740,5	23,8	279,5
3	310,4	731,9	23,4	251,1
4	309,4	729,5	24,1	244,0
5	307,8	725,8	24,6	241,5
6	307,3	724,5	24,3	233,5
Ortalama	309,2	729,1	23,9	267,0
Std Sapma	2,6	6,0	0,4	40,8

4.4. Düşey Delikli Tuğla

Deneysel çalışma kapsamında duvar numunelerinde, 135×190×290 mm ebatlarında düşey delikli yığma blok tuğla kullanılmıştır (Şekil 4.7.). Tuğlaların dayanımının TS EN 771-1+A1[46] standardına uygunluğunu kontrol etmek için tuğlalar basınç deneyine tabi tutulmuştur. Bunun için 27 adet tuğlanın TS EN 771-1'e ve ASTM standartlarında tanımlanan test prosedürüne uygun olarak basınç dayanımları test edilmiştir. Bu numunelerin 9 adedinde tuğlanın deliklerine dik ve uzun doğrultuda, 9 adedinde tuğlaların deliklerine dik ve kısa doğrultuda ve 9 adedinde ise tuğlaların deliklerine paralel doğrultuda basınç yükü uygulanmıştır(Şekil 4.8.).



Şekil 4.7. Yığma blok tuğla basınç deneyleri

Kullanılan yığma tuğlaların basınç dayanımları, deliklere paralel yönde ortalama 3,3 MPa, deliklere dik, kısa yönde 1,3 MPa ve uzun yönde 3,3 MPa olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçları Tablo 4.6., Tablo 4.7. ve Tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı

	Yüklemeye Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Yüğü (MPa)
1	36400	80.2	2.2
2	36400	148.9	4.1
3	36400	111.7	2.4
4	36400	120.8	3.3
5	36400	122.1	3.3
6	36400	153.2	4.1
7	36400	95.4	2.6
8	36400	154.4	4.2
9	36400	133.6	3.7
	Ortalama	124.5	3.3
	Std Sapma	24.5	0.7

Tablo 4.7. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı

	Yüklemeye Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Yüğü (Mpa)
1	24050	15.9	0.7
2	24050	25.9	1.1
3	24050	36.3	1.5
4	24050	24.9	1.0
5	24050	31.9	1.3
6	24050	47.2	1.9
7	24050	49.0	2.0
8	24050	12.8	0.5
9	24050	30.3	1.3
	Ortalama	30.5	1.3
	Std Sapma	11.7	0.5

Tablo 4.8. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı

	Yüklemeye Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Yüğü (Mpa)
1	51800	132.2	2.6
2	51800	164.5	3.2
3	51800	114.8	2.2
4	51800	237.6	4.6
5	51800	105	2.0
6	51800	240.4	4.6
7	51800	147.1	2.8
8	51800	237.3	4.6
9	51800	147.5	2.8
	Ortalama	169.6	3.3
	Std Sapma	51.4	1.0

4.5. Harç

Çalışmada sönmüş kireç ve çimento'nun su ve kum ile karıştırılmasıyla elde edilen bir harç kullanılmıştır. Harç, beton gibi başlangıçta plastik özelliğe sahip olup bünyesindeki suyu kaybettikçe sertleşen bir yapı malzemesidir. Bu karışımın görevi,

duvar birimlerini bir arada tutmak ve duvar örgü ağının gerçekleştirilmesini sağlamanın yanı sıra, duvara etki eden yüklerin bir elemandan diğerine düzgün bir şekilde yayılmasını sağlamaktır. Tablo 4.9.'de deney numunelerinde kullanılan harcın ağırlıkça karışım oranları verilmiştir.

Tablo 4.9. Harç yapımında kullanılan malzemelerin ağırlıkça karışım oranları

Malzeme Adı	Çimento	Kum	Kireç	Su
Ağırlık	10 kg	30 kg	5 kg	5 kg
Oranı	2	6	1	1

Toplam 3 farklı zamanda hazırlanan harçların her birinden TS EN 998-1'e uygun olacak şekilde 9 ar adet numune alınmıştır. 5 gün kalıp içinde %95-100 nemli kür ortamında bekletilen numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra kalan 23 günü ise %65-70 nemli bir ortamda bekletildikten sonra basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları istatistik verileri; ortalama, standart sapma ve varyans değerleri alınarak analiz edilmiştir. Örnek analiz uygulaması aşağıda verilmiştir.

Ortalama: bir sayı dizisindeki elemanların toplamının eleman sayısına bölünmesi ile elde edilir.

$$X^- = \frac{\sum x}{n} = \frac{9+11.36+11.55+11.92+12.45+11.19+10.76+10.59+8.91}{9} = 10.85$$

Varyans: Dağılımdaki tüm verilerin aritmetik ortalamaya ile olan farklarının toplamının veri sayısına bölümüdür.

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X^-)^2}{n - 1}$$

$$S^2 = \frac{32.59+64.96+68.06+74.30+83.72+62.25+55.65+53.14+31.47}{9-1} = \frac{97.73}{8}$$

$$S^2 = 12.21$$

Standart Sapma: Dağılımdaki tüm verilerin aritmetik ortalamaya ile olan farklarının karelerinin ortalamasının kareköküdür. Tanımı,

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{32.59+64.96+68.06+74.30+83.72+62.25+55.65+53.14+31.475}{9-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{12.21}{8}} \quad S = 1.23$$

Test ve analiz sonuçları Tablo 4.10., 4.11. ve 4.12.'de verilmiştir.

Tablo 4.10. I. etap harç numunesi basınç dayanımı

	Yükleme Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Yüğü (MPa)
1	7854	70.7	9.00
2	7854	90.7	11.36
3	7854	89.2	11.55
4	7854	93.6	11.92
5	7854	97.8	12.45
6	7854	87.9	11.19
7	7854	84.5	10.76
8	7854	83.2	10.59
9	7854	70.0	8.91
	Ortalama	85.2	10.81
	Std Sapma	8.9	1.13

Tablo 4.11. II. etap harç numunesi basınç dayanımı

	Yükleme Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Yüğü (Mpa)
1	7854	84.4	11.00
2	7854	79.4	10.11
3	7854	78.6	10.01
4	7854	76.3	9.70
5	7854	74.2	9.45
6	7854	74.5	9.49
7	7854	85.0	10.84
8	7854	72.5	9.23
9	7854	80.6	10.26
	Ortalama	78.4	10.01
	Std Sapma	4.2	0.58

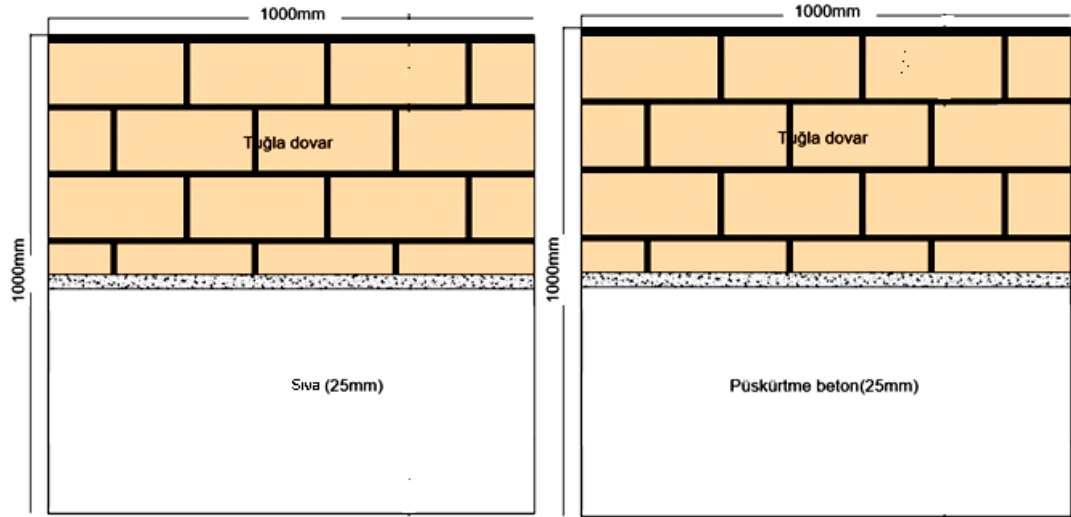
Tablo 4.12. III. etap harç numunesi basınç dayanımı

	Yükleme Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Yüğü (MPa)
1	7854	80,7	11,42
2	7854	91,9	11,70
3	7854	90,2	10,21
4	7854	93,1	11,85
5	7854	78,6	10,01
6	7854	96,1	12,24
7	7854	100,9	12,85
8	7854	80,9	10,30
9	7854	100,3	12,77
	Ortalama	90,3	11,48
	Std Sapma	7,98	1,02

4.6. Deney Elemanları

Yığma blok tuğlalarla 100cmx100cm abadında duvarlar örölüp Tablo 4.1.'de verilen çalışma matrisi kapsamında deney elemanları hazırlanmıştır. Genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmesi planlanan her bir deney duvarında çalışma matrisinde belirlenen tie-rot(Tij-Ankraj bulonları-M6 bulon) sayısına göre matkap ile delikler açılmıştır. Genişletilmiş çelik levhalar güçlendirilecek duvar deney numunelerinin her iki yüzüne konulup, tijler açılan matkap deliklerinin içinden geçirildikten sonra her iki ucundan somunla sabitlenerek ankraj işlemi tamamlanmıştır.

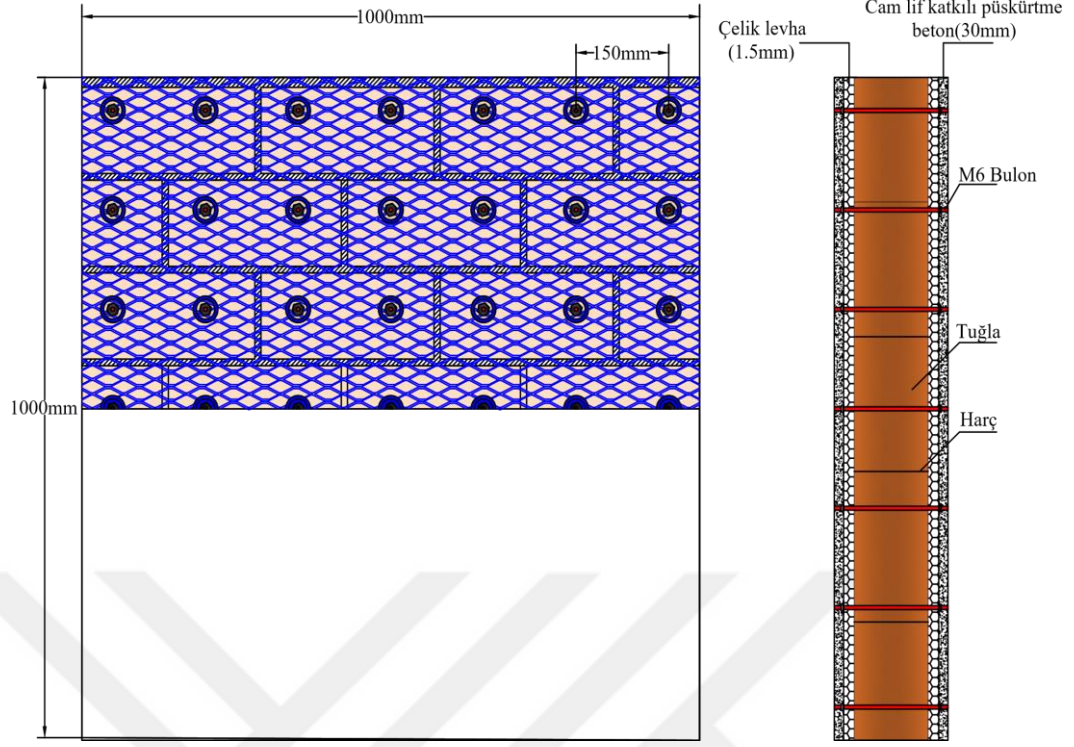
Çalışma matrisinde belirtilen deney numunelerinin özelliklerine göre duvar yüzeyleri ortalama 2,5 cm civarında sıva, püskürtme beton veya cam lif katkılı püskürtme ile kapatılmıştır. Şekil 4.9.'da referans deney elemanının güçlendirme detay çizimleri verilmiştir. Şekil 4.10.'da kalıp içlerinde örölmüş duvar numuneler görölmektedir.



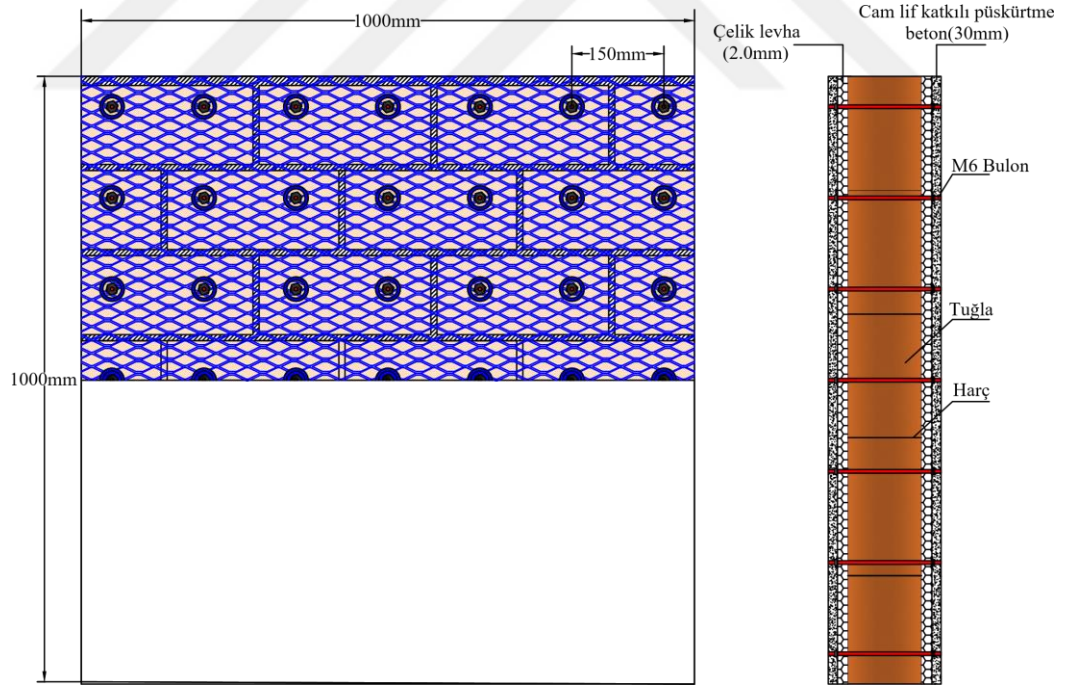
Şekil 4.8. Referans (R,RS,RGFR) elemanları detay çizimleri



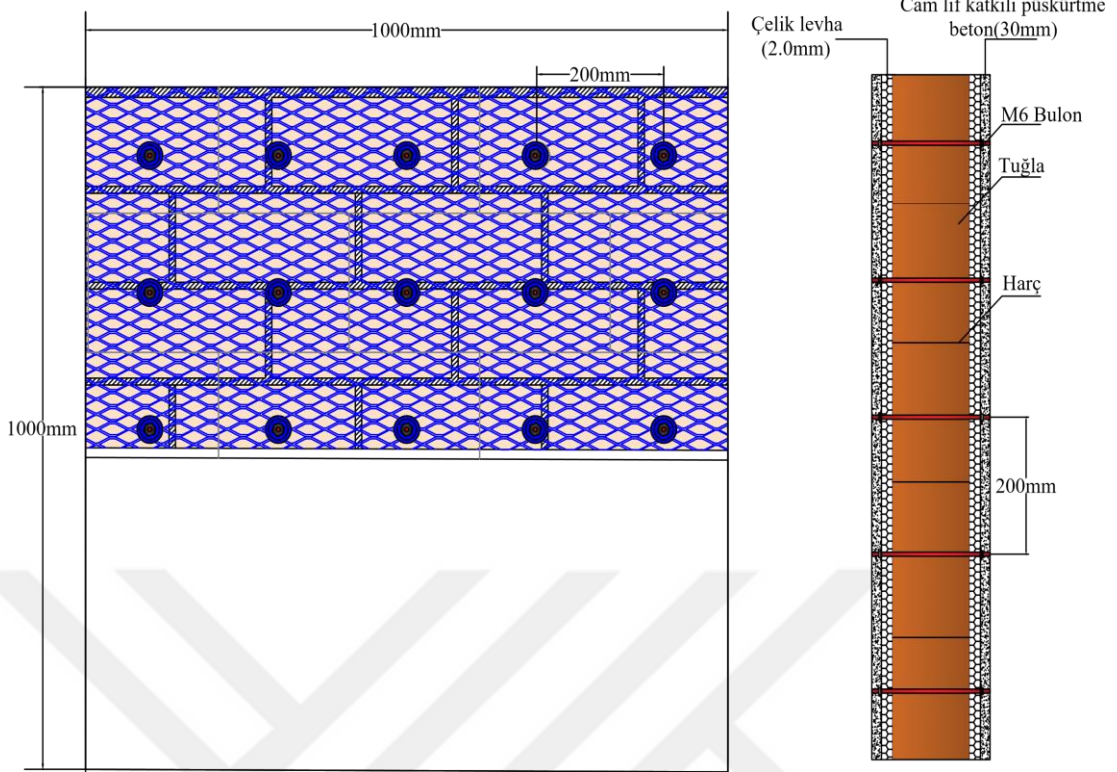
Şekil 4.9. Güçlendirmeden önce deney elemanları



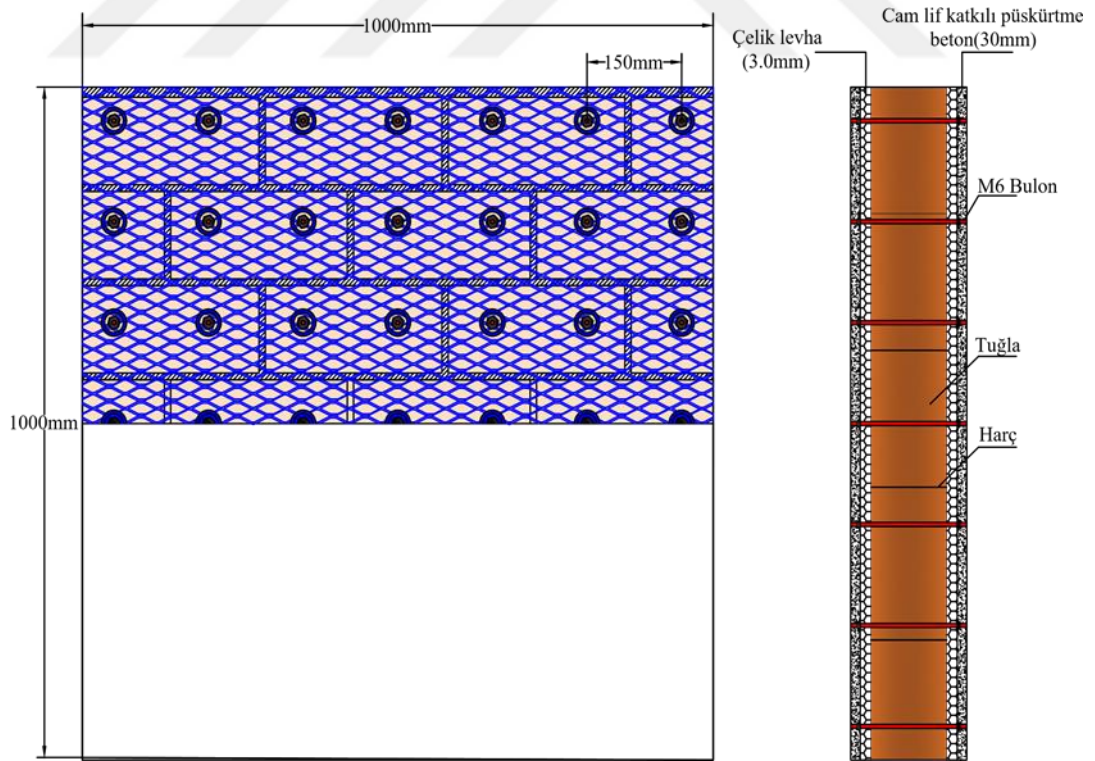
Şekil 4.10. MBWGFR.1.5mm-150mm elemanı



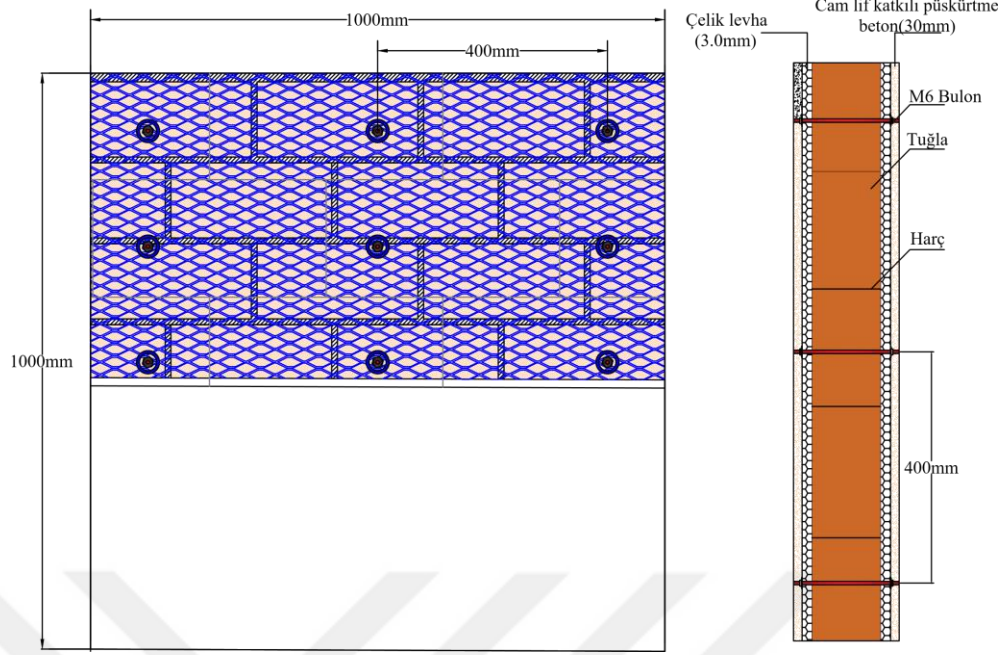
Şekil 4.11. MBWGFR.2.0mm-150mm elemanı



Şekil 4.12. MBWGFR.2.0mm-200mm elemanı



Şekil 4.13. MBWGFR.3.0mm-150mm elemanı



Şekil 4.14. MBWGFR.3.0mm-400mm elemanı



Şekil 4.15. Duvarların örülmesi ve matkapla delme işlemi için hazırlanması



Şekil 4.16. Duvarlarda güçlendirme işlemleri - ankraj uygulaması

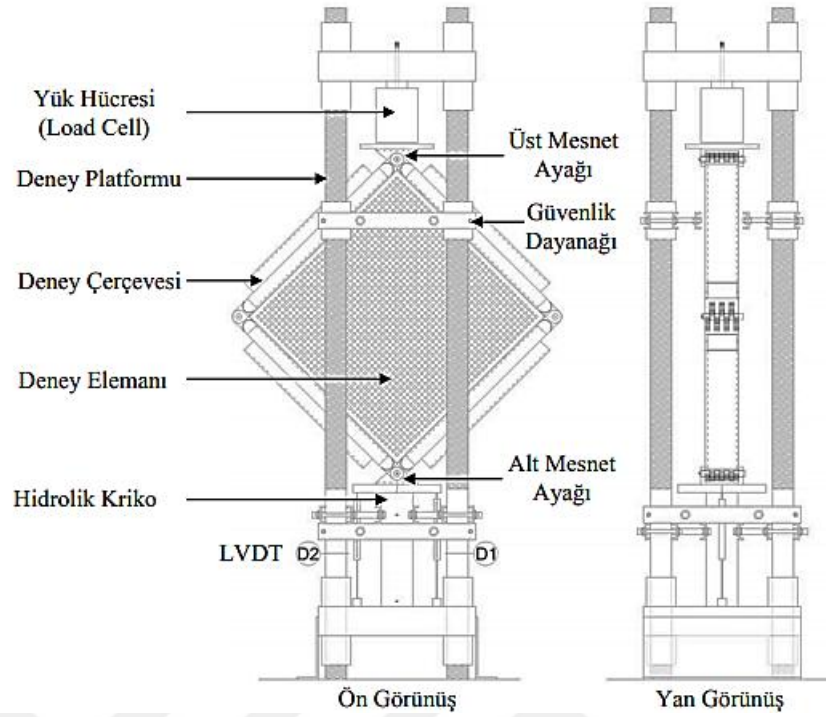


Şekil 4.17. Genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilmiş deney elemanları.

4.7. Deney Platformu ve Deney Çerçevesi

Bu çalışmada yapı içindeki duvarın gerçek davranışını simüle etmek adına ASTM E519'da belirtilen deney yöntemi, standarda bağlı kalınarak biraz daha geliştirilmiştir. Gerçek yapı davranışında, düşey ve yatay hatılların çevrelediği yığma duvarların, yatay yükler etkisi altında, bu betonarme yapı elemanları ile arasındaki basınç temas yüzeyi oluşmaktadır. Deprem esnasında deformasyona bağlı olarak, basınç temas yüzeyi büyüyebileceğinden, deney düzeneğinde bu durum simüle edilerek, yatay deprem yükünün diyagonal bileşenini deney elemanlarına aktarmak için iç ölçeği 1000×1000 mm olan dört tarafı mafsallı kare şeklinde, yüzeyleri rijit bir çelik çerçeve kullanılmıştır (Şekil 4.19.). Çelik çerçevedeki mafsallar, uygulanan diyagonal yükünün tamamının doğrudan deney elemanına aktarılmasını ve çelik çerçevenin yük etkisi altında şekil değiştirmesinin önlenmesini sağlamıştır. Deney sırasında çelik çerçeve ve deney elemanı arasındaki temas yüzeyleri duvarın deformasyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Yani duvarın artan deformasyonuyla temas yüzeyi de arttığı gözlemlenmiştir.

Deney mekanizması Şekli 4.19. ve 4.20.'de gösterilmiştir. Deney düzeneğinde sarkaç ayak olarak ifade edilen toplam dört adet çelik ayak bulunmaktadır. Deney düzeneğinde bulunan alt ve üst rijitleştirici çubuklar bu çelik ayaklar sayesinde sabitlenebilmektedir (Şekil 4.20.).



Şekil 4.18. Deney platformu ve deney çerçevesi çizimleri



Şekil 4.19. Deney düzeneği

Yükün rijit çelik bir plaka vasıtasıyla duvara üniform bir şekilde naklini sağlayan yük hücresi ve simetri merkezleri dikkate alınarak deney platformuna yerleştirilip sabitlenmiştir. Her deney öncesi düzenleme yapılarak yükün, diyagonal simetri

ekseninden etki etmesine dikkat edilmiştir. Deney elemanları maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşana kadar sabit hızda yükleme yapılmış ve maksimum kapasiteye ulaşıldıktan sonra, yükte ani ve hızlı bir düşüş meydana gelinceye kadar yükleme yapılmaya devam edilmiştir.

4.7.1. Yük ve deformasyon ölçüm düzeneği

Deneylerde, yük ölçümü için 1000 kN'luk dikey silindir bir yük hücresi kullanılmıştır. Yer değiştirme ölçümleri için elektronik yer değiştirme sayaçları (LVDT) kullanılmıştır. LVDT'ler, çeşitli kapasitelere sahip deney esnasında okunan deplasman verilerini elektrik sinyallerine dönüştürerek verilerin zamana bağlı olarak bilgisayara aktarılmasını sağlayan ölçüm cihazıdır. Ölçülen değerler elektronik bir okuyucudan geçtikten sonra bilgisayara kaydedilmiştir. Ek olarak, deney boyunca yükün yer değiştirmesi ve yük değişimi bilgisayar ekranında grafik olarak izlenmiştir. LVDT'lerin kalibrasyonları her deneyden önce kontrol edilmiştir. Kullanılan LVDT'lerin her biri 0,01 mm hassasiyetinde olup her deney öncesinde kalibrasyonları kontrol ederek deneye başlanmıştır (Şekil 4.21., Şekil 4.22.) Deney düzeneğinde toplam 4 adet LVDT kullanılmıştır. Hidrolik krikonun üzerindeki sert plakanın alt köşesindeki düşey yer değiştirmeleri ölçmek için 400 mm deplasman ölçebilen iki adet LVDT kullanılmıştır. Diğer iki adet 50 mm kapasiteli LVDT ise yükleme doğrultusuna dik yönde deney elemanında meydana gelen boy değişimlerini ölçmek için elemanın ön ve arka yüzeyinde sabitlenmiştir.



Şekil 4.20. LVDT 50 mm uzaman kapasiteli



Şekil 4.21. LVDT 100 mm uzaman kapasiteli

Deney sırasında bu cihazlardan gelen elektrik sinyalleri 16 Bit çözünürlüklü yüksek ölçüm performansına sahip geniş sensör uyumluluğu olan ve doğrudan sensör bağlantısı- 8x8 kanallı tek Çalıştır, tek USB portundan tüm kanallara bağlantı yapabilen TDG firmasına ait TestBox1001 Serisi veri toplama sistemi ile sayısallaştırılarak bilgisayara aktarılmıştır(Şekil 4.23.). Genel amaçlı yarı-statik veri toplama cihazı olan TestBox1001 e ait teknik özellikler Tablo 4.13.'de verilmiştir.



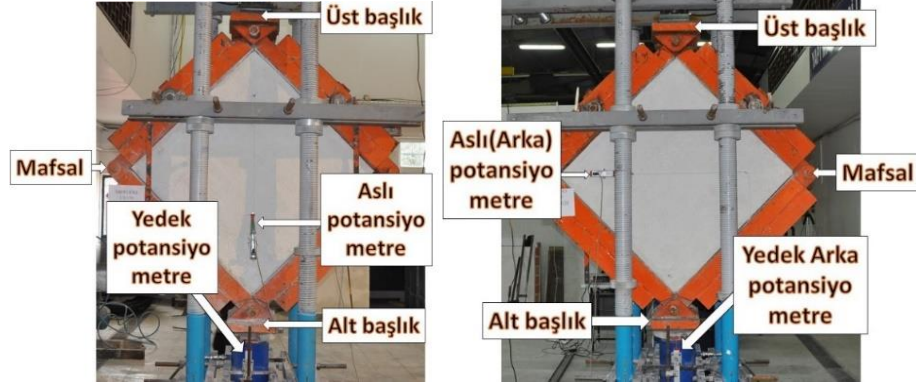
Şekil 4.22. TestBox1001 Serisi veri toplama sistemi

Tablo 4.13. TestBox1001 Serisi veri toplama sistemi teknik özellikleri

Ölçüm Çözünürlüğü	16 bit / $\pm 10V$ ölçüm bölgesi/ 65536 adım / 0,000305V hassasiyet
Kanal Sayısı	Tek cihazda 8 kanal.Tek USB portundan 64 kanala kadar genişleyebilir.
Sinyal İşleme	Her kanal tümleşik bağımsız sinyal işleme altyapısına sahiptir.
Veri Toplama Hızı	8 örnek/saniye/kanal - kanal sayısından bağımsızdır.
Düşük Gürültü	SNR>72dB (SNR, signal-to-noise ratio)
Ölçüm Aralığı	$\pm 10mV$ seviyesinden $\pm 10V$ seviyesine kadar
Kanal Kazançları	1/150/247/396/494/643/740/890 Her kanal için bağımsız ayarlanabilir.
İkaz Gerilimi	5V/10V seçilebilir ikaz gerilimi / Her kanal için ayrı ayarlanabilir.
Konnektör Yapısı	DSUB9
Çalışma Sıcaklığı	-20°C ~ +50°C
Kutu ve Boylar	Metal kutu (288x103x160mm)

Veri kayıt hızı ayarlanabilir ve bilgisayar ortamına gönderilen kayıt MS-Excel (*.csv) formatında gerçekleşir. Bilgisayar hatalarına karşı veri güvenliği sağlanır. Deney esnasında kanal verisinin değişim hızının dx/dt değişimi, Test paneli - Ham veri - Kalibreli veri gerçek zamanlı görüntülenebildiği gibi $Ax+B$ doğrusallaştırmasını da yapmaktadır. Kanallar arası gerçek zamanlı matematiksel işlemler yapılabilmesinin yanı sıra çok noktalı kalibrasyon-çoklu kanal sıfırlama, aynı bilgisayar üzerinde çalışan bir yazılımdan ortak hafıza paylaşımı ile veri alabilme (sanal kanal) özelliği

mV(millivolt) seviyesindeki sensörler için otomatik kazanç hesabı yapabilme gibi özelliklere de sahiptir.



Şekil 4.23. LVDT lerin yerleşim planı

Tüm deneyler deney başlangıcından bitişine kadar video çekimi yapılarak kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.25.).



Şekil 4.24. Deney sistemin uygulanan video kaydı

4.7.2. Yükleme programı

Deney yükleme programında deneyin başlangıcında 10 mm deformasyona kadar yükleme %5 artış hızı ile, 10-35 mm deformasyona arası yükleme hızı %25 artış hızı ile ve deformasyon 35 mm yi aştıktan sonra yükleme sabit olarak %50 artış hızı ile gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 5. PÜSKÜRTME BETON

Bu bölümde; püskürtme beton nedir, uygulama şekilleri nelerdir, kullanım alanları hakkında açıklamalar yapılmış ve deneysel çalışmada uygulanan püskürme beton karışım oranları dayanımı ve uygulama şekli açıklanmıştır.

5.1. Püskürtme Beton

Püskürtme beton bir karıştırıcı tankında karıştırılıp pompa makinesine dökülüp bir iletim hortum vasıtasıyla hedeflenen yüzey veya elemana püskürtülen beton olarak tanımlanabilir. Amerikan beton enstitüsü(ACI Committe 506, 1966) püskürtme betonu “bir hortumla taşınarak bir yüzey üzerine basınçlı hava yardımıyla yüksek hızla püskürtülen beton ya da harç karışımı” olarak tanımlanmıştır.

Türk Standartları TS 11747’de ise püskürtme betonu “ onarım veya yapım amacı ile önceden hazırlanmış olan betonun hava basıncı yardımı ile yüksek hızla uygulama yüzeyi veya uygulama alanına püskürtülerek elde edilen beton” olarak tanımlanmaktadır.

5.2. Püskürtme Beton Uygulama Teknikleri

Püskürtme beton uygulama safhasında; yaş püskürtme sistem ve kuru püskürtme sistem şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

- Kuru püskürtme sistemde; püskürtme beton gerekli olan malzemeler kuru ortamda karıştırılıp hortum vasıtasıyla yüzeye püskürtülme sırasında malzemelerin yüzeye yapışması için gerekli olan ve oran olarak belirlenen su, hortum ucunda hava yardımıyla püskürtülerek kuru karışıma eklenmektedir

- Yaş püskürtme sistemde; su dahil tüm karışım malzemeleri karıştırma tankında karıştırıldıktan sonra pompa makinesine getirilip hortum aracılığıyla basınçlı bir şekilde belirlenen yüzeye püskürtülmektedir.

5.3. Kullanım Alanları

Püskürtme beton; yapıların dayanımını ve durabilitelerini sağlamak için farklı alanlarda kullanılmaktadır. Püskürtme beton uygulamaları yeraltı yapılarında en çok tünel, maden, yeraltı deposu vb yapılarda, yerüstünde ise en çok kayma tehlikesi olan yol şevlerinde, kaplama, bina güçlendirme, onarım işlerinde vesaire mühendislik alanlarında durabiliteyi sağlamak, can ve mal kayıplarını önlemek amacı ile kullanılmaktadır.

5.4. Deneysel Çalışmada Püskürtme Beton Uygulaması

Mevcut çalışmada laboratuvar ortamında çalışıldığı için yaş püskürtme sistemi tercih edilmiştir. Çalışmadaki püskürme beton uygulaması FİBROBETON YAPI ELEMANLARI SAN. VE İNŞAAT A.Ş. tarafından, gerçekleştirilmiştir. Beyaz çimento, silis kumu ve cam lif belirli oranlarla katılarak oluşturulan karışımın ağırlıkça oranları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Cam lif katkılı püskürtme beton karışım oranları

NO	Malzeme Adı	Oran(%)
1	Çimento	36
2	Meta kaolin	4
3	Silis kumu	40
4	Hiper Akışkanlaştırıcı	2,12
5	Akrilik Polimer	1,2
6	Su	12,8
7	AR Cam Lifi	3,88

Fibro beton firmasına ait, püskürme beton karışımının hazırlandığı ve püskürme işleminin yapıldığı makine sistemi Şekil 5.1. ve 5.2.'de görülmektedir



Şekil 5.1. Püskürtme beton karışımının hazırlanması



Şekil 5.2. Püskürtme beton uygulama düzeneği

Hazırlanan püskürtme beton karışımı, genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilen duvar deney numuneleri üzerine uygulanmıştır (Şekil5.3.)



Şekil 5.3. Duvarlara cam lif katkılı püskürtme beton uygulaması

Karışımın TS EN 206/1 e uygun olarak 4 adet silindir numune alınarak 28 gün bekletildikten sonra basınç dayanımının testine tabi tutulmuştur(Şekil 5.4.).



Şekil 5.4. Cam lif katkılı püskürtme beton silindir numuneleri ve basınç deneyi

Silindir numunelerin ortalama gerilmeleri 33.68 MPa standart sapması ise 1,46 MPa hesaplanmıştır. Tablo 5.2.'de silindir numunelerin basınç dayanım sonuçları verilmiştir.

Tablo 5.2. Cam lif katkılı püskürtme betonun basınç dayanımı

NO	Yükleme alanı (mm ²)	kırılma yükü (kN)	Basınç yükü (Mpa)
1	7854	252.40	32.13
2	7854	268.70	34.21
3	7854	258.30	32.88
4	7854	278.30	35.43
	Ortalama	264	33.68
	Std Sapma	11.45	1.46

Deney sonuçları istatistik veriler; Ortalama, Standart sapma ve varyans değerleri alınarak, elastisite modülünün hesaplanması için Denklem 5.1 ve 5.2 kullanılmıştır.

$$\epsilon = \Delta L / L_0 \quad (5.1)$$

$$\epsilon = 0.127 / 200 = 6.32 \times 10^{-4}$$

$$E = \sigma / \epsilon \quad (5.2)$$

$$E = 33.68 / 6.32 \times 10^{-4} = 5.33 \times 10^4 \text{ MPa}$$

BÖLÜM 6. DENEYSEL SÜREÇ

Bu bölümde, Tablo 6.1.'de verilen deney matrisinde yer alan her bir deney numunesine ait deney gözlem ve sonuçları ayrı ayrı nakledilmektedir. Deney elemanlarının yük etkisi altındaki davranışı resimlerle görsel olarak iletmeye çalışılmış, deney öncesi ve sonrası deney elemanlarının resimleri eklenmiştir. Yük-yer değiştirme grafikleri ayrı ayrı ve karşılaştırmalı olarak çizilmiştir.

Tablo 6.1. Çalışma matrisi

NO	NUMUNE	PÜSKÜRTME BETON	LEVHA KALINLIĞI (mm)	ANKRAJ ARALIĞI (mm)	ANKRAJ SAYISI
1	R	Sıva			
2	RS	Püskürtme Beton			
3	RGFR	Cam Lif Katkılı P.B	-	-	-
4	MBWGFR 2.0-200	Cam Lif Katkılı P.B	2.0	200	25
5	MBWGFR 1.5-150	Cam Lif Katkılı P.B	1.5	150	49
6	MBWGFR 2.0-150	Cam Lif Katkılı P.B	2.0	150	49
7	MBWGFR 3.0-150	Cam Lif Katkılı P.B	3.0	150	49
8	MBWGFR 3.0-400	Cam Lif Katkılı P.B	3.0	400	9

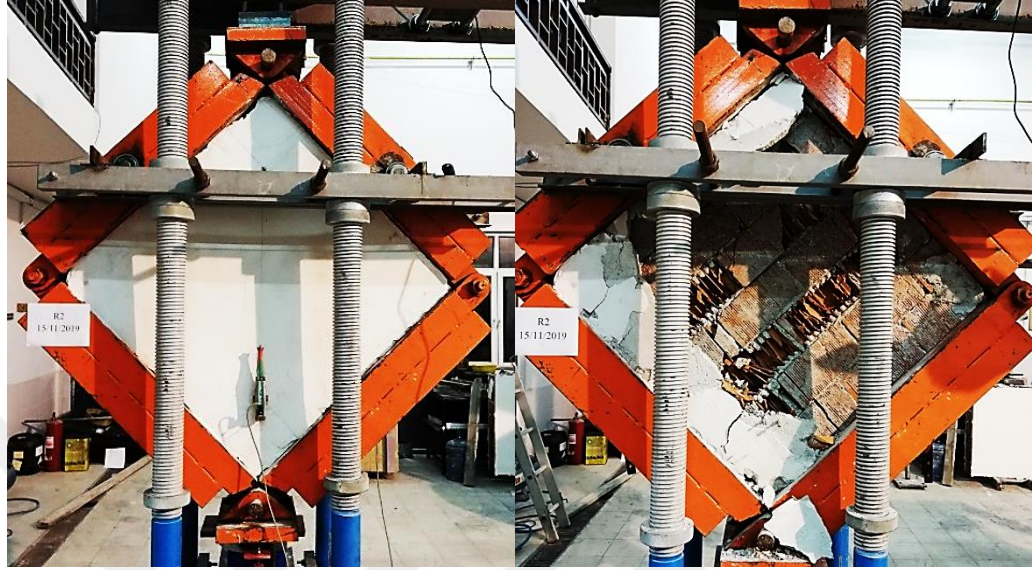
6.1. Referans Eleman Deneyleri

Bu çalışmada, güçlendirilmiş deney elemanlarının performansını karşılaştırmak için bir referans eleman (R) hazırlanmıştır. Referans elemana herhangi bir güçlendirme uygulanmamış, yığma blok tuğla ile örülen duvarın her iki düşey düzlem yüzeyine kaba ve ince sıva uygulanmıştır.

6.1.1. R deney elemanı

Referans elemanın taşıyabildiği maksimum yük 99,85 kN'dir ve bu yükteki deformasyon miktarı 25,9 mm olarak kaydedilmiştir. Deney elemanına etki ettirilen yük ve değişen yük etkisi ile değişen yer değiştirme değerleri Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Ek olarak, referans deney elemanının deney öncesi durumu ve deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 6.1.'de verilmiştir.



Şekil 6.1. R deney elemanının deney öncesi ve deney sonrası görselleri

Deney sırasında gözlemler:

- Deney başladıktan sonra, 60 kN yükte ve 31 mm deplasmanda elemanın ön ve arka yüzeyinde, düşey doğrultuda, alçı sıvada çok ince kılcak çatlaklar gözlemlenmiştir.
- İlk çatlak duvarın yükleme eksenine paralel köşegeninin 20 cm sağında 85 kN yükte ve 36 mm deplasmanda gözlemlenmiştir. Çatlağın açıklığı ise yaklaşık olarak 3 mm civarında ölçülmüştür.
- 86 kN yükte ve 38 mm yer değiştirmede, duvarın alt köşesinde mafsala yakın bölgede alçı sıvada kabarmalar tespit edilmiştir. Yük arttıkça kabarmaların daha belirgin hale geldiği görülmüştür.
- 98 kN yükte ve 38 mm yer değiştirmede, ikinci büyük çatlağın duvarın arka yüzeyinde yükleme eksenine paralel köşegeninin yaklaşık 15 cm sağında meydana gelmiştir. Çatlağın genişliği yaklaşık olarak 3 cm ölçülmüştür. Bu çatlakla beraber tuğlaların kırılma seslerinin duyulduğu ve yük taşıma kapasitesinde bir miktar düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

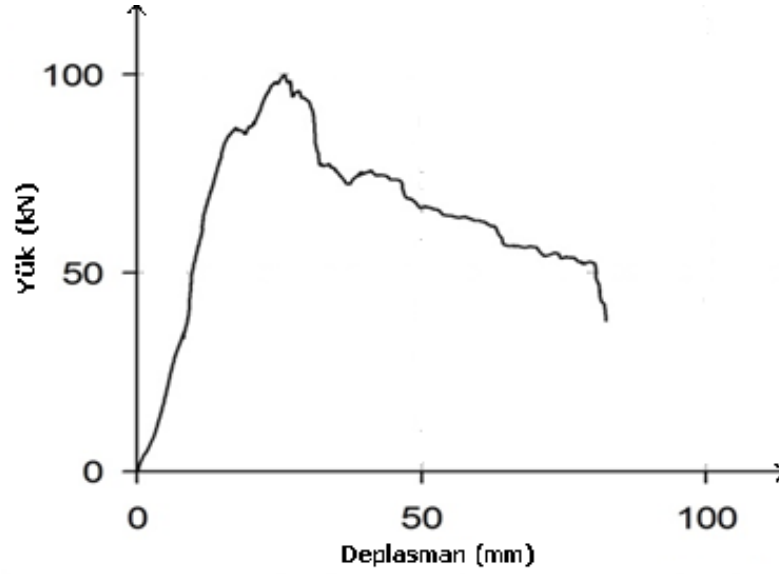
- 98 kN yük ve 45 mm'lik bir deplasmanda düşey doğrultuda alçı sıvanın dökülmeleri tespit edilmiştir.
- Deneyin sonuna doğru, çatlaklar ilerlemeye başlayıp ve kabarmalar daha belirgin hale gelmiştir.
- 49 kN yükte ve 60 mm deplasmanda, duvarın yüklemenin yapıldığı üst köşesinden sıvalarının dökülerek kırıldığı, orta alanda duvarın ciddi şekilde tahrip olduğu görülmüştür.
- 115 kN yükte ve 25 mm yerdeğiştirmede, duvarın dayanımı tamamen kaybolduğu tespit edilip deney sonlandırılmıştır.

R numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Referans deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
6	20	-	-	-	-
50	30	20	20	20	20
86	40	30	30	25	25
92	50	50	45	50	50
75	60	70	65	65	60
66	70	75	73	65	60
63	80	82	82	65	60
56	90	83	82	65	60
47	100	83	83	65	60

Referans deney numunesinin temas yüzeylerin farklı olmasının nedeni, yükleme sırasında deney çerçevenin çok az miktarda merkezden sola kaydığı ve yükün tam mafsallın ortasından diyagonal bir şekilde aktarılmamasından kaynaklanmaktadır. Deney numunesin temas yüzeyleri ortalama %70 (70cm) olduğu görülmüştür. Referans deney numunesinin yük-yerdeğiştirme grafiği Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.

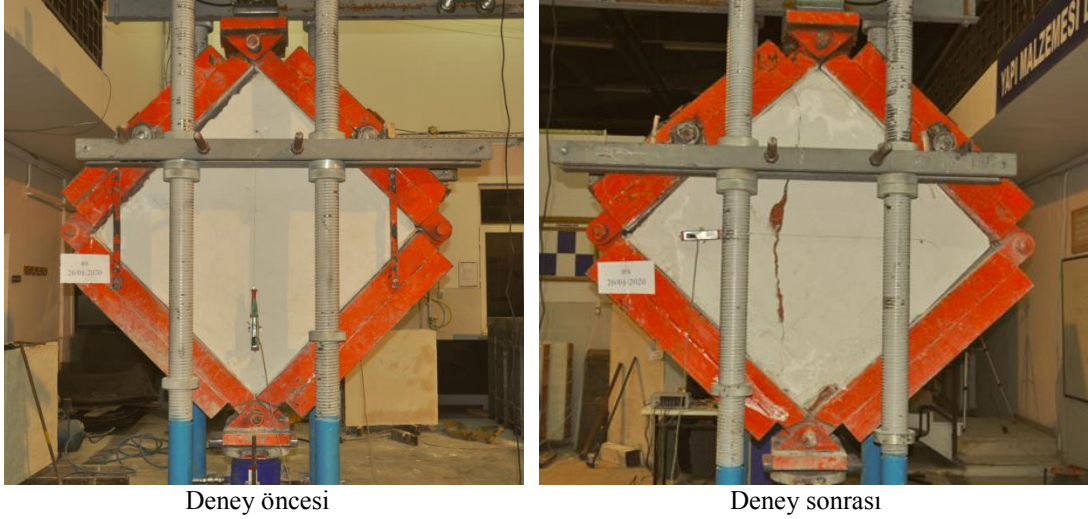


Şekil 6.2. Referans deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği

6.1.2. RS deney elemanı

RS deney elemanı, yığma blok tuğla ile örülen duvar düzlem yüzey alanına püskürtme beton uygulanarak oluşturulmuş ve genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilen duvar numunelerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla deneye tabi tutulmuştur. Bu deney elemanı; yükleme altında düşey gerilme çatlakları meydana gelene kadar lineer bir yük-deplasman değişimi göstermiş ve maksimum yük taşıma kapasitesi 103 kN olarak saptanmıştır. Çatlamalar meydana geldikten sonra duvar çok gevrek bir performans sergileyerek yük taşıma kapasitesinde ani bir düşüş geçekleşmiştir. Böylece duvar taşıyıcı özelliğini kaybedip, bütünlüğünü koruyamadığı için deney sonlandırılmıştır.

Referans numunesinin deney öncesi ve deney sonrası durumu Şekil 6.3.'te verilmiştir.



Şekil 6.3. RS deney elemanın deney öncesi ve deney sonrası görselleri

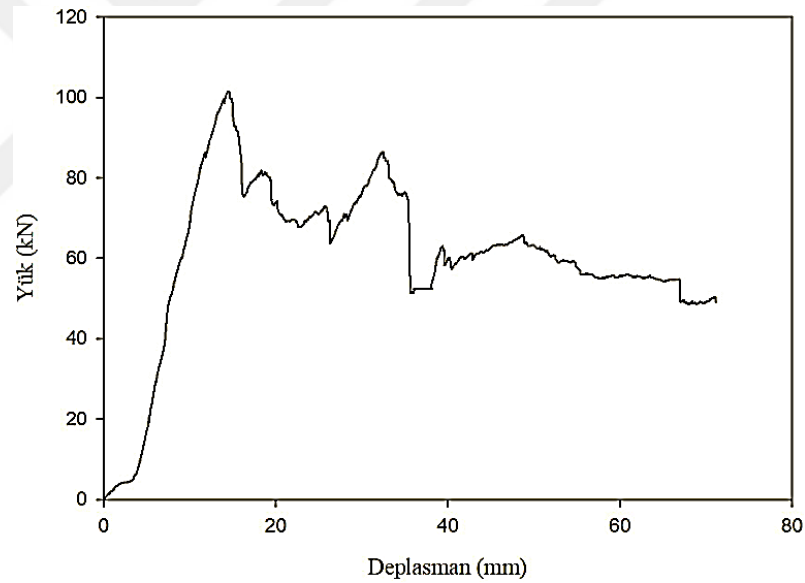
Deney sırasında meydana gelmiş önemli olaylar;

- 103 kN yük ve 14 mm deplasmanda duvar arka yüzeyinde yükleme eksenine paralel düşeye doğrultuda, yükleme ekseninin yaklaşık 30 cm solunda bir çatlak meydana geldiği görülmüş ve akabinde yük taşıma kapasitesinde 3 kN luk yük kaybı gerçekleşmiştir. 15 mm deplasman gerçekleştiğinde ise duvarın arka yüzeyindeki çatlak hızla genişlemeye ve yük taşıma kapasitesi düşmeye başlamıştır. Duvarın ön yüzeyinde ise herhangi bir çatlak veya kırılma görülmemiştir. 16 mm deplasmanda ise yük değeri 75 kN'a kadar düşmüştür. Bu sırada duvardan kırılma ve çatlama sesleri duyulmuştur. Duvar sıkışmasından dolayı tekrar yük almaya başlamış ve 81 kN'e kadar çıkmıştır. Duvar yük taşımaya devam ederken yük kademeli bir şekilde düşüşe geçtiği görülmüştür.
- 70 kN yük 21 mm deplasmanda ön yüzey üst mafsaldan yani yük etki bölgesinden yaklaşık 50 cm aşağıda bir çatlak meydana geldiği görülmüştür. Akabinde 70 kN yük ve 22 mm deplasmanda arka yüzeyde düşey doğrultuda ana eksenin sağında 3 tane kılcal çatlak meydana geldiği gözlenmiştir. Devamında 66 kN yük ve 27 mm deplasmanda ani bir yük kaybı meydana gelmiştir. Bu aşamada arka yüzeyde yerleştirilen 50 mm ölçme potansiyeli olan LVDT, yük eksenine dik yönde, yaklaşık 3 mm uzama kaydetmiştir. Üst

mafsalın solunda ve yaklaşık 40 cm aşağıda yatay şeklinde bir çatlak meydana gelip hızla büyümeye devam ettiği gözlenmiştir.

- 60 kN yük 50 mm deplasmanda arka yüzeydeki çatlak genişliğinin daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Püskürtme beton uygulaması işlemi tabakalar halinde yapıldığı için, 55 kN yük 66 mm deplasmanda ön yüzeyin mafsal bölgesindeki püskürtme betonun tabakaları kabarıp üst tabaka yüzeyden ayrılmıştır. Arka yüzeydeki düşey doğrultuda olan çatlak daha da büyüyüp duvarın yük taşıma kapasitesinin oldukça düşmesine neden olmuştur. Numunenin artık yük taşımadığı gözlemlenerek deneyin sonlandırılmasına karar verilmiştir.

RS deney numunesi yük-yerdeğiştirme grafiği Şekil 6.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. RS deney elemanın yük-deplasman grafiği

RS numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.2.'de verilmiştir.

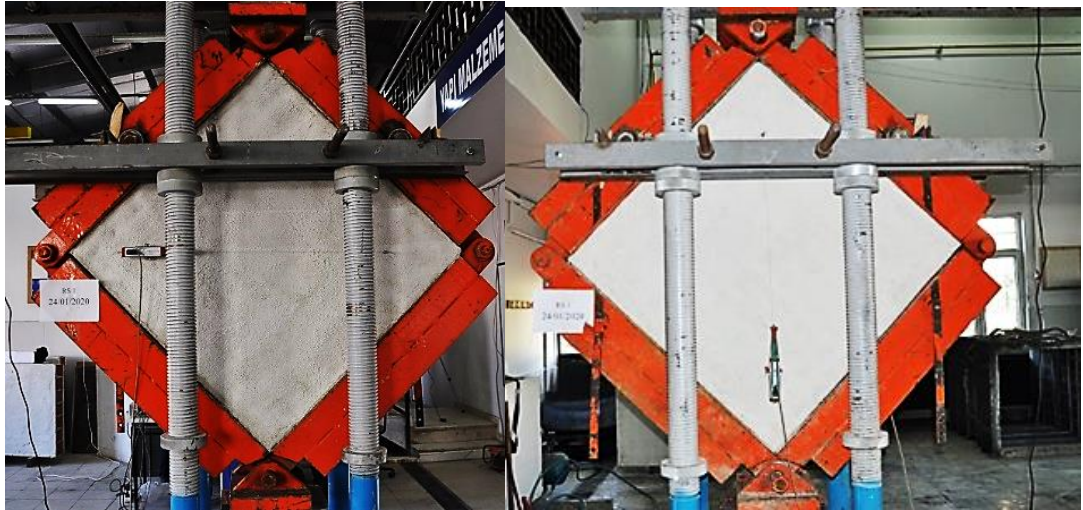
Tablo 6.3. RS deney elemanının yük, deplasman ve temas yüzeyleri

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
70	20	48	40	50	50
60	40	50	60	64	61
56	60	50	60	67	60

6.1.3. RGFR deney elemanı

RGFR referans elemanına genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirme işlemi uygulanmamıştır. Duvarın her iki yüzüne cam lif katkılı püskürtme beton uygulanmıştır. RGFR referans elemanı, diyagonal gerilme çatlakları ortaya çıkıncaya ve ezilmiş köşelerden dolayı sınırlı süneklik ile göçmeye ulaşıncaya kadar doğrusal elastik bir davranış sergilemiştir. Bu deney elemanında, tuğlaların parçalanması nedeniyle yük taşıma kapasitesinde ani düşüşler olmuş fakat lif katkılı püskürtme betonun içindeki cam lifler nedeni ile deney sonuna kadar deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.

Referans elemanın deney öncesi durumu Şekil 6.5.'de ve deney sonundaki hasar durumu Şekil 6.6.'da verilmiştir. Yük yer değiştirme eğrileri Şekil 6.7.'de verilmiştir.



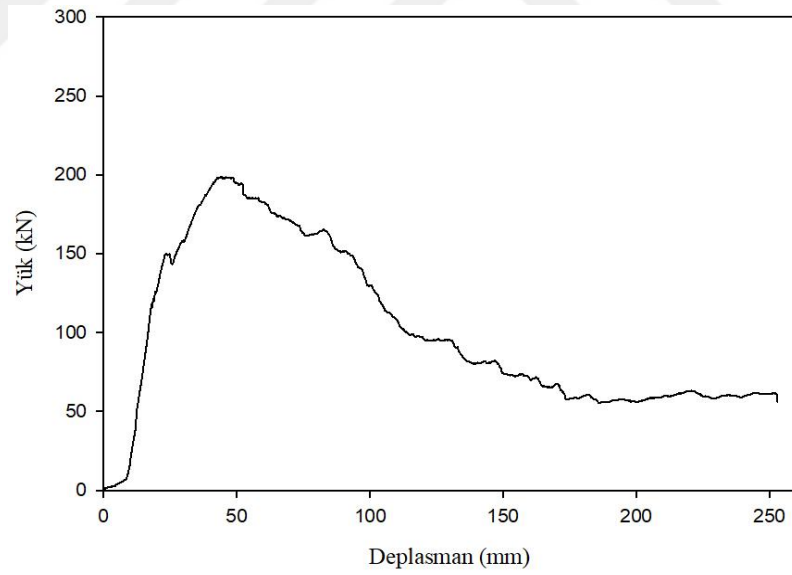
Şekil 6.5. RGFR Deney elemanın deney öncesi durumu

Deney esnasında gözlemler;

- Deneyin başlamasından sonra, 125 kN yük ve 20 mm lik bir yer değiştirme ile yükleme doğrultusunda alt ve üst mafsallarda çok hafif dökümler gözlenmiştir.
- 150 kN yük ve 25 mm yer değiştirme de yaklaşık 5 kN ani bir yük kaybı meydana gelmiştir. Deney esnasında uygulanan yük etkisi ile oluşan deformasyondan kaynaklı olarak deney elemanını oluşturan lifli püskürtme betonun altındaki tuğlalarda sıkışma etkisi ile ezilme ve kırılmalar meydana gelmiştir.
- 165 kN ve 75 mm yer değiştirme de, tuğlalarda kırılma meydana gelmiş ancak püskürtme beton tabakasında yükleme doğrultusunda herhangi bir çatlama, kırılma olmamıştır. Sadece alt ve üst mafsallarda püskürtme beton tabakasında ezilmeler meydana gelmiştir. Deney elemanı kendi bütünlüğünü korumuştur.
- 73 kN yükte ve 147 mm yer değiştirmede, ön yüz üst mafsalda püskürtme kabarmadan dolayı bir çatlak meydana gelmiştir. Üst mafsallarda tuğların kırıldığı, tuğların püskürtme tabakası ile çok güçlü aderans sağladığı için kırılan tuğla parçalarının püskürtme tabakasından ayrılmadığı görülmüştür. Duvarın aderans sağlaması içindeki cam liften dolayı köşelerde ezilmeler meydana gelmesine rağmen bütünlüğünü sağlamıştır.
- 58 kN yükte ve 175 mm yer değiştirmede, ön yüz üst mafsalda püskürtme kabarmadan dolayı kırılmalar meydana gelmiştir. Alt mafsalda ezilme ve dışa doğru kabarma meydana gelmiştir. Arka yüz üst mafsalda ezilme, kabarmadan dolayı yatay ekseninde bir çatlak meydana gelmiştir. Arka yüz alt mafsalda ezilme ve kabarmadan dolayı dışa doğru taşma gözlenmiştir. Tuğlalar kırıldığı halde püskürtme beton tabaka yüzeyinde herhangi bir hasar gözlenmemiştir. Cam lif katkılı püskürtme beton kendi bütünlüğünü korumuştur.
- Deney elemanı herhangi bir ani yük kaybı yapmamıştır ve duvarın püskürtme beton ile aderasından dolayı tam ekseninden simetrik bir şekilde ayrıldığı gözlemlendiği için deneye son verilmiştir. Referans elemanının deney sonlandırıldığı anda 60 kN yüke ve 240 mm yer değiştirmeye ulaştığı saptanmıştır.



Şekil 6.6. RGFR elemanın deney sonrası hasar durumu



Şekil 6.7. RGFR elemanın yük-yerdeğiştirme grafiği

RS numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.3.'de verilmiştir.

Tablo 6.4. RGFR deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi

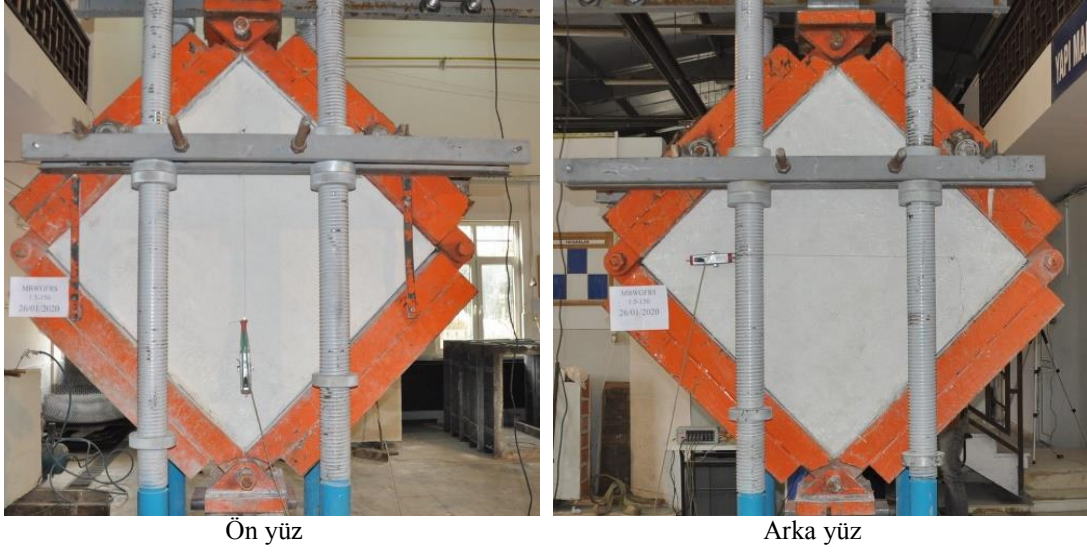
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
125	20	-	20	20	-
196	40	-	39	39	-
182	60	60	45	45	-
164	80	66	57	56	-
129	100	70	60	62	-
95	120	75	62	63	-
80	140	76	60	65	-
60	160	76	60	66	-
57	180	76	60	66	-
56	200	76	60	66	-
61	220	76	60	66	-
60	240	76	60	66	-

6.2. Tuğla Duvar Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Levha ve Cam Lif Katkılı Püskürtme Beton ile Güçlendirilmiş Duvar Deneyleri

Bu bölümde, deneyden öncesinde ve sonunda, tuğla duvar üzerine uygulanan genişletilmiş çelik levhalar ve lif katkılı püskürtme beton ile güçlendirilmiş deney elemanlarının yük-yer değiştirme eğrileri verilmiştir. Ek olarak, deney sırasında gözlenen önemli olaylar incelenmiştir.

6.2.1. MBWGFR 1.5 mm -150 mm deney elemanı

MBWGFR 1.5mm-150mm deney elemanı, her iki taraftan 1.5 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha 30 mm cam lif katkılı püskürtme uygulanması ile güçlendirilmiş bir deney elemanıdır. Genişletilmiş çelik levhalar (Tie-Rot mili -Tij-Ankraj bulonu) M6 bulonlarla sabitlenmiştir. Bulonlar arasındaki mesafe 150 mm'dir. MBWGFR 1.5mm-150mm deneme elemanın deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri sırasıyla Şekil 6.4. ve Şekil6.5.'de verilmiştir.



Şekil 6.8. MBWGFR 1.5mm.-150mm elemanın deney öncesi durumu

Deney esnasında gözlemler:

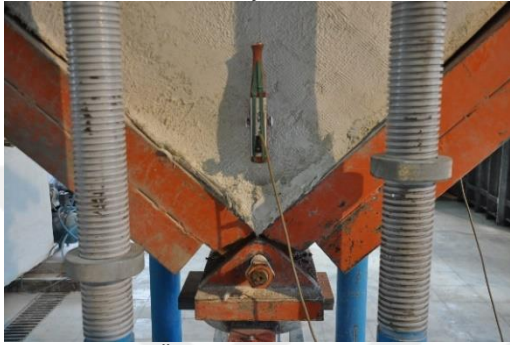
- Deneyin başlamasından sonra, 120 kN yük ve 15 mm'lik bir yer değiştirme ile arka ve ön yüzde, alt ve üst mafsalda herhangi bir ezilme gözlenmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü kurumaktadır.
- 162 kN yük ve 22 mm yer değiştirmede ön yüz alt mafsalda sıkışmadan dolayı ezilmeler meydana gelmiştir, üst mafsalda da sıkışmadan dolayı yaklaşık 3 cm yatay bir şekilde kırılma gözlenmiştir. Arka yüzeyde alt ve üst mafsalda püskürtme tabakası ezilmeden dolayı kabarmalar gözlenmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü kurumaktadır.
- 150kN ve 123.mm yer değiştirmesinde, ön yüzey ve arka yüzeyde herhangi bir çatlama, kopma, kayma, gözlenmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü kurumaktadır



Ön yüz



Ön yüz üst mafsalsal



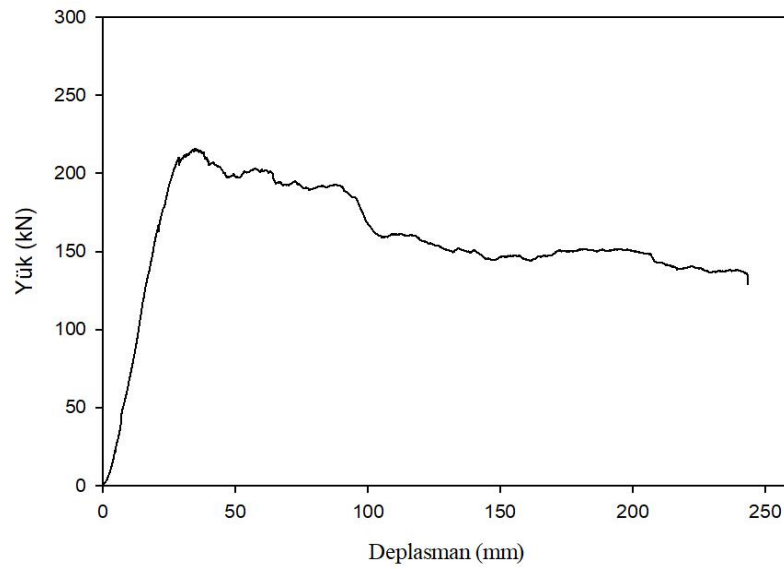
Ön yüz alt mafsalsal



Arka yüz üst mafsalsal

Şekil 6.9. MBWGFR 1.5mm-150mm elemanın deneyden sonra hasar durumu

Deney elemanı tarafından azami taşınan yük ve azami yer değıştirmesi Şekil 6.6.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.10. MBWGFR 1.5mm-150mm elemanın yük-yerdeğıştirme grafiğı

MBWGFR 1.5mm-150mm deneme elemanın taşıyabildiği maksimum yük 218 kN olarak ölçülmüştür. Deformasyon miktarı 35 mm, yük hız % 50 olarak kaydedilmiştir. MBWGFR 1.5 mm–150 mm elemanının deneyi 140 kN yüke ve 240 mm yer değiştirmeye ulaştığında durdurulmuştur.

MBWGFR 1.5mm-150mm numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.4.'de verilmiştir.

Tablo 6.5. MBWGFR 1.5mm-150mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
162	20	29	29	29	29
208	40	34	39	39	35
204	60	44	43	44	43
193	80	56	46	56	47
169	100	57	47	57	47
157	120	57	46	48	58
153	140	58	48	48	58
146	160	56	48	46	57
153	180	57	48	48	57
151	200	57	48	48	57
144	220	58	50	48	58
140	240	59	50	48	59

6.2.2. MBWGFR.2.0mm-150mm deney elemanı

MBWGFR 2.0mm-150mm deney elemanı, her iki taraftan 1.5 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha 30 mm cam lif katkılı püskürtme uygulanması ile güçlendirilmiştir. Genişletilmiş çelik levhalar (Tie-Rot mili -Tij-Ankraj bulonu) M6 bulonlarla sabitlenmiştir. Bulonlar arasındaki mesafe 150 mm'dir. MBWGFR 2.0mm-150mm deney elemanının deney öncesi durumu ve deney sonunda oluşan hasar durumları sırasıyla Şekil 6.7. ve Şekil 6.8.'de verilmiştir.



Şekil 6.11. MBWGFR 2.0mm-150mm elemanın deney öncesi durumu

Deney esnasında gözlemler:

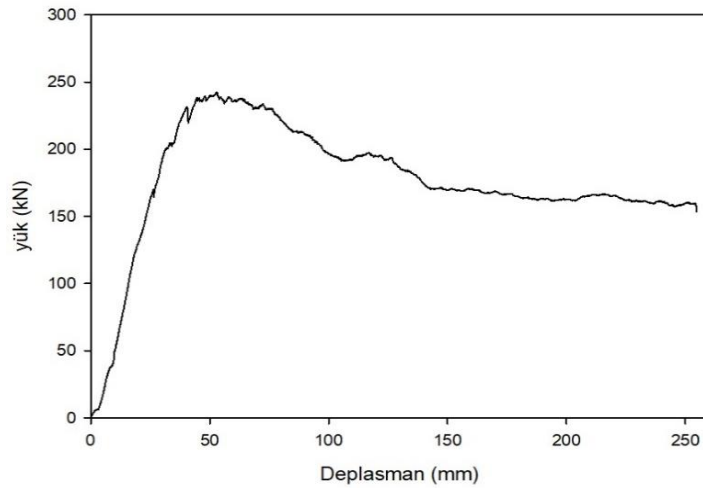
- Deneyin başlamasından sonra, 127 kN yük ve 20 mm'lik bir yer değiştirme ile arka ve ön yüzde, alt ve üst mafsalda herhangi bir ezilme gözlenmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 238 kN yük ve 53 mm yer değiştirmede ön yüz alt ve üst mafsalda ezilmeden dolayı kabarmalar meydana gelmiştir. Arka yüz alt mafsalda ezilme meydana gelmiştir ve üst mafsalda 1.5 cm ezilmeden dolayı kırılma gözlenmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü kurumaktadır.
- 236 kN ve 60 mm yerdeğiştirmesinde, temas yüzeyi 40 – 40 eşit bir şekilde gelmesi gözlenmiştir.
- 184 kN yükte ve 138 mm yerdeğiştirmede, ön yüz alt mafsalda ezilmeden dolayı püskürtme beton tabakasının güçlendirme levhasından 2 cm ayrıldığı gözlenmiştir. Arka yüz alt ve üst mafsalda ezilmeden dolayı kabarmalar meydana gelmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 165 kN yükte ve 205 mm yer değiştirmede, deney elemanının orta kısmında herhangi bir çatlama gözlenmemiştir. Cam lif katkılı püskürtme beton ile ankraj bulonlarının ve genişletilmiş çelik levhanın çok iyi aderans sağladığı gözlenmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.

MBWGFR 2.0 mm – 150 mm elemanın deneyi 160 kN yüke ve 140 mm yer değiştirmeye ulaştığında durdurulmuştur.



Şekil 6.12. MBWGFR 2.0mm-150mm elemanın deney sonrası hasar durumu

Deney elemanı tarafından azami taşınan yük ve azami yer değiştirmesi Şekil 6.15.’de gösterilmiştir.



Şekil 6.13. MBWGFR 2.0mm-150mm deney elemanın yük-yerdeğiştirme grafiği

MBWGFR 2.0mm-150mm deney numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.5.'de verilmiştir

Tablo 6.6. MBWGFR 2.0mm-150mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
127	20	35	32	20	35
229	40	38	30	31	38
236	60	40	40	40	40
221	80	50	43	41	50
196	100	55	44	45	55
195	120	56	47	49	59
173	140	57	49	50	57
169	160	58	49	50	58
164	180	56	49	50	56
162	200	55	50	50	55
165	220	55	49	50	56
160	240	55	49	50	56

6.2.3. MBWGFR.2.0 mm -200 mm deney elemanı

MBWGFR 2.0mm-200mm deney elemanı, her iki taraftan 2.0 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha 30 mm cam lif katkılı püskürtme beton uygulanması ile güçlendirilmiş bir deney elemanıdır. Genişletilmiş Çelik Levhalar (Tie-Rot mili -Tij-Ankraj bulonu) M6 bulonlarla sabitlenmiştir. Bulonlar arasındaki mesafe 200 mm'dir MBWGFR 2.0mm-200mm deney elemanının deney öncesi durumu ve deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 6.16. ve Şekil 6.17.'de verilmiştir.



Şekil 6.14. MBWGFR 2.0mm-200mm elemanın deney öncesi durumu

Deney esnasında gözlemler:

- Deneyin başlamasından sonra, 117 kN yük ve 20 mm'lik bir yer değiştirme ile arka ve ön yüzde, alt ve üst mafsalda herhangi bir ezilme gözlenmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 180 kN yük ve 28 mm yerdeğiştirmede ön yüz alt mafsalda ezilmeler meydana gelmiştir. Deney elemanında arka ve ön yüzeyinde herhangi bir çatlak gözlenmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 249 kN ve 55 mm yer değiştirmesinde, ön yüz alt mafsalda sıkışmadan dolayı püskürtme beton tabakasında dışarıya taşıma gözlenmiştir. Üst mafsalda ise ezilmeden dolayı kabarma meydana gelmiştir. Arka yüzeyde alt mafsalda çok hafif ezilmeler meydana gelirken, üst mafsalda ezilmeden dolayı yatay bir şekilde kırılma meydana gelmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 254 kN yükte ve 65 mm yer değiştirmede, arka yüzeyde üst mafsalda yaklaşık 5 cm kırılma meydana gelmiştir. Püskürtme beton tabakasının çelik levhadan ayrıldığı gözlenmiştir. Üst mafsalda çelik levhanın sıkışmadan dolayı büküldüğü ve buruştuğu gözlenmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 152 kN yükte ve 191 mm yerdeğiştirmede, ön yüz alt mafsalda ezilmeden dolayı püskürtme beton tabakasında deney düzleminden dışa doğru kabarma meydana gelmiştir. Arka yüzeyde püskürtme betonda herhangi bir çatlama

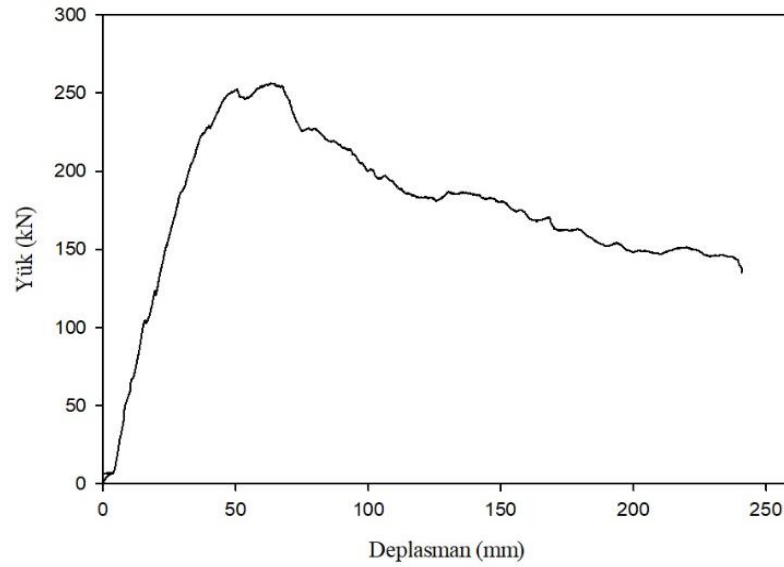
oluşmazken her iki mafsalsal bölgesinde aderans kaybı ve kabarma gözlenmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.

MBWGFR 2.0mm-200 mm elemanı 140 kN yük ve 240 mm yer değiştirmeye ulaştığında deney durdurulmuştur. MBWGFR 2.0mm-200mm deneme elemanın taşıyabildiği maksimum yük 255 kN ve maksimum deformasyon miktarı 60 mm olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.15. MBWGFR 2.0mm-200mm elemanın deneyden sonra hasar durumu

Deney elemanı tarafından azami taşınan yük ve azami yer değiştirmesi Şekil 6.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.16. MBWGFR 2.0mm-200mm deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği

MBWGFR 2.0mm-200mm numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.6.'da verilmiştir.

Tablo 6.7. MBWGFR 2.0mm-200mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
117	20	50	21	23	50
228	40	50	31	31	53
255	60	50	32	34	50
226	80	50	40	40	50
200	100	50	46	40	50
183	120	50	46	46	50
184	140	49	46	45	49
169	160	47	46	46	47
162	180	48	48	48	48
148	200	48	49	48	49
151	220	48	50	50	49
140	240	50	50	50	49

6.2.4. MBWGFR 3.0mm-1.50mm deney elemanı

MBWGFR 3.0mm-150mm deney elemanı, her iki taraftan 1.5 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha ve 30 mm cam lif katkılu püskürtme beton ile güçlendirilmiştir. Genişletilmiş çelik levhalar (Tie-Rot mili -Tij-Ankraj bulonu) M6 bulonlarla sabitlenmiştir. Bulonlar arasındaki mesafe 150 mm olarak belirlenmiştir.

MBWGFR 3.0mm-150mm deney elemanının deney öncesi durumu Şekil 6.19.'da verilmiştir.



Şekil 6.17. MBWGFR 3.0mm.-150mm elemanın deney öncesi

Deney esnasında gözlemler:

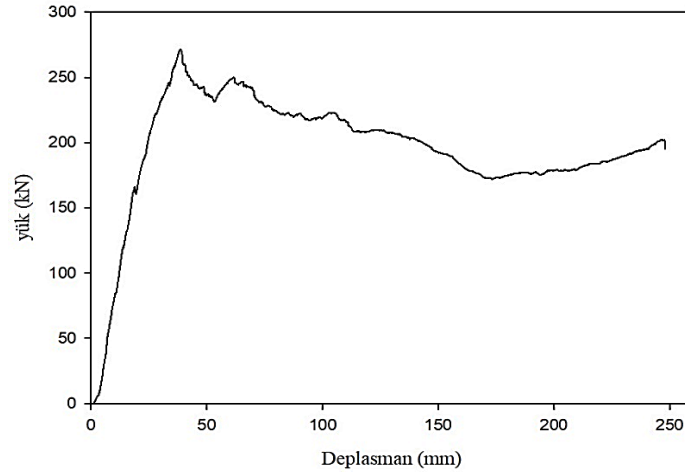
- Deneyin başlamasından sonra, 160 kN yük ve 20 mm'lik bir yer değiştirme ile arka ve ön yüzde, alt ve üst mafsalda herhangi bir ezilme gözlenmemiştir.
- 190 kN yük ve 23 mm yer değiştirmede ön ve arka yüzeylerde üst ve alt mafsalda çok hafif ezilmeler meydana gelmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 260 kN ve 40 mm yer değiştirmede, ön ve arka yüzeyde alt ve üst mafsalda ezilmelerden meydana gelmiş ve durum ani bir yük kaybına neden olmuştur. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 219 kN ve 100 mm yerdeğiştirmede, temas yüzeyi tüm bölgelerde 30cm olarak ölçülmüştür.
- 222kN yük ve 103 mm yerdeğiştirmede, ön yüz üst mafsalda ezilmeden dolayı püskürtme beton tabakasında 2 cm kırılma gözlenmiştir. Deney elemanın orta kısmında herhangi çatlak gözlenmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.
- 202kN yük ve 140 mm yerdeğiştirmede arka yüzey üst mafsalda ezilmeden dolayı blok halinde püskürtme beton tabakasının duvardan ayrıldığı gözlenmiştir. Deney elemanı bütünlüğünü korumuştur.

MBWGFR 3.0 mm–150 mm elemanı 195 kN yüke ve 140 mm yerdeğiştirmeye ulaştığında deney durdurulmuştur. Deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 6.20.'de verilmiştir.

MBWGFR 3.0mm-150mm deney elemanın taşıyabildiği maksimum yük 270 kN'dur ve deformasyon miktarı 50 mm olarak kaydedilmiştir. Deney elemanının yük yer değiştirme grafiği Şekilde 6.21.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.18. MBWGFR 3.0mm-150mm elemanın deney sonrası hasar durumu



Şekil 6.19. MBWGFR 3.0mm-150mm elemanın yük-yerdeğiştirme grafiği

MBWGFR 3.0mm-150mm numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.7.'de verilmiştir

Tablo 6.8. MBWGFR 3.0mm-150mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
160	20	25	29	30	25
260	40	25	30	30	25
248	60	30	31	31	31
224	80	30	31	31	31
219	100	30	30	31	31
208	120	34	30	31	33
202	140	38	33	33	38
182	160	39	39	38	39
176	180	40	38	39	43
178	200	42	39	39	43
185	220	43	39	39	43
195	240	43	39	39	43

6.2.5. MBWGFR 3.0mm-400mm deney elemanı

MBWGFR 3.0mm-400mm deney elemanı, her iki taraftan 3.0 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha 30 mm cam lif katkılı püskürtme uygulanması ile güçlendirilmiş bir deney elemanıdır. Genişletilmiş Çelik Levha (Tie-Rot mili -Tij-Ankraj bulonu) M6 bulonlarla sabitlenmiştir. Bulonlar arasındaki mesafe 400 mm olarak tasarlanmıştır. MBWGFR 3.0mm-400mm deney elemanının deney öncesi durumu Şekil 6.22.'de verilmiştir.



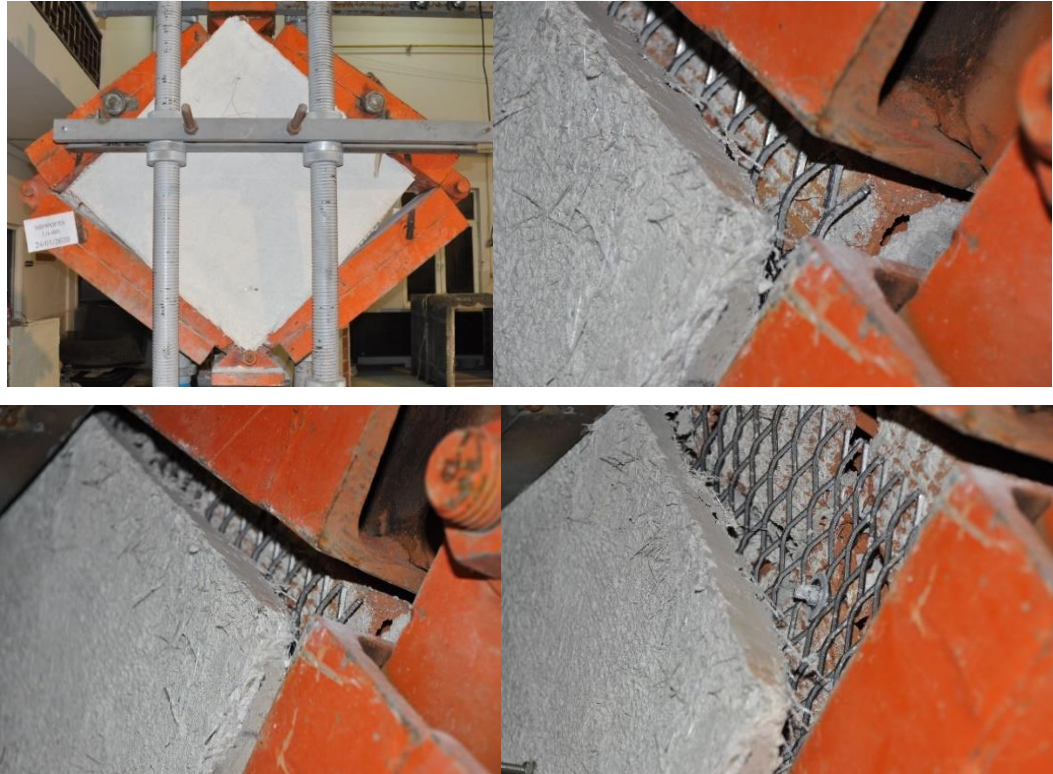
Şekil 6.20. MBWGFR 3.0mm-400mm elemanın deney öncesi durumu

Deney esnasında gözlemler:

- Deneyin başlamasından sonra, 105 kN yük ve 20 mm lik bir yer değiştirme ile yük yönünde alt ve üst mafsalda çok hafif dökülmeler gözlenmiştir.
- 144 kN yük ve 30 mm yer değiştirme ile yaklaşık 10 kN bir yük kaybı meydana gelmiştir. Bu ani yük kaybı nedeni ise tuğla kırılma ve deformasyondan kaynaklı olduğu düşünülür. Deney elemanın ön, arka, yüz alt ve üst mafsalda herhangi bir çatlama kabarma gözlenmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü kurumuştur.
- 180 kN ve 50 mm yer değiştirmesinde, deney elemanın ön yüz ve arka alt mafsalda püskürtme betonda ezilmeden dolayı hafif kabarma meydana gelmiştir. Arka yüz ve ön üst mafsalda herhangi bir ezilme meydana gelmemiştir. Deney elemanı bütünlüğünü kurumaya devam etmiştir.
- 170 kN yükte ve 64 mm yerdeğiştirmede, arka yüzdeki sağ mafsala cam lif katkılı püskürtme tabakası ve genişletilmiş çelik levha arasında yeterli aderans sağlamadığı için biraz kabarma meydana gelmiştir.
- 120 kN yükte ve 85 mm yerdeğiştirmede, arka, ön yüz püskürtme tabakası genişletilmiş çelik levhadan ayrılması gözlenmiştir, yani aderans sağlamadığını söylenebilir. Ön ve arka yüzeyde orta kısmında herhangi bir çatlama kabarma gözlenmemiştir. Deney elemanı kendi bütünlüğünü kurumaktadır.

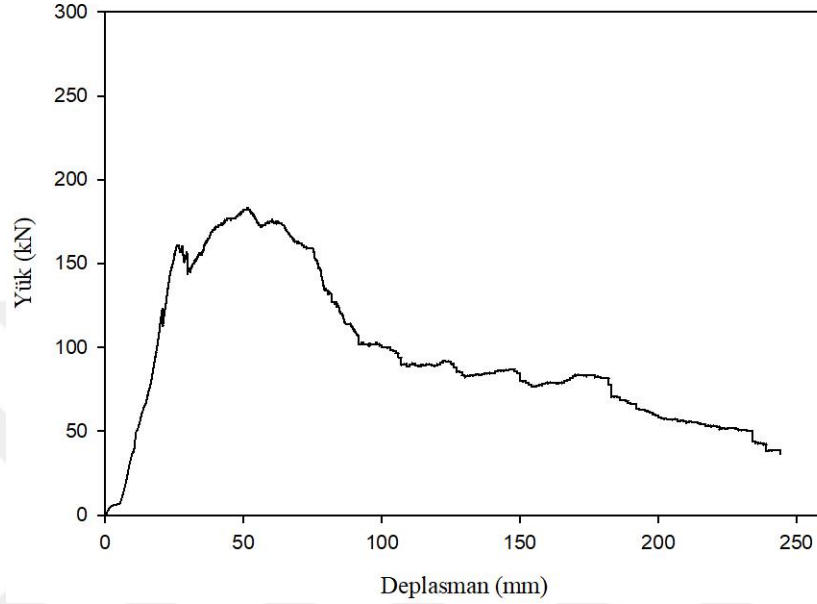
- 102 kN yükte ve 95 mm yer değiştirmede püskürtme tabakası duvardan sıyrıldığı için ani bir yük kaybı meydana gelmiştir. Bu ani yük kaybı nedeni ise duvar ve püskürtme tabakası arasında aderans sağlamadığı için meydana gelmiştir. Ön yüz üst mafsalda ezilme, kabarma ve arka yüz alt mafsalda ezilme, kabarma gözlenmiştir. Deney elemanı kendi bütünlüğünü kurumaktadır.
- 84 kN yükte ve 140 mm yer değiştirmede, ön ve arka kısmında alt ve üst mafsalda ezilmeden dolayı kabarmalar meydana gelmiştir. Püskürtme tabakası levhada aderans sağlamadığı için ön ve arka püskürtme tabakası ayrılmıştır. Bu sebeple deney elemanı kendi bütünlüğünü kuramamıştır.

MBWGFR 3.0 mm – 400 mm elemanı 38 kN yüke ve 240 mm yer değiştirmeye ulaştığında durdurulmuştur. Deney elemanının deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 6.23.'de verilmiştir.



Şekil 6.21. MBWGFR 3.0mm-400mm elemanın deney sonrası hasar durumu

MBWGFR 3.0mm-400mm deneme elemanın taşıyabildiği maksimum yük 180 kN'dur ve deformasyon miktarı 50 mm, yükleme hızı % 50 olarak kaydedilmiştir. Deney elemanı tarafından taşınan azami yük, ve azami yer değiştirmesi Şekil 6.24.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.22. MBWGFR 3.0mm-400mm elemanın yük-yerdeğiştirme grafiği

MBWGFR 3.0mm-400mm numunesine ait yük, deplasman ve duvar ile betonarme elemanları simüle eden çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi uzunlukları Tablo 6.8.'de verilmiştir

Tablo 6.9. MBWGFR 3.0mm-400mm deney elemanın yük, deplasman ve temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (%)	Ön sağ (%)	Arka sol (%)	Arka sağ (%)
105	20	29	30	30	30
171	40	37	40	50	40
174	60	48	58	61	48
134	80	51	61	63	54
101	100	55	52	64	61
89	120	58	59	62	59
84	140	60	60	65	75
78	160	75	65	65	79
81	180	77	56	67	79
54	200	80	60	70	80
52	220	80	60	70	80
38	240	80	60	70	80

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde, deneylerden elde edilen veriler mukavemet, süneklik, rijitlik, göreceli yer değiştirme oranları, ve enerji dönüşüm kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Güçlendirilmiş her deney elemanının yük-deplasman eğrisi referans elemanın yük-deplasman eğrisi ile karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir. Analizlerde referans elemanlar ve güçlendirilmiş elemanlar arasındaki temel davranış farklılıkları incelenmiştir.

7.1. Taşıma Kapasitesi Analizi

Referans elemanların diyagonal yük altında akmanın başladığı andaki taşıma gücü, maksimum taşıma gücü, son deplasmandaki taşıma gücü ve göreceli taşıma gücü oranları Tablo 7.1.'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Referans deney elemanların deneysel taşıma güçleri ve göreceli taşıma gücü oranları

Numune	P_y (kN)	P_{max} (kN)	P_f (kN)	Taşıma gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı
R	86	98	38	62	-
RS	105	105	55	80	1.3
RGFR	150	205	60	105	1.7

P_y : akma anındaki taşıma gücünü

P_{max} : maksimum taşıma gücünü

P_f : son deplasman anındaki taşıma gücünü

Tablo.7.1.'deki referans deney elemanlarının taşıma gücü değerleri göreceli olarak karşılaştırıldığında püskürtme beton uygulanan duvarın sadece sıva kaplı duvara oranla %10 daha fazla taşıma gücüne sahip olduğu görülür. Bununla birlikte lif katkılı püskürtme beton uygulanan duvarın sadece sıva kaplı duvara oranla, taşıma gücünün %80 lik bir artış göstermiş olduğu görülür. RGFR referans numunesinin RS referans numunesine oranla %60 oranında daha fazla taşıma gücüne sahip olması, diğer deney

elemanlarının lif katkılı püskürtme beton uygulanarak üretilmesinin temel dayanak noktası olmuştur.

Diyagonal yük altındaki deney elemanlarının akmanın başladığı andaki taşıma gücü, maksimum taşıma gücü, son deplasmandaki taşıma gücü oranları Tablo 7.2.'de verilmiştir. Ayrıca deney elemanlarının RGFR referans elemanına oranla, göreceli taşıma gücü oranları da aynı tabloda sunulmuştur.

Tablo 7.2. Deney elemanların deneysel taşıma güçleri ve göreceli taşıma gücü oranları

Numune	Py (kN)	Pmax (kN)	Pf (kN)	Taşıma gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı
RGFR(Referans)	198	198	60	97	-
MBWGFR 2.0-200	230	256	140	180	1.85
MBWGFR 1.5-150	208	216	140	168	1.73
MBWGFR 2.0-150	230	241	160	186	1.91
MBWGFR 3.0-150	250	271	195	205	2.11
MBWGFR 3.0-400	165	183	38	61	0.62

MBWGFR 3.0-150 deney numunesinin taşıma gücü, RGFR referans numunesinin taşıma gücü ile karşılaştırıldığında göreceli taşıma gücünün referans numuneye oranla taşıma gücü değeri 2.11 kat artış göstermiştir. Sabit bulon aralığı ile levha kalınlığı arttıkça taşıma gücü değerinin göreceli olarak arttığı görülmekle beraber, levha kalınlığı sabit tutulup bulon aralığı arttırılarak oluşturulan numunelerde taşıma gücü düşüş göstermiştir. Bu durum Tablo 7.3.'te aynı levha kalınlığında değişen bulon aralığı ile oluşturulmuş deney elemanlarının taşıma güçlerindeki göreceli değişim oranları ile açıklanmıştır.

Tablo 7.3. Bulon aralığındaki değişimin taşıma gücündeki değişime etki oranları

Numune	Py (kN)	Pmax (kN)	Pf (kN)	Taşıma gücü (kN)	Bulon Aralığındaki Göreceli Artış Oranı	Göreceli Taşıma Gücü Oranı
MBWGFR 2.0-150	230	241	160	186	-	-
MBWGFR 2.0-200	230	256	140	180	1,33	0,97
MBWGFR 3.0-150	250	271	195	205	-	-
MBWGFR 3.0-400	165	183	38	61	2,67	0,30

MBWGFR 3.0-400 deney elemanının taşıma gücü, gerek referans numunesine gerekse güçlendirilmiş diğer deney numunelere oranla ciddi bir düşüş göstermiştir. Bu durum güçlendirme yönteminde bulon aralığının da etkin bir rol oynadığının göstergesidir.

7.2. Rijitlik

Bir yapı veya yapı elemanının, kuvvet etkisi altında meydana gelebilecek kalıcı şekil değiştirme zorlamasına karşı sergileyeceği fiziki direnç rijitlik olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada uygulanan güçlendirme ile düşey delikli tuğla duvarların kalıcı şekil değiştirme direnci ve böylece yapının genel yatay öteleme rijitliğini artırma amaçlanmıştır. Bu artış, yapının yatay deplasman değerlerini azaltacaktır.

Deney numunelerinin başlangıçtaki rijitlikleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Buradaki terimler;

α :Deney elemanlarının başlangıç rijitliği

δ_i : Rijitlik doğrusunun başlangıç yerdeğiştirme değeri

δ_y : Akma andaki yerdeğiştirme değeri

δ_t : Deney elemanının ilk tepe noktasındaki yerdeğiştirme değeri

δ_0 : Deney elemanının maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki yerdeğiştirme değeri

δ_f : Maksimum yerdeğiştirme değeri

P_y : Akmanın başladığı andaki taşıma gücü

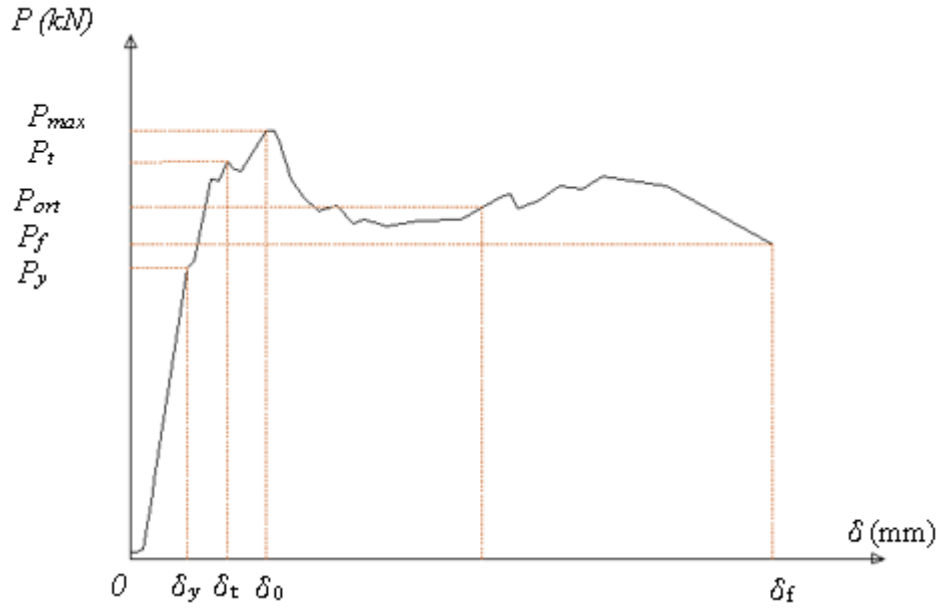
P_t : Kuvvet-deplasman eğrisinin ilk tepe noktasındaki taşıma gücü

P_{max} : Maksimum taşıma gücü

P_{ort} :Deneyin ortalama taşıma gücü

P_f : Son yerdeğiştirme anındaki taşıma gücü değeri

tanımlanmaktadır. Şekil 7.1.'de örnek bir grafik üzerinde bu değerlerin yaklaşık olarak yük-deplasman eğrisi üzerinde nereye tekabül ettiği gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Deney elemanların taşıma gücü, rijitlik, enerji sönümleme kapasiteleri hesabında kullanılan yük ve deplasman terimleri

Çalışmada deney numunelerin başlangıç rijitlikleri, akmaya başladığı andaki yükün, akma anındaki köşegenel kısalmaya oranı ile hesaplanmıştır. Akma yükü, yük-yerdeğiştirme grafiğinde, eğrinin lineer değişim gösterdiği, elastik bölgenin sonlandığı yük değerine karşılık gelir ve levhalarda akmanın başlamasına bağlı olarak yükte aniden hafif bir azalma gerçekleşir. Referans deney numunesinde ise akma oluşmadığı için bu numunenin başlangıç rijitlik değeri yük-yerdeğiştirme grafiğinin başlangıç doğrusal eğiminden hesaplanmıştır. Tablo 7.4.'de verilen akma deformasyonu $\delta\bar{y}$ Denklem 7.1 ile, başlangıç rijitliği Denklem 7.2. ile hesaplanmıştır.

$$\delta\bar{y} = \delta_y - \delta_i \quad (7.1)$$

Başlangıç rijitliği ;

$$\tan \alpha = P_y / \delta\bar{y} \quad (7.2)$$

Tablo 7.4.'de deney elemanlarının akma yükü ve akmanın başladığı andaki deplasman değerleri, rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değerleri, akma deformasyon değerleri ($\delta\bar{y}$), ve göreceli rijitlik oranları hesaplanmıştır.

Tablo 7.4. Deney numunelerin rijitlikleri ve göreceli rijitlik oranları

Numune	P_y (kN)	δ_y (mm)	δ_i (mm)	δ_y^- (mm)	Rijitlik (kN/mm)	Göreceli Rijitlik Oranı
RGFR	198	43	5	38	5.2	-
MBWGFR 2.0-200	238	45	5	40	6.0	1.1
MBWGFR 1.5-150	208	35	1	34	6.1	1.2
MBWGFR 2.0-150	230	40	4	36	6.4	1.3
MBWGFR 3.0-150	250	40	5	35	7.2	1.4
MBWGFR 3.0-400	165	33	3	30	5.5	1.0

Tablo 7.4.'de güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlik değerlerinin, referans deney elemanın rijitlik değerine oranı göreceli rijitliği ifade etmektedir. Göreceli rijitlik değerlerinin, levha kalınlığı büyüdükçe arttığı görülmektedir. Levha kalınlığı sabit tutularak ile değiştirilen bulon aralığı ile güçlendirilen deney elemanlarında, bulon aralığının artması ile rijitliğin azalımı ter orantılı olarak değişim göstermektedir. Ancak bulon aralığının 1.33 kat artırılması rijitlik değerinin 0.07 gibi küçük bir oranda değişimine neden olmaktadır (Tablo 7.5.).

Tablo 7.5. Bulon aralığındaki değişimin rijitliğe etkisi

Numune	P_y (kN)	δ_y (mm)	δ_i (mm)	δ_y^- (mm)	Rijitlik (kN/mm)	Göreceli Rijitlik Oranı
MBWGFR 2.0-150	230	40	4	36	6.4	-
MBWGFR 2.0-200	238	45	5	40	6.0	0.93
MBWGFR 3.0-150	250	40	5	35	7.2	-
MBWGFR 3.0-400	165	33	3	30	5.5	0.76

7.3. Süneklik

Yapı ve yapı elemanlarının, mukavemetinde önemli kayıplar ve kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirme ve elastik olmayan davranışla enerji yutma yeteneğine süneklik denir[41]. Elemanın dayanımının %15 değer kaybettiği andaki deformasyon değerinin akmanın başladığı andaki deformasyon değerine oranı ise süneklik oranı olarak adlandırılmaktadır. Yapıların deprem gibi büyük dinamik yükler altında yeterince sünek davranması, yapıların aniden çökmesini önleyerek boşaltılması için yeterli zamana sahip olması açısından çok önemlidir. Bu nedenle, yapıların güçlendirme çalışmalarında, maksimum dayanımın yanı sıra istenilen düzeyde sünek davranmalarının da sağlanması amaçlanmaktadır

Enerji sönümleme kapasitesi, bir elemanın deformasyon kapasitesinin bir göstergesidir. Bununla birlikte, eleman plastik deformasyona maruz kalırken yük taşıma kapasitesinin büyük bir kısmını koruma yeteneği hakkında net bir fikir vermez. Süneklik oranı ile, yapısal elemanların aşırı deformasyonlarda majör yüklere karşı dayanma yeteneğini değerlendirmek gerekir.

Yapılan çalışmada, deney elemanlarının süneklik oranı ve göreceli süneklik değerleri hesaplanırken kullanılan;

P_{ort} : Akma anındaki ortalama taşıma gücünü

δ_i : Rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değerini

δ_u : Ortalama taşıma gücünün (P_{ort}) %85'indeki deplasman değerini

δ_y : Akmanın başladığı andaki deplasman değerini

$\delta \bar{u}$: Ortalama taşıma gücünün (P_{ort}) %85'indeki mutlak deplasman değerini

$\delta \bar{y}$: Akmanın başladığı andaki mutlak deplasman değerini

tanımlamaktadır.

Süneklik hesabında, ortalama taşıma gücünün (P_{ort}) %85'indeki mutlak deplasman değeri Denklem 7.3. , akmanın başladığı andaki mutlak deplasman değeri Denklem 7.4. ve süneklik oranı Denklem 7.5. ile hesaplanmıştır.

$$\delta \bar{u} = \delta u - \delta i \quad (7.3)$$

$$\delta \bar{y} = \delta y - \delta i \quad (7.4)$$

$$\text{Süneklik oranı} = \frac{\delta \bar{u}}{\delta \bar{y}} \quad (7.5)$$

Hesap sonuçları, süneklik oranı ve göreceli süneklik oranları Tablo 7.6.'de verilmiştir.

Tablo 7.6. Deney numunelerin süneklikleri ve göreceli süneklik oranları

Deney elemanı	$0,85 \times P_{ort}$ (kN)	δ_i (mm)	δ_u (mm)	δ_y (mm)	δ_u^- (mm)	δ_y^- (mm)	Süneklik oranı	Göreceli Süneklik Oranı
RGFR	82	5	136	43	131	38	3.44	-
MBWGFR 2.0-200	153	5	195	45	190	40	4.75	1.38
MBWGFR 1.5-150	143	1	215	35	214	34	6.30	1.83
MBWGFR 2.0-150	158	4	240	40	236	36	6.56	1.90
MBWGFR 3.0-150	174	5	235	40	230	35	6.57	1.91
MBWGFR 3.0-400	52	3	220	33	217	30	7.23	2.10

Tablo 7.6.'de verilen göreceli süneklik değerleri, güçlendirilmiş deney elemanlarının süneklik oranlarının, referans deney elemanının süneklik oranına karşılık gelmektedir. Tablo 7.6.'dan da görüleceği üzere levha kalınlığı arttıkça deney elemanlarının sünekliği artmaktadır.

MBWGFR 3.0-400 deney elemanı diğer güçlendirilmiş deney elemanlarına kıyasla çok daha az sayıda bulon ve 3.0 mm genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak hazırlanmıştır. Yapılan deney sonucunda, MBWGFR 3.0-400 deney elemanın sünekliği referans elemanların ortalama süneklik değerinden 2.1 kat artış olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, güçlendirme yöntemini uygulanabilirlik ve ekonomik açıdan kolay kılmaktadır.

7.4. Enerji Dönüştürme Kapasitesi

Yapıların depreme karşı dayanımı ve can güvenliği, deprem sırasında açığa çıkan enerjiyi dönüştürme kapasitelerine bağlıdır. Yapıların güçlendirilmesindeki ana hedeflerden biri, güçlendirilmiş yapıda, kalıcı deformasyonlar olmadan enerji dönüştürmenin yanı sıra göçmeden ayakta kalmasını ve can güvenliği sağlamasıdır. Bir elemanın göçme anına kadar sergilediği enerji dönüştürme kapasitesi, farklı kaynaklarda “enerji tüketimi” veya “enerji yutma kapasitesi” diye geçse de fiziksel temel yasası olan enerjinin korunumu yasası, bu kavramı enerji dönüştürme kapasitesi olarak kullanmayı daha doğru ve gerçekçi kılmaktadır. Enerji dönüştürme kapasitesi, elemanın yük-yer değiştirme grafiğinin altındaki tüm alan ile hesaplanır. Deney numunelerinin enerji dönüştürme kapasitesi hesaplarında kullanılan terimlerin açıklaması aşağıda yapılmıştır.

E_{i-1} : Başlangıçta 0 olmak üzere, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ adet deney verisi,

δ_i : Her veri için yer değiştirme değeri

P_i : Deney boyunca her veri için yük değeri

A_i : Her veri için yük-yerdeğiştirme eğrisinin altındaki alan

E_i : Her veri için dönüştürülmüş enerji değeri

ΣA_i : Eğrinin altındaki toplam alan

ΣE_i : toplam dönüştürülen enerji

Her bir veri için deney elemanlarının dönüştürülen enerji değeri (E_i) Denk 7.6 ve Dönüştürülen toplam enerji değeri (ΣE_i) Denklem 7.7 ile hesaplanır.

$$E_i = \left\{ \left(P_i + P_{i+1} \right) / 2 \right\} \times \left\{ \left(\delta_i - \delta_{i+1} + 1 \right) / 2 \right\} + E_{i-1} \quad (7.6)$$

$$\Sigma A_i = \Sigma E_i = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n) \quad (7.7)$$

Genişletilmiş çelik levha ile güçlendirmenin genel yapı performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için deney numunelerinin enerji dönüştürme ve göreceli enerji dönüştürme kapasiteleri ve maksimum yerdeğiştirme değerleri Tablo 7.7.'de verilmiştir. Ayrıca, deney düzeneği maksimum 240 mm yerdeğiştirme kapasitesine göre ayarlandığı için deney numunelerin bu yerdeğiştirme değerine kadar enerji dönüştürme kapasitesi hesaplanmıştır. Referans deney elemanı 240 mm maksimum yerdeğiştirme yaparken, güçlendirilmiş hiçbir deney numunesi 240 mm yerdeğiştirme değerinde ani yük kaybına uğrayıp göçmemiştir. Bu durum, güçlendirilmiş deney numunelerinin referans deney numunesine göre daha yüksek bir enerji dönüştürme kapasitesine sahip olduğunun göstergesidir.

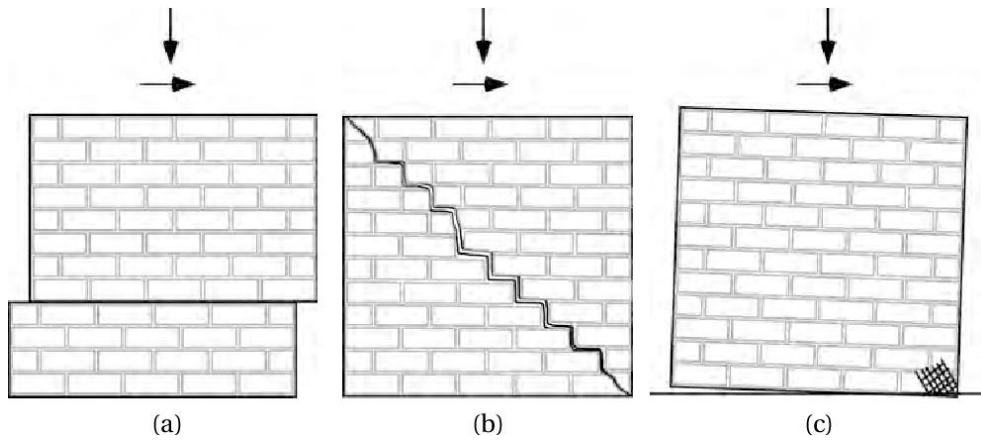
Tablo 7.7. Deney numunelerinin enerji dönüştürme kapasiteleri

Deney elemanı	Maksimum deplasman (mm)	Enerji dönüştürme kapasitesi (kJ)	Göreceli enerji dönüştürme oranı
RGFR	240	24	-
MBWGFR 2.0-200	240	42	1.75
MBWGFR 1.5-150	240	38	1.58
MBWGFR 2.0-150	240	43	1.79
MBWGFR 3.0-150	240	47	1.95
MBWGFR 3.0-400	240	30	1,25

Tablo 7.7.'de güçlendirilmiş deney numunelerinin enerji dönüştürme kapasitesinin, referans deney elemanının enerji dönüştürme kapasitesine oranı göreceli enerji dönüştürme kapasitesini ifade etmektedir. Güçlendirilmiş deney numunelerinin göreceli enerji dönüştürme kapasitelerindeki artış, önerilen güçlendirme tekniğinin enerji dönüştürmede ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. Genişletilmiş çelik levha kalınlıkları arttıkça güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitelerinin arttığı görülmüştür.

7.5. Deney Elemanların Kayma Gerilmesi

Yığma duvarların yatay yükler altındaki davranışları deprem yükünün doğrultusuna göre farklılık göstermektedir. Deprem kuvvetleri doğrultusundaki taşıyıcı duvarların ilk olarak alt köşelerinde hasarlar veya mafsallaşmalar meydana gelirken, deprem doğrultusuna dik duvarların öncelikle üst köşelerinde hasarlar meydana gelebileceği düşünülür. Sabit eksenel yük altında yer değiştirme kontrollü çevrimsel yüklerle gerçekleştirilen ve elemanın dayanım ve yer değiştirme sınır durumlarının test edildiği bu tür çalışmalardan elde edilen sonuçlar, performansa yönelik tasarım yönetmeliklerinde (FEMA 273, FEMA 306 vb.) kullanılmaktadır. Örnek olarak FEMA 273 (ATC 1997) yönetmeliğinde kullanılan duvar düzlemi doğrultusunda davranış sergileyen taşıyıcı duvarların son limit durumda bazı kırılma ve hasar biçimleri Şekil 7.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Taşıyıcı duvarların deprem yönündeki farklı kırılma ve hasar görme biçimleri (FEMA 273)

Şekil 7.2.'de görüldüğü gibi deprem yükleri altında duvarlarda daha çok kayma veya kesme gerilmeleri meydana gelmektedir. Duvarların kayma dayanımını sağlayan harç-tuğla ve tuğla-tuğla arasındaki aderansın olmasıdır. Duvar numunelerinde kaymanın meydana gelmesi; söz konusu aderansın yetersiz kalması veya sona ermesi nedeniyle oluşur. Deney elemanlarının kayma dayanımlarının hesaplanması için ASTM E519M-10 tarafından önerilen denklem 7.8 kullanılarak hesaplanmıştır. Verilen denklemde P_{max} olarak deneylerde elde edilen numunelerin maksimum yük değerleri alınmıştır. A, tuğlaların birbiriyle temas yüzeylerinden çıkılarak duvar yüzey alanı hesaplanmıştır[42].

$$M_p = \frac{P_{max} \times \cos 45^\circ \times 1000}{2A} \quad (7.8)$$

Deney numunelerinin kayma gerilmesi ve referans numuneye oranla göreceli kayma gerilmesindeki değişim oranı Tablo 7.6.'da sunulmuştur.

Tablo 7.8. Deney elemanlarının kayma gerilmesi

Numune	P_{max} (kN)	P_x (N)	A (mm ²)	f_v (Mp)	Göreceli Kayma Gerilme Oranı
RGFR	197	139300	15.2x10 ⁵	0.09	
MBWGFR 2.0-200	256	180312	15.2x10 ⁵	0.12	1.29
MBWGFR 1.5-150	216	152735	15.2x10 ⁵	0.10	1.10
MBWGFR 2.0-150	241	170412	15.2x10 ⁵	0.11	1.22
MBWGFR 3.0-150	271	191625	15.2x10 ⁵	0.13	1.38
MBWGFR 3.0-400	183	129400	15.2x10 ⁵	0.09	0.93

Tablo 7.6. incelendiğinde, artan levha kalınlığı ile beraber kayma gerilmesi dayanım değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Ancak sabit levha kalınlığı ile bulon aralığı değiştirildiğinde 2 mm levha kalınlığı 200mm bulon aralığı uygulandığında kayma gerilmesi dayanım değerine karşın 3 mm levha kalınlığı ve 400 mm bulon aralığı için kayma gerilmesi dayanım değeri düşüş göstermiştir. Bu durum MBWGFR 3.0-400 deney elemanın taşıma gücü değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

7.6. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

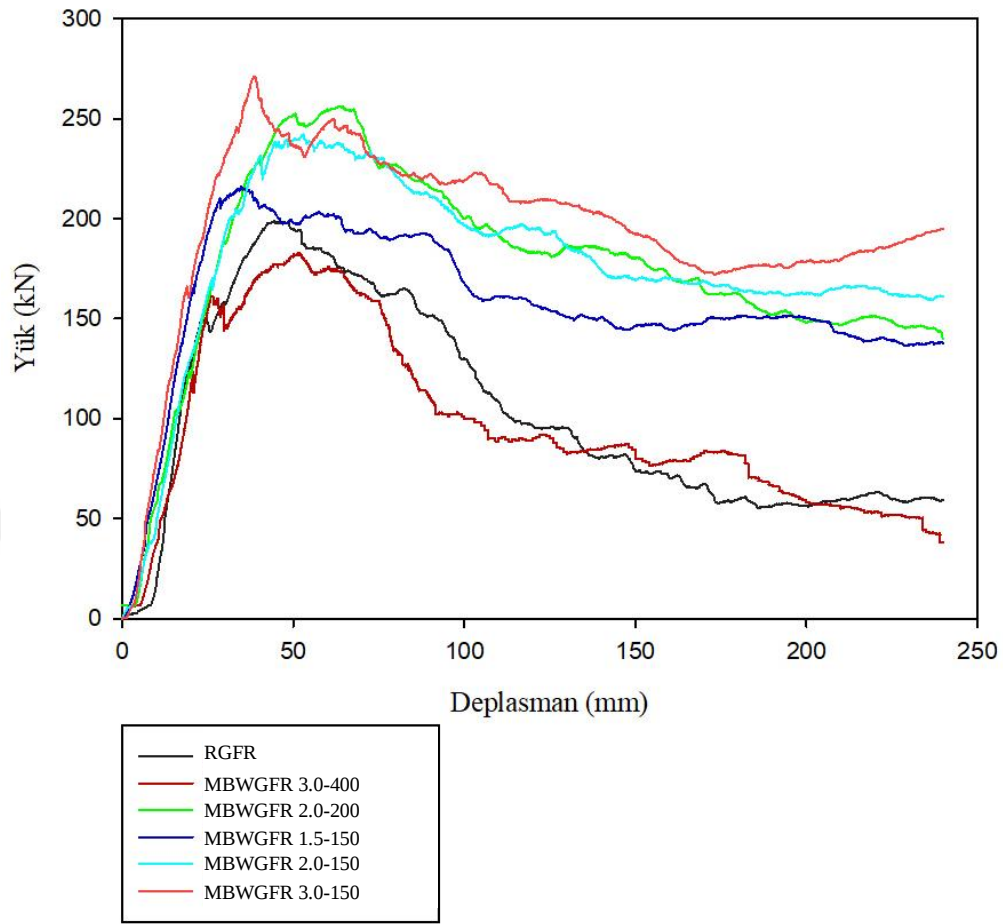
Bu çalışmada deney elemanları için çelik levha kalınlığı deney parametresi olarak kullanılmıştır. Tüm deney elemanlarının taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesi değerleri ve göreceli oranları Tablo 7.7.'de verilmiştir. Bu tablodaki göreceli oranlar, güçlendirilmiş deney elemanlarının mutlak değerlerinin referans deney elemanın ilgili değerinin oranlanmasıyla elde edilmiştir.

Tablo 7.9. Deney numunelerinin tüm değerlendirme sonuçları

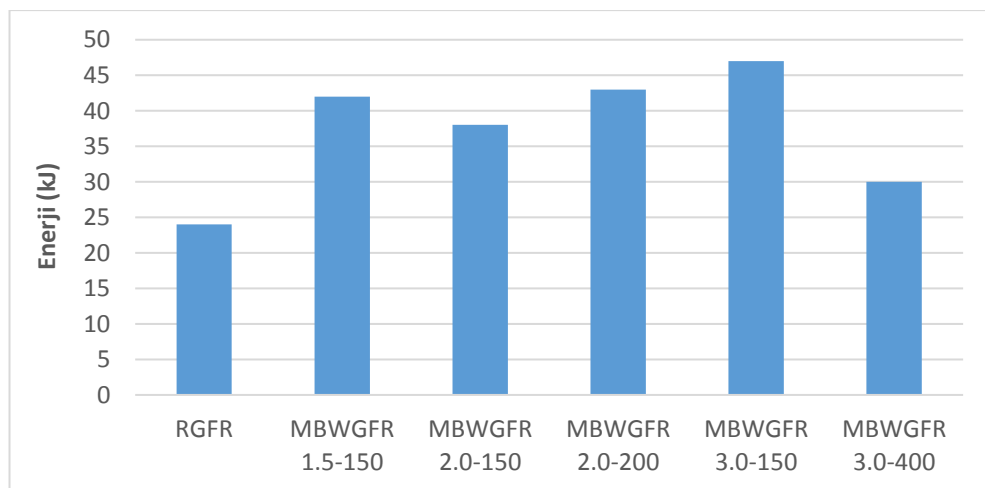
Numune	Taşıma Gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı	Rijitlik (Kn/Mm)	Göreceli Rijitlik Oranı	Süneklik Oranı	Göreceli Süneklik Oranı	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (Kj)	Göreceli Enerji Dönüştürme Oranı
RGFR	97	-	5.2	-	3.44	-	24	-
MBWGFR 2.0-200	180	1.85	6.0	1.1	4.75	1.38	42	1.75
MBWGFR 1.5-150	168	1.73	6.1	1.2	6.30	1.83	38	1.58
MBWGFR 2.0-150	186	1.91	6.4	1.3	6.56	1.90	43	1.79
MBWGFR 3.0-150	205	2.11	7.2	1.4	6.57	1.91	47	1.95
MBWGFR 3.0-400	61	0.62	5.5	1.0	7.23	2.10	30	1,25

Tablo incelendiğinde, MBWGFR 3.0-400 deney elemanının süneklik değeri yüksek ve rijitlik değeri düşük olduğundan daha düşük yük değerinde akma davranışı gösterdiği, bunun yanı sıra levha kalınlığının arttırılmış ve 150mm-200 mm aralıklı bulon yerleşimi yapılmış tüm deney elemanlarında tüm davranışlarda göreceli bir olduğu görülecektir.

Genişletilmiş çelik levha kalınlığının dayanım ve davranışa olan etkisinin incelenmesi için tüm deney numunelerin yük- deplasman eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 7.3.'de gösterilmiştir. Deney numunelerinin enerji-deplasman değişim grafikleri Şekil 7.4.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 7.3. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



Şekil 7.4. Tüm deney numunelerinin enerji sönmleme kapasiteleri

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

8.1. Sonuçlar

Tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi için yapılan bu çalışmada 3 referans, 5 güçlendirilmiş deney elemanı olmak üzere toplam 8 adet deney elemanı düzgün değişen diyagonal statik yükleme etkisi altında incelenmiştir. Başlangıçta referans numuneler kendi aralarında taşıma gücü açısından karşılaştırılarak, güçlendirme yönteminde kullanılacak duvar kaplama malzemesinin cam fiber katkıli püskürtme beton olmasına karar verilmiştir. Çalışmada güçlendirme amacıyla kullanılan genişletilmiş çelik levhaların kalınlığı deney değişken parametreleri olarak belirlenip üzerine 30 mm cam lif katkıli beton püskürtülmüştür. Güçlendirilmiş bu deney elemanları dört tarafı mafsallı olan ve gerçek yapı davranışında, düşey ve yatay hatılların çevrelediği yığma duvarların, yatay yükler etkisi altında betonarme yapı elemanları ile arasındaki basınç temas yüzeylerinin durum simüle ederek, deney süresince temas yüzeylerinin değişmesini sağlayan çelik çerçeve ve deney mekanizması sayesinde diyagonal yüklemeye tabi tutularak test edilmiştir. Mevcut güçlendirme çalışmasının duvarların dayanım, davranış, rijitlik, süneklik, ve yük taşıma kapasiteleri üzerine etkisi yük deplasman grafikleri üzerinden incelenerek değerlendirilmiştir. Yapılan gözlemler ve deney sonucunda elde edilen yük-şekil değiştirme grafiklerinin analizleri neticesinde;

- Püskürtme beton içine konan cam lif sıyrılmaya direnç göstererek deney numunelerinin taşıyıcılığının devam etmesine ve çelik levha ve bulonlarla aderansın güçlenmesine katkı sağlayarak, numunelerin deformasyon yapabilme kapasitesinin yanı sıra enerji dönüştürme kapasitesinin artmasına da etki etmiştir.

- Güçlendirilmiş deney elemanlarının referans numuneye göre taşıma yükü, rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesi açısından daha iyi performans sergilediği gözlenmiştir.
- Levha kalınlığı eşit bulon sayısı farklı olan deney elemanları arasında bulon aralığı az olan deney numunesinin, rijitlik, yük taşıma ve enerji dönüştürme kapasitesinin bulon sayısı olarak az olan deney elemanlarına göre daha yüksek çıktığı gözlenmiştir.
- Eşdeğer bulon sayısı ve farklı levha kalınlıklarına sahip deney elemanları arasında levha kalınlığı 3 mm olan deney numunesinin 2 mm ve 1.5 mm olan deney numunelerine kıyasla rijitlik, enerji dönüştürme, yük taşıma kapasite ve süneklik değerleri daha yüksek çıkmıştır. Güçlendirme yönteminde levha kalınlığının etkin rol oynadığı gözlenmiştir.
- Bulon aralığı çok geniş olan deney numunesi MBWGFR 3.0-400 süneklik bakımından tüm deney elemanlarına göre daha sünek davranış sergilemiştir. Bu sonuca dayanarak bulon aralığının süneklığe ters orantılı olduğu söylenebilir.
- Deney sürecinde cam lif katkılı püskürtme betonda tüm numunelerde alt ve üst mafsalları hariç, herhangi bir çatlama, kırılma veya tabakalar şeklinde ayrışma gözlenmemiştir. Ancak üst ve alt mafsalların yaklaşık 30 cm mesafelerinde cam lif katkılı püskürtme betonda ezilmeden dolayı blok şeklinde kabarıp kırılmalar meydana geldiği gözlenmiştir.
- Referans ve güçlendirilmiş numunelerinde deney sırasında ayrışmanın veya sıyrılmanın olmaması, çelik levhanın ankraji, cam lif katkılı püskürtme betonun tuğla ve çelik levha ile aralarında iyi bir aderansın sağlandığının göstergesidir. Ancak MBWGFR 3.0-400 deney numunesinde uygulamadan kaynaklı ve bulon sayısının az olmasından dolayı duvarın deney sonuna kadar bütünlüğünü koruyamayıp püskürtülen cam lif katkılı betonun ayrışması, aderansta bulon aralığının etkinliğini ortaya çıkarmıştır.
- Çalışmada cam lif katkılı püskürtme beton kullanıldığı için deney numunelerinde meydana gelen çekme gerilmeleri, çelik levha ve betonda kullanılan cam lifler tarafından karşılanmış, duvarlara bağlanan

potansiyometreler, yük eksenine dik veya paralel yönlerde herhangi bir boy değişimi kaydetmemiştir.

- Sıvalı 1 m² tuğla duvarın ortalama ağırlığı 200kg civarında olup, bu güçlendirme yönteminde 1m²'lik duvar birim hacim ağırlığı (tuğla + harç + çelik levha + bulon + püskürtme beton+ cam lif) ortalama 300-350 kg aralığında hesaplanmıştır. Uygulanan yöntem yapı ağırlığının artmasına yönünde bir etki oluşturmamasına karşın yapı sünekliğinin normal sıvalı bir duvar uygulamasına sahip bir yapıya oranla 3-3.5 kat oranında taşıma gücü, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesini arttıran bir yöntem olarak dikkate alınmalıdır..

8.2. Öneriler

Çalışmada tercih edilen yöntem ile yapılan deneyler sonucu elde edilen yük deplasman grafiklerinden hareketle deney numunelerinin taşıma gücü, rijitlik, süneklik, enerji dönüştürme kapasitesi ve kayma gerilmesi dayanım değerleri incelemiştir. Maliyet analizi ve deneysel olarak bütün bir yapının davranışına etkileri, konu ile ilgili çalışma yapılabilecek alanlardır. Üç boyutlu bir yapı üzerinde bu güçlendirme yöntemi uygulanarak üç eksenli sarsma tablası ile gerçek deprem yükleri altında yöntemin sergileyeceği performans incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Pickel, D., West, J.F., Alaskar, A.,2019. Use of basalt fibers in fiber-reinforced concrete. ACI Materials Journal, 115-M79, 867-876.
- [2] Şahin, Y., Köksal, F., 2011. The influences of matrix and steel fibre tensile strengths on the fracture energy of high strength concrete. Construction and Building Materials, 25, 1801-1806.
- [3] Karahan, O., Atiş, C.D., 2011. The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete. Materials and Design, 32 (2), 1044-1049.
- [4] Cifuentes, H., García, F., Maeso, O., Medina, F., 2013. Influence of the properties of polypropylene fibres on the fracture behaviour of low-, normal- and high-strength FRC Construction and Building Materials, 45, 130-137.
- [5] Afroughsabet, V., Ozbakkaloglu, T., 2015. Mechanical and durability properties of highstrength concrete containing steel and polypropylene fibers. Construction and Building Materials, 94, 73-82
- [6] Kızılkant, A.B.,2016. Experimental evaluation of mechanical properties and fracture behavior of carbon fibre reinforced high strength concrete. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 60, 289-296.
- [7] Arslan, M.,2016. Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement. Construction and Building Materials, 114, 383-391
- [8] Noaman, A., Abu Bakar, B.H., Akil, H.M., Alani, A.H., 2017. Fracture characteristics of plain and steel fibre reinforced rubberized concrete. Construction and Building Materials, 152, 414-423.
- [9] Kalali, A., Kabir, M.Z., “Cyclic behaviour of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers”, Scientia Iranica, 19 (Issue 2): 151-165, (April 2012)
- [10] Özcan, Z., & Yöntem, K. (2005). Betonarme Kirişlerin Kompozit Malzemeler ile Güçlendirilmesi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

- [11] Kaya, F. “Yığma yapıların polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmesi”, Yüksek lisans tezi, T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ISPARTA (2013)
- [12] Portoles, J. M., Serra, E., & Romero, M. L. (2013). Influence of ultra-high strength infill in slender concrete-filled steel tubular columns. *Journal of constructional steel research*, 86, 107-114.
- [13] Kahn, L. F., (2015)“Shotcrete Retrofit for Unreinforced Brick Masonry”, *Proceedings of 8th World Congress on Earthquake Engineering*, San Francisco, CA, USA, 583-590 (1984).
- [14] Ateş, T.,“İçten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilen yığma duvarların düzlem dışı tekrarlı yük altındaki davranışı”, *Doktora Tezi*, T.C.Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 7-121 (2013).
- [15] ElGawady, M. A., Lestuzzi, P. ve Badoux, M., “Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete”, *Proceedings of 2006 New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference*, Napier, New Zealand, 45-53 (2006).
- [16] Leeanansaksiri, A., Panyakapo, P., & Ruangrassamee, A., Seismic capacity of masonry infilled RC frame strengthening with expanded metal ferrocement. *Engineering Structures*, 159, 110-127, (2018).
- [17] Sevil, T., Baran, M., Bilir, T. ve Canbay, E., „Use of Steel Fiber Reinforced Mortar for Seismic Strengthening”, *Construct. Build. Mat.*, 25:892-899 (2011).
- [18] Taghdi, M., Bruneau, M. ve Saatcioglu, M., “Seismic Retrofitting of Low-Rise Masonary and Concrete Walls Using Steel Strips”, *ASCE J. Struct. Eng.*, 126:1017-1025 (2000).
- [19] Farooq, S., Ilyas, M. ve Ghaffar, A., *Technique for Strengthening of Masonry Wall Panels Using Steel Strips*, *Asian J. Civ. Eng.*, 7:621-638 (2006).
- [20] Özbek, E. ve Can, H., *Dolgu Tuğla Duvarların Çelik Profillerle Güçlendirilmesi*, *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27:921-929 (2015).
- [21] Acun, B. ve Sucuoğlu, H., “Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Hasır Donatı ile Güçlendirilmesi”, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 965-971 (2005).
- [22] Cumhuriyet A., Altundal A., Kalkan G. ve Aykaç S. (2015). Genişletilmiş Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Yatay Boşluklu Tuğla Duvarların Davranışı, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 6. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir 2015.
- [23] Uzun, 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* 3(2), 179-191, 2014.

- [24] Babayani R. (2012, Kasım). Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmiş Tuğla Duvarların Tersinir Tekrarlanır Yükler Altındaki Davranış ve Dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [25] Araki, H., Yasojima, A. ve Kagawa, J., Strength of Masonry Walls Retrofitted with Epoxy Resin Injection”, Appl. Mech. Mater., 82:545-550 (2011).
- [26] Sevil, T., Baran, M. ve Canbay E., Tuğla Dolgu Duvarların B/A Çerçevesi Yapılarının Davranışına Etkilerinin Güncelenmesi; Deneysel ve Kuramsal Çalışmalar, Int. J. Eng. Res. Dev., 2:35-42 (2010).
- [27] Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P. ve Laourdekis, T., “Concrete Confinement with Textile-Reinforced Mortar Jackets”, ACI Struct. J., 103:28-37 (2006).
- [28] Baran, M., and Tankut, T. (2011). Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels. ACI Structural Journal, 108(2).
- [29] Baran, M. ve Tankut, T., Experimental Study on Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Precast Concrete Panels”, ACI Struct. J., 108:227-237 (2011)
- [30] Kaufmann, J., Frech, K., Schuetz, P., ve Münch, B. (2013), Rebound and Orientation of Fibers in Wet Sprayed Concrete Applications, Construction and Building Materials, ScienceDirect, (49), 15-22pp., Switzerland.
- [31] Girgin, C., Yüksel, A., & Arıoğlu, E. (2015). Tünellerde püskürtme betonun mekanik büyüklükleri ve kalite kontrol ilkeleri. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 135-146.
- [32] Topçu İ. B., ve Uygunoğlu T., (2015), “Mermer Agregası ve Uçucu Külün Kilitli Parke Taşı Üretiminde Kullanılması” Beton Fabrikasyon, 98., 7s.,
- [33] Filiz, M., Özel, C., Soykan, O., ve Ekiz, Y., (2017), Atık Mermer Tozunun Parke Taşlarında Kullanılması, Teknolojik Araştırmalar, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6 (2), 57-72s., Isparta.
- [34] Çakıroğlu, A. M., Terzi, S., ve Çakıroğlu, M. G., (2016), Püskürtme Betonda Görülen Problemler, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Teknolojik Araştırmalar, 5(2), 43
- [35] Demir İ., (2015) “İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2010-02 105 -114s., Afyon

- [36] Bekişoğlu, ř., (2014), Beton Kaplamalı Kanallarda Sızdırmazlık Önlemleri Mastik Asfalt ve Püskürtme Beton Uygulaması. Devlet Su İşleri Matbaası, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, 24-49s., Ankara.
- [37] Celep, Z., ve Kumbasar, N., (2016), “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, 596s. İstanbul.
- [38] Akman, S. M., (2013), “Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri”, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, 128,132-133s., İstanbul.
- [39] Ballou, M., (2013), “Shotcrete Rebound How Much Is Enough?” Technical Tip. 32s., Shotcrete Magazine
- [40] Kalkan, N., “Düzlem dışı tersinir yüklenen yığma yapıların donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmesi”, Doktora Tezi, T.C.Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-147 (2008).
- [41] TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. TBDY, 2018.
- [42] TS EN 1052-1, “Kâgir - deney metotları -Bölüm 1: Basınç dayanımı tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2000).
- [43] Karihaloo, B. L., Abdalla, H. M., & Imjai, T. (2003). A simple method for determining the true specific fracture energy of concrete. Magazine of concrete research, 55(5), 471-481.
- [44] Hillerborg, A., Modéer, M., & Petersson, P. E. (1976). Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements. Cement and concrete research, 6(6), 773-781.
- [45] ISO 6892-1, (2016), Metallic materials- Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature
- [46] ASTM E519/E519M-10. 2010. Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S.A.

ÖZGEÇMİŞ

Azizullah RASULY, 04.02.1992’da Jowzjan/Afganistan’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Jowzjan’da tamamladı. 2012 yılında İbne Yamin Jowzjani Lisesi’nden mezun oldu. 2012 yılında başladığı Aria Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü 2017 yılında bitirdi. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı. Halen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans öğrencisidir.