

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

**GENİŞLETİLMİŞ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
BLOK TUĞLA DUVARLARDA LEVHA KALINLIĞININ
DAVRANIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezatullah AHMADZAI

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

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENİŞLETİLMİŞ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
BLOK TUĞLA DUVARLARDA LEVHA KALINLIĞININ
DAVRANIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ezatullah AHMADZAI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 19.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



**Dr.Öğr.Üyesi
Zeki ÖZCAN
Jüri Başkanı**



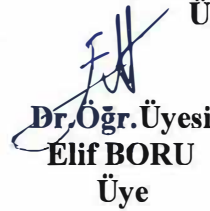
**Dr.Öğr.Üyesi
Zeynep YAMAN
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
Alper CUMHUR
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
Elif AĞCAKOCA
Üye**



**Dr.Öğr.Üyesi
Elif BORU
Üye**

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.

Ezatullah AHMADZAI

19.02.2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr.Öğr.Üyesi Zeynep YAMAN ve yardımcı danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Alper CUMHUR' a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Dr.Öğr. Emrah Doğan'a ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocalarım Dr.Öğr.Üyesi Zeki ÖZYURT, Dr.Öğr.Üyesi Elif AĞCAKOCA'ya teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni hep destekleyen, gösterdikleri sonsuz maddi-manevi fedakârlıklar ile en büyük teşekkürü hak eden ve sahip olduğum için her gün şükrettiğim kıymetli babam Hayatullah AHMADZAI'ye, anneme, ağabeyim Rahmatullah AHMADZAI'ye kardeşlerim Safiullah AHMADZAI, Sadiqullah AHMADZAI, Hasibullah AHMADZAI, ve Belal jan AHMADZAI'ye birkaç cümle ile ifade edemeyeceğim kadar minnettarım.

Laboratuvar çalışması sırasında anlayış ve desteklerini esirgemeyen, çalışmanın her aşamasında yanımda olan değerli arkadaşlarım; İnşaat Mühendisi Azizullah RASULY, İnşaat Mühendisi Mohammadi MOHAMMADI, İnşaat Mühendisi Abdul Salam AKRAMI ve Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği laboratuvarında görev yapan inşaat teknikeri Talha ÖZKAN'a ayrıyeten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Donatısız Yığma Yapılar	3
1.2. Donatılı Yığma Yapılar	3
1.3. Kuşatılmış Yığma Yapılar	4
1.4. Çalışmanın Amacı	5
BÖLÜM 2.	
KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
2.1. Duvar Güçlendirme Yöntemleri	6
2.1.1. Çeşitli polimer malzemelerle güçlendirme	6
2.1.2. Hasır çelik donatılı ve betonarme panel ile güçlendirme	8
2.1.3. Delikli saç ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirme	11
BÖLÜM 3.	
DOLGU DUVARLARIN DBYBHY (2007) VE DBYBHY (2018)'E GÖRE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ	16
3.1. Dolgu Duvarlarının Güçlendirilmesi	16

3.1.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi	16
3.1.2. Dolgu duvarlarının lifli polimerler ile güçlendirilmesi	17

BÖLÜM 4.

MATERYAL METHOD	20
4.1. Deney Programı	20
4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri	21
4.2.1. Tuğla	21
4.2.2. Genişletilmiş çelik levha	24
4.2.3. Sıva ve harç	26
4.2.4. Bulon, pul ve somun	30
4.3. Deney Elemanları	32
4.3.1. Referans deney elemanı	32
4.3.2. MBW 3.0-400 deneme elemanı	33
4.3.3. MBW 1.5-150 deney elemanı	33
4.3.4. MBW 2.0-150 deney elemanı	34
4.3.5. MBW 3.0-150 deney elemanı	35
4.4. Deney Düzeneği	37
4.4.1. Deney platformu ve deney çerçevesi	38
4.4.2. Yükleme düzeneği	40
4.4.3. Yükleme programı	41
4.4.4. Ölçüm düzeni	41

BÖLÜM 5.

DENEY SÜRECİ	45
5.1. Referans Deney Elemanı (R)	45
5.2. MBW 3,0-400 Deneme Elemanı	48
5.3. MBW 1,50-150 Deney Elemanı	51
5.4. MBW 2,0-150 Deney Elemanı	54
5.5. MBW 3,0-150 Deney Elemanı	58
5.6. Deney Numunelerin Ön ve Arka Yüzündeki Şekil Değiştirme Hesabı	61

BÖLÜM 6.

DENEY SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ	65
6.1. Taşıma Gücü	65
6.2. Rijitlik	66
6.3. Süneklik	68
6.4. Enerji Sönümleme Kapasitesi	70
6.5. Deney Elemanların Kayma Gerilmeleri	72
6.6. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma	74
6.7. Genişletilmiş Çelik Levha Kalınlığının Dayanım ve Davranış Üzerine Etkisi	75

BÖLÜM 7.

TARTIŞMA VE SONUÇ	77
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

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

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Güçlendirilmiş yığma duvar	4
Şekil 1.2. Kuşatılmış yığma yapı	4
Şekil 3.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmes	17
Şekil 3.2. Dolgu duvarlarının lifli polimerler ile güçlendirilmesi	18
Şekil 3.3. Yığma yapıda oluşan duvar hasarları	18
Şekil 4.1. Düşey delikli tuğla boyutları	21
Şekil 4.2. Düşey delikli tuğlanın basınç makinesiyle kırılması	24
Şekil 4.3. Genişletilmiş çelik levha	25
Şekil 4.4. Genişletilmiş çelik levha geometrisi	25
Şekil 4.5. Çelik levhaların deneyden önce ve sonraki durumu	26
Şekil 4.6. Harç numunelerin alma durumu	29
Şekil 4.7. Harç numunelerin kalıpte bekletilme durumu	29
Şekil 4.8. Harç numunelerin kalıptan çıkarılmış durumu	29
Şekil 4.9. Basınç dayanım deney pres makinesinin şekli	30
Şekil 4.10. Harç numunelerin kırılma durumu	30
Şekil 4.11. Güçlendirme amacıyla kullanılan bulon, pul ve somun geometrisi ..	31
Şekil 4.12. Referans deney elemanının boyutları	32
Şekil 4.13. MBW 3.0-400 deneme elemanı boyutları ve güçlendirme detayları .	33
Şekil 4.14. MBW 1.5-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları.	34
Şekil 4.15. MBW 2.0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları.	34
Şekil 4.16. MBW 3.0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları.	35
Şekil 4.17. Deney elemanları için hazırlanan çelik çerçeveler	35
Şekil 4.18. Deney elemanlarının yapım aşamasında tuğla duvar örülmesi	36
Şekil 4.19. Çerçeve içinde bitmiş tuğla duvar durumu	36
Şekil 4.20. Deney elemanlarının yapım aşamasında bulon deliklerinin açılması	36
Şekil 4.21. Deney elemanlarının yapım aşamasında ankraj yapılması	37

Şekil 4.22. Deney elemanlarının sıvanması	37
Şekil 4.23. Dört köşesi mafsallı yüzeyleri çelik rijit çerçeve	39
Şekil 4.24. Deney sistemi	39
Şekil 4.25. Deney sistemin yükleme düzeneği	40
Şekil 4.26. Ön ve arka yüzeyin ölçme düzeneği	42
Şekil 4.27. Deney sisteminde uygulanan video ve grafik kaydı	43
Şekil 5.1. Referans elemanın deneyden önceki durumu	45
Şekil 5.2. Referans deney elemanının deneyden sonra hasar durumu	47
Şekil 5.3. Referans deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	47
Şekil 5.4. MBW 3,0-400 deneme elemanının deneyden önceki durumu	48
Şekil 5.5. MBW 3,0-400 deneme elemanının deneyden sonra hasar durumu	50
Şekil 5.6. MBW 3,0-400 deneme elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	50
Şekil 5.7. MBW 1,5-150 deney elemanının deneyden önceki durumu	51
Şekil 5.8. MBW 1,5-150 deney elemanının deneyden sonra hasar durumu	53
Şekil 5.9. MBW 1,5-150 deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	54
Şekil 5.10. MBW 2,0-150 deney elemanının deneyden önceki durumu	55
Şekil 5.11. MBW 2,0-150 deney elemanının deneyden sonra hasar durumu	57
Şekil 5.12. MBW 2,0-150 deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	57
Şekil 5.13. MBW 3,0-150 deney elemanının deneyden önceki durumu	58
Şekil 5.14. MBW 3,0-150 deney elemanının deneyden sonra hasar durumu	60
Şekil 5.15. MBW 3,00-150 deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği	61
Şekil 5.16. Referans numunesinin ön ve arka yüzündeki yük deplasman grafiği.	62
Şekil 5.17. MBW 3,0-400 elemanın ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği	62
Şekil 5.18. MBW 1,5-150 elemanın ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği	63
Şekil 5.19. MBW 2,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği	63
Şekil 5.20. MBW 3,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki yük deplasman grafiği	63
Şekil 6.1. Duvara etkiyen köşegenel yük ve bileşenleri	73
Şekil 6.2. Deney numunelerine etkiyen köşegenel yük ve bileşenleri	73
Şekil 6.3. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri	76
Şekil 6.4. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı enerji-deplasman grafikleri ..	76

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. 2018 ve 2007 deprem yönetmeliklerinin dolgu duvarların karşılaştırılması	19
Tablo 4.1. Deney elemanlarına verilen indislerin açıklaması	20
Tablo 4.2. Deney elemanlarının özellikleri	21
Tablo 4.3. Düşey delikli tuğlanın deliklere paralel doğrultudaki basınç dayanımı.	22
Tablo 4.4. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı	23
Tablo 4.5. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı.	24
Tablo 4.6. Çelik levhaların kopma dayanımı ve uzama oranları	26
Tablo 4.7. Sıva ve harçta kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları	26
Tablo 4.8. Referans numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı	27
Tablo 4.9. Referans numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı	27
Tablo 4.10. Güçlendirilen numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı	28
Tablo 4.11. Güçlendirilen numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı	28
Tablo 4.12. Güçlendirilen numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı	28
Tablo 4.13. Basınç dayanım deney pres makinesinin özellikleri	30
Tablo 4.14. Bulonların eğilme dayanımı, şekil değiştirmesi ve girilmesi	31
Tablo 4.15. Deney sisteminde yer değiştirmeye bağlı yükleme hızı	41
Tablo 5.1. Referans deney elemanın temas yüzeyi	46
Tablo 5.2. MBW 3.0-400 deneme elemanın temas yüzeyi	49
Tablo 5.3. MBW 1.5-150 deney elemanın temas yüzeyi	53
Tablo 5.4. MBW 2.0-150 deney elemanın temas yüzeyi	56
Tablo 5.5. MBW 3.0-150 deney elemanın temas yüzeyi	60
Tablo 5.6. Deney numunelerin ön yüzündeki birim boy değişimleri	64

Tablo 6.1. Deney elemanların taşıma gücü için kullanılan indislerin açıklaması ...	65
Tablo 6.2. Deney numunelerin taşıma gücü ve göreceli taşıma gücü oranları	66
Tablo 6.3. Deney numunelerin rijitlikleri ve göreceli rijitlik oranları	67
Tablo 6.4. Deney numunelerin süneklikleri ve göreceli süneklik oranları	69
Tablo 6.5. Deney numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri.....	71
Tablo 6.6. Deney elemanların yatay bileşenine ait kayma gerilmeleri	74
Tablo 6.7. Deneyin tüm sonuçları	75



ÖZET

Anahtar kelimeler: Tuğla dolgu duvar, onarım-güçlendirme, sismik güçlendirme, genişletilmiş çelik levha, diyagonal basınç yüklemesi, deprem davranışı.

Dünya genelinde, özellikle yıkıcı depremlerden etkilenen bölgelerde en yüksek inşaat stoğunu temsil eden yapı türlerini betonarme yapılar ve yığma yapılar oluşturmaktadır. Betonarme binalar, 18 yüzyıldaki keşfinin ardından çokça tercih edilen yapı türü olmuştur. Bununla birlikte, çok yüksek oranda iyi inşaa edilen yığma binalar, yüksek sismik tehlike bölgelerinde bile yüzyıllardan beri ayakta kalmayı başarmışlardır. 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 (blok) tuğla duvarların güçlendirilmesi incelenmiştir.

Literatürde dolgu tuğla duvarlar ve yığma (blok) tuğla duvarlar; çelik profil ve levhalar, epoksi reçinesi, lifli polimer şerit ve kumaş vb.... bir çok 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 ile güçlendirme” tekniği kullanılmış ve farklı kalınlıklarda genişletilmiş çelik levha kullanımının blok tuğla duvar dayanım ve davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Çalışma; yığma (blok) tuğla duvarların güçlendirilmesi ana başlığı altında yürütülen dört alt çalışmadan biridir. Bu alt çalışma; bir referans duvar, dört güçlendirilmiş duvar olmak üzere toplamda 5 adet deney elemanı ile yürütülmüştür. Güçlendirilen numunelerden biri, ana çalışma içinde yer alan bir deneme elemanı olarak tasarlanmıştır. Deneye hazırlanmış bütün numuneler diyagonal yükleme altında test edilmiştir. Güçlendirme işleminde sıvasız duvarın her iki yüzüne çelik levhalar eklenmiş ve bu levhalar bulonlar yardımıyla duvarın üzerine sabitlenmiştir. Çalışmada güçlendirme amacıyla kullanılan çelik levhaların kalınlığı deneyin değişken parametresi olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın sonucunda, güçlendirilmiş numunelerin, büyük çekme gerilmeleri taşıyabilen çelik levhalar ve ankraj bulonları sayesinde büyük yük taşıma ve enerji sönümleme kapasitesine eriştiği, deney numunelerinin taşıma kapasitesinde ani bir yük kaybı oluşmadığı ve numunelerin deneyin sonuna kadar bütünlüklerini korudukları süneklik ve rijitliklerinde büyük artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.

THE EFFECT OF EXTENDED STEEL SHEET THICKNESS USED ON VERTICAL HOLE BLOCK BRICK WALLS UNDER DIAGONAL LOADS ON WALL BEHAVIOR

SUMMARY

Keywords: Masonry brick wall, repair-strengthening, seismic strengthening, expanded steel plate, diagonal compression loading, earthquake behavior

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. Reinforced concrete buildings have become a highly preferred type of buildings after its discovery in the 18th century. At the same time, very well built masonry buildings have survived for centuries even in high seismic hazard areas. 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 “expanded steel plate” 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.

The study is one of the four sub-studies conducted under the main title “strengthening masonry brick walls”. This sub-study was carried out with a total of 5 test elements, one reference wall and four strengthened walls. One of the reinforced samples was designed as a testing element in the main study. All samples prepared for the experiment were tested under diagonal loading. In the strengthening process, steel plates were added to both sides of the wall without plaster and these plates were fixed on the wall with the help of bollards. In the study, the thickness of the steel plates used for strengthening was accepted as the variable parameter of the experiment. As a result of the study, it has been observed that strengthened samples reach large load carrying and energy damping capacity thanks to steel plates and anchorage bolts that can carry great tensile stresses, there is no sudden load loss in the carrying capacity of the test samples, and the samples have maintained their integrity until the end of the experiment, great increases in ductility and stiffness have been observed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Deprem, dinamik bir etkiye sahip doğal bir afettir ve yer kabuğundaki titreşimlerin bir sonucu olarak, yapı elemanlarının bağlantı noktalarında dönme, öteleme ve çökme gibi etkilerin oluşmasına neden olabilir. Deprem kuvveti, yapıda yer hareketinin tersine doğru bir direnç kuvvetinin oluşumunu tetikler. Yapı bu kuvvete karşı yeterli dayanım ve rijitliğe sahip olarak şekil değiştirme yapmıyorsa depreme karşı dayanıklı, dönme, öteleme, çökme gibi şekil değiştirmeler yaparsa depreme karşı dayanıksız olarak adlandırılır [1].

Yapıları normal yüklerin üzerinde zorlayan deprem kuvveti etkisi, tasarım ve uygulama sırasında yapılan hataları ortaya çıkarır. Yapı; kütlesi, sünekliği, ve rijitliğine bağlı olarak bir periyoda ve titreşim genliğine maruz kalır. Depreme dayanıklı tasarımın amacı rijitlik ve kütle arasında hassas bir denge sağlamak ve depremden en az etkilenecek yapı tasarlamaktır [2].

Mühendislerin en önemli amaçlarından biri, meydana gelebilecek bir depremde, inşa edilecek binalarda toptan göçme olmadan can kaybını önlemektir. Depreme karşı yeterince dayanıklı olmayan yapıların ve yapı elemanlarının güçlendirilmesi gerekmektedir. Mevcut yapılar için genel bir modelleme yapmak imkansızdır ve her birinin olumlu deprem davranışını sağlamasında kendine özgü bazı sorunları vardır. Bu nedenle, her yapıda bulunacak çözümler birbirinden farklı olacaktır. Bu sorunları doğru bir şekilde belirlemek ve sağlıklı çözümler önerebilmek için bina davranışı hakkında iyi bir bilgiye sahip olmak gerekir [2].

Yapının davranışı deprem ivmesi, binanın kütlesi ve maruz kaldığı deprem kuvveti ile ilişkilidir. Bu nedenle yapının kütlesi ne kadar büyükse depremin etkisiyle oluşacak olan kuvvet de o kadar büyük olur. Yapıya etkiyen kuvvetlerden dolayı

taşıyıcı elemanlar farklı yönlerde veya farklı oranlarda yerdeğiştirme yapabilmektedir. Yapıda meydana gelen bu yerdeğiştirmelerin farklılığı, yapının taşıyıcı sistemini oluşturan yapı elemanlarının rijitliğine bağlıdır [2].

Yapılar, yapı yüklerini taşıyan sistem esas alınarak

- a. Yığma taşıyıcı sistemli yapılar,
- b. Karkas (iskelet) taşıyıcı sistemli yapılar,

olmak üzere iki temel sınıfa ayrılabilir. Yapısal özellikleri incelendiğinde, karkas yapı türünde, taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanları arasındaki süreklilikten dolayı, yapı üzerine gelen yükler tüm taşıyıcı sistemi oluşturan yapı elemanları tarafından birlikte taşınmaktadır. Herbir yapı elemanı rijitliği oranında çerçevenin bütünsel davranışına katkı sağlamaktadır.

Yapay veya doğal tuğla taş, tuğla, biriket, kerpiç blokların bir bağlama harcı ile birleştirilmesi ile oluşturulan, yatay ve düşey karakterli yüklerin duvarlara taşındığı yığma yapılarda ise, duvarlar kendi iç dokusunda yeterli bir kenetlenme ve bağ kuvvetine sahip olmadığı için yatay yüklere karşı yeterli rijit davranış sergileyemezler. Yığma yapının dayanımı, hem duvarlar ve harç arasındaki bağa hem de yığma malzemenin dayanımına bağlıdır [3].

Uygarlığın ilk çağlarından 18 yy da betonarme kompozit yapı elemanlarının keşfine kadar olan süreçte yığma yapılar çok çeşitli şekillerde kullanılmıştır. Türkiye’deki yapı stoğunun önemli bir bölümünü oluşturan yığma yapılar üstün işçilik ve aşırı maliyet gerektirmediği için, özellikle 1960-1970 li yılların Türkiye’inde okul, sağlık merkezi ve kamu personel konutları gibi resmi yapılar yığma yapı olarak inşa edilmiştir. 1980 li yıllara kadar içi dolu harman tuğlası ile inşaa edilen yığma yapılar, Newton un I. yasasına göre yapı kütlesi arttıkça yapı üzerine gelen deprem yüklerinin artacağı sonucundan hareketle, yığma yapılarda içi dolu harman tuğlaları yerine, delikli yığma blok tuğlaların kullanılmaya başlanmasını tetiklemiştir [3].

Türkiyenin yanı sıra tüm dünyada yaygın olarak kullanılan yığma yapılar, heterojenliği ve mekanik özellikleri nedeniyle güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır. Güçlendirmenin amacı, gevrek yapı malzemelerinden inşa edilen duvar yapılarının sünekliğini, çekme mukavemetini ve maksimum dayanımını arttırmaktır.

Uygulamadaki güçlendirme şekillerine göre;

- a. Donatısız yığma yapılar,
- b. Donatılı yığma yapılar,
- c. Kuşatılmış yığma yapılar,

olarak üç guruba ayrılabilir.

1.1. Donatısız Yığma Yapılar

Donatısız yığma yapılar genellikle düşük deprem riski taşıyan bölgelerde inşa edilir. Duvarlar, harçla birbirine bağlanmış tuğla, kerpiç vb. duvar malzemeleri kullanılarak inşa edilir. Duvarın dayanımı, kullanılan blok malzemenin ve harcın mekanik özelliklerine bağlıdır. Bu yapılar kendi ağırlıkları sayesinde büyük yükler taşıyabilirler. Bu tip yapıların betonarme yatay ve düşey hatılları yoktur. Döşemelerden gelen yükler doğrudan yük taşıyan duvarlara aktarılır. Döşeme ve duvarlar arasında rijit bir bağlantı olmadığı için bu yapılar düzlem dışı yönde (yani duvar düzlemine dik yönde) savunmasızdır.

1.2. Donatılı Yığma Yapılar

Bu tip yapılarda, Betonarme yapı elemanlarındaki (kiriş, kolon, perde) uygulamaya benzer şekilde duvar malzemesi içine güçlendirme donatıları yerleştirilir. Güçlendirme donatıları duvar içlerine yatay ve/veya düşey olarak yerleştirilebilir. Bu bina sistemlerinin amacı, gevrek duvar yapısına bir miktar çekme mukavemeti kazandırarak yapının sünekliğini arttırmaktır [4]. Bununla birlikte, bu tür duvar yapımı çok yaygın değildir, çünkü çok fazla işçilik ve zaman gerektirir (Şekil 1.1.).

1.3. Kuşatılmış Yığma Yapılar

Kuşatılmış yığma yapılar, düşey ve yatay yüklere karşı dayanabilen, bağlantı kolonları ve bağlantı kirişleri adı verilen düşey ve yatay hatıllarla sınırlandırılmış duvarlardan oluşur. Bu tip yapılarda, duvarlar ve hatıllar arasındaki bağlantıyı geliştirmek, duvarların mukavemetini, sünekliğini ve stabilitesini arttırmak için ilk önce duvarlar örülür ve daha sonra dört tarafındaki bağlantı kirişleri ve bağlantı kolonları (yatay ve düşey hatılları) yapılır . Kuşatılmış yığma yapı tekniği Şili, Peru, Arjantin, Slovenya, Meksika ve İran gibi yüksek veya orta deprem riski taşıyan ülkelerde kullanılmaktadır. Kuşatılmış yığma yapıların bir örneği Şekil 1.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Donatılı yığma duvar (YGM yapı güçlendirme merkezi, web sitesinden alınmıştır)



Şekil 1.2. Kuşatılmış yığma yapı (YGM yapı güçlendirme merkezi, web sitesinden alınmıştır)

1.4. Çalışmanın Amacı

Yığma yapılar genellikle sadece düşey karakterli kuvvetler(sabit ve hareketli yapı yükleri) dikkate alınarak tasarlanmaktadır .Yatay karakterli deprem kuvvetlerine karşı dayanım sergileyecek bir yığma yapı tasarımı genelde uygulanmadığı için, olası herhangi bir deprem sırasında yapıya etkiyecek yatay yükler duvarlar tarafından karşılanacağından duvarlar kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerine maruz kalırlar.

Düşey doğrultudaki taşıma kapasitesi bakımından yeterli olduğu halde yatay doğrultudaki yüklere karşı dayanıksız olan yığma duvarlarda, özellikle düzlemine paralel doğrultuda gelen deprem yükleri etkisi ile diyagonal kesme çatlakları ve kırıklar oluşabilmektedir. Duvar düzlemine dik olarak yapıya etki edecek deprem kuvvetleri ise genellikle eğilme çatlaklarına neden olmaktadır.

Tüm Dünyada ve Türkiyede yaygın olarak inşaa edilen yığma yapılar, homojen olmayan yapısı ve deprem yükleri etkisi altında sergiledikleri zayıf dayanım özellikleri nedeniyle, taşıyıcı duvarların sünekliğini, çekme mukavemetini ve maksimum dayanımını arttırmak amacıyla güçlendirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Bu ihtiyaçtan hareketle, çalışmada ilk olarak; literatürde duvarların güçlendirmesine üzerine yapılmış olan çalışmaların ve güçlendirme tekniklerinin araştırılması, ikinci olarak; literatürde var olan ancak yığma tuğla duvarların güçlendirilmesi için kullanılmamış olan bir yöntem kullanılması, yöntemin yığma blok tuğladan inşa edilen duvarların dayanım ve davranışı üzerindeki etkilerinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Önerilen bu güçlendirme yöntemi tüm duvarlara uygulanabilen ve binanın boşaltılmasını gerek duymadan, binanın depreme karşı ucuz ve pratik şekilde güçlendirilmesi konusunda yapılacak olan araştırmalara da önemli veriler sağlayacaktır. Genişletilmiş çelik levha ile duvar güçlendirmede birçok avantajlar vardır. Bu avantajlar arasında genişletilmiş çelik levhaların uygulama kolaylığı, sünek davranışı, malzeme yapısı itibariyle hafif ve sıva tutma özelliğinin olması, malzemelerin ve işçiliğin düşük maliyetli olması yer almaktadır.

BÖLÜM 2. KONU İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışma konusu; taşıyıcı duvarlar ve taşıyıcı duvarlarda güçlendirme olduğundan, literatürde duvarlar ve duvarlarda güçlendirme malzemeleri ve güçlendirme teknikleri ile ilgili olarak araştırmalar yapılmış ve bu bölümde sunulmuştur.

2.1. Duvar Güçlendirme Yöntemleri

Yapının deprem davranışına olumlu katkısı bulunan betonarme çerçeve içindeki mevcut tuğla duvarın çeşitli yöntem ve malzemelerle güçlendirilerek sünek betonarme perdeli sistem davranışına yaklaştırılabilmesi amacıyla araştırmalar yapılmıştır.

2.1.1. Çeşitli polimer malzemelerle güçlendirme

Koutas ve ark. (2014), tekstil katkılı sıva (TRM) ile deprem yüklerine karşı yetersiz olduğu bilinen tuğla duvarlı betonarme çerçevelerinin güçlendirilmesini incelemişlerdir. Çalışmada üç katlı, 2/3 ölçekli betonarme çerçevelerin içinde tuğla dolgu duvar örülmüş ve deney elemanı tersinir tekrarlanır yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına bakıldığında uygulanmış olan bu tekniğin deney elemanın dayanımını ve yerdeğiştirme kapasitesini arttırdığını göstermiştir [5].

Kaya (2013), 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 grupta toplamda 4 adet deney elemanı kullanmış ve güçlendirilen duvar numunelerinin yük-yer

değiştirmeleri, çatlak şekilleri ve kırılma röleveleri, kırılma yüklerini incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmiş deney elemanı güçlendirilmemiş elemanına göre çekmede %592-515, itmede %362-310 artış göstererek taşıma gücü kapasitesinin yaklaşık 5 kat arttığı görülmüştür [6].

Kabir ve Kalali (2012), cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirilmiş boşluklu yığma duvarların çevrimsel yük etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmalarda 1/2 ölçekli, biri referans 5 tanesi güçlendirilmiş numune olmak üzere toplam 6 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Deney elemanları, çimento harcı ve kil tuğlalar kullanarak, duvarların ortasında bir pencere boşluğu bırakılmış şekilde inşa edilmiştir. Deney numunelerinin tamamı, aynı şiddete sahip kuvvet etkisi altında deneye tabi tutulmuş olup, yük kademeli olarak arttırılarak duvar düzlemine paralel olarak etki ettirilmiştir. Deney elemanları güçlendirilmemiş, güçlendirilmiş ve sismik hasar sonrası onarılmış olmak üzere üç farklı durumda incelenmiştir. Cam elyaf takviyeli polimerlerin (GFRP), tuğla duvarların enerji sönümleme kapasitesini ve deformasyon dayanımını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. GFRP ile güçlendirilmiş deney elemanların basınç dayanımında, güçlendirilmemiş deney elemanlarına göre 1,68 kat artış görülmüştür. Güçlendirilmiş deney elemanların düzlem içi dayanımında 2,05-4,18 aralığında artış olduğu görülmüştür [7].

Chen ve ark. (2012), Tayvan'daki mevcut okul binalarının sismik yüklere karşı güçlendirilmesi konusundan hareketle deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Okul binalarının duvarlarında mimari açıdan zorunlu olarak bulunan kapı ve pencere boşluk bölgelerinin düzlem dışı sismik kapasitelerini arttırmak için, duvarları CFRP (Karbon fiber takviyeli polimerler) ile kaplayarak bir güçlendirme tekniği uygulamışlardır. Çalışmada 1/1 ölçekli betonarme bir çerçeve içindeki, 5 adet tuğla duvar numunesi test edilmiştir. Tuğla duvarların, düzlem dışı yanal yüklere maruz kalan betonarme çerçevelerin dayanımına katkısının oldukça düşük(%4) olduğu görülmüştür. Deney sonuçlarına göre; tuğla duvarlarla doldurulmuş çerçevelerin dayanımının açıkça görülmesine rağmen, tuğla duvarların dayanımı üzerindeki

etkisinin açık olmadığı görülmüştür. Deprem ve sismik yüklere karşı güçlendirme, deneyi yapılmış olan numunelerin maksimum yanal dayanımını ve dayanım artışını iyileştirmişlerdir. Önerilen analitik modelde tüm numunelerdeki yük-yerdeğiştirme ilişkisinin tatmin edici olduğunu öngörmüşlerdir [8].

Çeşitli avantajlar sunmalarına rağmen, polimer malzemeler ile güçlendirme yapmanın yanısıra bu malzemelerin yüksek maliyetleri, kompozit malzemelerin kırılma gerilme deformasyon özellikleri ve uzman iş gücü ihtiyacı dezavantajlar arasındadır.

2.1.2. Hasır çelik donatılı ve betonarme panel ile güçlendirme

Tekeli ve ark. (2014), hasır çelik donatılı özel sıva ile dolgu duvarların güçlendirilmesini incelemişlerdir. Bu amaçla aynı yapısal özelliklere sahip biri referans olmak üzere 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Referans çerçevenin içi boş bırakılarak diğer üç numunenin açıklıkların içine dolgu duvar örülmüştür. Tuğla duvarlı betonarme çerçevelerin iki tanesinin bir duvar yüzeyine hasır donatı ve sıva uygulamıştır. Güçlendirilmiş iki deney elemanında işçilik ve ankraj aralığı değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji tüketme kapasitesi ve yük taşıma kapasitesinin arttığını göstermiştir. 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. Enerji tüketme kapasitesi referans deney elemanına göre, tuğla dolgu duvarlı deney elemanında %30, seyrek ankraj ile güçlendirilmiş deney elemanında %100 ve sık ankraj ile güçlendirilmiş deney elemanında %110 artış olduğu görülmüştür [9].

Baran ve ark. (2013), $\frac{1}{2}$ ölçeğe sahip biri referans altı adet sıvanmış tuğla duvar üzerine şerit beton veya betonarme paneller yapıştırarak güçlendirilmiş, deney elemanını tersinir tekrarlanır yatay yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Panelleri duvara sabitlemek için kullanılan $\phi 6$ 'lık bulonların yerleri, bulon sayısı, panel

kalınlığı, ve panellere hasır donatısı eklenip eklenmemesi deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Deneyin sonucunda numunelerin sünekliğinin 1,5 kat, yatay yük taşıma kapasitesinin yaklaşık 2,5 kat ve enerji tüketim kapasitesinin 3 kattan daha fazla arttığı olduğu görülmüştür [10].

Ateş (2013), yığma duvarların içten ve dıştan donatılı püskürtme betonla güçlendirilmesi, güçlendirme yönteminin duvar performansını ve mekaniksel davranışını nasıl değiştirdiğini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışma , tek yüzüne püskürtme beton uygulaması yapılan duvarı deneye tabi tutan- Nalan KALKAN'nın (2008) çalışmasının devamı olarak planlanmıştır. Ateş (2013) iki yüzüne donatılı püskürtme beton uygulanmış duvarın (D2) mekaniksel davranışları incelenmiş ve tek yüzüne donatılı püskürtme beton uygulaması yapılan duvar (D1) deney sonuçlarıyla karşılaştırarak, püskürtme beton ile güçlendirme yönteminin performansını araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda; güçlendirilmiş D2 duvarında ilk çatlama -100 kN yük altında ve duvarda kırılmalar -275 kN yük altında meydana geldiği gözlenmiştir. İlk çatlama duvarın rijitliği 15,38 kN/mm, enerji tüketim kapasitesi 9000 kNmm ve kırılma rijitliği ise 6,87 kN/mm olduğu görülmüştür. D2 ve D1 duvarlarının deney sonuçları karşılaştırıldığında D1 duvarına nazaran D2 duvarının sünekliğinin 1,05 kat artarak 6,15' e ulaştığı, rijitliğinin 0,44 oranında azaldığı, dayanımının 1,47 kat arttığı ve enerji tüketme kapasitesinin 2,01 kat arttığı görülmüştür. Ayrıca (D2) duvarının sismik dayanım performansında yaklaşık 1,46 kat artış olduğu gözlemlenmiştir [11].

Canbay ve ark. (2010), önceden üretilmiş yüksek mukavemetli beton paneller kullanılarak binalardaki boşluklu tuğla duvarların güçlendirilmesini incelemişlerdir. Çalışmada altı adet şerit beton ve betonarme panellerle güçlendirilmiş ve bir adet sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvar olmak üzere toplam yedi adet duvar elemanı tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test etmişlerdir. Referans elemanın deney sırasında özellikle ilk turlarda sıvanın tuğla dolgu duvarın dayanımına çok etkin katkısı olduğunu görmüşlerdir. Deney sonuçları incelendiğinde betonarme panellerle güçlendirilen deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasiteleri 130,5 ve 133,2 kN ölçülüp ve yatay yük taşıma kapasitesinde artış 1,34 ile 2,49 kat arasında

görülmüştür. Beton panellerle güçlendirilmiş deney elemanların yük taşıma kapasitesindeki artış sırasıyla 1,69 ve 1,87 kat olduğu ve yük taşıma kapasitesindeki artış referans deney elemanına göre sırasıyla 2,44 ve 2,49 kat olduğunu görmüşlerdir [12].

Özdemir (2008), betonarme çerçevelerin, tuğla dolgu duvarlı ve hasarlı olduğu düşünülen binaların duvar yüzeyine uygulanan hasır donatı ve sıva ile güçlendirilmesi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada tek katlı tek açıklıklı ½ ölçekli, 10 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu deneysel çalışmada, bölme duvarının, çerçeveye yapılan ankraj aralığının, duvar düzlemine dik ankraj sayısının, sıva kalınlığının ve sıva kalitesinin, güçlendirilmiş bölme duvar çerçevesinin dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın sunucunda bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin, çerçeve yatay yük taşıma kapasitesini, yanal rijitliğini, enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde arttırmıştır [13].

Kalkan (2008), 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 dösemeye 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 ulaştığını görmüştür. Güçlendirilmiş duvarın referans elemana göre dayanımının 3,1 kat artmıştır. Güçlendirilmiş duvarın referans elemana göre sünekliğinde 2.64 kat artış olduğunu görmüştür. Güçlendirilmiş duvarın enerji tüketme kapasitesinin 13,94 kat arttığı, rijitliğinin ise 0,46 oranında azaldığı, ve duvarın sismik dayanım performansını yaklaşık 3,11 kat arttığını görmüştür [14].

Hasır çelik donatılı ve betonarme panel ile güçlendirme yönteminde çeşitli avantajlar sunmalarına rağmen, bu güçlendirme yöntemin maliyetli olduğu ve uzman iş gücü ihtiyacı dezavantajlar arasındadır.

2.1.3. Delikli sac ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirme

Rüçhan (2018), tuğla duvarların çelik levhalar kullanılarak kesme davranışının iyileştirilmesini incelemiştir. Çalışma kapsamında birbirinden farklı 12 adet deney elemanı, üç farklı tip kâgir yapı malzemesi kullanarak üretilmiştir. Güçlendirilmiş boşluklu yığma tuğla deney elemanların taşıma gücü referans deney elemanına göre yaklaşık %142 oranında bir artış göstermiştir. Güçlendirilen dolu harman tuğla deney numunelerinin taşıma gücü, referans elemana göre yaklaşık %195 artmıştır. Güçlendirilmiş gazbeton deney elemanların taşıma gücü referans deney elemanına göre yaklaşık %150 oranında bir artış göstermiştir. Güçlendirilmiş deney elemanları, referans deney elemana göre tepe noktasına kadar yaklaşık %576, göçme noktasına kadar ise yaklaşık %552 daha fazla deformasyon enerjisi tüketmiştir. Dolu harman tuğla ile imal edilen deney elemanları referans deney elemanla karşılaştırıldığında tepe noktasına kadar yaklaşık %360, göçme noktasına kadar ise yaklaşık %376 enerji tüketmiştir. Referans deney elemanı ile karşılaştırıldığında Gazbeton ile imal edilen duvarlarda tepe noktasına kadar tüketilen enerji %25, göçme noktasına kadar tüketilen enerji %75'dir [1].

Leeanansaksiri ve ark (2018), standart genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş, sismik yüklemeye tabi tutulmuş, tersinir tekrarlanır yükleme altında betonarme çerçevelerdeki tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, deprem yükü için tasarlanmış üç katlı betonarme bir binadan bir çerçeve seçilmiştir. Betonarme boş çerçeve, tuğla duvarlı dolgulu çerçeve ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilmiş duvar dolu çerçeve olmak üzere 1:1 oranında tam ölçekli olarak hazırlanmış, üç deney elemanı tersinir tekrarlanır yükleme altında çerçeve yanal mukavemeti, yanal ötelenme miktarı ve enerji tüketim kapasitesindeki değişimler incelenmiştir. Güçlendirilmiş elemanın referans elemana göre yanal mukavemetini %25, ilk yanal sertliği %26 ve enerji tüketim kapasitesini, %27

artırmıştır. Duvarın yük taşıma kapasitesinin 1.3-2,6 kat aralığında, yatay yük kapasitesi 1,3 –2,3 kat referans elemana göre arttırdığını göstermiştir. Ayrıca, enerji tüketim kapasitesi, referans elemana göre 5.09 ve 6.46 katı artmıştır. Yükleme yönünde %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 güçlendiriln elemanların referans elemana göre 5.62 ve 5.87 katı görülmüştür. Delikli çelik levha kullanımı, sismik yükleme altında tuğla dolgu duvarlarının yük aktarma davranışını iyileştirmek için çok etkili bir yöntem olduğu görülmüştür [15].

Aykaç ve ark (2017), tersinir ve tekralanır yükler altında delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarların davranışları deneysel olarak inceleyip test etmişlerdir. Çalışmada $\frac{1}{2}$ ölçekli 1500 mm genişliğe ve 1180 mm yüksekliğe sahip biri referans 12 adet güçlendirilmiş toplam 13 deney elemanı laboratuvar koşulları dikkate alınarak üretilmiştir. Bu çalışmada, mevcut tuğla duvarların her iki yüzüne delikli çelik levhalar yerleştirilmiş ve civatalarla tutturulmuştur. Delikli çelik levhalarla güçlendirilen numunelerin, herhangi bir önemli güç kaybı olmaksızın % 10'un üzerinde kayma oranlarına ulaştığı, deneylerin son aşamalarında bile, güçlendirilmiş tuğla duvarların bütünlüklerini koruduğunu gözlemlemişlerdir. Güçlendirilmiş numunelerin yanal yük kapasitesindeki artış referans değerine göre 1.3 – 2.3 kat arasında olduğu, delikli çelik levhaların enerji yutma kapasitesini 5 kat arttırdığı ve yük taşıma kapasitesini (5–10 katı arasında) büyüttüğünü belirtmişlerdir [16].

Cumhur (2016), dolgu duvarların üzerinde genişletilmiş çelik levhaların etkisini araştırmış, çalışmanın kapsamında, iki referans olmak üzeri toplamda 30 adet tam ölçekli güçlendirilmiş deney numunesi üreterek deney elemanlarını köşegenel basınç yükler altında deneye tabi tutmuştur. Çalışmada genişletilmiş çelik levhanın kalınlığı, bulon ankraj aralıkları ve çelik levhanın konumu deney değişkeni olarak belirtmiştir. Tuğla dolgu duvarlar her iki yüzeyine genişletilmiş çelik levha bulonlar yardımıyla sabitlenerek güçlendirmiştir. Güçlendirmenin etkisiyle deney elemanlarının taşıma

gücü kapasitesinde 1,1-4,5 kat, enerji dönüştürme kapasitesinde 5,1-25,7 kat, rijitliğinde 1,2-4,0 kat ve sünekliğinde 3,5-9,5 kata kadar artış olduğunu ifade etmiştir. Deney değişkenleri arasında çelik levhanın konumu, deney numunelerin taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesi üzerinde en fazla etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışmanın sonucunda güçlendirilmiş deney elemanların kompozit bir malzeme gibi davrandığı, duvar üzerinde üç eksenli sayılabilecek bir sargılama basıncının olduğu ve duvarın çekme gerilmesinin büyük bir kısmının levhalar tarafından karşılandığı değerlendirilmiştir [17].

Özbek (2015), delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlara sahip olan betonarme çerçevelerin davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Çalışmada $\frac{1}{2}$ ölçekli, tek açıklıklı, tek katlı, kolon, kiriş ve temelden oluşan betonarme çerçevenin içine tuğla duvar örülmüş, 14 adet deney elemanı üretilmiştir. Çalışmada delikli çelik levhanın kolonlara bağlantısının olup olmaması, bulon aralığı ve delikli çelik levha kalınlığı deney değişkeni olarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda güçlendirilmiş deney elemanların referans numuneye göre taşıma kapasitesi 1.5 ile 2 kat, rijitliği 2.4 kat ve enerji dönüştürme kapasitesindeki artış 4.7 kattan daha fazla olduğu görülmüştür [18].

Seydanlıoğlu (2013), tekdüze diyagonal yükler altında delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların davranışını incelemiştir. Bu amaçla aynı yapısal özelliklere sahip biri referans olmak üzere toplamda 13 adet deney numunesi üretilmiştir. Çalışmada delikli çelik levha kalınlığı ve bulon ankraj aralıkları deney değişkeni olarak belirtmiştir. Çalışmanın sonucunda güçlendirilmiş deney numunelerin referans numuneye göre diyagonal basınç kapasitesini % 30 ile % 160 arasında artırdığını, enerji tüketme kapasitesini 3,62 ile 14,04 kat artırdığını, sünekliğini 5,18 ile 5,70 kat artırdığını görmüştür [19].

Özbek ve ark. (2012), çapraz çelik şeritleri bulonlar yardımıyla tuğla duvarlara tutturarak bir güçlendirme yöntemi uygulayarak deneysel çalışma yapmışlardır. Bir tanesi referans olmak üzere $\frac{1}{2}$ ölçekli beşi güçlendirilmiş toplam 6 adet sıvalı tuğla

duvar deney elemanı köşelerde kullanılan ince üçgen çelik levhalar ve çelik profillerle güçlendirme yapılarak deneysel çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sunucunda da kullanılan üçgen levhaların, köşelerdeki tuğlaların ezilmesini önlediği ve sargılama basıncını arttırdığı görülmüştür. Üçgen levhaların sayısı ve boyutları arttıkça tuğla duvar dayanımında da artış olduğu ve dayanımın yaklaşık 3,5 kat; rijitliğin ise 3 kat artabileceğini gözlemlemişlerdir [20].

Babayani (2012), yığma tuğla duvarların üzerine delikli çelik levhaları eklenerek güçlendirilmesini deneysel olarak incelemiştir. Deney elemanları 1500 mm x1250 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 sahiplerdir. 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, sünekliğinin 1,35 – 5,33 kat, toplam tüketilen enerjisini 5,15 – 9,36 kat ve yanal yük taşıma kapasitesinin de 1,15 – 2,30 kat arttığı görülmüştür [21].

Choi ve Park (2011), ince çelik levhaların betonarme çerçeveye tutturulması ile oluşturulan sistemlerin davranışı incelenmiştir. Bu amaçla 1/3 ölçekli üç katlı, ve tek açıklıklı beş deney elemanı kolonlara eksenel yük vermeden tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Kolonlarda boyuna donatı oranı ve çelik levhaların boşluğu deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Güçlendirilen elemanların dışında karşılaştırma amaçlı bir adet betonarme perde duvar ve bir adet te betonarme çerçeve üretilmiştir. Deney elemanları yaklaşık aynı dayanımları göstermiş, ek olarak, ince çelik levhalarla güçlendirilmiş elemanlarda dayanımlarından ziyade yerdeğiştirme kapasitesinde de büyük artışlar görülmüştür. Deneylerin yük-yerdeğiştirme oranı zarf eğrileri incelendiğinde, betonarme perde duvarda dayanımda önemli kayıp

gözlenmemişken ulaşılan kat ötelenme oranı yaklaşık %1,5 görülmüştür. Bu oran ince çelik levhalı elemanlarda ise %4 değerlerine kadar arttığını görmüşlerdir [22].

Eren ve ark. (2009), bölme duvarı ve bölme duvarı güçlendirmesinin çerçeve davranışı üzerindeki etkisi araştırılmış ve test edilen elemanların yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve enerji yutma kapasitelerindeki değişiklikler incelemişlerdir. Çalışmada tek katlı tek açıklıklı $\frac{1}{2}$ ölçekli, 3 adet betonarme çerçeve üretilerek çerçevelerden biri boş olarak deneye tabi tutulup ikinci çerçevenin içine duvar örülerek deneye tabi tutulmuş ve bölme duvar etkisini araştırmışlardır. Diğer çerçeve ise, 2007 TDY'de verilen parametrelere dayanarak dolgu duvar üzerinde çelik hasır uygulaması ile güçlendirilerek deneye tabi tutulmuştur. Bu amaç için hazırlanan üç adet çerçeve elemanı, tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında test edilmiştir. Numunelerin taşıdığı maksimum yatay yük, bu üç numunede karşılaştırıldığında; boş çerçeveyi duvarlı hale getirilmesiyle beraber yük taşıma kapasitesinde 3.7 kat artış görülmüştür. Bölme duvarlı çerçeveyi hasır çelik ve sıva ile güçlendirerek numunenin yatay yük taşıma kapasitesindeki artış 1.78 kat görülmüştür. 2007 deprem yönetmeliğinde belirtilen verilere göre yapılmış, Bölme duvar çerçevesinin güçlendirilmesi ile yatay yük taşıma kapasitesinde % 78 artış sağlandığı görülmüştür. bölme duvar çerçevesinin güçlendirilmesiyle elde edilen rijitlik artışı % 80 iken, maksimum yükteki artış % 78'dir [23].

Delikli sac levhalarla yapılan çalışmalarda, olumlu sonuçlar elde edilmesine rağmen bazı dezavantajları da vardır. Bunlardan bazıları, güçlendirme sonrası mimari ve görsel açıdan meydana gelen sorunların oluşması ve sıva ile aderansının iyi olmamasıdır.

Yığma yapı elemanların düşey doğrultusundaki taşıma kapasitesi bakımından yeterli olduğu, bu elemanların yatay doğrultusundaki deprem yüklereine karşı dayanımı yetersiz olduğu için, tuğla duvarlı yapıların yatay deprem yüklerine karşı dayanımının araştırılması ve taşıma kapasitesinin artırılması için yeni güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Geçmişte yapılmış olan çalışmalarda,

güçlendirilmiş tuğla duvarlarda süneklik problemin ortaya çıkması, nitelikli iş gücünün gerekliliği, uygulama zorluğu, binaların boşaltılmasının gerekmesi, güçlendirme süresinin uzunluğu, maliyetinin yüksek olması gibi olumsuzluklar nedeniyle yaygınlık kazanamamıştır. Bu amaçla tuğla duvarların güçlendirilmesi için yapılan çalışmalar dışında ilk defa genişletilmiş çelik levhalar ile yığma tuğla duvarlar güçlendirilmiştir. Deney elemanları Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı mekaniği laboratuvarında test edilmiştir. Uygulanmış olan bu güçlendirme yöntemde, hazırlanmış tuğla duvarların iki yüzüne genişletilmiş çelik levhalar eklenmiştir. Bu levhalar birbirlerine belli aralıklardaki bulonlar yardımıyla bağlanmış ve farklı levha kalınlığı ile tuğla duvarların güçlendirilmesidir. Bu şekilde mevcut duvar üzerinde üç eksenli sayılabilecek bir sargılama basıncı oluşmuş ve duvar dayanımı artmıştır. Genişletilmiş çelik levhalar, kendi düzlemleri içinde duvar dayanımına katkıda bulunmuştur. Bu çalışma literatürden farklı olarak yapıda var olan duvarların yıkılmadan güçlendirilmesi, yapının yanal rijitliği ve dayanımının artırması, deprem esnasında duvarların eksenin dışına çıkmasının önlenmesi, can ve mal güvenliğinin temin etmesi için hızlı ve uygulanabilir yeni bir tekniğin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın kapsamında bir referans duvar, dört güçlendirilmiş duvar olmak üzere toplamda 5 adet deney elemanı ile yürütülmüştür. Güçlendirilen numunelerden biri, ana çalışma içinde yer alan bir deneme elemanı olarak tasarlanmıştır. Deneye hazırlanmış bütün numuneler diyagonal yükleme altında test edilmiştir. Güçlendirme işleminde sıvasız duvarın her iki yüzüne çelik levhalar eklenmiş ve bu levhalar bolunlar yardımıyla duvarın üzerine sabitlenmiştir. Çalışmada güçlendirme amacıyla kullanılan çelik levhaların kalınlığı deneyin değişken parametresi olarak kabul edilmiştir.

BÖLÜM3. DOLGU DUVARLARIN DBYBHY (2007) VE DBYBHY (2018)'E GÖRE GÜÇLENDİRME TEKNİKLERİ

Bu bölümde, dolgu duvarlarının 2018 türkiye bina deprem yönetmeliğine göre güçlendirme teknikleri detaylı olarak anlatılmış ve 2007 türkiye bina deprem yönetmeliği ile de karşılaştırılması yapılmıştır.

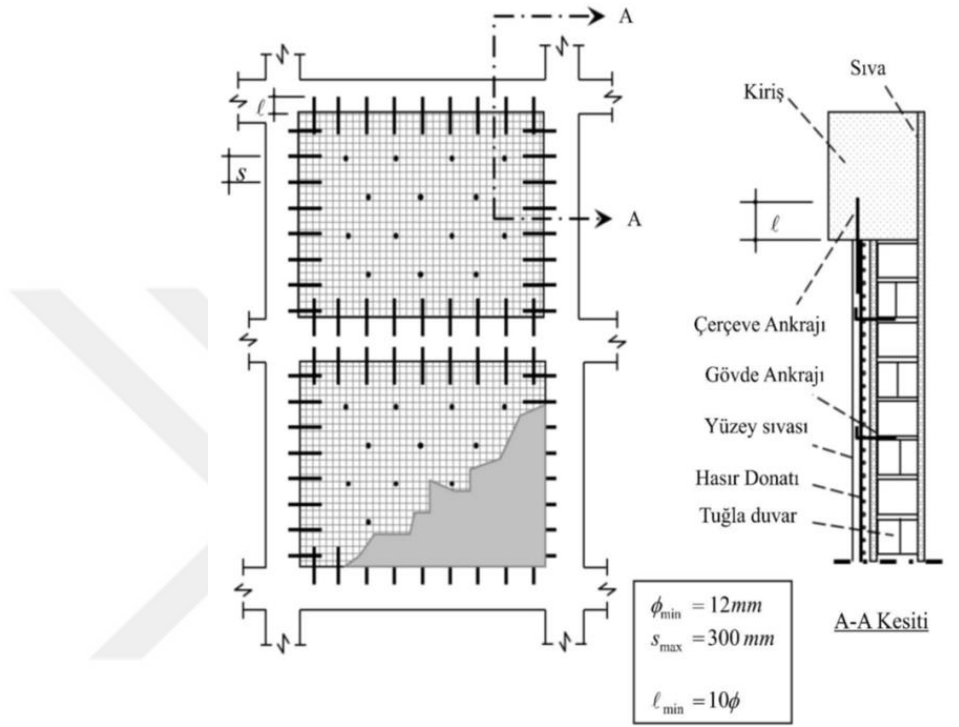
3.1. Dolgu Duvarlarının Güçlendirilmesi

Temel üstünden çatıya kadar üst üste süreklilik gösteren duvarların rijitliği ve kesme dayanımı, aşağıda tanımlanan güçlendirme yöntemleri ile artırılabilir [24].

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 [25]. 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. Uygulama detayları Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Dolgu duvarların hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi[24].

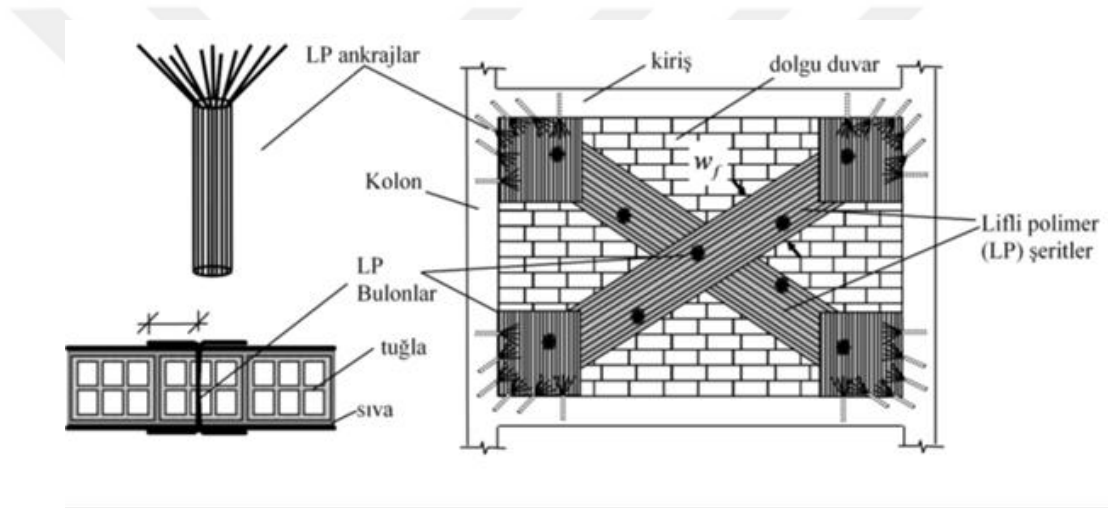
3.1.2. Dolgu duvarlarının lifli polimerler ile güçlendirilmesi

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

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 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 kalınlığına geçen LP bulonlar ile duvara sabitlenecektir.

Güçlendirilen dolgu duvarlarında oluşan kuvvetlerin zemine güvenle aktarılması için gerekli olan temel düzenlemesi yapılmalıdır



Şekil 3.2. Dolgu duvarlarının lifli polimerlerle güçlendirilmesi [24].



Şekil 3.3. Yığma yapıda oluşan duvar hasarları [26].

Tablo 3.1. 2018 ve 2007 Deprem yönetmeliklerinin dolgu duvarların karşılaştırılması

2018 ve 2007 Deprem yönetmeliklerinin, dolgu duvarların güçlendirilmesi bölümünün karşılaştırılması	
2018 Deprem yönetmeliği	2007 Deprem yönetmeliği
Hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi	Hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmesi
Sıva tabakasının kalınlığı en az 30 mm olmalı	Sıva tabakasının kalınlığı en az 30 mm olmalı
Hasır donatı beton örtüsü en az 20 mm olmalı	Hasır donatı beton örtüsü en az 20 mm olmalı
Sıvanın basınç dayanımı en az 5 MPa olmalı	Sıvanın basınç dayanımı en az 5 MPa olmalı
-----	Özel sıva 4 hacim kum, 1 hacim çimento ve 1 hacim kireç karışımı ile yapılmalı
Güçlendirilecek duvarların köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır.	Güçlendirilecek duvarların köşegen uzunluğunun güçlendirme öncesi kalınlığına oranı 30'dan küçük olmalıdır
Kullanılacak çerçeve ankraj çubuğunun en küçük çapı 12 mm olmalı	Kullanılacak çerçeve ankraj çubuğunun en küçük çapı 12 mm olmalı
En az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 300 mm olmalıdır.	En az ankraj derinliği çubuk çapının on katı ve en geniş çubuk aralığı 300 mm olmalıdır.
Boşluklu fabrika tuğlası: $E_{duvar}=2000$ MPa; $f_{duvar}=30$ MPa; $\tau_{duvar}=0.20$ MPa	Boşluklu fabrika tuğlası: $E_{duvar}=1000$ MPa; $f_{duvar}=1.0$ MPa; $\tau_{duvar}=0.15$ MPa
Harman tuğlası: $E_{duvar}=2000$ MPa; $f_{duvar}=5.0$ MPa; $\tau_{duvar}=0.25$ MPa	Harman tuğlası: $E_{duvar}=1000$ MPa; $f_{duvar}=2.0$ MPa; $\tau_{duvar}=0.25$ MPa
Gazbeton blok: $E_{duvar}=1000$ MPa; $f_{duvar}=2.5$ MPa; $\tau_{duvar}=0.20$ MPa	Gazbeton blok: $E_{duvar}=1000$ MPa; $f_{duvar}=1.5$ MPa; $\tau_{duvar}=0.20$ MPa

Tablo 3.1.'e bakıldığında DBYBHY (2007)'de özel sıva için belirlenen hacim oranları DBYBHY (2018)'de kullanılmamıştır. Aynı şekilde DBYBHY (2018)'de Dolgu duvarların elastisite modülü, basınç dayanımı ve kayma dayanımında artışların olduğu görülmüştür.,

BÖLÜM 4. MATERYAL METHOD

Bu çalışmanın kapsamında, deney numunelerin üretilmesi için Türkiye şartlarında standart bir işçilik, Türkiye'deki binaların duvarlarında kullanılmakta olan düşey delikli blok tuğla ve güçlendirme işleminde genişletilmiş çelik levhalar kullanılmıştır.

4.1. Deney Programı

Bu çalışmada; yığma yapılarda taşıyıcı eleman olarak kullanılan ve $135 \times 190 \times 290$ mm ebatlarındaki düşey delikli taşıyıcı blok tuğlalardan inşaa edilen tuğla duvarların güçlendirilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Deneysel olarak incelemesi yapılacak olan yığma tuğla duvar numuneleri 1000×1000 mm ebatlarında birim panel şeklinde inşaa edilmiştir.

Deney matrisi biri referans, dördü güçlendirilmiş olmak üzere toplamda 5 adet 1000×1000 mm'lik duvardan oluşturulmuştur. Bu çalışmada güçlendirmede kullanılan çelik levhaların kalınlığı deney parametresi olarak kabul edilmiştir. Deney elemanlarına verilen indislerin açıklaması Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Deney elemanlarına verilen indislerin açıklaması

No	İndisler	İndis açıklaması
1	MBW	(Masonry Brick Wall) Yığma Tuğla Duvar
2	3.0-400	3,0 mm kalınlığına sahip çelik levhaların 400 mm aralıklı bulonlar
3	1.5-150	1,5 mm kalınlığına sahip çelik levhaların 150 mm aralıklı bulonlar
4	2.0-150	2,0 mm kalınlığına sahip çelik levhaların 150 mm aralıklı bulonlar
5	3.0-150	3,0 mm kalınlığına sahip çelik levhaların 150 mm aralıklı bulonlar

Tablo 4.2. Deney elemanlarının özellikleri

No	Numune	Sıva Kalınlığı (mm)	Levha Kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	M6 Bulon Sayısı
1	R (Referans)	25	-	-	-
2	MBW 3.0-400	25	3,0	400	9
3	MBW 1.5-150	25	1,5	150	49
4	MBW 2.0-150	25	2,0	150	49
5	MBW 3.0-150	25	3,0	150	49

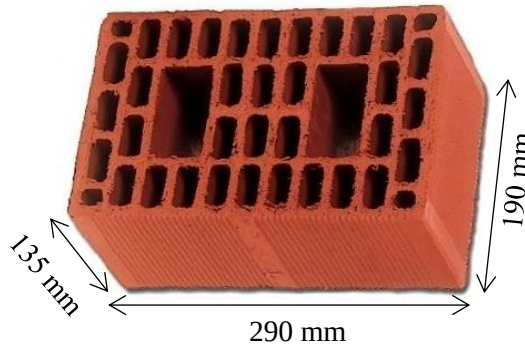
MBW = Masonry Brick Wall = Yığma Tuğla Duvar

4.2. Deneyde Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deney sonuçları gerçeğe daha yakın ve kıyaslanabilir olması için deney numunelerin üretiminde kullanılan bütün malzemelerin hepsi aynı üreticiden temin edilmiştir. Deney elemanları daha ekonomik üretilebilmesi için maliyeti artıracak, özel olarak üretilmiş hiçbir malzeme kullanılmamıştır. Deneyde kullanılmış olan bütün malzemeler piyasada rahatlıkla bulunabilmektedir.

4.2.1. Tuğla

Dolgu duvarların örülmesinde piyasada 19'luk olarak bilinen düşey delikli blok tuğlalar (135 mm x190mm x290mm) kullanılmıştır. Deneyde kullanılan tuğlaların özelliklerini belirlemek için 30 adet tuğla üzerinde ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda tuğlaların yüksekliği ortalama 133.5 mm ve standart sapma değeri 1.4, uzunluğu yaklaşık 287 mm ve standart sapma değeri 0.7, genişliği ise yaklaşık 190 mm ve standart sapma değeri 0 ve her bir tuğlanın ağırlığı ortalama 4.2 kg olarak bulunmuştur. Kullanılan tuğlaların ebatları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Düşey delikli tuğla boyutları

Tuğlaların hacim birim ağırlığı 700 kg/m^3 ve serfiyatı (ad/m^2) 22-35 adettir. Ayrıca tuğlaların basıç dayanımını belirlemek için 27 adet tuğla numunesi TS EN 772-1'e uygun olarak basınç (sıkıştırma) altında test edilmiştir [27]. Tuğlanın basınç dayanımı fabrikanın verdiği değer 3 Mpa, Labaratvarda deney sonucunda elde edilen basınç dayanımları, tuğla deliklerine paralel yönde 3.3 MPa, boşluklara dik-kısa yönde 1.3 MPa ve boşluklara dik-uzun yönde 3.3 MPa olarak bulunmuştur. Tuğla dolgu duvarlar mümkün olabildiğince sıradan bir işçilikle sıvanmıştır. Deneyde kullanılan tuğlaların basınç dayanımları Tablo 4.3.-4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Düşey delikli tuğlanın deliklere paralel doğrultudaki basınç dayanımı

Numune No	Yükleme alanı (mm^2)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (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	105,0	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

Deney sonuçları istatistik veriler; ortalama, standart sapma ve varyans değerleri alınarak belirlenmiştir. Örnek uygulama örneği Denklem 4.1.-4.3.'de verilmiştir.

Ortalama: bir sayı dizisindeki elemanların toplamının eleman sayısına bölünmesi ile elde edilir [28].

$$X^- = \frac{\sum x}{n} \quad (4.1)$$

$$X^- = \frac{2.6+3.2+2.2+4.6+2+4.6+2.8+4.6+2.8}{9} \quad X^- = 3.3$$

Varyans: Dağılımdaki tüm verilerin aritmetik ortalama ile olan farklarının toplamının veri sayısının bir eksiğine bölümüdür [28].

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (4.2)$$

$$S^2 = \frac{0.49+0.01+1.21+1.69+1.69+1.69+0.25+1.69+0.25}{9-1}$$

$$S^2 = \frac{8.97}{8} \quad S^2 = 1.12$$

Standart Sapma: Dağılımdaki tüm verilerin aritmetik ortalama ile olan farklarının karelerinin veri sayısının bir eksiğine bölümünün kareköküdür [28].

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

$$S = \sqrt{\frac{0.49+0.01+1.21+1.69+1.69+1.69+0.25+1.69+0.25}{9-1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{8.97}{8}} \quad S = 1.06$$

Tablo 4.4. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı

Numune No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (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	3.4
S. Sapma (SD)		24.5	0.7

Tablo 4.5. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı

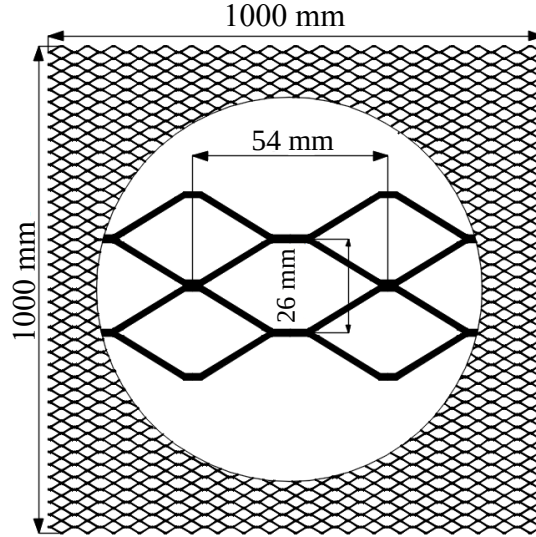
Numune No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
1	24050	15.9	0.7
2	24050	25.9	1.1
3	24050	36.3	1.5
4	24050	24.9	1
5	24050	31.9	1.3
6	24050	47.2	1.9
7	24050	49	2
8	24050	12.8	0.5
9	24050	30.3	1.3
Ortalama		30.5	1.3
S. Sapma (SD)		11.7	0.5



Şekil 4.2. Düşey delikli tuğlanın basınç makinesiyle kırılması

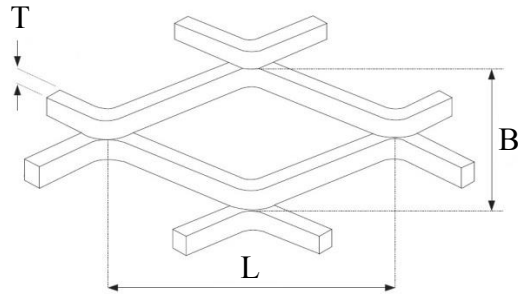
4.2.2. Genişletilmiş çelik levha

Sıvanmış tuğla dolgu duvarların güçlendirme işleminde kullanılmış çelik levhaların hepsi tek seferde ve aynı yerden temin edilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarında kullanılan çelik levhaların kalınlığı 1,5-2,0 ve 3,0 mm'dir. Bu levhalar ortalama 280 MPa akma dayanımına sahiptir. Genişletilmiş çelik levhalar istenilen boyutlarda üretimi yapılabilen metaldır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Genişletilmiş çelik levha

Genişletilmiş çelik levhaların, cephe kaplama sistemlerinde, fabrika bölmelerinde, ısıtma ve soğutma sistemlerinin muhafazasında, her türlü kafes imalatında, asma tavan sistemlerinde, güneş kırıcı sistemlerinde, saha beton içlerinde, yürüme platformlarında, dekoratif bahçe çitlerinde, duvar sıvalarının altlarında, otomotiv sanayisinde, ızgara kapaklarında ve her çeşit filtre üretiminin yanı sıra birçok sektörde farklı şekillerde kullanım alanları bulunmaktadır. levhaların geometrisi Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Genişletilmiş çelik levha geometrisi

Genişletilmiş çelik levhalar 54x26 mm ebatlarında olup tek bir parça metalden imal edilmiş, üretiminde hiçbir şekilde kaynak ya da montaj kullanılmamıştır. Çelik levhaların çekme testleri yapılmış kopma dayanımı ve uzama oranları Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Çelik levhaların kopma dayanımı ve uzama oranları

Levha No	Levha kalınlığı (mm)	Kopma dayanımı (kN)	Uzama oranı (%)
1	1,5	4	5
2	2,0	6,5	10
3	3,0	10	5.5

Genişletilmiş Çelik levhalar boşluklu bir yapıya sahip, levhalar üzerine fabrika ortamında genişletme ve kesme işlemi uygulanarak bir ağ ya da kesikli yapı haline getirilmiştir. Çelik levhaların deneyden önce ve sonraki durumu Şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Çelik levhaların deneyden önce ve sonraki durumu

4.2.3. Sıva ve harç

Sıva ve duvar örülmesi için kullanılan harç, su, çimento, kireç ve kumun karışımıyla elde edilmiştir. Sıva ve harç yapımında aynı karışım oranları kullanılmıştır. Duvar örme harcı ve sıva harcı karışımları Tablo 4.7.'de verilen su-kum-kireç-çimento oranlarına göre olabildiğince sıradan bir işçilikle hazırlanmıştır. Karışımında kullanılan malzemelerin oranı aşağıdaki tabloda verildiği gibi malzemelerin ölçümü yüzde (%) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.7. Sıva ve harçta kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları

Malzeme Adı	Su	Kireç	Kum	Çimento
%	10	10	60	20

Karışımındaki su oranı yaklaşık bir oran olup kumun su içeriğine ve sıvanın bekletilme süresine göre değişmektedir. Tuğla dolgu duvarların üretim kalitesini benzer seviyede tutabilmek için bütün harç ve sıva karışımları aynı kişi tarafından hazırlanarak yine aynı kişi tarafından uygulanmıştır. TS EN 1015-11 'e uygun olacak şekilde sıva ve harç karışımlarının her birinden 9, toplamda 36 adet silindir numunesi alınarak deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda harç ve sıvanın basınç dayanımları elde edilmiştir. Silindir numunelerin testlerine dayanarak, referans numunelerin harç ve sıva ortalama basınç dayanımı sırasıyla 7,4 ve 10,2 MPa ve standart sapma değerleri de sırasıyla 0,8 ve 0,6'dır. Aynı şekilde güçlendirilen numunelerin harç ve sıva ortalama basınç dayanımı sırasıyla 9,2 ve 8,7 MPa ve standart sapma değerleri de sırasıyla 0,8 ve 0,4'tür. Silindir numunelerin çapı 10 cm ve yüksekliği 20 cm'dir. Kullanılan harç ve sıvanın basınç dayanımları Tablo 4.8.-4.12.'de harç ve sıva numunelerin yapım aşamesi de aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Tablo 4.8. Referans numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yüklem alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
RH1	7854	41,8	5,3
RH2	7854	59,5	7,6
RH3	7854	60,4	7,7
RH4	7854	61,3	7,8
RH5	7854	60,2	7,7
RH6	7854	59,3	7,6
RH7	7854	66,2	8,4
RH8	7854	58,8	7,5
RH9	7854	56,4	7,2
Ortalama		58,2	7,4
S. Sapma (SD)		6,3	0,8

RH: Referans numunelerden alınan harç silindir numuneleri

Tablo 4.9. Referans numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yüklem alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
RS1	7854	81,5	10,4
RS2	7854	79,9	10,2
RS3	7854	76,5	9,7
RS4	7854	82,4	10,5
RS5	7854	81,6	10,4
RS6	7854	81,4	10,4
RS7	7854	70,1	8,9
RS8	7854	75,8	9,7
RS9	7854	89,0	11,3
Ortalama		79,8	10,2
S. Sapma (SD)		4,9	0,6

RS: Referans numunelerden alınan sıva silindir numuneleri

Tablo 4.10. Güçlendirilen numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yüklem alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
GH1	7854	82,0	10,4
GH2	7854	70,7	9,0
GH3	7854	77,3	9,8
GH4	7854	84,1	10,7
GH5	7854	68,8	8,8
GH6	7854	80,6	10,4
GH7	7854	74,1	9,4
GH8	7854	88,7	11,4
GH9	7854	89,7	11,4
Ortalama		79,6	10,1
S. Sapma (SD)		7,0	0,9

GH: Güçlendirilen numunelerden alınan harç silindir numuneler

Tablo 4.11. Güçlendirilen numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yüklem alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
GS1	7854	80,3	10,2
GS2	7854	77,7	9,9
GS3	7854	70,9	9,0
GS4	7854	67,8	8,6
GS5	7854	71,0	9,1
GS6	7854	81,6	10,4
GS7	7854	70,4	9,0
GS8	7854	73,7	9,4
GS9	7854	60,5	7,7
Ortalama		72,7	9,2
S. Sapma (SD)		6,2	0,8

Tablo 4.12. Güçlendirilen numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yüklem alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
GS10	7854	70,2	8,9
GS11	7854	67,5	8,6
GS12	7854	70,8	9,1
GS13	7854	74,2	9,5
GS14	7854	67,2	8,6
GS15	7854	68,7	8,8
GS16	7854	65,5	8,3
GS17	7854	61,9	7,9
GS18	7854	70,9	9,0
Ortalama		68,5	8,7
S. Sapma (SD)		3,4	0,4

GS: . Güçlendirilen numunelerden alınan sıva silindir numuneleri



Şekil 4.6. Harç numunelerin alma durumu



Şekil 4.7. Harç numunelerin kalıpte bekletilme durumu



Şekil 4.8. Harç numunelerin kalıptan çıkarılmış durumu

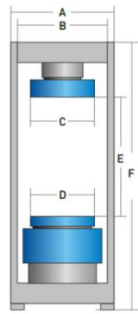
Sıva ve harç numuneleri kırmak için basınç dayanım deney pres makinesi kullanılmıştır. Makine 2000 kN kapasite, 250 mm piston çapı ve 50 mm piston çap hareketine sahiptir. Basınç dayanım deney pres makinesinin şekli ve özellikleri

aşağıda Tablo 4.13. ve Şekil 4.9.'da verilmiştir. Basınç dayanım deney presi gövdeleri aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır;

1. Yük gövdesi
2. Yükleme plakaları (küresel yataklı üst yükleme plakası ve ara mesafe parçası)
3. Piston ve devre kesme anahtarı (Limit switch)
4. Ön ve arka koruyucu kapılar

Tablo 4.13. Basınç dayanım deney pres makinesinin özellikleri

Makine modeli	Kapasite (kN)	Piston çapı (mm)	Piston çap hareketi (mm)	Ağırlık (kg)
UTC 4720	2000	250	50	710



B: Yatay Açıklık
 E: maksimum dikey açıklık
 D: Ara Mesafe Parçası Boyutu
 C: Piston Çapı
 Ax F: makine boyutları

Şekil 4.9. Basınç dayanım deney pres makinesinin şekli

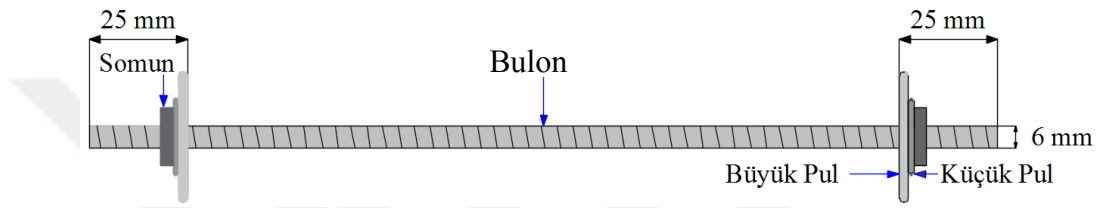


Şekil 4.10. Harç numunelerin kırılma durumu

4.2.4. Bulon, pul ve somun

Güçlendirilmiş deney elemanlarda kullanılan çelik levhaları duvara sabitleyebilmek için bulon, pullar ve somun kullanılmıştır. Deneye hazırlanan boşluklu tuğla duvarın

üzerine 1000x1000 mm şeklinde kesilmiş karton konularak bulonların yerleştirilmesi gereken yerler işaretlenmiş, matkap yardımı ile duvardaki işaretlenen yerlerde delikler açılarak genişletilmiş çelik levha duvar üzerinde yerleştirilmiş ve bulonlar duvarda açılan deliklerden geçirilmiş, pullar takılarak somunlar yardımıyla sıkılmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarda kullanılan bulonlar bir metre boyunda ve farklı çaplarla piyasada kolaylıkla bulunmaktadır. Bu deney elemanlarında kullanılan, çapı 6 mm (M6) bulonun, pul ve somunun geometrisi Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Güçlendirme amacıyla kullanılan bulon, pul ve somun geometrisi

Bu çalışmada St37 çapı 6 mm (M6) bulonlar kullanılmıştır. Kullanılan bulonlar bir metre boyunda olup laboratuvarında spiral yardımıyla kesilerek 250 mm lik parçalar haline getirilmiştir. Bulonlar duvarda açılan deliklerden geçirilmiş, pullar takıldıktan sonra somunlar ardgerme etkisi için 3 N.m' lik tork ile sıkılmıştır. Bulonların eğilme dayanımı, şekil değiştirmesi ve girilmesi Tablo 4.14.'de verilmiştir.

Tablo 4.14. Bulonların eğilme dayanımı, şekil değiştirmesi ve girilmesi

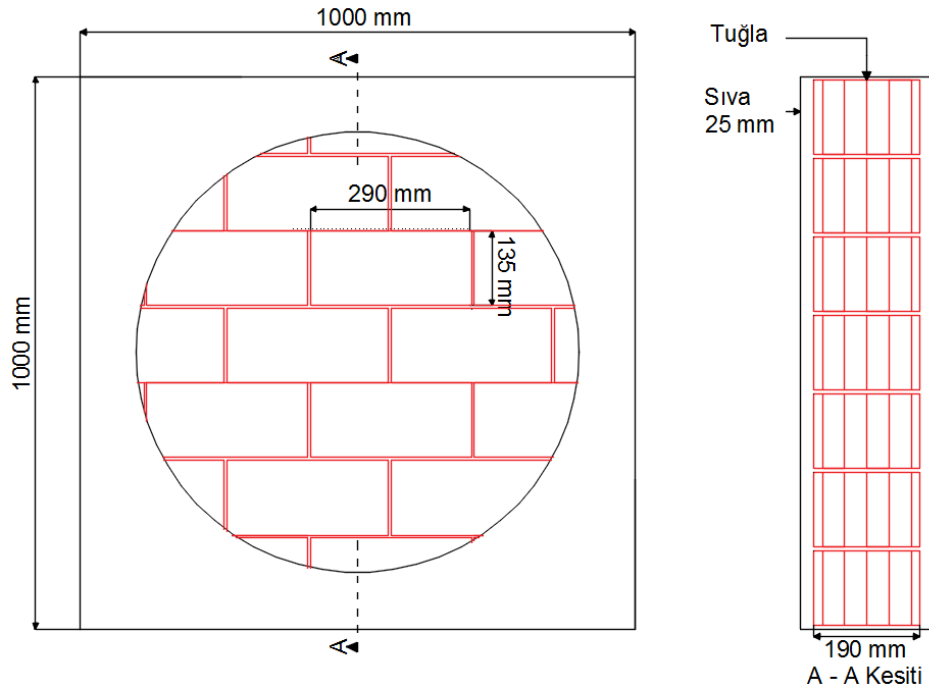
No	Max kuvvet (kN)	Max gerilme (MPa)	Max uzama (mm)	Max zaman (sn)
1	306,2	722,1	23,5	352,5
2	314,1	740,5	23,8	279,5
3	310,4	731,9	23,4	251,1
4	309,4	729,5	24,1	244,0
5	307,8	725,8	24,6	241,5
6	307,3	724,5	24,3	233,5
Ortalama	309,2	729,1	23,9	267,0
Std Sapma	2,6	6,0	0,4	40,8

4.3. Deney Elemanları

Çalışmada biri referans, 4 güçlendirilmiş toplamda 5 adet deney elemanı hazırlanmıştır. Güçlendirilen numunelerden biri deneme elemanı olarak kullanılmıştır. Deneye hazırlanmış bütün numuneler diyagonal yükler altında test edilmiştir. Deney numuneleri 1000×1000 mm boyutlarında 1/1 ölçeğe sahip olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney elemanlarının boyutları, güçlendirme detayları ve yapım aşamaları Şekil 3.12.-3.22.'de gösterilmiştir.

4.3.1. Referans deney elemanı

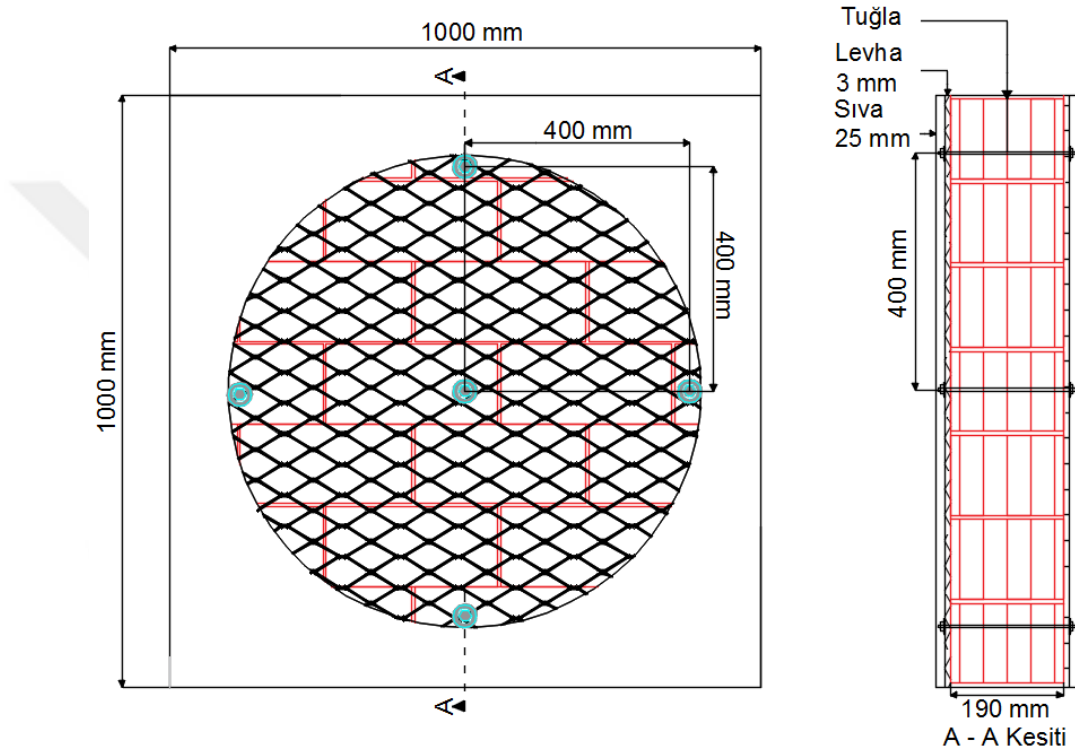
Referans deney elemanı boşluklu düşey delikli tuğla ile örülüp her iki yüzüne 25 mm kalınlıkta sıva uygulanmıştır. Referans deney elemanı üzerine hiç bir güçlendirme işlemi uygulanmamış, yalın bir şekilde diyagonal yükler altında test edilmiştir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Referans deney elemanının boyutları

4.3.2. MBW 3.0-400 deneme elemanı

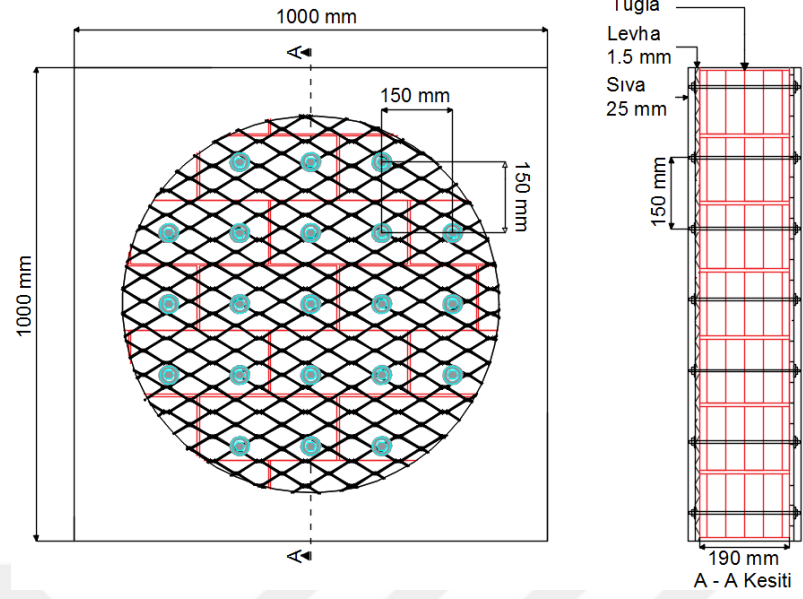
Çelik levha kalınlığı 3.0 mm ve çelik levhayı duvara sabitleyen bulonların arasındaki mesafe 400 mm levha üzerinde sıva kalınlığı 25 mm olan bu deney elemanı deneme elemanı olarak hazırlanmıştır. Bu deney elemanın güçlendirme detayları Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. MBW 3.0-400 deneme elemanı boyutları ve güçlendirme detayları

4.3.3. MBW 1.5-150 deney elemanı

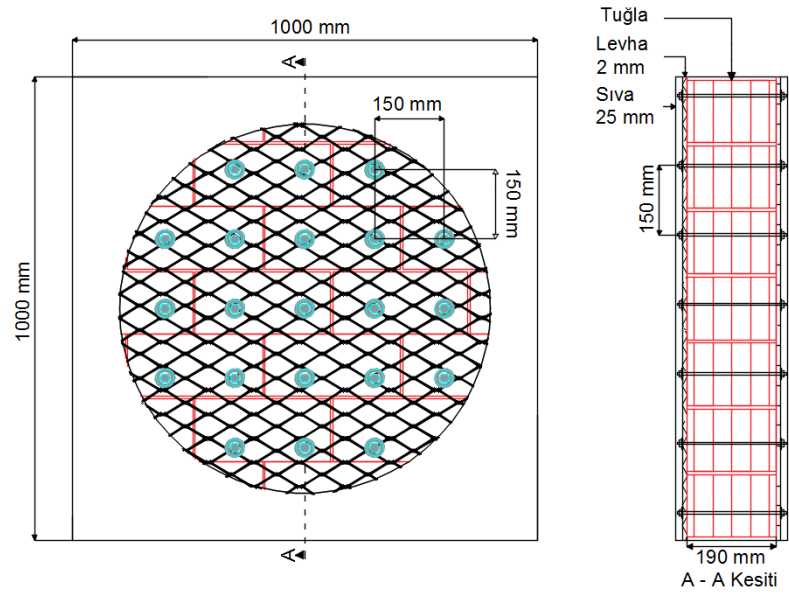
Çelik levha kalınlığı 1.5 mm ve çelik levhayı duvara sabitleyen bulonların arasındaki mesafe 150 mm levha üzerinde sıva kalınlığı 25 mm deney elemanı olarak hazırlanmıştır. Bu deney elemanın güçlendirme detayları Şekil 4.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.14. MBW 1.5-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları

4.3.4. MBW 2.0-150 deney elemanı

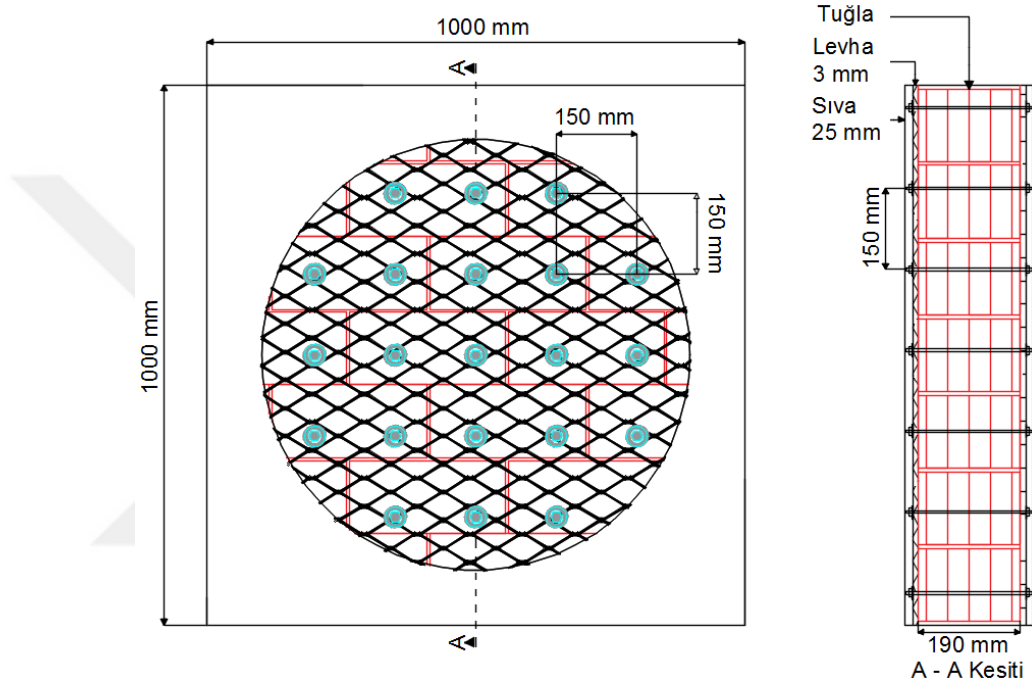
Çelik levha kalınlığı 2.0 mm ve çelik levhayı duvara sabitleyen bulonların arasındaki mesafe 150 mm levha üzerinde sıva kalınlığı 25 mm deney elemanı olarak hazırlanmıştır. Bu deney elemanın güçlendirme detayları Şekil 4.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. MBW 2.0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları

4.3.5. MBW 3.0-150 deney elemanı

Çelik levha kalınlığı 3.0 mm ve çelik levhayı duvara sabitleyen bulonların arasındaki mesafe 150 mm levha üzerinde sıva kalınlığı 25 mm deney elemanı olarak hazırlanmıştır. Bu deney elemanın güçlendirme detayları Şekil 4.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. MBW 3.0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



Şekil 4.17. Deney elemanları için hazırlanan çelik çerçeveler



Şekil 4.18. Deney elemanlarının yapım aşamasında tuğla duvar örülmesi



Şekil 4.19. Çerçeve içinde bitmiş tuğla duvar durumu



Şekil 4.20. Deney elemanlarının yapım aşamasında bulon deliklerinin açılması



Şekil 4.21. Deney elemanlarının yapım aşamasında ankraj yapılması



Şekil 4.22. Deney elemanlarının sıvanması

4.4. Deney Düzenegi

Bu bölümde, deney sistemi, yükleme düzeniği, ölçüm düzeniği ve deneyde kullanılan deney çerçevesi, çelik rijit çerçeve ve potansiyometrik deplasman sensörler detaylı bir şekilde anlatılarak resimlerle görsel olarak tanıtılmıştır.

4.4.1. Deney platformu ve deney çerçevesi

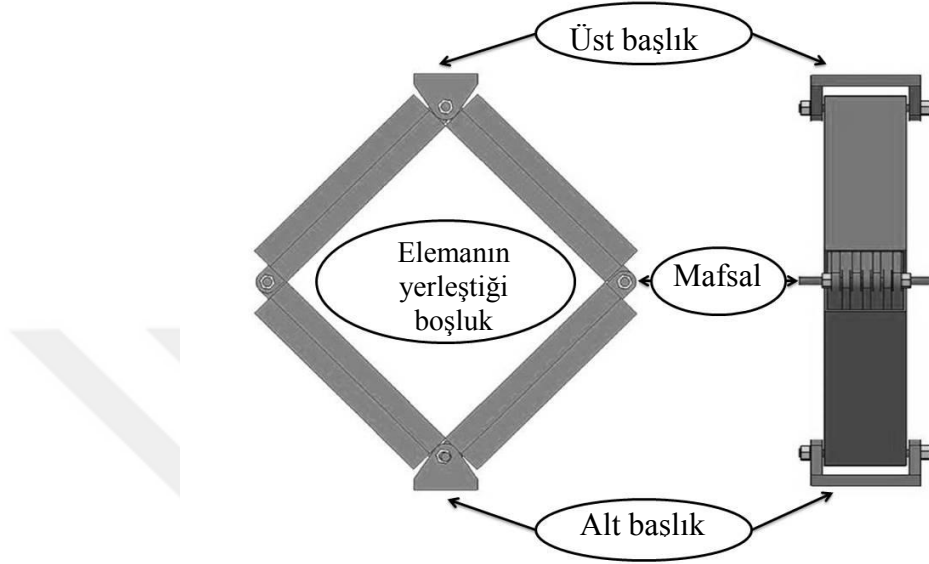
Deney elemanları Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü yapı mekaniği laboratuvarında test edilmiştir.

Dolgu duvarların, betonarme çerçevenin yatay deprem kuvvetleri altında köşegen basınç çubukları gibi davrandığı varsayılmaktadır. Bu yüzden dolgu duvarları genellikle diyagonal basınç yüklemesi altında test edilir. Düşey yük, deney elemanına bir çelik çerçeve yardımıyla uygulanmıştır. Bu çerçevenin dört köşesi mafsallar yardımı ile birleştirilmiştir. Burada asıl amaç, betonarme çerçevesini oluşturan (kolonlar, kiriş, temel) içinde bulunan sıvanmış tuğla dolgu duvarlara uygulanan yükleri gerçeğe en yakın şekilde temsil etmektir. Çerçevenin üst kısmında düşey yüklerin okuması için laod cell sabitlenmiştir. Düşey yükler çerçevenin alt tarafından hidrolik kriko yardımıyla deney elemanına uygulanmıştır. Deney elemanına basınç yükünü doğru bir şekilde aktarabilmek için dört köşesinde mafsallı birleşimler bulunan kare şeklinde bir çelik çerçeve üretilmiştir (Şekil 4.23.).

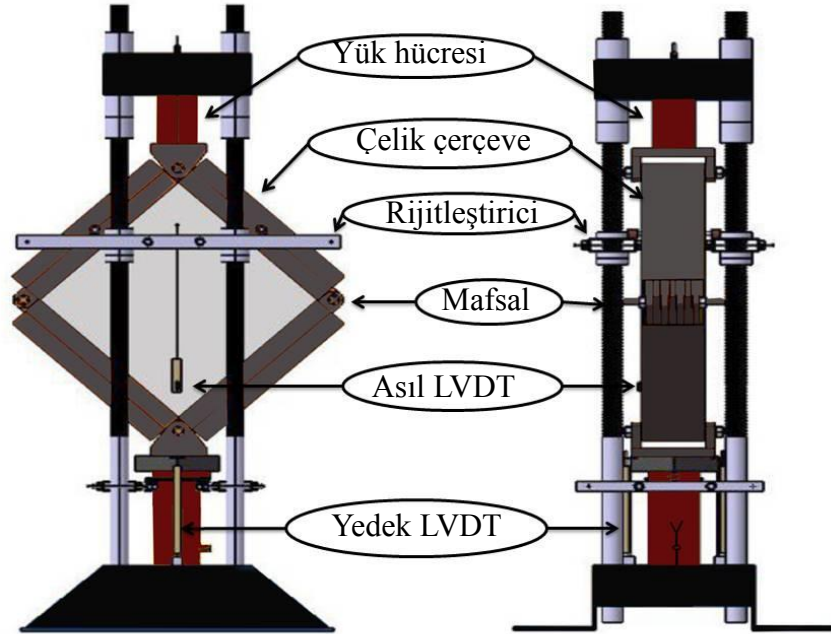
Rijit bir çerçeve elde etmek için dört kenarı iki adet U300 profilinin birleştirilmesiyle çelik bir çerçeve hazırlanmıştır. Bu çerçevenin dört köşesinde mafsallar bulunmaktadır, bu mafsalların ikisine başlıklar yerleştirilmiştir. Başlıklar yardımıyla diyagonal yükün doğrudan deney elemanına aktarılmasını sağlamıştır. Çerçevenin dört köşesinde mafsallar bulunduğu için duvara uygulanan diyagonal yüke karşı çelik çerçeve direnç göstermeyerek diyagonal yük direk duvara aktarılmıştır.

Bu birleşimler, çerçevenin diyagonal yönde yük taşıma kapasitesinin ve rijitliğinin çok sınırlı olmasını sağlamıştır. Bu sayede, gerçek bir yapıda yapısal çerçeveye etki eden yatay yükler altında çapraz basınç kuvvetleri ilettiği varsayılan [29] yığma duvarlara deney çerçevesinin etkisi ihmal edilebilecek düzeylerde kalmıştır. Ayrıca, çerçeve elemanlarının birbirlerine göre serbestçe dönebilmeleri, duvarla çerçeve arasındaki temas yüzeyinin uygulanan yük seviyesine göre deney sırasında değişmesine imkân tanımıştır. Bu değişim, kullanılan deney metodunun Amerikan ASTM E519 [30] standardında öngörülen ve temas yüzeyini deney boyunca yükleme başlıklarının yüzey alanlarıyla sınırlandıran metoda üstünlüğü olarak ortaya

çıkılmaktadır. Çelik çerçeve ve deney elemanı arasındaki temas yüzeyi, gerçek sınır koşullarına benzer şekilde deplasmana bağlı olarak duvarın artan deformasyonlarıyla birlikte artmıştır. Çalışmada kullanılan deney sistemi Şekil 4.24.' de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Dört köşesi mafsallı yüzeyleri çelik rijit çerçeve



Şekil 4.24. Deney sistemi

4.4.3. Yükleme programı

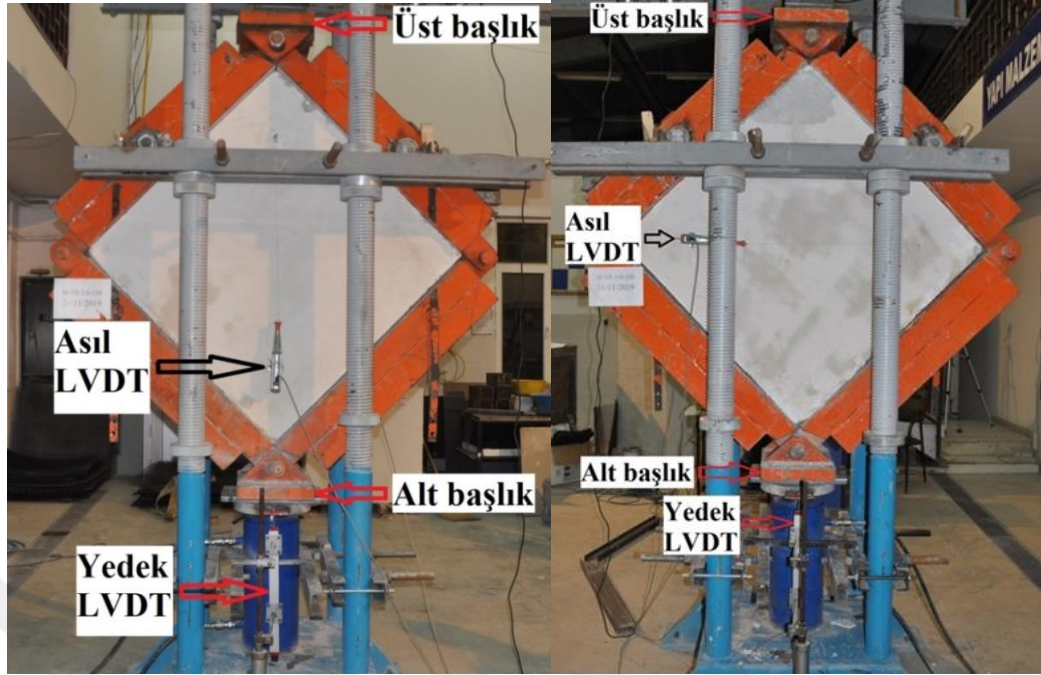
Deneyin başlangıcında yükleme hızı 10 mm düşey yerdeğiştirmeye kadar %5, 10 - 35 mm düşey yerdeğiştirmeye kadar yükleme hızı % 25, ve 35 mm düşey yerdeğiştirmeye geldiğinde deney hızı sabit olarak %50 tutulmuştur. Deney elemanlarının yükleme hızları yerdeğiştirmeye bağlı olarak , Tablo 4.15.'de verilmiştir.

Tablo 4.15. Deney sisteminde yer değıştirmeye bağılı yükleme hızı

Yer değıştirme (mm)	Yükleme hızı (%)
0 - 10	5
10 - 35	25
> 35	50

4.4.4. Ölçüm düzeni

Çalışmada deney sisteminde oluşan deformasyonları ölçmek için 4 adet potansiyometrik deplasman sensörler (LVDT) kullanılmıştır. Bunlardan ikisi 400 mm' lik olan potansiyometrik deplasman sensörler düşey diyagonal yükleme ile deney elemanındaki yük doğrultusundaki kısılmayı ölçmek için deney çerçevesinin (Rijit çerçevenin) taban levhasında sabitlenmiştir. İki adet 50 mm lik LVDT deney elemanın içindeki uzama ve kısılmayı ölçmek için elemanın ön ve arka yüzeyinde sabitlenmiştir. 50 mm'lik LVDT'ler deney başladıktan sonra sıkışmadan dolayı alçı ve sıvada çatlaklar, kabarmalar ve kırılma meydana geldiği zaman deneyin sonuna kadar doğru bir şekilde deformasyon değerlerini ölçmemiştir. 400 mm'lik LVDT'ler deney elemanında oluşan hasarlardan etkilenmeden deneyin sonuna kadar doğru bir şekilde ölçüm vermeye devam etmişlerdir. 400 mm'lik LVDT'lerden elde edilen verilerin ortalaması yükleme sonucunda düşey doğrultuda deney elemanında meydana gelen kısılmayı vermektedir. Bu potansiyometrik deplasman sensörler her biri 0.01 mm hassasiyetinde olup her deneyin öncesinde kalibrasyonları kontrol ederek deneye başlanmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Deney elemanın ön ve arka yüzeyin ölçme düzeneği

Deney sırasında tüm veriler bilgisayara aktararak yük ve yerdiğiştirme grafikleri çizdirilmiştir. Elde edilen veriler, kanal başına saniyede 8 okuma yapabilen ve 16 bit çözünürlüğüne sahip bir veri toplama cihazın yardımıyla ile bilgisayara aktarılmıştır. Veri toplama sistemin temel kullanım amacı, sensörlerden gelen sinyallerin dijital veriye dönüştürerek bilgisayara aktarılmasıdır.

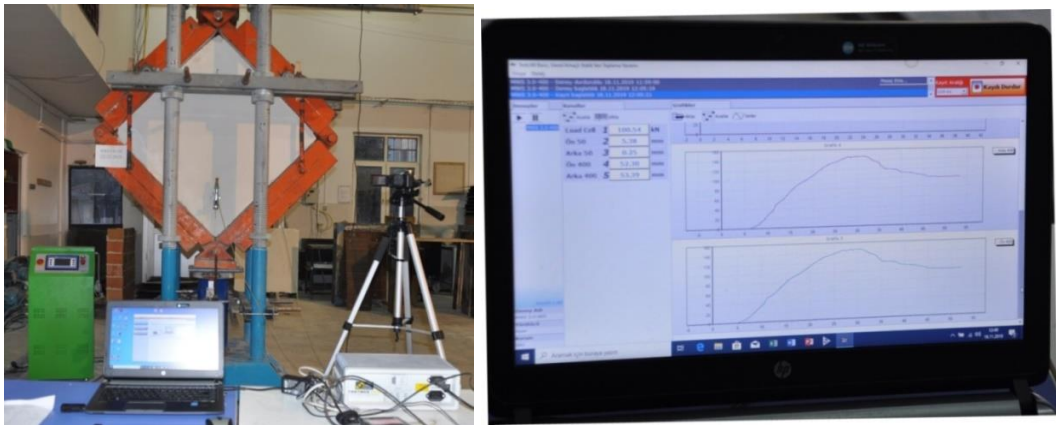
Potansiyometrik deplasman sensörler, birçok farklı kapasitelere sahip olmakla beraber deney sırasında okunan verilerini dijital sinyallerine çevirerek bu verilerin zamana bağlı olarak bilgisayara ortamına aktarılmasını sağlamaktadır.

Deney sisteminde kullanılan potansiyometrik deplasman sensörler (LVDT'ler);

- 1) Ön 50 potansiyometrik deplasman sensör; deney elemanın ön yüzün alt mafsalsın 20 cm yukarısında yerleştirilmiştir. Deney elemanın düşey doğrultusundaki yüke bağlı yerdeğiştirmeyi (kısalma) ölçmek için kullanılan 50 mm ölçüm yapabilme hassasiyetine sahip elektronik deplasman ölçerdir.

- 2) Arka 50 potansiyometrik deplasman sensör; deney elemanının arka yüzün sol mafsaldan 20 cm uzaklıkta yerleştirilmiştir deney elemanın yatay doğrultusundaki yüke bağlı yerdeğiştirmeyi (uzama) ölçmek için kullanılan 50 mm ölçüm yapabilme hassasiyetine sahip elektronik deplasman ölçerdir.
- 3) Ön 400 potansiyometrik deplasman sensör; deney çerçevesinin (rijit çerçeve) ön yüzündeki pistonun üst tablasına montajı yapılmıştır. Deney elemanın düşey doğrultusundaki yüke bağlı olarak yerdeğiştirmeyi (kısalma) ölçmek için kullanılan 400 mm ölçüm yapabilme hassasiyetine sahip elektronik deplasman ölçerdir.
- 4) Arka 400 potansiyometrik deplasman sensör; deney çerçevesinin (rijit çerçeve) arka yüzündeki pistonun üst tablasına montajı yapılmıştır. Deney elemanın düşey doğrultusundaki yüke bağlı olarak yerdeğiştirmeyi (kısalma) ölçmek için kullanılan 400 mm ölçüm yapabilme hassasiyetine sahip elektronik deplasman ölçerdir.

Deney sisteminde yapılan bütün deneylerde deney elemanlarında oluşan değişimleri, veri ve grafikleri kayıt altına almak için video çekimi yapılmıştır (Şekil 4.27.).



Şekil 4.27. Deney sisteminde uygulanan video ve grafik kaydı

BÖLÜM5. DENEY SÜRECİ

Bu bölümde, deney elemanları detaylı olarak tanıtılmış ve deneylerdeki gelişmeler anlatılmış ve gerekli görülen yorumlar yapılmıştır. Deney elemanlarının davranışı resimlerle görsel olarak anlatılmış, ayrıca yük ve yatay yer değiştirme grafikleri de sunulmuştur. Deney elemanlarının her biri kaç kN yük taşıyabildiğini ve bu yük altındaki yer değiştirmeleri gösterilmiştir. Deney sırasında gözlenen önemli olaylardan bahsedilmiştir. Ayrıca, deneylerden önce ve sonra deney elemanların resimleri de eklenmiştir.

Bu çalışmada, biri güçlendirilmemiş, biri deneme elemanı olmak üzere toplam 5 adet tam ölçekli deney elemanı, köşegen boyunca uygulanan tekdüze basınç yükleri altında deneyler incelenmiştir.

5.1. Referans Deney Elemanı (R)

Bu çalışmada, güçlendirilmiş deney elemanlarını karşılaştırmak için referans elemanı (R) hazırlanmıştır. Referans elemanına herhangi bir güçlendirme uygulanmamış, her iki tarafına sıva uygulanmıştır. Referans elemanın taşıyabildiği maksimum yük 99,85 kN'dir ve bu yükteki deformasyon miktarı 25,9 mm olarak kaydedilmiştir. Referans deney numunesine ait yük,-yer değiştirme grafiği Şekil 5.3'de, numunenin deney öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.' de verilmiştir.



Şekil 5.1. Referans elemanın deneyden önceki durumu

Deney sırasında gözlemlenen davranışlar:

- (a) Deney başladıktan sonra, 60 kN yükte ve 31 mm deplasmanda elemanın ön ve arka yüzeyin düşey doğrultusunda alçı sıvada çok ince kılcal çatlaklar gözlemlenmiştir.
- (b) İlk çatlak duvarın orta köşegenin 20 cm sağında 85 kN yükte ve 36 mm deplasmanda gözlemlenmiştir, çatlağın açıklığı ise yaklaşık olarak 3 mm civarında ölçülmüştür.
- (c) 86 kN yükte ve 38 mm yer deplasmanda, duvarın alt köşesinde mafsala yakın bölgede alçı sıvada kabarmalar tespit edilmiştir. Yük arttıkça kabarmaların daha belirgin hale geldiği görülmüştür.
- (d) 72 kN yükte ve 45 mm yer deplasmanda, ikinci büyük çatlağın duvarın arka yüzeyinde orta köşegenin yaklaşık 15 cm sağında meydana gelmiştir. Çatlağın genişliği yaklaşık olarak 3 cm ölçülmüştür. Bu çatlakla beraber

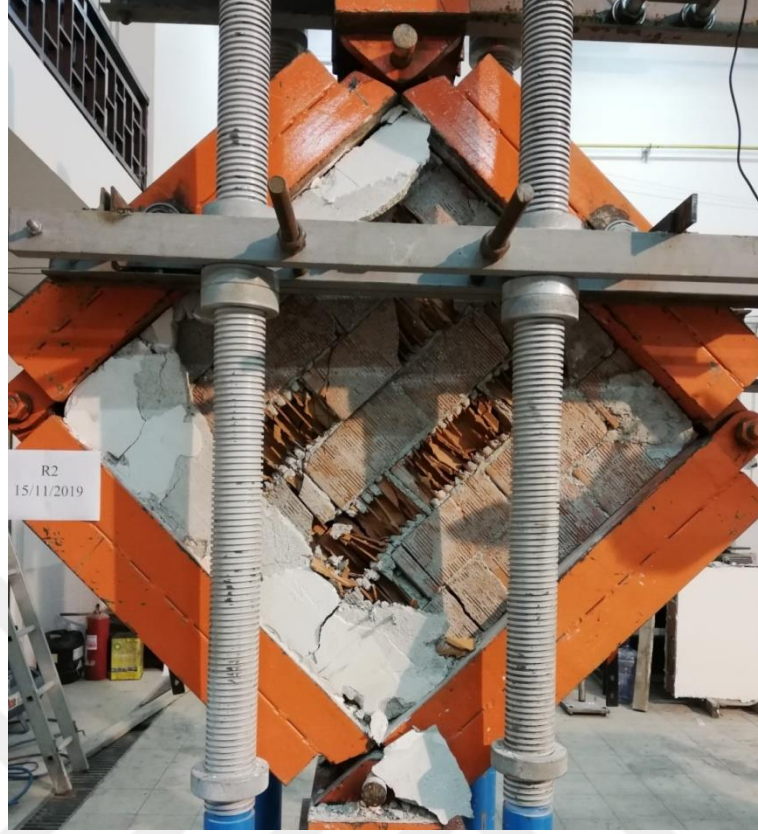
tuğlaların kırılma seslerin duyulduğu ve yükün bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir.

- (e) Deneyin sonuna doğru, çatlaklar ilerlemeye başlayıp ve kabarmalar daha belirgin hale gelmiştir.
- (f) 49 kN yükte ve 60.0 mm deplasmanda, tuğlaların üst köşesinde sıva dökülerek kırıldığı orta alanda duvarın ciddi şekilde tahrip olduğu görülmüştür.
- (g) 37 kN yükte ve 82 mm yer değiştirmede, duvarın dayanımı tamamen kaybolduğu tespit edilip deney sonlandırılmıştır.

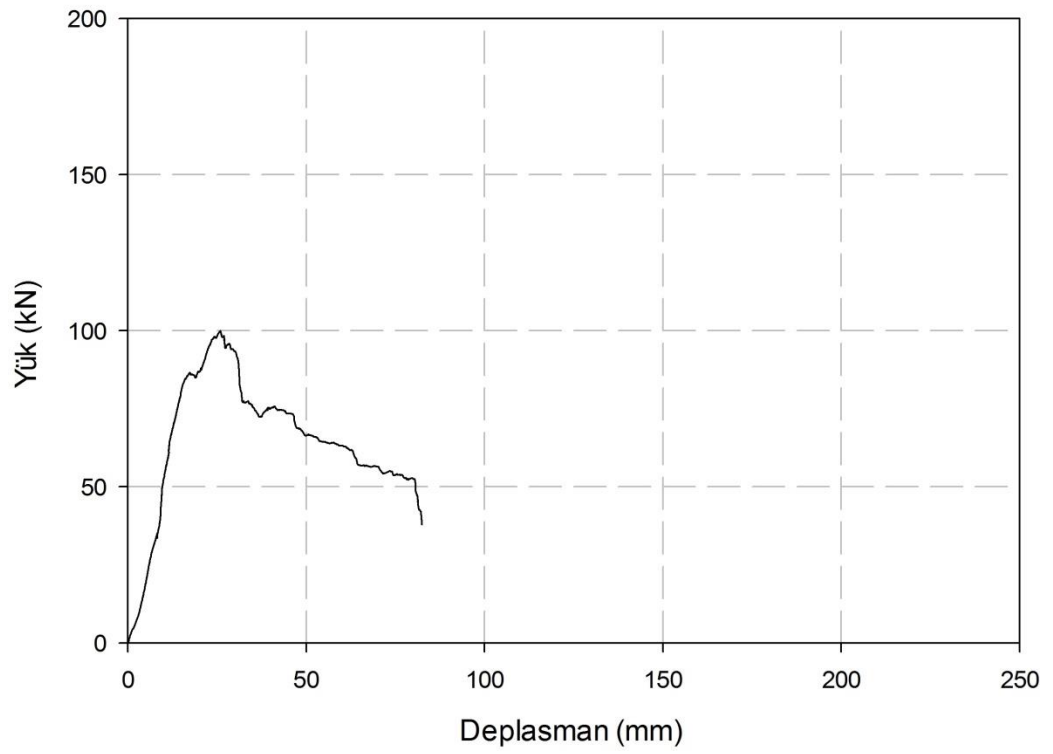
Tablo 5.1. Referans deney elemanın temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (%)	Ön sağ (%)	Arka sol (%)	Arka sağ (%)
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
52	80	82	82	65	60

Referans deney numunesinin temas yüzeylerin farklı olmasının nedeni, yükleme sırasında deney çerçevesinin çok az miktarda merkezden sola kaydığı ve yükün tam mafsallın ortasından diyagonal bir şekilde aktarılmamasından kaynaklanmaktadır. Deney numunesin temas yüzeyleri ortalama %70 (70 cm) olduğu görülmüştür.



Şekil 5.2. Referans deney elemanının deneyden sonra hasar durumu

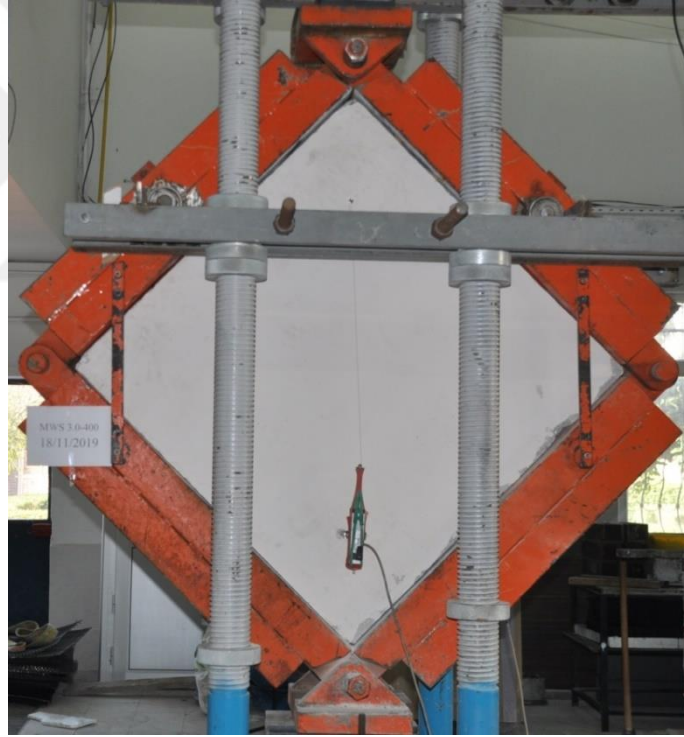


Şekil 5.3. Referans deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği

5.2. MBW 3.0-400 Deneme Elemanı

MBW 3,0-400 deney elemanı, her iki taraftan 3 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha yapıştırılarak güçlendirilmiş bir deney elemanıdır. Genişletilmiş Çelik Levha bulonlarla sabitlenmiş ve bulonlar arasındaki mesafe 400 mm'dir.

MBW 3,0-400 deneme elemanın taşıyabildiği maksimum yük 147,02 kN'dur ve bu yükteki deformasyon miktarı 25,3 mm olarak kaydedilmiştir. Deney elemanı tarafından taşınan yük ve yer değiştirmesi Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Ek olarak, referans deney elemanının deney öncesi durumu ve deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 5.4.- 5.5.'de verilmiştir.



Şekil 5.4. MBW 3.0-400 deneme elemanın deneyden önceki durumu

Deney sırasında gözlemlenen davranışlar:

- (a) Deney elemanın 100 kN ve 17 mm deplasmanda arka yüzeyin üst mafsallın sağ kısmında alçı sıvada hafif kabarmaların olduğu ve ön yüzeyin temiz olduğu gözlemlenmiştir.

- (b) 145 kN yükte ve 28 mm yer deplasmanda, duvarın ön yüzeyin orta kısmında düşey doğrultusunda alçı sıvada kılcal çatlaklar meydana geldi, ön yüzeyin üst mafsalsın alt kısmında ezilmelerden dolayı kabarmış olan alçı sıvaların dökülmeleri tespit edilmiştir.
- (c) 132 kN yükte ve 34 mm deplasmanda ön yüzeyin alt mafsalsın yaklaşık 18 cm üstünde sıkışmadan dolayı yatay şekilde bir çatlak meydana geldi, bu çatlağın genişliği yaklaşık olarak 2 mm ölçülmüştür.
- (d) 94 kN yük, 63 mm deplasmanda duvarın ön ve arka yüzeyin alt mafsalsın yaklaşık 18 cm üstünde sıkışmadan dolayı oluşan yatay çatlakların genişliği artmış, sıvanın kırılmış durumda olduğu ve kırılmış olan sıvanın çelik levhadan ayrıldığı görülmüştür. Ek olarak sıvanın altında gözüken kısmında çelik levhanın bulon ve puldan sıyırılması görülmemiştir.
- (e) 78 kN yük ve 200 mm deplasmanda ön ve arka yüzeylerin alt ve üst köşelerde ezilmeden dolayı parçalanmaların arttığı, sıvanın döküldüğü, temas yüzeyinin bütün yüzeylerde yaklaşık olarak %57 gözlemlenmiştir.
- (f) 75 kN yük ve 250 mm deplasmanda duvar bütünlüğünü korumuş durumda, duvarın orta kısımlarda sınırlı bir hasarın olduğu, deney elemanın taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediğinden dolayı deneye son verilmiştir.

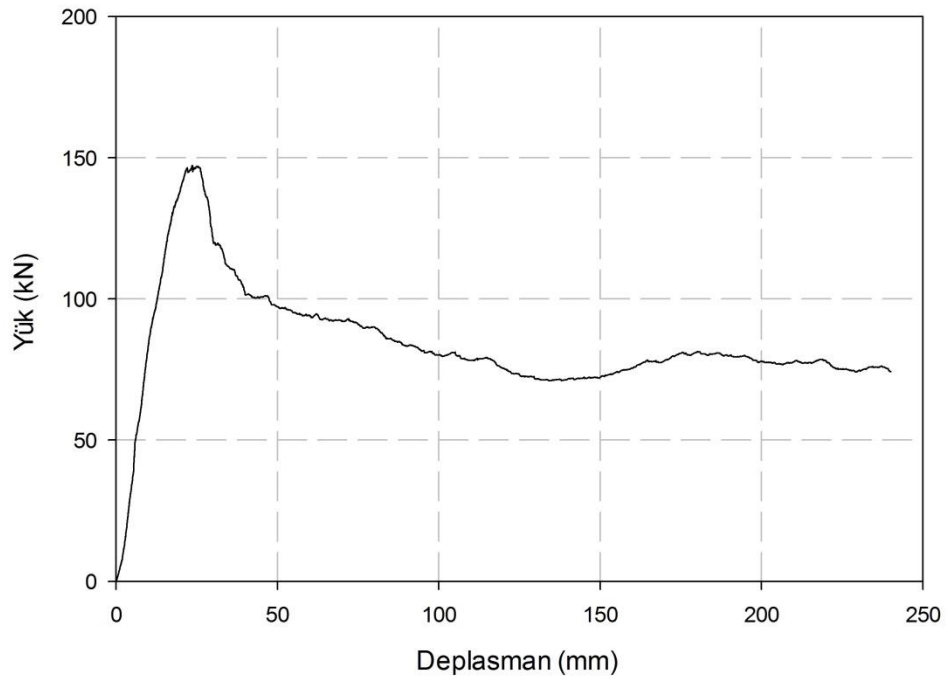
Tablo 5.2. MBW 3.0-400 deneme elemanın temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (%)	Ön sağ (%)	Arka sol (%)	Arka sağ (%)
115	20	23	13	13	23
111	40	39	37	38	39
95	60	51	57	57	51
91	80	57	57	57	55
81	100	57	57	57	57
79	120	57	55	54	57
72	140	57	56	56	57
74	160	57	56	56	57
81	180	56	56	57	56
79	200	56	57	57	56
78	220	58	62	62	58
76	240	58	65	62	59

Deney numunesinin 81 kN ve 100 mm deplasmanda temas yüzeyi dört kenarında eşit olduğu (%57) ve deneyin sonuna kadar temas yüzeyin ortalama %60 (60 cm) olduğu görülmüştür.



Şekil 5.5. MBW 3.0-400 deneme elemanının deneyden sonra hasar durumu

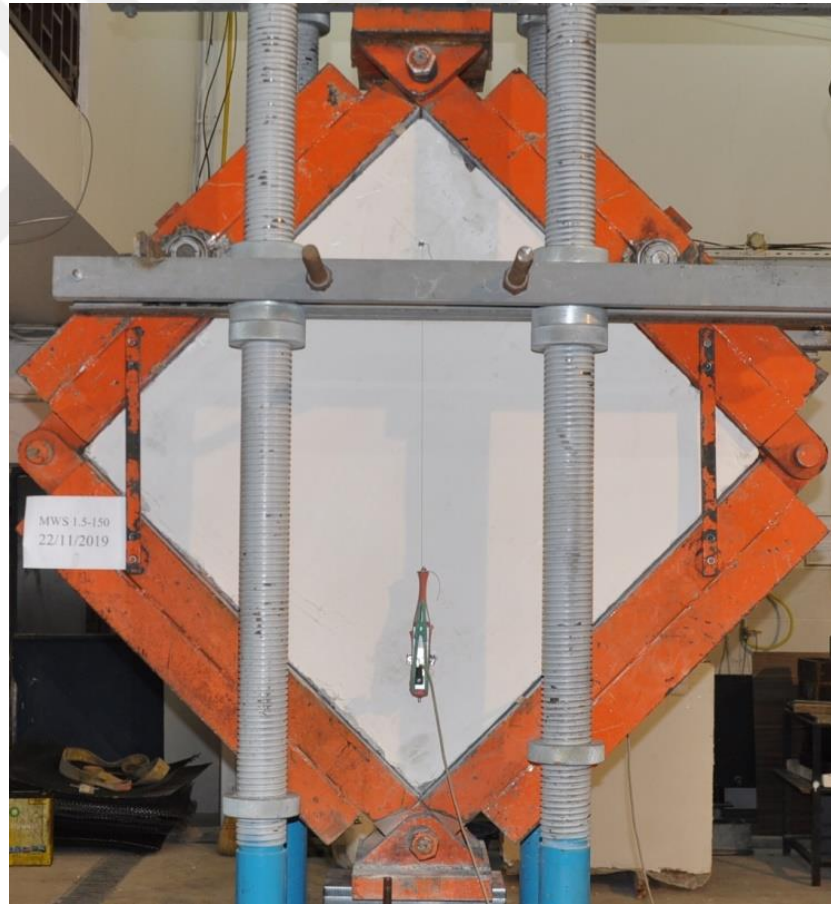


Şekil 5.6. MBW 3.0-400 deneme elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği

5.3. MBW 1,50-150 Deney Elemanı

MBW 1,5-150 deney elemanı, her iki taraftan 1,5 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha yapıştırılarak güçlendirilmiş bir deney elemanıdır. Genişletilmiş Çelik Levha bulonlarla sabitlenmiştir. bulonlar arasındaki mesafe 150 mm'dir.

MBW 1,5-150 deney elemanın taşıyabildiği maksimum yük 154,65 kN ve bu yükteki deformasyon miktarı 65,40 mm olarak kaydedilmiştir. Deney elemanı tarafından taşınan yük, ve yer değiştirmesi Şekil 5.9' da gösterilmiştir. Ek olarak, referans deney elemanının deney öncesi durumu ve deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 5.7.-5.8.' de verilmiştir.



Şekil 5.7. MBW 1,5-150 deney elemanın deneyden önceki durumu

Deney sırasında gözlemlenen davranışlar:

- (a) Deney elemanın 68 kN ve 13 mm deplasmanda arka yüzeyin üst mafsallık bölgesinde alçı sıvada hafif kabarmaların olduğu ve ön yüzeyin temiz olduğu gözlemlenmiştir.
- (b) 151 kN yük ve 45 mm deplasmanda ön yüzeyin alt mafsallık kısmında ezilmeden dolayı alçı sıvada 1 mm'lik genişliğinde çatlaklar meydana geldiği tespit edilmiştir.
- (c) 110 kN yük ve 24 mm deplasmanda deneye elemanın ön yüzeyin düşey doğrultusunda alçı sıvada ilk kılcal çatlaklar, aynı yüzeyin üst mafsallık sol kısmında alçı sıvada yatay çatlak meydana gelmiş, bu çatlakların genişliği yaklaşık 1 mm olarak ölçülmüş, aynı şekilde arka yüzeyin üst mafsallık bölgesindeki kabarmaların daha belirgin halde olduğu gözlemlenmiştir.
- (d) 125 kN yük ve 91 mm deplasmanda deney elemanın her iki yüzeyin mafsallık bölgelerinde sıkışmadan dolayı alçı sıvada çok belirgin şekilde kabarmaların olduğu ve bu kabarmaların çerçeve yüzeyine doğru taşındığı gözlemlenmiştir.
- (e) 127 kN yük ve 120 mm deplasmanda ön yüzeyin alt ve üst mafsallık kısmında sıkışmadan dolayı kabarmış olan alçı sıvanın döküldüğü ve elemanın orta bölgesinde herhangi bir hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir.
- (f) 121 kN yük ve 170 mm deplasmanda her iki yüzeyin alt ve üst mafsallık kısmında sıkışmadan dolayı kaba sıvanın çerçeve yüzeyinden yaklaşık 3 cm dışarıya doğru taşınmış durumda olduğu gözlemlenmiştir.
- (g) 101 kN yük ve 200 mm deplasmanda arka yüzeyin üst mafsallık kısmında kabarmış olan sıvanın düştüğü, çelik levhanın gözüktüğü, çelik levhanın bulon ve puldan sıyrılmadığı ve elemanın bütünlüğünü koruduğunu gözlemlenmiştir.
- (h) 106 kN yük ve 245 mm deplasmanda, yükün artmaya devam ettiği ancak stroke boyu yetmediğinden dolayı deneye son verilmiştir.

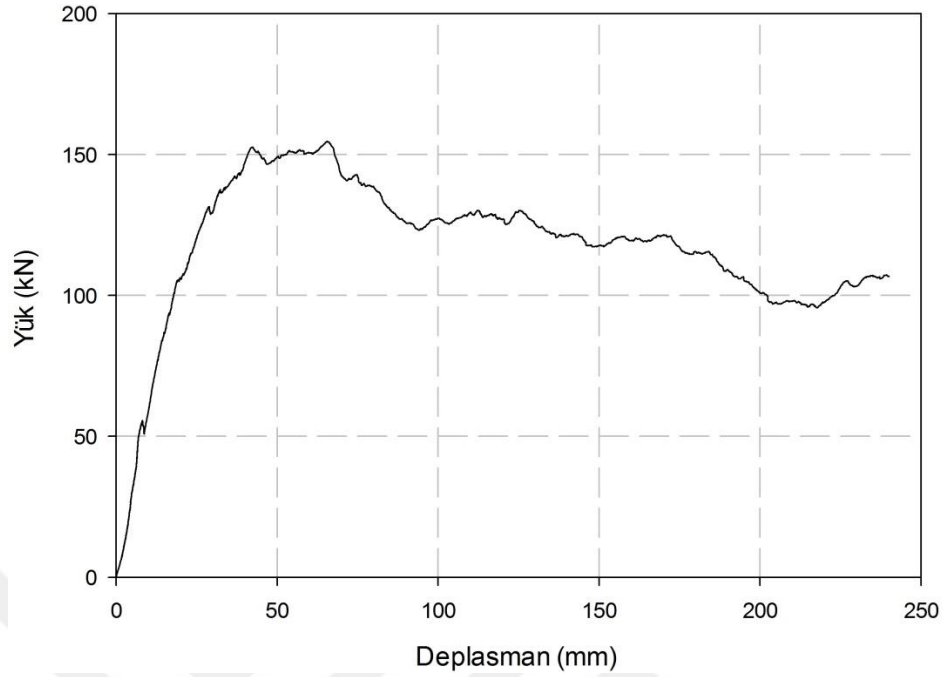
Tablo 5.3. MBW 1.5-150 deney elemanın temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (%)	Ön sağ (%)	Arka sol (%)	Arka sağ (%)
103	20	26	13	16	26
143	40	43	29	29	43
150	60	50	29	29	50
138	80	63	41	41	63
127	100	71	43	43	71
127	120	79	46	46	79
121	140	82	48	48	82
120	160	83	51	51	83
115	180	84	51	51	84
101	200	84	51	51	84
97	220	86	51	51	87
107	240	86	51	51	87

MBW 1,5-150 deney numunesinin temas yüzeylerin farklı olmasının nedeni, yükleme sırasında deney çerçevesinin çok az miktarda merkezden sola kaydığı ve yükün tam mafsallın ortasından diyagonal bir şekilde aktarılmamasından kaynaklanmaktadır. Deney numunesin temas yüzeyleri ortalama %65 (65 cm) olduğu görülmüştür.



Şekil 5.8. MBW 1,5-150 deney elemanın deneyden sonra hasar durumu

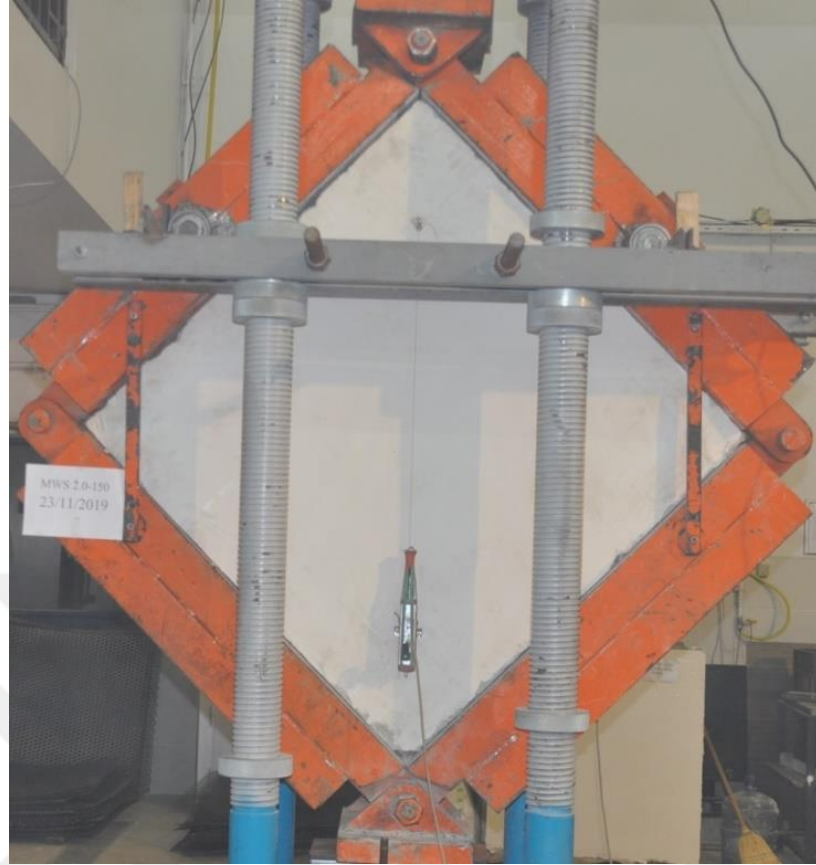


Şekil 5.9. MBW 1,5-150 deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği

5.4. MBW 2,0-150 Deney Elemanı

MBW 2,0-150 deney elemanı, her iki taraftan 2 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha yapıştırılarak güçlendirilmiş bir deney elemanıdır. Genişletilmiş Çelik Levha bulonlarla sabitlenmiştir. bulonlar arasındaki mesafe 150 mm'dir.

MBW 2,0-150 deney elemanın taşıyabildiği maksimum yük 161 kN ve bu yükteki deformasyon miktarı 34 mm olarak kaydedilmiştir. Deney elemanı tarafından taşınan yük, ve yer değiştirmesi Şekil 5.12.'de gösterilmiştir. Ek olarak, referans deney elemanının deney öncesi durumu ve deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 5.10.- 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.10. MBW 2,0-150 deney elemanın deneyden önceki durumu

Deney sırasında gözlemlenen davranışlar:

- (a) Deney elemanın 117 kN ve 21 mm deplasmanda ön ve arka yüzeyin orta bölgenin düşey doğrultusunda alçı sıvada parçalar halinde kılcal çatlakların olduğu belirlenmiştir.
- (b) 154 kN yük ve 29 mm deplasmanda deneye elemanın ön yüzeyin düşey doğrultusunun yaklaşık 20 cm solunda alçı sıvada belirgin bir çatlağın olduğu, alt ve üst mafsallık kısmında ezilmeden dolayı alçı sıvada çatlaklar meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- (c) 155 kN yük ve 42 mm deplasmanda arka yüzeyin orta kısmın düşey doğrultusunda, sıvada genişliği yaklaşık 1.5 mm belirgin bir çatlağın olduğu, alt ve üst mafsallık bölgesinde ezilmeden dolayı sıvada kabarmaların meydana geldiği belirlenmiştir.

- (d) 141 kN yük ve 64 mm deplasmanda deney elemanın her iki yüzeyin alt mafsallık bölgelerinde sıkışmadan dolayı sıvada yatay şekilde çok belirgin çatlakların meydana geldiği, üst mafsallar kısmında kabarmaların olduğu ve bu kabarmaların çerçeve yüzeyine doğru taşıdığı gözlemlenmiştir.
- (e) 118 kN yük ve 200 mm deplasmanda temas yüzeyinin bütün yüzeylerde eşit (% 55) olduğu görülmüştür.
- (f) 121 kN yük ve 123 mm deplasmanda ön yüzeyin üst mafsallık kısmında sıkışmadan dolayı sıvanın kabarması ve bu kabarmaların yaklaşık 1 cm çerçevenin dışına doğru taşıdığı gözlemlenmiştir.
- (g) 103 kN yük ve 180 mm deplasmanda ön yüzeyin üst mafsallık kısmında kabarmış olan sıvanın düştüğü, çelik levhanın gözüktüğü, çelik levhanın bulon ve puldan sıyrılmadığı, çelik levhaların buruştuğu ve eleman bütünlüğünü kurduğunu gözlemlenmiştir.
- (h) 108 kN yük ve 245 mm deplasmanda duvar bütünlüğünü kurmuş durumda olduğu, duvarın orta kısımlarda sınırlı bir hasarın olduğu, deney elemanın yükün artmaya devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediğinden dolayı deneye son verilmiştir.

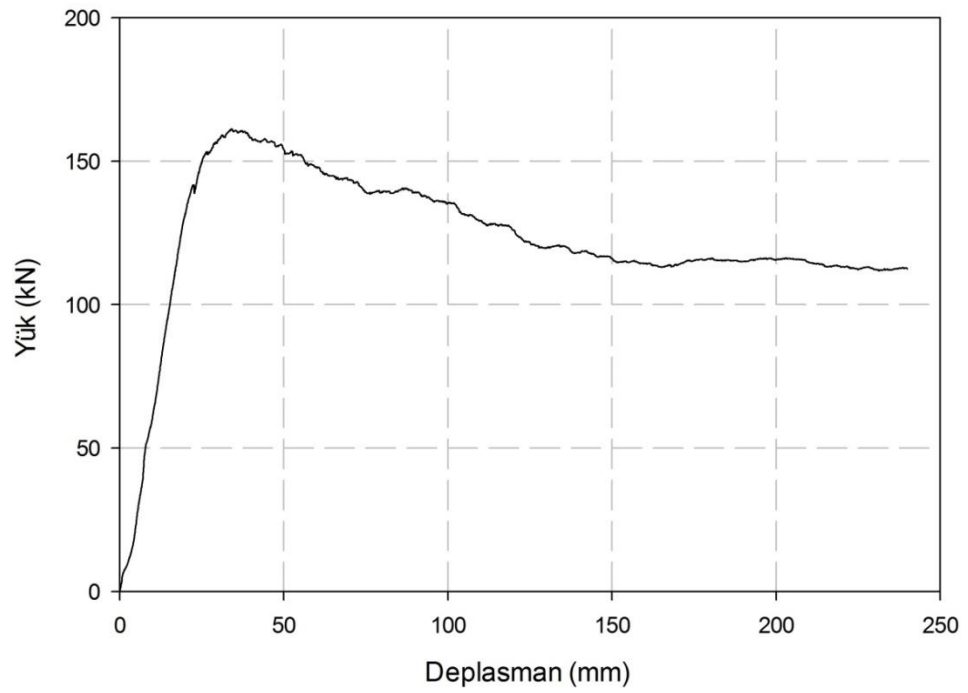
Tablo 5.4. MBW 2.0-150 deney elemanın temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (%)	Ön sağ (%)	Arka sol (%)	Arka sağ (%)
108	20	20	19	19	14
161	40	25	30	33	30
158	60	40	44	45	43
148	80	40	50	53	54
142	100	45	53	59	50
135	120	45	54	59	54
131	140	50	54	59	54
128	160	50	55	57	55
122	180	51	55	56	54
118	200	55	55	55	55
115	220	56	58	57	58
113	240	60	55	60	60

Deney numunesinin 118 kN ve 200 mm deplasmanda temas yüzeyi dört kenarında eşit olduğu (%55) ve deneyin sonuna kadar temas yüzeyin ortalama %58 (58 cm) olduğu görülmüştür.



Şekil 5.11. MBW 2,0-150 deney elemanının deneyden sonra hasar durumu



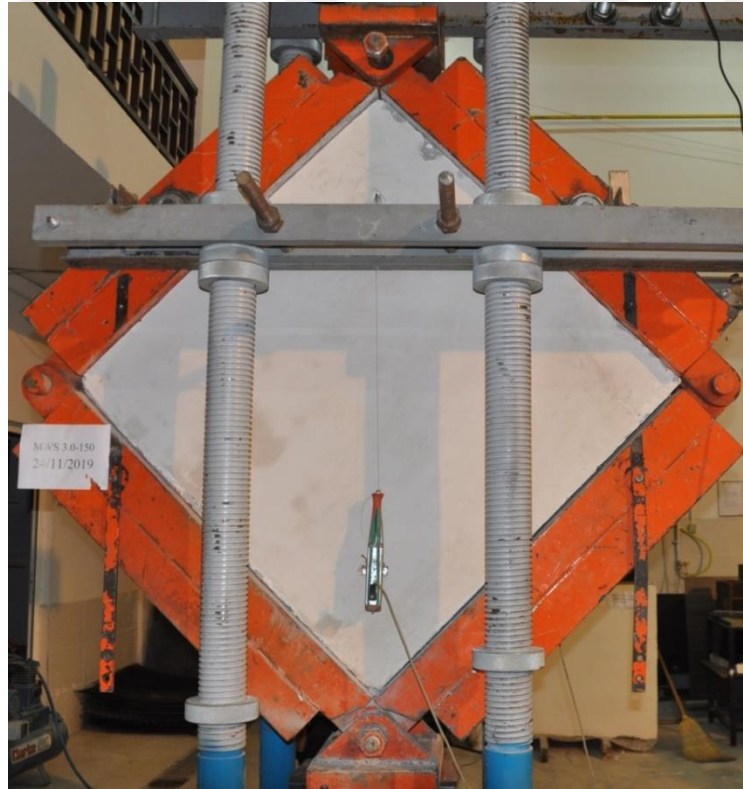
Şekil 5.12. MBW 2,0-150 deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği

5.5. MBW 3,0-150 Deney Elemanı

MBW 3,0-150 deney elemanı, her iki taraftan 3 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha yapıştırılarak güçlendirilmiş bir deney elemanıdır. Genişletilmiş Çelik Levha bulonlarla sabitlenmiş ve bulonlar arasındaki mesafe 150 mm'dir.

MBW 3.0-150 deney elemanın taşıyabildiği maksimum yük 160.5 kN ve bu yükteki deformasyon miktarı 36.75 mm olarak kaydedilmiştir. Deney elemanı tarafından taşınan yük, ve yer değiştirmesi Şekil 5.15' de gösterilmiştir. Ek olarak, referans deney elemanının deney öncesi durumu ve deney sonunda oluşan hasar durumları Şekil 5.13.- 5.14 'de verilmiştir.

Genişletilmiş levha 26X52 mm boşlukları, çapı 6 mm'lik tijleri geniş pul ile iki taraftan ankrajı yapılmıştır. Bu pullar boşlukları olan levhalardan daha geniş ve kapsayacak şekildedir. Dolayısıyla tijler bu pullar sayesinde sıyrılmamıştır. Büyük pulların üstünde ise daha küçük pullar ve somun sıkıştırılmıştır.



Şekil 5.13. MBW 3,0-150 deney elemanın deneyden önceki durumu

Deney sırasında gözlemlenen davranışlar:

- (a) Deney elemanın 147 kN ve 28 mm deplasmanda ön ve arka yüzeylerin orta bölgesinde alçı sıvada kılcal çatlakların meydana geldiği, arka yüzeyin alt mafsala yakın alçı sıvada boyuna doğru belirgin bir çatlağın olduğu ve üst mafsala kısmında sıkışmadan dolayı alçı sıvada kabarmaların olduğu belirlenmiştir.
- (b) Bu deney elemanında var olan alçı sıvası pürüzlü olduğu için deney elemanına yeniden alçı çekilmiştir. Hava şartlarından dolayı alçının tam kurumadığı için duvar elemanın bütün yüzeylerinde sıkışmanın sonucunda alçıda çatlaklar ve kabarmaların olduğu gözlemlenmiştir.
- (c) 134 kN yük ve 65 mm deplasmanda deneye elemanın ön ve arka yüzeyin mafsallara yakın kısımlarda sıvada kabarmalar ve kılcal çatlakların olduğu görülmüştür.
- (d) 146 kN yük ve 79 mm deplasmanda arka yüzeyin üst mafsala sol kısmında ezilmeden dolayı sıvanın parçalanarak düştüğü, çelik levha ve iki adet bulonun gözüktüğü ancak çelik levhanın bulon ve puldan sıyrılmadığı, sadece çelik levhalarda çok az miktarda buruşmaların olduğu gözlemlenmiştir.
- (e) 135 kN yük ve 122 mm deplasmanda deney elemanın her iki yüzeyin alt mafsala yaklaşık 30 cm üstünde sıkışmadan dolayı sıvada yatay şekilde çatlak ve kırılmaların olduğu ve sıva kabarmaların çerçeve yüzeyine doğru taşıdığı belirlenmiştir.
- (f) 126 kN yük ve 165 mm deplasmanda ön yüzeyin alt mafsala kısmında sıkışmadan dolayı kabarmış olan alçı sıvanın döküldüğü, çelik levha ve 4 adet bulonun gözüktüğü ancak çelik levhanın bulon ve puldan sıyrılmadığı, sadece çelik levhalarda çok az miktarda buruşmaların olduğu ve elemanın orta bölgesinde sıvada ince çatlakların olduğu tespit edilmiştir.
- (g) 122 kN yük ve 179 mm deplasmanda ön yüzeyin üst mafsala kısmında kabarmış olan sıvanın düştüğü, çelik levhanın gözüktüğü, çelik levhanın bulon ve puldan sıyrılmadığı ve elemanın bütünlüğünü koruduğunu görülmüştür.

- (h) 138 kN yük ve 245 mm deplasmanda, duvar bütünlüğünü kurumuş durumda olduğu, duvarın orta kısımlarda sınırlı bir hasarın olduğu, deney elemanın yükün artmaya devam ettiği fakat stroke boyu yetmediğinden dolayı deneye son verilmiştir.

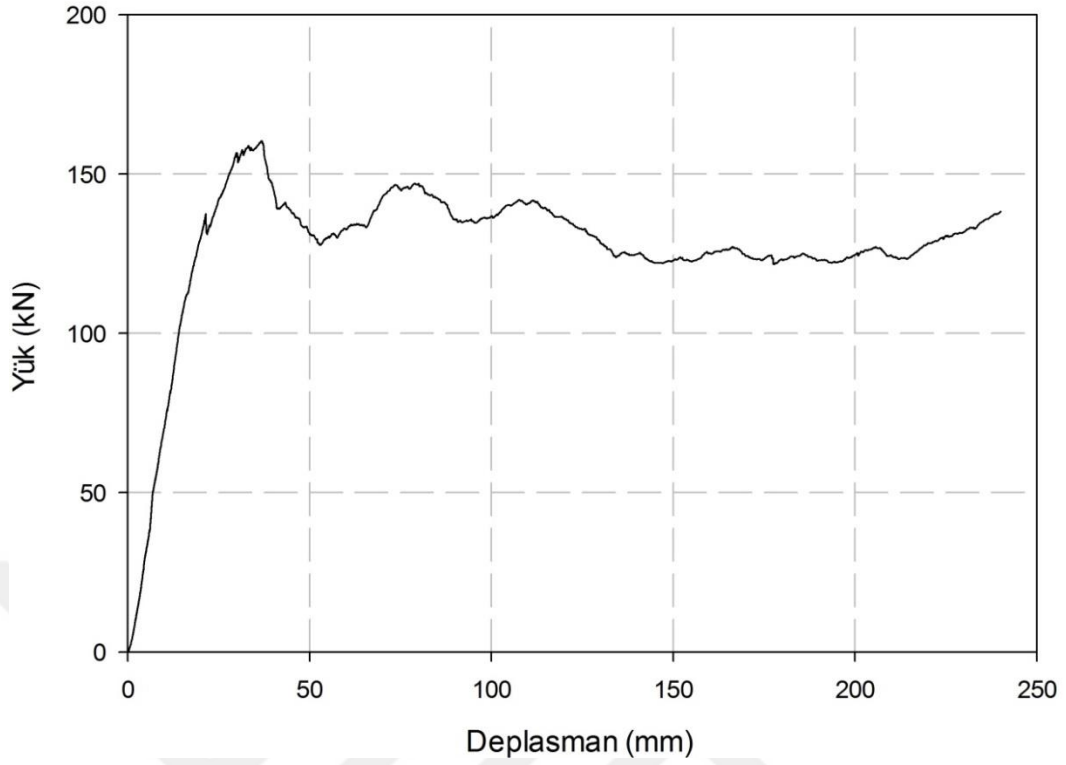
Tablo 5.5. MBW 3.0-150 deney elemanın temas yüzeyi

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön sol (%)	Ön sağ (%)	Arka sol (%)	Arka sağ (%)
125	20	26	15	15	26
147	40	33	28	28	33
134	60	55	35	39	55
147	80	53	43	43	53
136	100	51	43	43	51
136	120	51	44	44	51
125	140	51	44	44	51
126	160	52	45	45	55
123	180	53	45	45	55
124	200	52	45	45	52
129	220	50	45	45	52
138	240	50	46	45	54

Deney numunesinin temas yüzeyleri dört kenarında ortalama %48 (48 cm) olduğu görülmüştür.



Şekil 5.14. MBW 3,0-150 deney elemanın deneyden sonra hasar durumu



Şekil 5.15. MBW 3,00-150 deney elemanının yük-yerdeğiştirme grafiği

5.6. Deney Numunelerin Ön ve Arka Yüzündeki Şekil Değiştirme Hesabı

Bir referans, dört güçlendirilmiş duvar olmak üzere toplamda 5 adet deney elemanının ön ve arka yüzündeki yerdeğiştirmeleri deneylerle elde edilmiştir. Deney numunelerin ön ve arka yüzündeki yerdeğiştirmeleri belirleyebilmek için deney numunelerin ön ve arka yüzünde iki adet 50 mm'lik 0,01 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilen potansiyometrik deplasman sensörler (LVDT) kullanılmıştır.

Deney numunelerin uzunluğu L_0 (mm), gittikçe artan P (kN) kuvveti ile diyagonal basınca tabi tutulmuş, deney numunelerin kesitinde meydana gelen kısalmayı ΔL_y ile gösterilecek olursak, şekil değiştirme oranı (ϵ_y) Denklem 5.1.'de yazıldığı gibi bulunabilir.

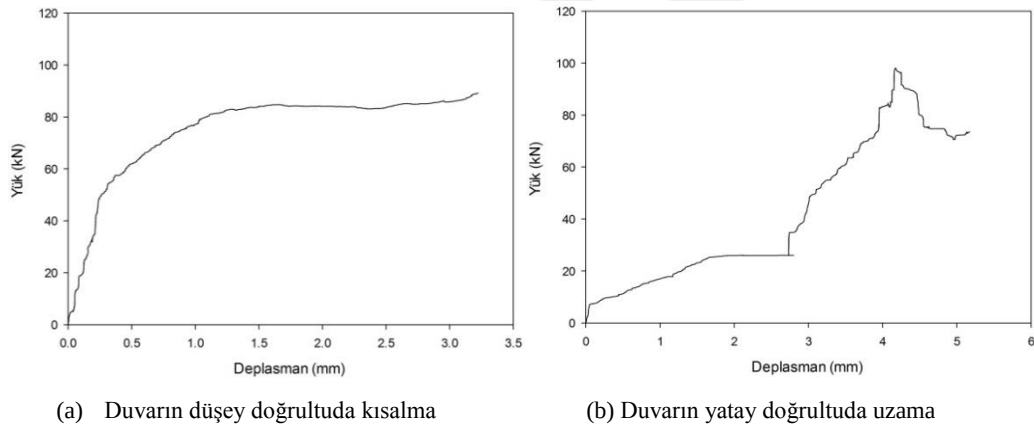
$$\epsilon_y = \frac{\Delta L_y}{L_0} \quad (5.1)$$

Diyagonal basınca tabi tutulmuş deney numunelerin birim boy uzamasını (ΔL_x), ilk boya (L_0) oranlarsak akmaya başladığı andaki birim uzama oranını (ϵ_x), Denklem 5.2.'de yazıldığı gibi bulunabilir.

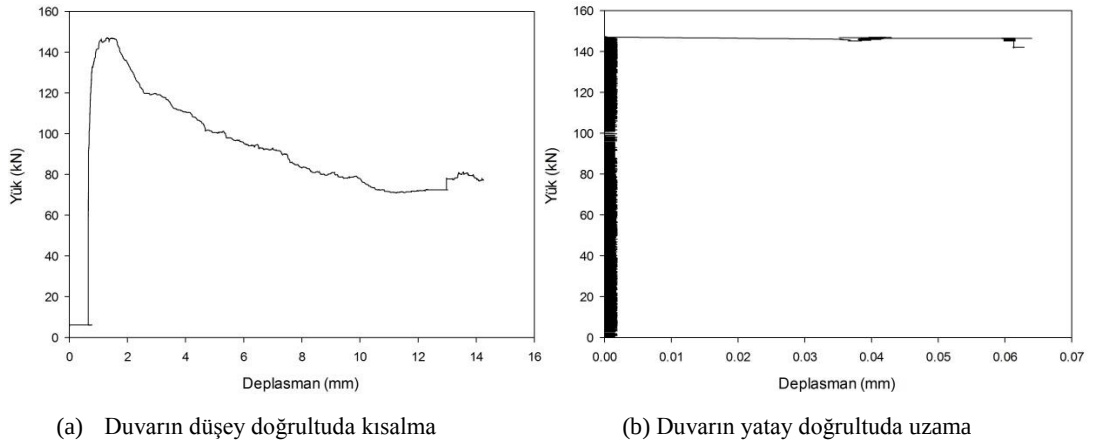
$$\epsilon_x = \frac{\Delta L_x}{L_0} \quad (5.2)$$

Deney numunelerin köşelerinde deplasmana bağlı olarak artan diyagonal yükler altında ezilmeler ve parçalanmalar meydana geldiği için, deney numunelerin ön ve arka yüzündeki potansiyometrik deplasman sensörlerden (LVDT) deneyin sonuna kadar veri alınamamıştır. Deney numunelerin ön ve arka yüzündeki yerdeğiştirme grafikleri Şekil 5.16.-5.20.'de gösterilmiştir.

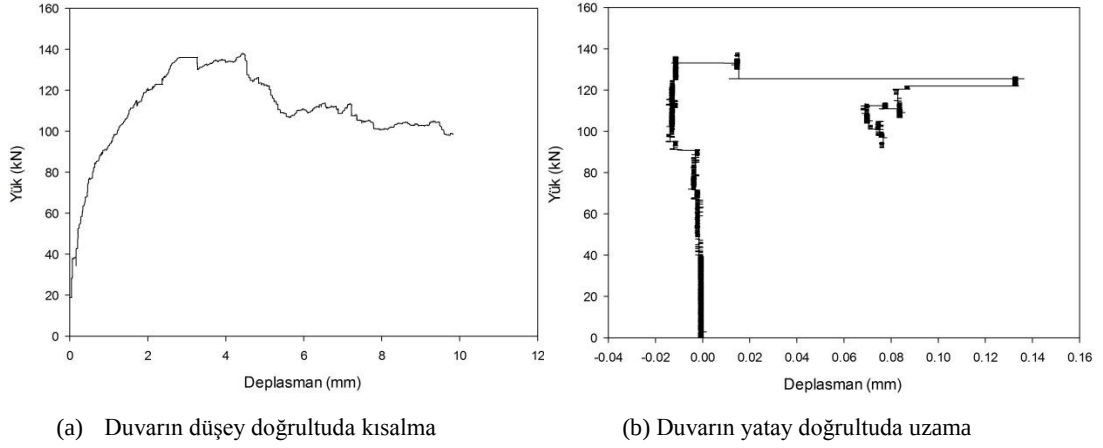
Şekil 5.16. Referans numunesinin ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği



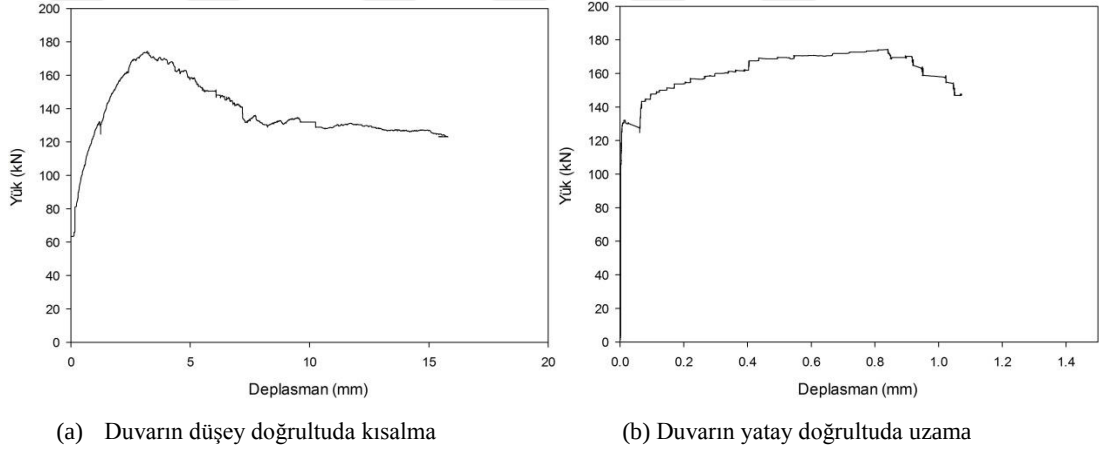
Şekil 5.17. MBW 3,0-400 elemanın ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği



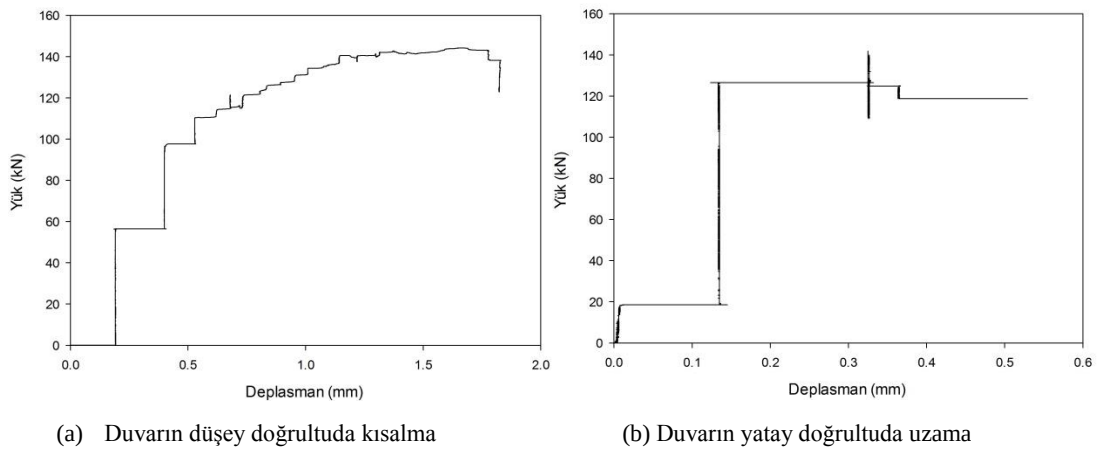
Şekil 5.18. MBW 1,5-150 elemanın ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği



Şekil 5.19. MBW 2,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği



Şekil 5.20. MBW 3,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki yük-deplasman grafiği



Deney numunelerin ön yüzünde diyagonal yük doğrultusunda kısalmalar meydana gelmiş, ancak arka yüzde yerdiğıştirmeler çok kısıtlı kalmış ve güçlendirilmiş deney numunelerin referans numuneye göre çok yüksek yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra uzamaya başlamıştır. Deney numunelerin ön yüzündeki yerdiğıştirmelere bağlı birim boy değışimleri Tablo 5.6.'da gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Deney numunelerin ön yüzündeki deformasyona bağlı birim boy değışimleri

Deney numunesi	İlk boy (L_0) (mm)	Kısalma miktarı ΔL_y (mm)	Birim kısalma oranı $\epsilon_y (10^{-3})$
Referans	850	3,2	3,8
MBW 3,0-400	850	14,3	16,8
MBW 1,5-150	850	9,8	11,5
MBW 2,0-150	850	15,6	18,3
MBW 3,0-150	850	1,8	2,1

Tablo 5.6.'ya bakıldığında referans deney numunesinin birim kısalma oranı (ϵ_y) $3,8 \times 10^{-3}$ olarak hesaplanmıştır. güçlendirilmiş deney numunelerin birim kısalma oranları (ϵ_y), referans numunesine göre yüksek olduğu görülmektedir. Güçlendirilmiş deney numunelerde birim kısalma oranlarının (ϵ_y) $16,8 \times 10^{-3}$ 'e kadar arttığı görülmüştür. MBW 3,0-150 deney numunesi için potansiyometrik deplasman sensör (LVDT) ile yaklaşık 1,8 mm yerdiğıştirmeye kadar veri alınabilmektedir. Bunun nedeni ise deney numunesinin üst mafsall kısmında sıvada kabarmalar meydana geldiği, potansiyometrik deplasman sensörün ipi deney sistemin rijitleştirici demirine değdiği ve potansiyometrik deplasman sensörden (LVDT) veri alınamadığı için iptal edilmiştir.

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde, deney sonuçları taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji tüketim kapasitesi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Tüm deney elemanlar için sabit bir ölçeğe göre çizilen yük-yer değiştirme grafiği Şekil 6.5.'de, deney sonuçlarının özeti ise Tablo 6.2-6.7.'de sunulmaktadır.

6.1 Taşıma Gücü

Taşıma gücü rehabilitasyon (iyileştirme) tekniğinin etkililik düzeyini belirleyen en önemli parametrelerden biridir. Deney elemanların taşıma gücü özelliklerini değerlendirmek için numunelerin taşıma gücü kapasiteleri araştırılmıştır. Deney düzeneğinde 240 mm deplasman değeri dikkate alınarak akmanın başladığı andaki deplasman değeri (δ_y) ile maksimum deplasman değeri (δ_f) arasındaki deplasmanlara karşılık gelen taşıma yüklerinin aritmetik ortalaması (P_{ort}) deney elemanlarının taşıma gücü olarak kabul edilmiştir [17]. Deney elemanlarının taşıma gücünü hesaplayabilmek için kullanılan indislerin açıklaması Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deney elemanların taşıma gücü için kullanılan indislerin açıklaması

İndis No	İndisler	İndislerin Açıklaması
1	δ_y	akmanın başladığındaki deplasman değeri
2	δ_f	maksimum deplasman değeri
3	δ_0	maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri
4	P_y	akma anındaki taşıma gücü
5	P_{max}	maksimum taşıma gücü
6	P_f	son deplasman anındaki taşıma gücü

Deney elemanlarının akmanın başladığı anındaki taşıma gücü, maksimum taşıma gücü, son deplasman anındaki taşıma gücü, ve göreceli taşıma gücü oranları Tablo 6.2.'de sunulmuştur.

Tablo 6.2. Deney numunelerin taşıma gücü ve göreceli taşıma gücü oranları

Deney No	Numuneler	P _y (kN)	P _{max} (kN)	P _f (kN)	Taşıma Gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı
1	R (Referans)	86	100	38	70	-
2	MBW 3.0-400	146	147	73	89	1.27
3	MBW 1.5-150	105	154	105	122	1.74
4	MBW 2.0-150	142	161	113	131	1.87
5	MBW 3.0-150	134	161	133	134	1.91

Tablo 6.1.'deki güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü değerlerinin, referans deney eleman (R)'nin taşıma gücü oranı, göreceli taşıma gücünü ifade etmektedir. Örneğin, MBW 3.0-150 deney numunesinin göreceli taşıma gücü oranı, Denklem 6.1.'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$MBW\ 3.0-150_{G.T.G.O} = \frac{134}{70} = 1.91 \quad (6.1)$$

Tablo 6.1.'de, MBW 3.0-400 deney numunesi dışında güçlendirilmiş deney numunelerin taşıma gücü, referans deney numunesinin taşıma gücünün 1.73 – 1.91 katına kadar ulaştığını göstermiştir. MBW 3.0-400 deney numunesi güçlendirilmiş diğer deney numunelere göre çok daha az bulona sahip (9 adet) olmasına rağmen, referans deney elemanın taşıma gücünün yaklaşık 1.27 katına kadar ulaşmıştır.

6.2 Rijitlik

Bir malzemeye kalıcı olarak deforme olmadan veya kırılmadan önce dayanabilecek maksimum yükün ölçüsüne rijitlik adı verilir. Ve ya başka bir ifade ile rijitlik teknik olarak “birim deformasyon başına kuvvet” olarak tanımlanır. Deney numunelerinin

başlangıçtaki rijitliklerini bulabilmek için aşağıda açıklanmış olan indisler kullanılmıştır. Burada deney elemanlarının başlangıç rijitliği (α), rijitlik doğrusunun başlangıç yerdiğiştirme değeri (δ_i), akma andaki yerdiğiştirme değeri (δ_y), deney elemanın ilk tepe noktasındaki yerdiğiştirme değeri (δ_t), deney elemanın maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki yerdiğiştirme değeri (δ_0), maksimum yerdiğiştirme değeri (δ_f), akmanın başladığı anındaki taşıma gücü (P_y), deney ilk tepe noktasındaki taşıma gücü (P_t), maksimum taşıma gücü (P_{max}), deneyin ortalama taşıma gücü (P_{ort}) ve son yerdiğiştirme anındaki taşıma gücü değeri (P_f) verilmiştir. Çalışmada deney numunelerin başlangıç rijitlikleri, akmaya başladığı anındaki yükün, akma yükünün anındaki diyagonal boyunca meydana gelen kısalmaya oranından hesaplanmıştır. Akma yükü, yük-yerdeğiştirme grafiğine bakıldığında elastik doğrusunun sonlandığı yük değerine karşılık gelen ve levhalardaki akma başlangıcına 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 6.3.'de verilen akma deformasyonu ($\delta\bar{y}$) Denklem 6.2.'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\delta\bar{y} = \delta_y - \delta_i \quad (6.2)$$

Tablo 6.3.'deki güçlendirilmiş deney elemanlarının akma yükü, akmanın başladığı andaki deplasman değerleri, rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değerleri, akma deformasyon değerleri ($\delta\bar{y}$), ve göreceli rijitlik oranları hesaplanmıştır.

Tablo 6.3. Deney numunelerin rijitlikleri ve göreceli rijitlik oranları

Deney Numuneleri	P_y (kN)	δy (mm)	δ_i (mm)	$\delta\bar{y}$ (mm)	Rijitlik (kN/mm)	Göreceli Rijitlik Oranı
R (Referans)	86	17	2	15	5,7	-
MBW 3.0-400	146	22	1	21	6,9	1,21
MBW 1.5-150	105	18	3	15	7,0	1,23
MBW 2.0-150	142	21	1	20	7,1	1,25
MBW 3.0-150	134	20	2	18	7,4	1,30

Tablo 6.3.'de güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlik değerlerinin, referans deney eleman (R)'nin rijitlik değerinin oranı göreceli rijitliği ifade etmektedir. Örneğin, MBW 3.0-150 deney numunesinin göreceli rijitlik oranı, Denklem 6.3.'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\text{MBW 3.0-150}_{\text{G.R.O}} = \frac{7.4}{5.7} = 1.30 \quad (6.3)$$

Tablo 6.3.'de, güçlendirilmiş deney numunelerinin rijitlik değerleri, referans deney numunesine göre rijitlik değerlerinin 1,21–1.30 katına kadar ulaştığını göstermektedir. Levha kalınlığının katkısı güçlendirilmiş deney numunelerin üzerinde daha sınırlı olmuştur.

6.3. Süneklik

Yapı ve elemanlarının deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümünü, mukavemetinde önemli kayıplarla, kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirme ve elastik olmayan davranışla yutma yeteneğine süneklik denir [24]. Süneklik oranı ise elemanın dayanımının %15 değer kaybettiği andaki deformasyon değerinin akmanın başladığı andaki deformasyon değerine oranıdır. Yapıların deprem gibi büyük dinamik yükler altında yeterince sünek davranması ve yapıların aniden çökmesini önleyerek boşaltılması için yeterli zamana sahip olması çok önemlidir. Bu amaçla, yapıların güçlendirme çalışmalarında amaçlanan dayanımın yanı sıra istenilen düzeyde sünek davranmalarının da sağlanması gereklidir.

Süneklik, bir elemanın deformasyon kapasitesinin bir göstergesidir. Bununla birlikte, eleman plastik deformasyona maruz kalırken yük kapasitesinin büyük bir kısmını koruma yeteneği hakkında net bir fikir vermez.

Deney elemanlarının süneklik oranı ve göreceli süneklik değerleri bulunurken kullanılan indisler aşağıdaki gibi açıklanmıştır. Burada akma anındaki ortalama taşıma gücünün (P_{ort}) %85'indeki yük değeri ($0,85 \times P_{\text{ort}}$), rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değeri (δ_i), ortalama taşıma gücünün (P_{ort}) %85'indeki

deplasman değeri (δ_u), akmanın başladığı andaki deplasman değeri (δ_y) gösterilmektedir.

Süneklik hesabında kullanılan ortalama taşıma gücünün (P_{ort}) %85'indeki mutlak deplasman değeri ($\delta\bar{u}$) Denklem 6.4.'de, akmanın başladığı andaki mutlak deplasman değeri ($\delta\bar{y}$) Denklem 6.5.'de ve süneklik oranı Denklem 6.6.'da hesaplanmıştır.

$$\delta\bar{u} = \delta_u - \delta_i \quad (6.4)$$

$$\delta\bar{y} = \delta_y - \delta_i \quad (6.5)$$

$$\text{Süneklik oranı} = \frac{\delta\bar{u}}{\delta\bar{y}} \quad (6.6)$$

Deney elemanlarının $0,85 \times P_{ort}$ değerine göre süneklik ve göreceli süneklik oranları Tablo 6.4.'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Deney numunelerin süneklikleri ve göreceli süneklik oranları

Deney elemanı	$0,85 \times P_{ort}$ (kN)	δ_i (mm)	δ_u (mm)	δ_y (mm)	$\delta\bar{u}$ (mm)	$\delta\bar{y}$ (mm)	Süneklik oranı	Göreceli Süneklik Oranı
R (Referans)	60	2	63	17	61	15	4,1	-
MBW 3.0-400	76	1	206	22	205	21	9,8	2,4
MBW 1.5-150	104	3	197	18	194	15	13,0	3,2
MBW 2.0-150	112	1	203	21	202	20	10,1	2,5
MBW 3.0-150	114	2	121	20	119	18	6,6	1,6

Tablo 6.4.'de verilen göreceli süneklik değerleri, güçlendirilmiş deney elemanlarının süneklik oranlarının, referans deney eleman (R)'nin süneklik oranına karşılık gelmektedir. Örneğin, MBW 3.0-150 deney elemanının göreceli süneklik değeri, Denklem 6.7.'de hesaplanmıştır.

$$\text{MBW 1.5-150}_{\text{G.S.O}} = \frac{13}{4.2} = 3.1 \quad (6.7)$$

Tablo 6.4.'de verilen değerler, güçlendirilmiş deney elemanlarının süneklik oranlarının, referans deney elemanın süneklik oranının 3.5 katına kadar ulaştığını göstermektedir.

MBW 3.0-400 deney elemanından özel olarak bahsedilmelidir. Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarına kıyasla çok daha az bulon (9 adet) ve 3.0 mm genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak hazırlanmıştır. MBW 3.0-400'ü test etmedeki amaç, bu güçlendirme yönteminin çok geniş aralıklı bulonlar olduğu için duvar davranışına katkısını araştırmak olmuştur. Yapılan deney sonucunda, MBW 3.0-400 deney elemanın sünekliği referans elemanın süneklik değerinden 2.4 kat artış olduğu belirlenmiştir. Bu şekilde, bu yöntemin bir yapının çok sayıda dolgu duvarlarına uygulanması kolaylaştırılabilir ve genel ekonomi büyük ölçüde iyileştirilebilir.

6.4. Enerji Sönümleme Kapasitesi

Yapıların depreme karşı dayanımı ve can güvenliği, deprem sırasında açığa çıkan enerjiyi sönümleme 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 çökene kadar dönüştürdüğü enerjiye enerji sönümleme kapasitesi denir. Bu kavram farklı kaynaklarda “enerji tüketimi” veya “enerji yutma” diye geçse de fiziğin temel yasası Enerjinin korunumu yasası, bu kavramı enerji sönümleme kapasitesi olarak kullanmayı daha doğru ve gerçekçi kılmaktadır. Enerji sönümleme kapasitesi, elemanın yük-yer değiştirme grafiğinin altındaki tüm alan'a eşittir. Deney numunelerin enerji sönümleme kapasitesi hesaplarında kullanılan indislerin açıklaması aşağıda yapılmıştır.

$E_{i-1} = 0$ 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 dönüştürölmüş enerji değeri olarak tanımlandığında, eğrinin altındaki toplam (ΣA_i) alanı toplam dönüştürölen enerjiye (ΣE_i) eşittir [17]. Her bir veri için deney elemanlarının dönüştürölen enerji değeri (E_i) Denklem 6.8.'ve Dönüştürölen toplam enerji değeri (ΣE_i) Denklem 6.9.'ile hesaplanır.

$$E_i = \left[\left(\frac{P_i + P_{i+1}}{2} \right) \times \left(\frac{\delta_i - \delta_{i+1}}{2} \right) \right] + E_{i-1} \quad (6.8)$$

$$\Sigma A_i = \Sigma E_i = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n) \quad (6.9)$$

Genişletilmiş elik levha ile güçlendirilmenin genel yapı performansı üzerindeki etkisini değeriendirmek için deney numunelerinin göreceli enerji dönüştürme, enerji dönüştürme kapasiteleri (kJ) ve maksimum yerdeğiştirme (mm) değeri Tablo 6.5.'de verilmiştir. Ayrıca, deney sistemi 240 mm yerdeğiştirme kapasitesine göre ayarlandığı için deney numunelerin bu yerdeğiştirme değeriine kadar enerji dönüştürme kapasitesi hesaplanmıştır. Referans deney elemanı (R) 82 mm maksimum yerdeğiştirme yaparken, güçlendirilmiş hiçbir deney numunesi 240 mm yerdeğiştirme değeriinde ani yük kaybına uğrayıp göçmemiştir. Bu durum, güçlendirilmiş deney numunelerinin referans deney numunesine göre daha yüksek bir enerji dönüştürme kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir.

Tablo 6.5. Deney numunelerin enerji sönümleme kapasiteleri

Deney elemanı	Maksimum deplasman (mm)	Enerji sönümleme kapasitesi (kJ)	Göreceli enerji dönüştürme oranı
R (Referans)	82	5,3	-
MBW 3.0-400	240	20,2	3,8
MBW 1.5-150	240	28,3	5,3
MBW 2.0-150	240	29,5	5,6
MBW 3.0-150	240	30,6	5,8

Tablo 6.5.'de güçlendirilmiş deney numunelerinin enerji dönüştürme kapasitesinin, referans deney elemanı (R)'nin enerji dönüştürme kapasitesinin oranı göreceli enerji dönüştürme kapasitesini ifade etmektedir. Örneğin, MBW 3.0-150 deney

numunesinin göreceli rijitlik oranı, Denklem 6.10.'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

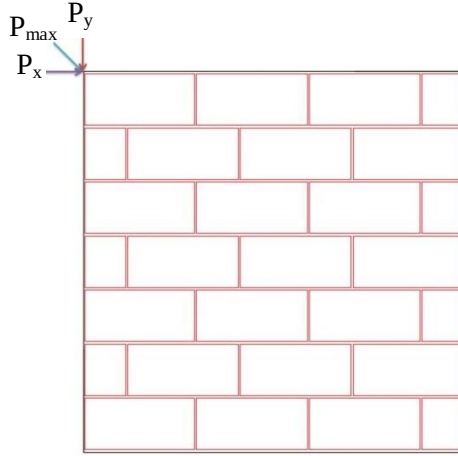
$$MBW_{3.0-150}^{G.E.D.O} = \frac{30.6}{5.3} = 5.8 \quad (6.10)$$

Tablo 6.5.'de, güçlendirilmiş deney numunelerinin enerji dönüştürme kapasiteleri, referans deney numunesi (R)'nin enerji dönüştürme kapasite değerlerinin yaklaşık 3.8-5.8 katına kadar ulaştığı görülmüştür. Önerilen güçlendirme tekniği, güçlendirme deney numunelerinin enerji dönüştürme kapasitesi üzerinde ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. Tablo 6.5.'e göre, genişletilmiş çelik levha kalınlıkları arttıkça güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitelerinin arttığı görülmüştür.

6.5. Deney Elemanların Kayma Gerilmeleri

Dolgu duvarlar, dört farklı düzlem içi modda hasara maruz kalabilirler. Bunlar FEMA 306 Kılavuzu [31] uyarınca, derz düzleminde kayma, diyagonal çatlama, köşe ezilme ve genel kayma göçmesidir. Beşinci hasar modu olan düzlem-dışı hasar bu çalışmanın numuneleri için geçerli değildir. Çünkü düzlem-dışı ötelenme deneylerde yanal destek sistemi yardımı ile önlenmiştir. Duvar panellerinin diyagonal basınç testinde yalnızca çapraz gerilme ve çapraz basınç hasarlarının ortaya çıkması muhtemeldir. Güçlendirilmiş tuğla duvarların diyagonal gerilme kapasitelerine, güçlendirilmiş levhalarının diyagonal boyunca akma gerçekleştiğinde ulaşılabileceği varsayılır. Diyagonal gerilme çatlakları oluşuktan sonra tuğlalar ve sıvanın gerilmeye karşı koymaya katkıları kesildiği için, tuğlaların ve sıvanın diyagonal gerilme kapasitesine katkısı göz ardı edilmektedir.

Yapıyı etkileyen kesme kuvvetleri hem yatay hem de düşey yönde kayma gerilmeleri oluştururken, köşegen doğrultuda ise çekme ve basınç gerilmelerine sebep olurlar.

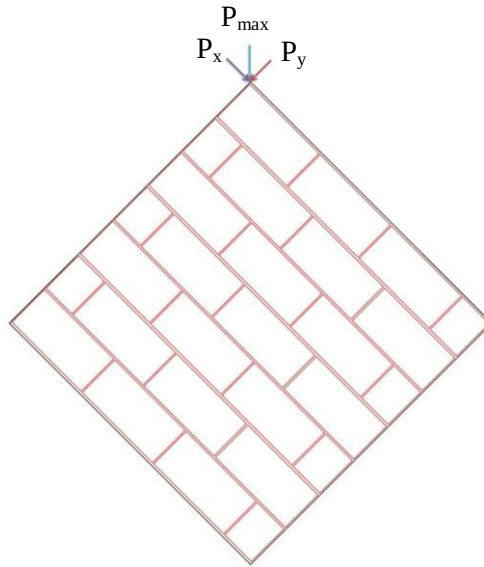


Şekil 6.1. Duvara etkiyen köşegenel yük ve bileşenleri

Deney numunelerin köşegenel yükler altında elde edilen maksimum kuvvetin (P_{max}) P_x ve P_y bileşenleri bulunarak, kayma gerilmesi, (f_v), EN 1052-3'e [32] göre Denklem 6.11.'de verildiği gibi hesaplanmıştır. Burada P_x , maksimum köşegenel kuvvetin yatay bileşeni, A ise tuğla duvar-harç ara yüzey alanını ifade etmektedir.

$$f_v = \frac{P_x}{2A} \quad (6.11)$$

Deney numunelere ait maksimum kuvvet, maksimum kuvvetin bileşenleri ve bu yüklerin deney numunelerine nasıl etki ettiği Şekil 6.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Deney numunelerine etkiyen köşegenel yük ve bileşenleri

Deney numunelere ait maksimum kuvvet, maksimum kuvvetin bileşenleri ve kayma gerilmeleri Tablo 6.6.'da verilmiştir. Deney elemanların maksimum kuvvetin yatay bileşeni (P_x) Denklem 6.12.'de verildiği gibi hesaplanmıştır. A_x tuğla duvar-harç ara yüzey alanını (190mm x 1000mm) ifade etmektedir

$$P_x = P_{\max} \times \cos(45^\circ) \quad (6.12)$$

Tablo 6.6. Deney elemanların yatay bileşenine ait kayma gerilmeleri

Deney No	Numuneler	$P_{\max}$ (kN)	P_x (kN)	$2A$ (mm ²)	f_v (MPa)	Göreceli kayma gerilme oranı
1	R (Referans)	100	70.7	38×10^4	0,19	-
2	MBW 3.0-400	147	103,9	38×10^4	0,27	1,42
3	MBW 1.5-150	154	108,9	38×10^4	0,29	1,53
4	MBW 2.0-150	161	113,8	38×10^4	0,30	1,58
5	MBW 3.0-150	161	113,8	38×10^4	0,30	1,58

Gevrek yapı malzemeleri olan düşey delikli tuğla elemanlar ile örülen referans deney elemanların yatay kuvvet etkisinde kayma dayanımları ve süneklik kapasiteleri, genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş deney elemanlarına göre oldukça düşüktür. Tablo 6.6.'ya bakıldığında güçlendirilmiş deney elemanların kayma gerilmeleri referans deney elemanına göre %158'e kadar artışlar olduğu görülmüştür.

6.6. 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 6.7.'de verilmiştir. Bu tablodaki göreceli oranlar, güçlendirilmiş deney elemanlarının mutlak değerlerinin referans (R) deney elemanın ilgili değerinin oranlanmasıyla elde edilmiştir.

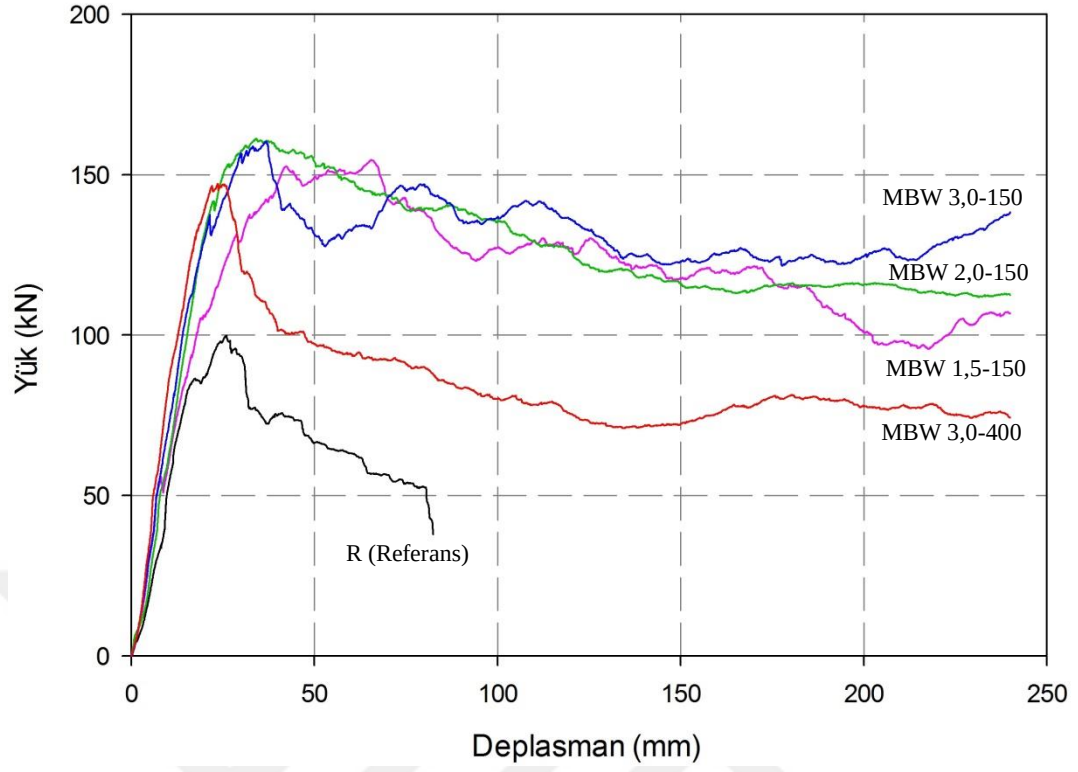
Tablo 6.7. Deneyin tüm sonuçları

Deney elemanı	Taş. Güc (kN)	Gö. Ta. Or	Rij (kN/mm)	Gö. Rij. Or	Sün. Or	Gö. Sün. Or	Ener. Dö.Kap (kJ)	Gö. En.Dö.Ka Or
R (Referans)	70	-	5,7	-	4,1	-	5,3	-
MBW 3,0-400	89	1,27	6,9	1,21	9,8	2,4	20,2	3,8
MBW 1,5-150	122	1,74	7,0	1,23	13,0	3,2	28,3	5,3
MBW 2,0-150	131	1,87	7,1	1,25	10,1	2,5	29,5	5,6
MBW 3,0-150	134	1,91	7,4	1,30	6,6	1,6	30,6	5,8

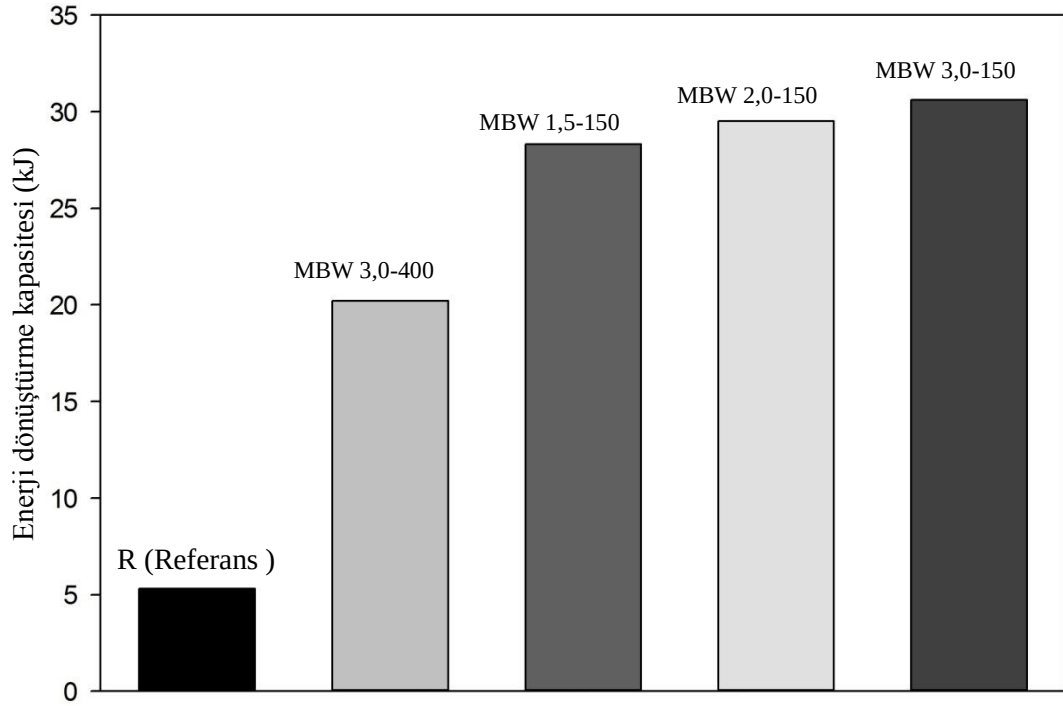
6.7. Genişletilmiş Çelik Levha Kalınlığının Dayanım ve Davranış Üzerine Etkisi

Genişletilmiş çelik levhalar 1.5 mm, 2.0 mm, ve 3.0 mm' kalınlığa sahiplerdir. Bu levhalar direk tuğla duvarın üzerine uygulanmıştır. Güçlendirilmiş deney numunelerin enerji dönüştürme kapasitesi referans deney numunesine göre yaklaşık % 380 ile % 580 arasında bir artış göstermiştir. Aynı şekilde güçlendirilmiş deney numuneler arasında levha kalınlığı 1.5 mm den 3.0 mm çıkarılması durumunda, aynı bulon aralığı ve levhalar doğrudan duvar üzerine uygulanan numunelerde enerji dönüştürme kapasiteleri %10-15 arasında bir artışa neden olmuştur.

Genişletilmiş çelik levha kalınlığının dayanım ve davranışa olan etkisinin incelenmesi için deney numunelerin tüm değişkenleri sabit olacak şekilde yük-deplasman eğrileri grup halinde ve referans numunesine (R) ile karşılaştırmalı olarak çizilmiş ve Şekil 6.3.'de gösterilmiş, ve aynı şekilde. tüm deney numunelerin karşılaştırmalı enerji-deplasman grafikleri Şekil 6.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



Şekil 6.4. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı enerji-deplasman grafikleri

BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi için yapılan bu çalışmada biri referans, 4'ü güçlendirilmiş toplamda 5 adet deney elemanı düzgün değişen diyagonal statik yükleme etkisi altında incelenmiştir. Çalışmada güçlendirme amacıyla kullanılan genişletilmiş çelik levhaların kalınlığı değişken olarak uygulanarak, duvar dayanım ve davranışı üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneyler esnasında yapılan gözlemler ve deney sonucunda elde edilen kuvvet-yerdeğiştirme grafiklerinin analizleri neticesinde;

Güçlendirilmemiş numune, eksenel yükleme sonucu gözlemlenen diyagonal gerilme çatlakları ile elastik taşıma kapasitesine ulaştığı anlaşıldıktan çok kısa bir süre sonra göçme düzeyine ulaşmıştır. Bu durum gevrek bir malzeme olan blok tuğladan imal edilmiş duvar için gerek teorik gerekse literatürden hareketle öngörülen bir davranıştır.

1. Söz konusu güçlendirme yöntemi üretilen tüm duvarların deplasman kapasitesini, enerji tüketme kapasitesini ve taşıma gücünü referans numunelere kıyasla arttırmış ve başarılı olmuştur.
2. güçlendirilmiş bütün deney numuneleri elastik taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra yük taşıma kapasitesinde %15'lik bir düşüşle plastik davranış bölgesinde ani yük kaybına uğramayarak çok büyük şekil değiştirmeler.
3. Güçlendirilmiş numunelerin çekme gerilmelerinin büyük bir kısmının çelik levhalar tarafından karşılandığı ve duvarların, bolunlarda akma oluşuncaya kadar kompozit bir şekilde davranış gösterdiği görülmüştür.
4. Deneyler boyunca güçlendirilmiş deney numunelerin taşıma kapasitesinde ani bir yük kaybı oluşmamış ve numuneler deneyin sonuna kadar bütünlüklerini korumuşlardır.

5. Böylece genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş deney numunelerin yük taşıma kapasiteleri, enerji tüketme kapasiteleri, süneklik ve rijitliklerinde büyük artışlar meydana gelmiştir.
6. Güçlendirilmiş deney numunelerinde çelik levhalar duvar üzerinde çok geniş aralıklı bolunlarla (MWS 3.0-400) sabitlense bile referans deney numunesine göre, sünekliğinde %330'a kadar artış göstermiştir.
7. Bolun sayısı az olan deney numunesinde genişletilmiş çelik levhanın duvarın sünekliğinde büyük artışlar meydana gelirken, rijitliğine ve yük taşıma kapasitesine katkısı az olmuştur.
8. Gevrek yapı malzemeleri olan düşey delikli tuğla elemanlar ile örülen referans deney elemanların yatay kuvvet etkisinde kayma dayanımları ve süneklik kapasiteleri, genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş deney elemanlarına göre oldukça düşüktür. Güçlendirilmiş deney elemanların kayma gerilmeleri referans deney elemanına göre %158'e kadar artış olduğu görülmüştür.

Güçlendirilmiş deney numuneleri referans deney numunesi karşılaştırıldığında güçlendirilmiş deney numuneleri referans deney numunesine göre;

- a. rijitliklerinde ortalama olarak % 135,
- b. sünekliklerinde ortalama % 350,
- c. enerji sönmleme kapasitelerinde ortalama %550
- d. kayma gerilmelerinde ortalama %158
- e. taşıma gücünde ortalama % 180'a kadar artışlar görülmüştür.

Deney elemanların enerji dönüştürme kapasitesi grafiklerine bakıldığında, güçlendirilmiş deney elemanların referans deney elemanına göre enerji dönüştürme kapasitesinde çok büyük artışlar meydana gelmiştir. Bu durum bulon aralığı sabit

olan güçlendirilmiş deney elemanlarında çok fazla etkisi olmadığı görülmüştür. Genişletilmiş çelik levhaların kalınlığı duvarın mekanik özellikleri üzerinde çok fazla etkisi olmadığı, bulon aralığı 150 mm olan deney elemanların, bulon aralığı 400 mm olan deney elemanına göre oldukça yüksek mekanik özelliklerine sahip olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılabacağı üzeri bulon aralığının deney elemanların dayanım ve davranış üzerindeki etkisi, genişletilmiş çelik levha kalınlığının dayanım ve davranış üzerindeki etkisinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmada, güçlendirilmiş deney numuneleri ile dört köşesi mafsallı çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi, çerçevenin yan kenarın uzunluğunun %75'ine (75cm) kadar ulaştığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Özmen, R. 2018. Tuğla duvarların çelik levha/şerit kullanılarak kesme davranışının iyileştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] Bahçekapılı, S. 2003. Mevcut betonarme yapıların depreme karşı güvenliğini belirleme yöntemleri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [3] Güvenir, E. 2019. Yığma yapıların bölgesel risk dağılımının belirlenmesi için alternatif hızlı tarama yönteminin geliştirilmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [4] Erköseoğlu, G. 2014. Kuşatılmış yığma duvarların performans değerlendirmesi. Orta doğu teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [5] Koutas, L., Bousias, S., and Triantafillou, T. (2014). seismic strengthening of masonry-infilled rc frames with TRM: Experimental Study. J. Compos. Constr., 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.
- [6] Kaya, F. 2013. Yığma yapıların polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek lisans tezi.
- [7] Kalali, A., Kabir, M.Z. 2012. Cyclic behaviour of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers. Scientia Iranica, 19 (Issue2): 151-165.
- [8] Chen, W., Yeh, K., Hwang, J., Lu, C. 2012. Out of-plane seismic behaviour and CFRP retrofitting of RC frames infilled with brick walls. Engineering Structures, N.T.U. Taiwan, 34: 213-224.
- [9] Tekeli, H. Akyürek, O., Deniz, M., Hersat, E., Kara, N., Tosun, U. 2014. Ascorbate, Betonarme çerçevede dolgu duvarların hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi. BEU Journal of Science., 3(2): 179–191.

- [10] Baran, M. Aktaş, M., Aykaç, S. 2013. Ascorbate, Sıvanmış tuğla dolgu duvarların şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik. Mimarlık. Fakültesi. Der. Cilt 29, No 1, 23-33.
- [11] Ateş, T. 2013. İçten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilen yığma duvarların düzlem dışı tekrarlı yük altındaki davranışı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- [12] Sevil T., Baran M., Canbay E. 2010. Tuğla dolgulu duvarların betonarme çerçeveli yapıların davranışına etkilerinin incelenmesi deneysel ve kuramsal çalışmalar. International Journal of Engineering Research and Development, 2 (2), 35-42.
- [13] Özdemir H. 2008. Dolgu duvarlı çerçevelerin hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- [14] Kalkan, N. 2008. Düzlem dışı tersinir yüklenen yığma yapıların donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmesi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- [15] Leeanansaksiri, A. Panyakapo, P., Ruangrassamee, A. 2018. Ascorbate, Seismic capacity of masonry infilled RC frame strengthening with expanded metal ferrocement. Engineering Structures., 159: 110–127.
- [16] Aykaç, B. Özbek, A., Babayani, R., Baran, M., Aykaç, S. 2017. Ascorbate, Seismic strengthening of infill walls with perforated steel plates. Engineering Structures., 152: 168–179.
- [17] Cumhuri, A. 2016. Tuğla dolgu duvarların genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- [18] Özbek, E. 2015. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- [19] Seydanlıoğlu, M. 2013. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tekdüze yükler altındaki davranışı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.

- [20] Özbek E., Can H. 2012. Dolgu Tuğla Duvarların Çelik Profillerle Güçlendirilmesi. Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 27 (4), 921-929.
- [21] Babayani R. 2012. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranış ve dayanımı, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- [22] Choi, I., Park, H. 2011. Cyclic loading test for reinforced concrete frame with thin steel infill plate. J. Engineering Structures. 137(6), 654–664.
- [23] Özdemir H., Eren İ. 2009. Bölme duvarının ve bölme duvar güçlendirilmesinin çerçeve davranışına etkisi., İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Mühendisliği, İTÜ Dergisi 8 (6), 133-145.
- [24] DBYBHY, 2018. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [25] DBYBHY, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- [26] Çırak İ. 2011. Yığma yapılarda oluşan hasarlar, nedenleri ve öneriler. SDU International Technologic Science, Constructional Technology, Vol. 3, No 2, 55-60.
- [27] Enstitüsü, T. S. (2000). TS 500 Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Ankara, Türkiye.
- [28] <https://docplayer.biz.tr/37145925-Temel-istatistik-y-doc-dr-ibrahim-turan-mart-tanimlayici-istatistik-dagilimleri-tanimlayici-olculer-dagilis-olculeri.html>. Erişim Tarihi: 30.01.2020.
- [29] Cumhuri, A., Altundal, A., Kalkan, İ., Aykaç, S. 2016. Behaviour of brick infill walls strengthened with expanded steel plates." Bulletin of Earthquake Engineering 14.11 (2016): 3231-3258.
- [30] American Society for Testing and Materials (2010). ASTM E519/E519M-10: Standard Test Method for Diagonal Tension (shear) in Masonry Assemblages, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S.A.

- [31] FEMA 306. 1998. Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wallbuildings. Federal Emergency Management Agency, Redwood City, California, U.S.A.
- [32] EN 1052-3, European norms for methods of test for masonry-Part 3: Determination of initial shear strength., 1996.



ÖZGEÇMİŞ

Ezatullah AHMADZAI, 12.10.1993'da Logar/Afganistan'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Logar'da tamamladı. 2012 yılında Zarghoonshaher Lisesi'nden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında bitirdi. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı.

