

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GENİŞLETİLMİŞ ÇELİK LEVHALARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ
BLOK TUĞLA DUVARLARDA BULON ARALIĞININ
DAYANIM VE DAVRANIŞ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammadi MOHAMMADI

Enstitü Anabilim Dalı : **İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi M. Zeki ÖZYURT**
Ortak Danışman : **Dr. Öğr. Üyesi Alper CUMHUR**

Temmuz 2020

BEYAN

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

Mohammadi MOHAMMADI

27.07.2020



TEŞEKKÜR

Benden uzakta olmalarına rağmen, beni çalışma boyunca hem ruhi hem maddi olarak, her anlamda destekleye babam ve annem HOSAIN ALI ve NIKBAKHT MOHAMMADI'a sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmayı planlayan, beni bu çalışmaya yönelten ve bu süreçte her zaman desteğini benden esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi M. Zeki Özyurt'a sonsuz teşekkür ederim. Çalışmanın deneylerinde, analizlerinde ve yazma aşamasında ciddi anlamda beni destekleyen değerli Ortak Danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Alper Cumhur'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2019-7-24-30) teşekkür ederim. Laboratuvar çalışması sırasında anlayış ve desteklerini esirgemeyen her aşamada yanımda olan değerli arkadaşlarım; İnşaat Mühendisi Abdul Salam Akrami ve Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü teknikeri Talha ÖZKAN'a ayrıyeten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLOLAR LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Yığma yapının tanımı.....	2
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Çeşitli Polimer Malzemelerle Güçlendirme.....	4
2.2. Tekstil Donatılı Harç ile Güçlendirme.....	9
2.3. Delikli Sac ve Genişletilmiş Çelik Levha ile Güçlendirme.....	10
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	12
3.1. Deney Programı.....	12
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	13
3.2.2. Düşey delikli tuğla özellik ve dayanımı.....	14
3.2.3. Genişletilmiş çelik levha.....	17
3.2.4. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirme tekniği.....	21
3.2.5. Sıva ve harç.....	22
3.2.6. Basınc dayanımı.....	26

3.3. Deney elemanlarının tanımı	27
3.4. Deney elemanlarının hazırlanması	31
3.5. Deney Düzeni	34
3.5.1Yükleme Düzeni.....	36
3.5.2. Yüklem Programı.....	37
3.5.3. Ölçüm Düzeni	37
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL SÜREÇ	40
4.1. Referans (R) eleman deneyi:	40
4.2. Mbw 2,0-200 deneyi	44
4.3. Mbw 3,0-100 deneyi.....	47
4.4. Mbw 3,0-150 deneyi	50
4.5. Mbw 3,0-200 deneyi	54
4.6. Deney Elemanlarının Ön ve Arka Yüzündeki Deformasyonların Belirlenmesi.....	57
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	62
5.1. Genel Değerlendirme	62
5.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler	65
5.2.1. Taşıma Gücü	66
5.2.2. Rijitlik	67
5.2.3. Süneklik.....	70
5.2.4. Enerji dönüştürme kapasitesi.....	73
5.2.5. Deney elemanlarının kayma gerilmeleri	75
5.3. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma	77
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	81

KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American society for testing and materials
CFRP	: Karbon lifli kumaşlar
FRP	: Fiber reinforced polimer
FEMA	: Federal acil durum yönetim kurumu
GFRP	: Cam elyaf takviyeli polimerler
MBW	: Masonry brick wall
M6	: 6 mm çapında bulon
MPa	: Mega pascal
NPU 300	: 300mm genişliğinde NPU çelik profil
P_{ave}	: Ortalama taşıma yükü
P_f	: Deneğin 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
TBDY	: Türkiye bina deprem yönetmeliği
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

$\emptyset 6$: 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 (Port) % 85'indeki deplasman değeri
δ_y	: Akmanın başladığı andaki deplasman değeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. çelik çerçeve.....	14
Şekil 3.2. Düşey delikli blok tuğla kesit boyutları.....	14
Şekil 3.3. Düşey delikli blok tuğla duvar basınç deneyi.....	17
Şekil 3.4. Genişletilmiş çelik levha.....	18
Şekil 3.5. Güçlendirilmiş deney elemanlarında kullanılan bulon, pul ve somun geometrisi.....	22
Şekil 3.7. Harç numunelerin kalıptan çıkarılmış durumu.....	23
Şekil 3.9. Harç numunelerin kırılma durumu.....	27
Şekil 3.10. Deney elemanın boyutları.....	28
Şekil 3.11. Referans (R) deney elemanının boyutları ve detayları.....	28
Şekil 3.12. MBW 3,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları	29
Şekil 3.13. MBW 3,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları	30
Şekil 3.14. MBW 3,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları	30
Şekil 3.15. MBW 2,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları	31
Şekil 3.16. Deney elemanlarının yapım aşamasında tuğla duvar örülmesi.....	32
Şekil 3.17. Deney elemanlarının yapım aşamasında bulon deliklerinin açılması	33
Şekil 3.18. Deney elemanlarının yapım aşamasında tuğla ankraj yapılması.....	33
Şekil 3.19. Deney elemanlarının yapım aşamasında tuğla duvar örülmüş halı....	32
Şekil 3.20. Deney elemanlarının yapım aşamasında sıva uygulanmış halı.....	34
Şekil 3.21. Dört köşesi mafsallı yüzeyleri çelik rijit çerçeve.....	35
Şekil 3.22. Deney sistemi.....	36
Şekil 3.23. Deney sistemin yükleme düzeneği.....	37
Şekil 3.24. Ön yüz ölçüm düzeni.....	38
Şekil 3.25. Arka yüz ölçüm düzeni.....	38
Şekil 3.26. Deney sisteminde uygulanan video kaydı.....	39
Şekil 3.27. Deneylerde elde edilen veri ve grafik kaydı.....	39

Şekil 4.1. R elemanın deneyden önceki durumu.....	41
Şekil 4.2. R elemanın deney sırası durumu.....	42
Şekil 4.3. R elemanın deney sonu durumu.....	43
Şekil 4.4. R elemanın yük-deplasman eğrisi.....	43
Şekil 4.6. MBW 2,0-200 deney öncesi durumu.....	44
Şekil 4.7. MBW 2,0-200 deney sonu durumu.....	46
Şekil 4.8. MBW 2,0-200 deney hasar durumu.....	46
Şekil 4.9. MBW 2,0-200 Deneme elemanın yük-deplasman grafiği.....	47
Şekil 4.10. MBW 3,0-100 elemanın deneyden önceki durumu.....	47
Şekil 4.11. MBW 3,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu.....	49
Şekil 4.12. MBW 3,0-100 elemanın yük-deplasman eğrisi.....	50
Şekil 4.13. MBW 3,0-150 elemanın deney önceki durumu.....	50
Şekil 4.15. MBW 3,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu.....	53
Şekil 4.16. MBW 3,0-150 elemanın deney sırasındaki hasar durumu.....	53
Şekil 4.17. MBW 3,0-150 elemanın yük-deplasman eğrisi.....	54
Şekil 4.18. MBW 3,0-200 deney önceki durum.....	55
Şekil 4.19. MBW 3,0-200 deney sonu hasar durumu.....	57
Şekil 4.20. MBW 3,0-200 elemanın yük-deplasman eğrisi.....	57
Şekil 4.21. LVDT'nin ön yüzündeki konumu ve ölçüm uzunlukları	58
Şekil 5.1. Referans deney elemanın deney sonu hasar durumu.....	63
Şekil 5.2. Güçlendirilmiş deney elemanlarının deney sonu hasar durumu.....	64
Şekil 5.4. MBW 2.0-200 temsili olarak yük-deplasman eğrisi.....	66
Şekil 5.5. Deney elemanlarının süneklik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	71
Şekil 5.6. MBW 2,0– 200 rijitlik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi	68
Şekil 5.7. Deney elemanlarının temsili yük-deplasman eğrisi.....	74
Şekil 5.8. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri.....	79
Şekil 5.9. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı enerji-deplasman grafikleri..	80

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney elemanlarının özellikler.....	13
Tablu 3.2. Düşey delikli blok tuğla basınç dayanımı.....	14
Tablo 3.3. Düşey delikli tuğlanın deliklere paralel doğrultudaki basınç dayanımı	15
Tablo 3.4. Düşey delikli tuğlanın deliklere paralel dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı.....	16
Tablo 3.5. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı	17
Tablo 3.6. Tijlerin basınç eğilmesi sonuçları.....	21
Tablo 3.7. Sıva ve harçta kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları.....	22
Tablo 3.8. Referans numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı.....	24
Tablo 3.9. Referans numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı.....	24
Tablo 3.10. Güçlendirilen numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı.....	25
Tablo 3.10. Güçlendirilen numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı.....	25
Tablo 3.11. Basınç dayanım deney pres makinesinin özellikleri.....	35
Tablo 3.12. Deney elemanlarına deplasmana bağlı uygulanan yükleme hızları.	37
Tablo 4.1. Referans deney elemanının temas yüzeyleri.....	42
Tablo 4.2. MBW 2,0-200 deney elemanının temas yüzleri.....	45
Tablo 4.3. MBW 3,0-100 deney elemanının temas yüzleri.....	48
Tablo 4.4. MBW 3,0-150 deney elemanının temas yüzleri.....	52
Tablo 4.5. MBW 3,0-200 deney elemanının temas yüzleri.....	56
Tablo 4.7. Deney numunelerin ön yüzündeki birim boy değişimleri.....	61

Tablo 5.1. Deney numunelerin taşıma gücü ve göreceli taşıma gücü oranları...	66
Tablo 5.2. Deney numunelerin süneklikleri ve göreceli süneklik oranları.....	72
Tablo 5.3. Deney numunelerin rijitlikleri ve göreceli rijitlik oranları.....	69
Tablo 5.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri.....	75
Tablo 5. 5. Deney elemanların kayma girilmesi.....	77
Tablo 5.5. Tüm deney sonuçları.....	78

ÖZET

Anahtar kelimeler: Düşey delikli tuğla duvar, iyileştirme, genişletilmiş çelik levha, yığma yapı, diyagonal basınç yüklemesi.

Dünya genelinde meydana gelen büyük şiddetli depremler; çok sayıdaki binaların hasar görmesine neden olmuş, can ve mal kaybına yol açmıştır. Bu nedenle ileride meydana gelmesi muhtemel yeni depremlere karşı hasarlı ve kusurlu üretilmiş binaların onarım ve güçlendirilmesi önem arz etmektedir. Bu konuyla ilgili araştırmacılar tarafından farklı güçlendirme teknikleri geliştirilmiştir. Literatürde; yığma yapıların taşıyıcı duvarlarda farklı malzemeler (FRP şeritler, karbon lifli kumaş, delikli sac ve genişletilmiş çelik levha vs) ile güçlendirilmesi üzerine farklı yöntemler üzerinde durulmaktadır. Ancak, bu yöntemlerin birçoğunun maliyetlerinin çok yüksek olması, zaman alıcı ve zahmetli olması ve uygulama esnasında yapının tahliye edilmesi gibi olumsuz durumlar da söz konusu olabilmektedir. Bu çalışmada; araştırma konusu olan yığma yapılar için düşey delikli blok tuğla duvarlarının güçlendirilmesi amacıyla yerli üretim, ucuz ve sünekliği artıran genişletilmiş çelik levhaların kullanılması öngörülmüştür. Bu malzeme yığma blok duvarın ön ve arka yüzüne ankrajlanarak uygulanması ile gerçekleştirilmektedir ve seri olarak uygulanabilmesi ile yığma yapının tahliyesine gerek kalmadan güçlendirilmesi mümkün olabilmektedir.

Bu çalışmada; bir adet referans, 4 adet güçlendirilmiş eleman olmak üzere toplam 5 adet deney elemanı hazırlanmıştır. Numuneler, düşey diyagonal olarak tekdüze basınç yükleri altında test edilmiştir. Mevcut tuğla duvarlarının iki yüzüne genişletilmiş çelik levhalar eklenmiş ve bu levhalar duvarın iki tarafından bulonlar ile bağlanarak duvar elemanları güçlendirilmiştir. Düşey delikli blok tuğla duvarı deney elemanlarına uygulanan bulon aralıkları deney değişkeni olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, elemanların yük taşıma kapasitesinin, dayanımının, sünekliğinin ve rijitliğinin arttığı görülmüştür. Ayrıca deney elemanlarının deney sonuna kadar bütünlüklerini korudukları tespit edilmiştir.

THE EFFECT OF BULBAR RANGE ON STRENGTH AND BEHAVIOR IN BLOCK BRICK WALLS STRENGTHENED WITH EXPANDED STEEL SHEETS

SUMMARY

Keywords: Vertical in filled brick walls with openings, rehabilitation, expanded steel plate, masonry building, monotonic diagonal loading

The earthquakes that have occurred in the past caused significant damages to numerous structures around the globe, which resulted in huge economic losses and took many lives. Therefore, in order to reduce the damages of structures exposed to a likely earthquake in the future, the damaged buildings, as well as those structures built with low standard, are required to be retrofitted and repaired. In this respect, different retrofitting techniques have been developed in the literature. For what concern the retrofitting and strengthening of the masonry walls, different materials (fibrous polymer strips, carbon fiber fabric, perforated sheet and expanded steel plate etc.) was considered using different methods. However, most of the available methods require too much time and their application is too costly, also during the strengthening process, the evacuation of the buildings is mandatory which makes them less practical. In this study, it is intended to imply more economical and practical method for strengthening infill was using externally-connected expanded steel plates. In this method, the retrofitting process is fulfilled by tying the infill walls from outside therefore the evacuation of the structures is not required

The investigation is conducted by considering a total of five test specimens, where one of them is used as a reference and the other 4 are strengthened. The constructed specimens are then tested under monotonic diagonal loading. The retrofitting process simply began by attaching the expanded steel plates to both sides of the existing infill walls and these plates are then bolted to each other from both sides. It worth mentioning that the distance between the bolts is designated as the test variable. As a result, it was observed that the strengthened masonry walls with expanded steel plates behave as a composite material until the bolts reached their yielding capacities. In addition, the retrofitted specimens maintained their integrity up to the end of the experiment and their load bearing capacities were increased. Furthermore, mechanical properties of strengthened masonry walls such as their rigidity, ductility and energy dissipation was increased significantly and accordingly their behavior have been affected positively.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Orta Asya, özellikle Afganistan ve Türkiye'de yapılan binalar betonarme ve çelik taşıyıcı sistemli olabildiği gibi yığma taşıyıcı sistemli olarak da inşa edilmektedir. Yığma yapılar çok ağır oldukları için depreme karşı dayanımları azdır ancak betonarme ve çelik binalara göre ekonomik olarak daha uygundur. Bu nedenle Türkiye'nin kırsal bölgelerinde yığma yapıların yapımına devam edilmektedir. Bu yapıların yapımında elden geldiğince depreme karşı dayanımın yüksek olmasının sağlanması bakımından yapıların deprem davranışının bilinmesi ve yönetmeliğe uygun şekilde inşa edilmesi veya mevcut yapıların yönetmeliklere uygun olarak güçlendirilmesi gerekmektedir.

Yığma yapıları oluşturan malzeme tuğladır. Tuğla gevrek bir malzemedir bu nedenle tuğla yığma yapıların betonarme ve çelik binalara göre dayanıklılığı azdır. Tuğla ve harç gibi iki gevrek malzemeden oluşan duvarlar, gevrek yapı elemanlarıdır. Bu nedenle, deprem dayanıklılığını artırmak amacıyla duvarların sünekliğinin de artırılması gerekmektedir. Bu çalışmada; Genişletilmiş çelik levhalar kullanmak suretiyle yığma yapıların güçlendirilmesi ve betonarme perde gibi davranması sağlanarak sünekliğin artırılması amaçlanmıştır. Böylece, duvarlarda elastik ötesi davranış ile kalıcı deformasyon oluşması ve depreme karşı dayanımın daha da artması beklenmektedir.

Dünyada en sık görülen doğal afetlerden biri depremdir. Yığma yapılar da betonarme veya çelik yapılar gibi deprem riskine maruz kalmaktadır. Bu felaketlerin bir sonucu olarak, binaların tamamen veya kısmen tahrip olması, büyük can ve mal kayıpları meydana gelmesidir. Bu felaketlere karşı mevcut yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte; depreme maruz kalan yığma binanın iyileştirme ve güçlendirme çalışmaları başlamadan önce; deprem davranışı ve çökme mekanizması

İyi bilinmelidir. Önleme yollarından biri, mevcut yapıları güçlendirmektir. Araştırmacılar yıllardır çeşitli iyileştirme teknikleri geliştirmekte ve bu tekniklerin üzerinde çalışmaktadırlar.

1.1. Yığma Yapının Tanımı

Mühendislik açısından, tüm duvarlarının taşıyıcı olduğu yapıya yığma yapı denir. Bu duvarların hasar görmesi doğrudan taşıyıcı sistemi etkiler.

Doğaltaş, tuğla, kerpiç, biriket blokların bir bağlama harcı ile birleştirilmesiyle, yatay ve düşey karakterli yüklerin duvarlara taşıtıldığı yığma yapılarda, duvarlar kendi iç dokusunda yeterli bir kenetlenme ve bağ kuvveti oluşturamadığı için yeterli rijitlik davranış sergileyemezler. Yığma yapının dayanımı, hem duvarlar ve harç arasındaki bağa hem de yığma malzemenin dayanımına bağlıdır (Bahçekapalı 2003).

Yığma yapıların, betonarme yapılara göre depremlere karşı dayanımı daha azdır. Tuğla ve harçtan oluşan duvar yapı elemanlarının gevrek elemanlar olduğu için sünek davranmaları beklenmemektedir. Betonarme gibi donatılı yığma yapı olarak yapırlarsa, sünek bir nitelikleri olmaktadır. Kalıcı deformasyon yaparak deprem enerji tüketme gücü, betonarme yapılara göre daha azdır. (Bayülke 1998), Yatığı çalışmada yığma yapıların 1. derece deprem bölgelerinde zemin ve birinci kat olmak üzere iki katlı olarak inşa edilirken. 2. ve 3. derece deprem bölgelerinde 3 katlı, 4. derece deprem bölgelerinde 4 katlı olarak inşa edilebildiklerini belirtmiştir. İstenirse, bodrum katları olabilir. Tuğla yığma yapılar, konut dışında çok sayıda insanın bulunabilen okullar, camiler, sağlık evleri, işyerleri gibi amaçlı binalar olmamalıdır.

Yığma yapılarda tüm duvarlar taşıyıcı olduğundan, duvarlardaki herhangi bir hasar taşıyıcı sistemi doğrudan etkiler ve bu açıdan betonarme yapılarda taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan bölüm hasarı gibi hiçbir ayırım yapılamaz. Yığma yapıların duvarları oturmaya çok duyarlıdır. En küçük temel oturumu hemen görülür. Bunun nedeni, yığma duvarların gevrek malzemelerden oluşması ve bu malzemelerin çatlamadan

dayanabileceği elastik gerilme veya yüklerin çok düşük olmasıdır. Numunelerin gevrek bir malzeme sahip olduğu için kolayca hasar görebilir (N. Bayülke 2001)

Bu çalışmanın temel amacı; Yığma yapılarda taşıyıcı olan düşey delikli blok tuğla duvar deney numuneleri üretilerek genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş gerekli yanal rijitlik ve dayanımı sağlayıp binaya katkıda bulunarak duvarların çökme ekseninden düşmesini önlemek için düşey delikli blok tuğla duvarların davranışını iyileştirmek, böylece can ve mal güvenliğini sağlamaktır.

Bu kapsamda yığma (düşey delikli tuğla) duvarları genişletilmiş çelik levhalarla deprem yüklerine karşı güçlendirilmeye çalışılmıştır. Genişletilmiş çelik levhalar; yerli üretim, kolaylıkla elde edinilebilir, deliklerinden dolayı düz çeliğe göre çok daha sünek davranabilen, alternatif malzemelere göre daha ucuz, uygulamaya elverişli bir malzemedir. Sakarya üniversitesi inşaat mühendisliği bölümü yapı laboratuvarında gerçekleştirilmiş mevcut deneysel çalışmada 1/1 ölçekli düşey delikli blok tuğla duvarlar genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilmiştir.

Bu çalışmada; birisi referans, birisi güçlendirilmiş deneme elemanı ve üç tanesi güçlendirilmiş düşey delikli tuğla duvarı olmak üzere, toplam beş adet 1/1 ölçekli yığma duvar numunesi tekdüze diyagonal yük altında test edilmiştir. Düşey yükler yığma duvarlarda basınç gerilmeleri oluşturmaktadır. Güçlendirilmiş olan deney elemanlarını oluşturmak için, duvarın her iki tarafına genişletilmiş çelik levhalar uygulanmıştır. Bu çelik levhalar duvara ve birbirlerine gerilmiş çelik bulonlarla bağlanmıştır. Genişletilmiş çelik levha kalınlığı ve bulon aralıkları, deney çalışmasının değişken parametreleri olarak belirlenmiştir. Daha sonra çelik levhalar üzerinde 20 mm kalınlığında sıva uygulanmıştır. Deneyde oluşan hasarların gözlemlenmesi ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi amacı ile sıvanın üzerinde alçı sıvası da uygulanmıştır. Deney sonuçları yardımıyla; taşıma kapasitesi, süneklik, rijitlik ve enerji tüketimi değerlendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca; deney elemanlarının ön yüzündeki ve arka yüzündeki deformasyonlar ölçülerek, duvarda meydana gelen birim uzamalar/kısalmalar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yığma yapılar arasında sadece bugün inşa edilen yapıları değil, aynı zamanda antik tarihte inşa edilmiş yapıları da saymak gerekir. Bunlar arasında camiler, konaklar, saraylar vs. söylenebilir.

Yığma yapıların deprem davranışına karşı güçlendirmek amacıyla farklı yöntemler kullanılmıştır. Literatürde duvarlar ve duvarlarda güçlendirme malzemeleri ve güçlendirme teknikleri ile ilgili olarak araştırmalar yapılmış ve bazıları bu bölümde sunulmuştur.

2.1. Çeşitli Polimer Malzemelerle Güçlendirme

Hamoush ve McGinley (2001), yapmış oldukları çalışmada yığma duvarları güçlendirmek amacıyla FRP kaplamaları kullanılmışlardır. $1,200 \times 1,800 \times 200$ mm ($4 \text{ ft} \times 6 \text{ ft} \times 8 \text{ inç}$) boyutlarında toplam on beş duvar numunesi hazırlayıp test etmişlerdir. Bu çalışmada, on iki adet deney elemanları FRP ile güçlendirilmiştir ve geri kalan üç tane referans duvarı herhangi bir kimyasal madde kullanılmadan hazırlanmıştır. İki seri olarak deney yapılmış olup, birinci seride iki kat elyaf takviyeli plastik bantlardan, ikincisinde ise dikey olmayan ve yatay yönlendirilmemiş elyaf kompozit bantlar kullanılmıştır. Referans deney elemanlarında her hangi harici madde kullanılmamıştır. Deney sonucunda; kırılma yükleri, dış donatının (FRP) davranışı, düzlem dışı deformasyonlar kaydedilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar yardımıyla, yığma duvarların eğilme mukavemetinin artırılabilir olduğu belirtilmiştir.

Valuzzi ve ark (2002), yaptıkları çalışmada; lamine ve şeritler şeklinde kullanılmak suretiyle, FRP malzemesinin beton bloklar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deney numuneleri, her iki tarafından FRP ile güçlendirilip test edilmişlerdir. Bu çalışma Sonucunda, yük taşıma kapasitesinde önemli bir artış sağlayabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, kesme kapasitesi ve süneklik ile ilgili dikkat çekici artış sağlandığı da görülmüştür. Özellikle simetrik takviye uygulamasında bu artış oranlarının daha da arttığı belirlenmiştir.

Prota ve ark (2006), yaptıkları çalışmada ise, kompozit malzemelerle güçlendirilen tuf duvarların düzlem içi davranışının iyileştirmesine katkısı araştırılmıştır. Çalışmada, bir çimento bazlı matris kaplı alkali dayanıklı cam ızgara sistemi kullanılarak CMG tuf dolgu duvarlar güçlendirilmiştir. İlk önce referans numunesinin üzerinde deneyler yapılmış, daha sonra güçlendirilmiş numuneler üzerinde tek eksenli kesme deneyleri ve diyagonal basınç yük altında duvar paneli deneyleri yapılmıştır. Deney sonucunda numunelerin kayma gerilmelerinin arttığı göstermiş olsa da, bu yöntemle güçlendirmenin maliyetinin yüksek olduğu da belirtilmiştir.

Deries ve Relhacha (2007), yaptıkları çalışmada; dolgu duvarları güçlendirmek amacıyla karbon, cam ve aramid lifleri gibi çeşitli kompozit malzemelerden oluşan çelik takviyeli polimerler (SRP) ve fiber takviyeli polimerler (FRP) uygulanmıştır. Dolgu duvarlarda; kompozit malzemelerden oluşan FRP veya SRP ile yapılan güçlendirme etkisinin, epoksi ile ıslak yapıştırma FRP veya SRP ile yapılan güçlendirmeye göre daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Catherine ve ark (2011), delikli tuğla dolgu duvarının yük taşıma kapasitesi ve deformasyon kapasitesini artırmak amacıyla bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada; deney elemanlarında her iki tarafa uygulanan bir veya iki tabakalı, ızgara tipi (karbon, cam veya bazalt) lifler kullanılmıştır. Daha etkili sonuçlar için yapışkan bir malzeme (reçine veya epoksi sıva harcı) uygulanıp, düzlem içi yüklemeye tabi tutulan numunelerde basınç deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, örgü ve

harç kullanarak yapılan güçlendirme ile duvar deney elemanlarının depremlere karşı dayanımlarının artırılabilceği gösterilmiştir.

Belarbi ve Acun (2013), FRP ile duvar güçlendirmesi üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada; FRP güçlendirilmesi ile eğilme ve kesme kapasitelerinde meydana gelen iyileştirmeleri belirlemek için yapısal elemanlar üzerinde kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Daha ekonomik olması, uygulamasının daha kolay olması, yüksek çekme mukavemeti ve düzensiz yüzeylere uygulanmasının kolaylığı nedeniyle kesme güçlendirilmesi için FRP malzemesinin daha çok tercih edildiği belirtilen çalışmada, betonarme yapıların onarımı ve güçlendirilmesi için de FRP sistemlerinin kullanımının inşaat mühendislerince tercih edilen bir uygulama olduğu bildirilmiştir.

Corradi ve diğeri (2014), yaptıkları çalışma ile, tarihi binaların güçlendirilmesini incelemişlerdir. Bu amaçla üç farklı tarihi binadan kesilen paneller şeklinde numuneler hazırlanmış ve bu numuneler üzerinde GFRP ile güçlendirme uygulaması yapıp testler yapmışlardır. Çalışmada; güçlendirmeden önce ve sonra duvarın kayma gerilmesi ve yanal yük taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve kayma ve yük taşıma kapasitelerinin önemli bir artış gösterdiği kaydedilmiştir. Bu artış oranının referans panellerine göre %1060 a kadar ulaştığı görülmüştür.

Enea ve Yardım (2017), yaptıkları çalışma kapsamında; 1200 mm × 1200 mm × 250 mm boyutlarında duvar panelleri hazırlamışlardır. Numunelerin düzlem içi davranışını değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla, üç adet güçlendirilmemiş referans deney elemanı ve üç adet cam fiber takviyeli polimer (GFRP) ile güçlendirilmiş duvar paneli olmak üzere toplam 6 adet numune hazırlanmış ve diyagonal basınç yükleri altında bu numuneler deneye tabi tutulmuştur. Deneylerden elde edilen sonuçlar; GFRP takviyeli panellerin kesme dayanımının referans numunelere göre %127 oranında ve sünekliğinin %1100 oranında ve rijitliğinin %650 oranında arttığını göstermiştir.

Camilo ve Nancy (2018), yaptıkları çalışmada; Kil yığma duvarlarını güçlendirmek amacıyla çalışmada karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP) kullanılmıştır. Deney kapsamında, boş tuğla malzemesi kullanılarak 8 adet kil yığma duvarı inşa edilmiştir. Deney elemanlarının 4 adedi 1,23 m uzunluğunda ve 2,35 m yüksekliğinde, kalan 4 adedi ise 2,47 m uzunluğunda ve 2,35 m yüksekliğinde üretilmiştir. İki seri olarak deney yapılmıştır. Üretilen deney elemanlarının 4 tanesi statik yük altında, 4 tanesi ise kendi düzleminde bir döngüsel yük altında test edilmiştir. Deney sonucunda her iki deney serisinde de, CFRP ile güçlendirilmiş elemanlarda yük ve deformasyon kapasitelerinde önemli artışların meydana geldiği görülmüştür.

H.A ve R.P (2018), yaptıkları çalışmada; cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) kullanarak farklı güçlendirme desenleri ile diyagonal basınç yükleri altında tuğla duvar panellerinin düzlem içi performanslarını incelenmişlerdir. Paneller; yalnızca bir tarafından ve her iki tarafından diyagonal ve çapraz geometrik desen ile güçlendirilerek test edilmişlerdir. Deney sonucunda; GFRP ile güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücünün güçlendirilmemiş elemanlara göre %69,84 oranında arttığı gözlenmiştir. Kesme mukavemetinde ise, 0,25 MPa-0,38 MPa kadar bir artış görülmüştür. Ayrıca çapraz olarak güçlendirilen panelin; kesme dayanımı, düzlem içi mukavemet, rijitlik ve deformasyon kapasitesi bakımından daha fazla verimli olduğu gözlenmiştir.

Çöğürçü ve Kamanlı (2007), yaptıkları çalışmada; düzlem dışı yüklenen yığma duvarın sismik ve kırılma davranışını, analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada, göçme mekanizmasına, duvarların düzlem dışı dayanımının hâkim olduğu varsayarak düzlem dışı tersinir yüklerle yüklenen yığma duvarların deneysel sonuçları sunulmuş ve açıklanmıştır. Duvar düzlemine dik etkiyen büyük sismik kuvvetlerden çok büyük düzlem dışı ivmeler oluşur. Bu durumun, duvarın güç tüketimine etkisi gözlenmiştir.

Maalej ve Etal, (2010), ECC ile duvar güçlendirmesi üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında; toplam 18 duvar paneli, mühendislik çimento kompoziti (ECC) olarak bilinen bir çimento bazlı malzemeye güçlendirilmiştir. Daha sonra bu

numuneler yarı statik ve dinamik yükler altında test edilmiştir. Deney sonucunda ECC ile güçlendirilmiş elemanların nihai yük taşıma kapasitesinde referans elemanlara göre %48-%68 oranında, süneklikte ise %17-%74 oranında bir artış sağlandığı görülmüştür.

Najif ve diğ. (2011), dolgu duvarların iç kayma davranışının iyileştirilmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada; toplam 17 tane 1,2 m x 1,2 m boyutunda numune hazırlamışlardır. Daha sonra bu numunelerin yüzeyine yakın olarak monte edilmiş yüksek mukavemetli bükülmüş paslanmaz çelik kullanılarak numuneler güçlendirilmiş ve çalışmada bu donatı çubukları incelenmiştir. Numunelere tek taraflı ve iki taraflı olarak donatı numuneleri uygulanmıştır. Deneylerin sonucunda; sismik davranışla ilgili parametreler, kayma davranışı, kayma kapasitesi, süneklik, kayma modülü ve elastik modülündeki değişimler incelenmiştir. Çalışmada; en dikkat çekici iyileşmenin kayma gerilmesinde meydana geldiği görülmüş ve kayma gerilmesinin %114- %189 oranlarında arttığı belirlenmiştir.

Tekeli ve diğ. (2014), yaptıkları bir çalışmada; dolgu duvarlarının yük taşıma kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesini artırmak amacıyla biri referans olmak üzere aynı özelliklere sahip 4 adet betonarme çerçeve numune hazırlamışlardır. Tuğla dolgu numunelerin iki tanesi tek yüzeyinden, bir tanesi ise iki yüzeyinden hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmiş olup, işçilik ve ankraj aralığı değiştirilmiştir. Deney sonucunda tek taraflı olarak güçlendirilen; seyrek ankarajlı numunede yanal yük taşıma kapasitesinin %120 oranında arttığı, sık ankarajlı numunede ise bu oranın %160 olarak gerçekleştiği görülmüştür. Çift taraflı güçlendirilmiş elemanlarda ise bu oran %180 değerine ulaşmıştır. İşçiliği kötü olan numunelerde ise, hasır çelik yüzeyinin deney sırasında dolgu duvardan ayrıldığı görülmüştür.

Najif ve Jason (2016), çalışmalarında, iki farklı türde polimer tekstil güçlendirme harç (TRM) kullanılarak güçlendirilen duvar numuneler hazırlanmıştır. Deneysel program kapsamında; tam ölçekte ters döngüsel düzlem içi ve düzlem dışı testten oluşan iki seri deney gerçekleştirilmiştir. Düşük mukavemete sahip olduğu bilinen katı kil tuğladan oluşan tarihi duvarların güçlendirilmesi amacıyla deney

numunelerinde hidrolik çimento harcı kullanılmıştır. TRM kullanılarak güçlendirilmiş olan tarihi URM duvarlarının sismik davranışıyla ilgili çok sayıda yapısal karakteristikler incelenmiştir. Çalışma sonucunda; polimer tekstil ile güçlendirilmiş numunelerin taşıma gücünün referans numuneye göre %128-%136 oranlarında arttığı görülmüştür.

Najıf ve ark. (2017), çalışmalarında; bir güçlendirme çözümü olarak IMPS'de kesme hasarını sınırlamak için FRCM 'nin verimliliğini araştırmışlardır. Çalışmada, deneysel bir programın parçası olan ilk test serisinin ön sonuçları verilmiştir. Bu amaçla toplam 7 adet; 1,200 mm × 1,200 mm × 150 mm boyutlarında içi boş beton duvar deney numuneleri hazırlanmıştır. Çimento/kum oranı harçlı olarak ağırlık cinsinden 1/3 olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, güçlendirmenin etkisiyle deney elemanlarının kesme mukavemetinin %180-%270 oranlarında arttığı görülmüştür.

2.2. Tekstil Donatılı Harç ile Güçlendirme

Pelin ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada, tekstil donatılı harç ile yapılan güçlendirme uygulamasının tarihi yığma binalarının kayma davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla ikisi referans olmak üzere toplam 6 adet deney elemanı üretilmiştir. Güçlendirilmiş elemanların ikisinin yüzeyleri, tarihi harçların mekanik özelliklerini yansıttığı düşünülen yeniden üretilmiş düşük dayanımlı harç ile sıvanmıştır. İki adet eleman ise karbon tekstil donatılı ve orta dayanımlı harç kullanılarak güçlendirilmiştir. Diyagonal basınç etkisi altındaki duvarların davranışları deneysel olarak belirlenirken, sıvanın etkinliği ve tekstil donatılı malzemenin davranış üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Güçlendirilmiş numuneler referans numunelerle kıyaslandığında; kayma dayanımı, deformasyon kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesinde önemli bir artış sağlandığı görülmüştür.

2.3. Delikli Sac ve Genişletilmiş Çelik Levha ile Güçlendirme

Babayani (2012), çalışması kapsamında, boşluklu tuğla dolgu duvarlarının üzerlerine delikli sac levhaları eklemek suretiyle yapılan güçlendirmeyi ele almıştır. Deney elemanları 1/2 ölçeğe sahip olacak şekilde; 1500 mm x1250 mm ebadlarında bir adet referans ve toplam 11 adet güçlendirmiş deney elemanı şeklinde hazırlanmıştır. Deney elemanları iki ana gruba ayrılmıştır ve her grup referans hariç altışar adettir. Bu duvarların güçlendirilmesi birden fazla sayıda sac levhanın birleştirilmesi ile yapılmıştır. Deney çerçevelerine tersinir tekrarlanır yatay yükleri, bir çelik çerçeve yardımıyla uygulanmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanlarının davranış performanslarının, güçlendirilmemiş referans deney elemanına oranla, oldukça iyi olduğu görölmüştür. Güçlendirilmiş deney elemanlarının ilk eğim değerlerindeki artış %147 ile %208 oranlarında olmuştur. Tüm güçlendirilmiş elemanlarının sünekliklerinin referans'a göre %135 ile %533 arasında değişen oranlarda arttığı görölmüştür. Güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji tüketim değerlerindeki artış oranı ise, referans deney elemanına oranla %515 ile %936 arasında olmuştur. Yanal yük taşıma kapasitesi 1,15–2,30 kat, yanal rijitlik 1,47–2,08 kat, süneklik 1,35–5,33 kat, toplam tüketilen enerji ise 5,15–9,36 kat artmıştır.

Özbek, 2015 yılında yaptığı çalışma ile, delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarlara sahip olan betonarme çerçevelerin davranışlarını deneysel olarak incelemiştir. Bu amaçla birisi referans ve beşi delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş eleman olmakla birlikte ½ ölçekli toplam 6 adet deney elemanı üretilmiştir. Üretilen sıvalı tuğla duvarları, çelik profiller ve köşelerde kullanılan ince üçgen sac levhalarla takviye ederek deneyler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda da kullanılan üçgen levhaların, sargılama basıncını arttırdığı ve köşelerdeki tuğlaların ezilmesini önlediği görölmüştür. Üçgen levhaların boyutları ve sayısı arttıka tuğla duvar dayanımında da artış olduğu ve dayanımın yaklaşık 3,5 kat; rijitliğin ise 3 kat arttığı görölmüştür.

Cumhur tarafından, 2016 yılında yapılan çalışmada; genişletilmiş çelik levhaların dolgu duvarlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma kapsamında; biri referans, olmakla birlikte toplam 30 adet bire bir ölçekli güçlendirilmiş deney elemanı

üretmiş ve köşegen boyunca tekdüze basınç yükleri altında deneyler yapılmıştır. Çalışmada genişletilmiş çelik levhanın kalınlığı, bulon ankraj aralıkları ve çelik levhanın konumu deney değişkenleri olarak belirlenmiştir. Mevcut tuğla dolgu duvarların iki yüzüne genişletilmiş çelik levhalar eklenmiş ve bu levhalar birbirlerine bulonlarla bağlanarak sabitlenerek numuneler güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanların referans deney elemanlarına göre, taşıma gücünde 3,5 kat, rijitliklerinde 3,0 kat ve sünekliklerinde ise 8,5 kat artış sağladığını belirtmiştir. Ayrıca enerji dönüştürme kapasitesi referans numunelerin ortalamasına göre 5-30 katına ulaştığını. Yapılan çalışmanın sonucunda, genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş duvarların çekme gerilmelerinin büyük bir kısmının karşılandığı, duvar üzerinde üç eksenli sayılabilecek bir sargılama basıncının oluştuğu ve bulonlarda akma oluşuncaya kadar duvarın kompozit bir malzeme gibi davrandığı görülmüştür.

FRP ve GFRP ile yapılan çalışmalarda, olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu yöntemlerin maliyetinin yüksek olması en büyük dezavantajlarıdır. Delikli sac levhalarla yapılan çalışmalarda da; elemanların yük taşıma kapasitesinde, rijitlik ve süneklikte artış sağladığı görülmüştür. Bu yöntemin en önemli dezavantajları ise; güçlendirme sonrası mimari ve görsel açıdan meydana gelen sorunların oluşması ve sıva ile aderansının iyi olmamasıdır.

Bu çalışmada; tuğla duvarların güçlendirilmesi için yapılan çalışmalar dışında genişletilmiş çelik levhalar ile yığma tuğla duvarların güçlendirilmesinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada; araştırma konusu olan yığma yapılar için düşey delikli blok tuğla duvarların güçlendirilmesi amacıyla yerli üretim, ucuz ve sünekliği artıran genişletilmiş çelik levhaların kullanılması öngörülmüştür. Bu malzeme yığma blok duvarın ön ve arka yüzüne ankrajlanarak uygulanması ile gerçekleştirilmektedir. Seri olarak uygulanabilmesi ile yığma yapının tahliyesine gerek kalmadan güçlendirilmesi mümkün olabilmektedir.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Programı

Bu çalışmada, deney numunelerin üretilmesi için Türkiye şartlarında standartları uygun tuğlalar, sıva malzemesi ve alçı malzemesi temin edilmiştir. Düşey delikli tuğlalar (135 mm × 190 mm × 290mm) kullanılmak suretiyle deney elemanları imal edilmiştir. Tuğlaların delikler düşey yöne gelecek şekilde örülmüştür. Gereken malzemeleri hazırlandıktan sonra referans numunesi çelik kalıp içinde sıvalı düşey delikli tuğla duvarları örülmüştür. Duvarlar örülürken yaklaşık 10 mm düşey delikli tuğlanın arasında sıva harcı ile doldurulmuştur. Duvarların yüzeyi yaklaşık 20 mm kalınlığında çimento-kum-kireç karışım harcı karışımı ile sıva uygulaması yapılmıştır. Güçlendirilmiş deney elemanları daha iyi ve gerçekçi sonuçlar elde etmek amacıyla bütün duvarların işçiliği aynı kişi tarafından gerçekleştirilmiş olup, duvar işçiliği sıradan bir işçilik olup hep aynı düzende örülmesi sağlanmıştır. Sıvanın en iyi şekilde yapılmasına dikkat edilmiştir. Deney elemanlarına verilen indisler Tablo3.1.'de ve deney özellikleri Tablo3.2.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Deney elemanlarına verilen indislerin açıklaması

No	İndisler	İndis açıklaması
1	MBW R	(Masonry Brick Wall) Yığma Tuğla Duvar Referans Elemanı
2	2,0-200	2,0 levha kalınlığını, 200 bulon aralığını göstermektedir
3	3,0-100	3,0 levha kalınlığını, 100 bulon aralığını göstermektedir
4	3,0-150	3,0 levha kalınlığını, 150 bulon aralığını göstermektedir
5	3,0-200	3,0 levha kalınlığını, 200 bulon aralığını göstermektedir

Tablo 3.2. Deney elemanlarının özellikleri

Deney No	Numune	Sıva mm	Levha Kalınlığı	Bulon Aralığı	M6 Bulon Sayısı
1	R	20	-	-	-
2	MBW 2,0-200 (Deneme Elemanı)	20	2,0	200	25
3	MBW 3,0-100	20	3,0	100	100
4	MBW 3,0-150	20	3,0	150	49
5	MBW 3,0-200	20	3,0	200	25

3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deney sonuçlarının daha gerçekçi ve kıyaslanabilir olması için deney elemanlarının hazırlanmasında kullanılan malzemelerin hepsi tek seferde temin edilmiştir. Ayrıca, daha ekonomik olabilmesi için deneylerde herhangi bir özel üretilmiş malzeme kullanılmamıştır. Kullanılan malzemelerin tamamı, piyasadan rahatça temin edilebilmektedir.

3.2.1. Çelik kalıp elemanı

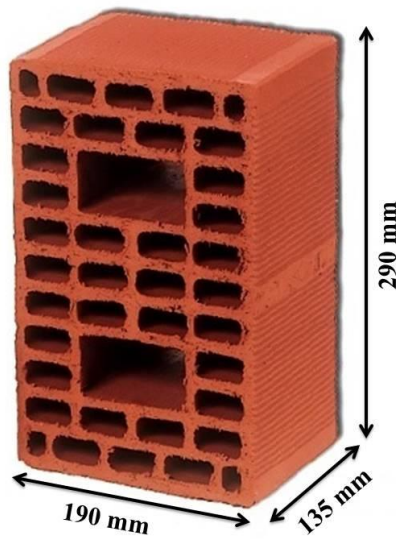
İmalatı fabrika ortamında yapılmış olan 1/1 ölçekli deney programında çelik kalıp elemanın boyutları, yüksekliği 1000 mm ve uzunluğu 1000 mm olacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Çelik Kalıp Elemanı

3.2.2. Düşey delikli tuğla özellik ve dayanımı

Dolgu duvarların örülmesinde piyasada 13,5'lik olarak bilinen düşey delikli blok tuğlalar ($135 \text{ mm} \times 190 \text{ mm} \times 290 \text{ mm}$) kullanılmıştır. Tuğlaların tamamı tek seferde temin edilmiştir. Şekil 3.2.'de düşey delikli blok tuğla boyutları gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Düşey delikli blok tuğla boyutları

Kullanılan tuğlaların özellikleri, 27 adet tuğla üzerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenmiştir. Buna göre, genişlikleri ortalama 190 mm ve standart sapma değeri 0, uzunlukları ortalama 287 mm ve standart sapma değeri 0,7 yükseklikleri 135 mm ve standart sapma değeri 1,4 ve ağırlıkları da 4,5 kg olarak bulunmuştur. Tuğlaların hacim ağırlığı 700 kg/m^3 ve sarfiyatı (ad/m^2) 22-35 adettir. Ayrıca toplamda 27 tuğla numunesleri test edilmiştir (Şekil 3.3.). Basınç dayanımı, tuğla deliklerine paralel yönde 3,3MPa, boşluklara dik-kısa yönde 1,3 MPa ve boşluklara dik-uzun yönde 3,30 MPa olarak ölçülmüştür.

Tuğlalar arasındaki boşluklar olabildiğince sıradan bir işçilikle ve tek elden sıvanmışlardır. Tuğlaların tamamı tek seferde temin edilmiştir. Deneyde kullanılan tuğlaların basınç dayanımları Tablo 3.3.-3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Düşey delikli tuğlanın deliklere paralel doğrultudaki basınç dayanımı

Numune No	Yükleme alanı (mm^2)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (Mpa)
1	51800	30,3	1,3
2	51800	12,8	0,5
3	51800	49,0	2,1
4	51800	24,9	1,1
5	51800	31,9	1,3
6	51800	47,2	1,9
7	51800	36,3	1,5
8	51800	25,9	1,1
9	51800	15,9	0,7
Ortalama			1,3
Standard Sapma			0,5

Deney sonuçları istatistik veriler; ortalama ve standart sapma ve değerleri alınarak belirlenmiştir. Denklem 3.1.-3.2.'de verilmiştir.

$$X^- = \frac{\sum x}{n} \quad (3.1)$$

$$X^- = \frac{1,3+0,5+2,1+1,1+1,3+1,9+1,5+1,1+0,7}{9} = 1,267$$

Standart Sapmanın hesaplanması için aşağıda verilen Denklem 3.2 kullanılmıştır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

Formüldeki indislerin açılımları aşağıdaki gibidir;

σ : Standart Sapma

N: Dizinin Eleman Sayısı

x_i : Dizinin x. elemanı.

\bar{x} : Dizideki sayıların aritmetik ortalaması.

$(x_i - \bar{x})^2$: i. elemanın ortalamadan farkının karesi alınır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.064+0.54+0.6+0.53+0.346+0.48+1.+1.7+0.2}{9-1}} = 0.51$$

Tablo 3.4. Düşey delikli tuğlanın deliklere paralel dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı

Numune No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
1	36400	133,6	3,7
2	36400	154,4	4,2
3	36400	95,4	2,6
4	36400	120,8	3,3
5	36400	122,1	3,3
6	36400	153,2	4,2
7	36400	111,7	3,1
8	36400	148,9	4,1
9	36400	80,2	2,2
Ortalama			3,4
Standard Sapma			0,7

Tablo 3.5. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı

Numune No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
1	24050	147,5	2,8
2	24050	240,4	4,6
3	24050	147,1	2,8
4	24050	237,3	4,6
5	24050	105,0	2,0
6	24050	237,6	4,6
7	24050	114,6	2,2
8	24050	132,2	2,6
9	24050	164,5	3,2
Ortalama			3,3
Standard Sapma			1,1

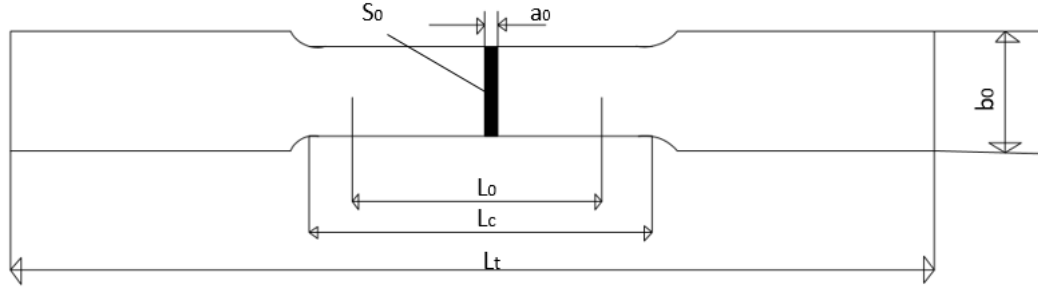


Şekil 3.3. Düşey blok tuğla duvar basınç deneyi

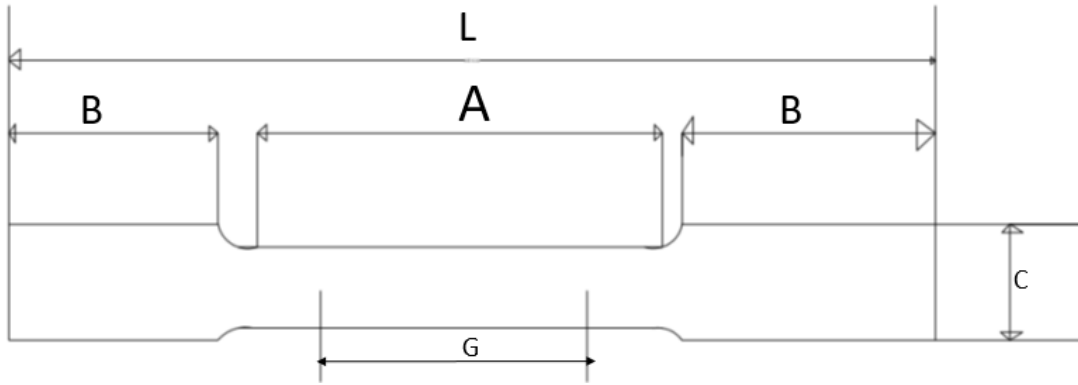
3.2.3. Genişletilmiş çelik levha

Düşey delikli blok tuğla duvarların güçlendirilmesinde kullanılan genişletilmiş çelik levhaların da hepsi bir seferde ve aynı yerden temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan genişletilmiş çelik levha kalınlığı 2,0-3,0 mm'dir. Genişletilmiş çelik levhalar yerli üretim olup; sünek, ucuz, nitelikli işgücü ihtiyacını azaltabilecek ve böylece maliyeti azaltmıştır. Genişletilmiş çelik levhalar tamamen geri dönüştürülebilir bir

numunelerin geometrisi, ISO 6892-1 ve ASTM E8:2016 standartların lama tipi numune ebatları ise Tablo 3.6.' ve Tablo 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.5. ISO 6892-1 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri



Şekil 3.6. ASTM Standardına uygun lama tipi dikdörtgen geometriye sahip çekme deneyi numunesini.

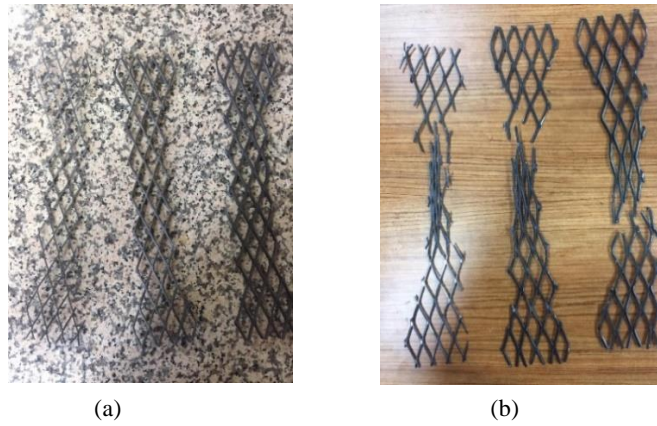
Tablo 3.6. ISO 6892-1 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri

Eleman Simgesi	Eleman Açılımı	Eleman Boyutu mm
L_0	İlk ölçü uzunluğu	80
b_0	Gövde genişliği	$20.0 \pm 1,0$
L_c	En küçük gövde uzunluğu	90
L_c	Önerilen gövde uzunluğu	120
L_T	Numune kavrama uçları arasında kalan gövde uzunluğu	140

Tablo 3.7. ASTM E8:2016 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri

Eleman Simgesi	Eleman Açılımı	Eleman Boyutu mm
G	İlk ölçü uzunluğu	$200 \pm 0,2$
W	Gövde genişliği	$40 \pm 2,0$
T	En küçük numune kalınlığı	5
R	En küçük numune kavis yarıçapı	25
L	Numune toplam uzunluğu	450
A	En küçük numune gövde uzunluğu	225
B	Numune kavrama uçları uzunluğu	75
C	Gövde genişliği	50

şagıda Şekil 3.7.'de yapılan çekme deneyin öncesi ve sonrası verilmiştir.



Şekil 3.7. Çelik levhanın (a) çekme deneyi öncesi, (b) çekme deneyi sonrası

Aşagıda Tablo 3.8.'de yapılan çekme deneyin sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.8. Genişletilmiş çelik levhanın çekme deneyi

Levha Kalınlığı mm	Akma Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması %	Çekme/Akma
2,0	549,4	35,0	1,4
3,0	616,8	44,3	1,2

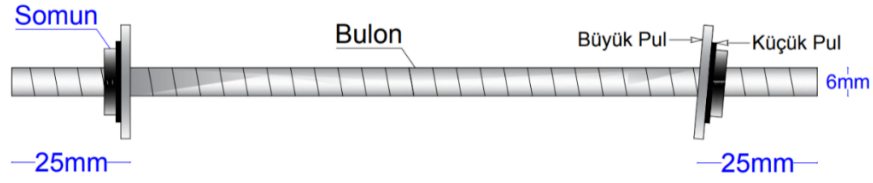
3.2.4. Geniştirilmiş çelik levhalar ile güçlendirme tekniği

Sıvanmış düşey delikli blok tuğla yığma duvarlarını güçlendirme işleminde kullanılmış çelik levhalar daha önce fabrikada kesilmiş çelik levhaları getirip mevcut tuğla duvarın her iki yüzüne yerleştirilmiş ve delinecek noktaların karşılıklı olarak belirlenmesi ve duvara zarar vermemek için önce bir karton üzerinde işaretlenip 6 mm çapında delikler açılmıştır. Delme işlemi yapılırken önce bir yüzüne kalıpla tutturup duvarın bir yüzünden delmeye başlanmış, delik derinliği 60-70 mm'lere ulaştığında duvarın diğer yüzüne kalıpla tutturulup karşısından aynı işleme delik tamamen açılıncaya kadar devam edilmiştir. Bu şekilde duvarın yüzeylerinde oluşacak parçalanmalar önlemiştir. Delik açıldıktan sonra Şekil 4.3.'deki gibi yaklaşık 170 mm uzunluğundaki Ø6 mm tijler kullanılmıştır, Tijlerden numune alınmış basınç eğilme testi yapılmıştır. Tablo 3.9.'da tijlerin basınç eğilmesi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.9. Tijlerin basınç eğilmesi sonuçları

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

Daha sonra bulon delikten geçirilmiş, pullar takılmış ve karşılıklı somunlarla bağlanmıştır. Daha sonra ardgerme etkisi için 3 N.m' lik tork ile sıkılmışlardır. Burada kullanılacak pul çaplarının levha delik çapından daha büyük olmasına dikkat edilmiştir Şekil 3.8.'de kullanılan bulon, pul ve somun geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Güçlendirilmiş deney elemanlarında kullanılan bulon, pul ve somun geometrisi

3.2.5. Sıva ve harç

Örülen düşey delikli blok tuğla duvar ve sıva yapımında kullanılan harç kum, kireç, çimento ve su karışımıyla elde edilmiştir. Duvar örmek ve sıva için her iki yerde kullanılan harç için aynı karışım oranları kullanılmıştır. Duvarlar 20 mm kalınlığında sıvanmıştır. Bu oranlar ağırlıkça (kg) olarak tasarlanmış ve Tablo 3.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Sıva ve harçta kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları

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

Buradaki su oranı yaklaşık bir oran olup kumun su ihtiyacına göre ve sıva için geçen bekleme süresine göre ayarlanmıştır. Düşey delikli blok tuğla duvar üretim kalitesini daha gerçekçi ve benzer seviyelerde tutabilmek, deney sonuçlarının gerçekçi olabilmesi için bütün karışımlar aynı yerde ve aynı sıcaklık koşullarında hazırlanmıştır. Karışımların hepsi de laboratuvarında bulunan aynı mikserle hazırlanmış ve aynı kişi tarafından uygulanmıştır. Her elemanın sıva imalatı ve duvar örme sırasında dayanımı ölçmek amacıyla en az 9 adet silindir numune alınmıştır. Harç ve sıva numunelerin yapım aşamesi de aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 3.9.-3.10).



Şekil 3.9. silindir numune alma



Şekil 3.10. Harç numunelerin kalıptan çıkarılmış durumu

Harç numuneleri kalıptan çıkarırken dikkat edilip ve daha sonra silindir numuneler kırılarak dayanımı bulunmuştur (Tablo 3.11). Sonuçlar birbirine yakın olmakla beraber genel ortalamanın basınç dayanımı yaklaşık 8,3 MPa olduğu görülmüştür.

Tablo 3.11. Referans numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yüklem alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
Tablo 3.11. (devam)			
RS1	7854	83,6	10,6
RS2	7854	77,6	9,9
RS3	7854	78,4	9,9
RS4	7854	83,4	10,6
RS5	7854	80,5	10,2
RS6	7854	79,4	10,1
RS7	7854	74,1	9,4
RS8	7854	73,7	9,4
RS9	7854	88,7	11,3
Ortalama		79,9	10,2
standard Sapma		4,8	0,6

RS: Referans numunelerden alınan sıva silindir numuneleri

Her elemanın imalatı ve duvar örme sırasında harç dayanımı ölçmek amacıyla en az 9 adet silindir numune alınmıştır. Daha sonra silindir numuneler kırılarak dayanımı bulunmuştur (Tablo 3.12).

Tablo 3.12. Referans numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yüklem alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
RH1	7854	42,6	5,4
RH2	7854	57,5	7,3
RH3	7854	63,4	8,1
RH4	7854	66,7	8,5
RH5	7854	57,8	7,4
RH6	7854	59,7	7,6
RH7	7854	63,4	8,1
RH8	7854	59,2	7,5
RH9	7854	56,4	7,2
Ortalama		58,5	7,5
Standard Sapma		6,9	0,9

RH: Referans numunelerden alınan harç silindir numuneleri

Güçlendirilmiş elemanların imalatı ve duvar örme sırasında harç dayanımları belirlemek amacıyla en az 9 adet silindir numune alınmıştır. Daha sonra silindir numuneleri laboratuvarda kırılarak basınç dayanımları bulunmuştur. Tablo 3.13.'te numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı verilmiştir.

Tablo 3.13. Güçlendirilen numunelerden alınan harç silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
GH1	7854	84,5	10,8
GH2	7854	70,7	9,0
GH3	7854	87,9	11,2
GH4	7854	83,2	10,6
GH5	7854	70,0	8,9
GH6	7854	89,2	11,4
GH7	7854	97,8	12,5
GH8	7854	90,7	11,6
GH9	7854	93,6	11,9
Ortalama		85,3	10,9
Standard Sapma		9,54	1,2

GH: Güçlendirilen numunelerden alınan harç silindir numuneler

Güçlendirilmiş elemanların imalatı ve duvar örme sırasında sıvanın dayanımları belirlemek amacıyla en az 9 adet silindir numune alınmıştır. Daha sonra silindir numuneleri laboratuvarda kırılarak basınç dayanımları bulunmuştur (Tablo 3.14).

Tablo 3.14. Güçlendirilen numunelerden alınan sıva silindir numunelerin basınç dayanımı

Numune No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
GS1	7854	86,4	11,0
GS2	7854	74,2	9,5
GS3	7854	85,0	10,8
GS4	7854	72,5	9,2
GS5	7854	78,6	10,0
GS6	7854	76,3	9,7
GS7	7854	79,4	10,1
GS8	7854	74,5	9,5
GS9	7854	78,1	9,9
Ortalama		78,3	9,9
Standard Sapma		4,8	0,6

3.2.6. Basınc dayanımı

Silindir numunelerin kırılması için beton presi cihazı kullanılmıştır. Bu kapsamda kullanılan beton presi cihazın 200 ton kapasiteli 250 mm piston çapı ve 50 mm piston çap hareketine sahip ve 0,1 kg duyarlıklı beton presi kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Beton presi cihazı

Deneyde, silindir numunelerin pürüzsüz yüzeylerinin iki çelik sıkıştırma tablası arasına gelmesi sağlanmıştır. Pres tablaları arasına yerleştirilmiş numuneler 3 kg/cm²/sn'lik sabit hızla yüklenmiş ve kırılma yükleri belirlenmiştir. Numunenin kırıldığı kuvvetin yüzey alanına bölünmesi ile basınç dayanımı aşağıda Denklem 3.1 hesaplanmıştır:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

σ : Basınç dayanımı MPa

P_k : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A: Numunenin üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm

Harç numuneleri beton pres cihazına yerleştirilerek test edilmiştir (Şekil 3.12).

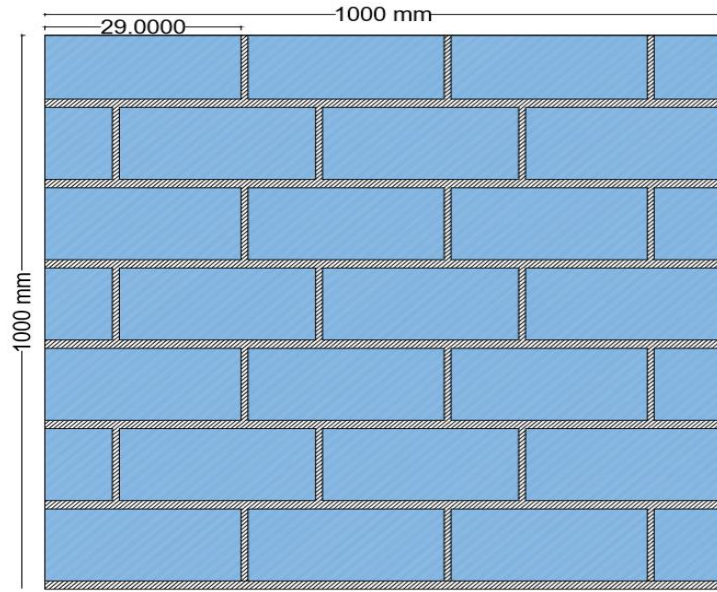


Şekil 3.12. Harç numunelerin kırılma durumu

3.3. Deney Elemanlarının Tanımı

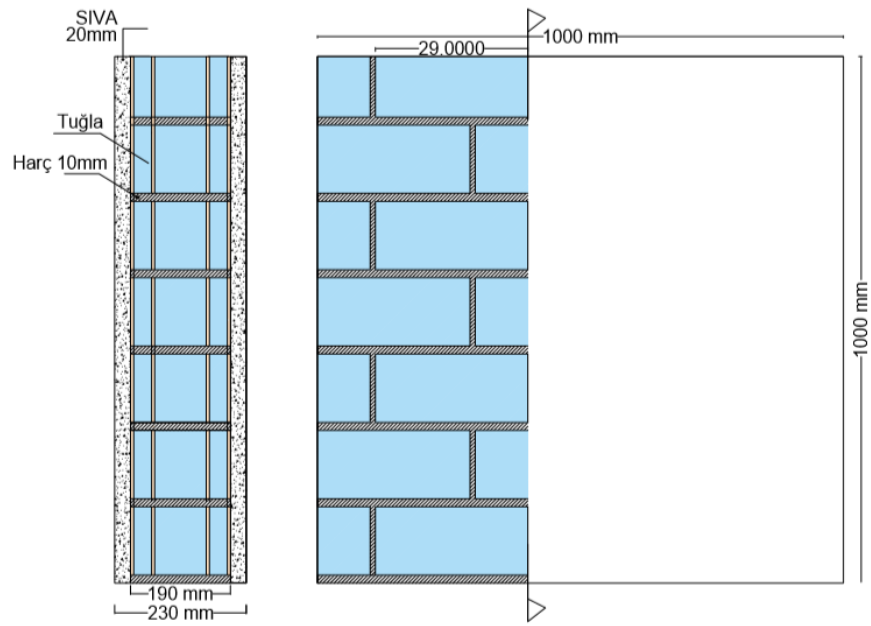
Birisi referans dördü güçlendirilmiş olmak üzere toplam 5 adet deney elemanları 1/1 ölçüğe sahip olacak şekilde ve 1000×1000 mm ebadında hazırlanmıştır ve diyagonal tekdüze basınç yükleri altında test edilmişlerdir.

Düşey delikli tuğla duvarlar daha önce hazırlanmış çelik çerçevenin içinde örülmüş ve 20mm kalınlığında sıva uygulanmıştır. Alçı sıvası ise numune çerçeveden çıkartıldıktan sonra uygulanmıştır. Deney elemanın boyutları aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 3.13).



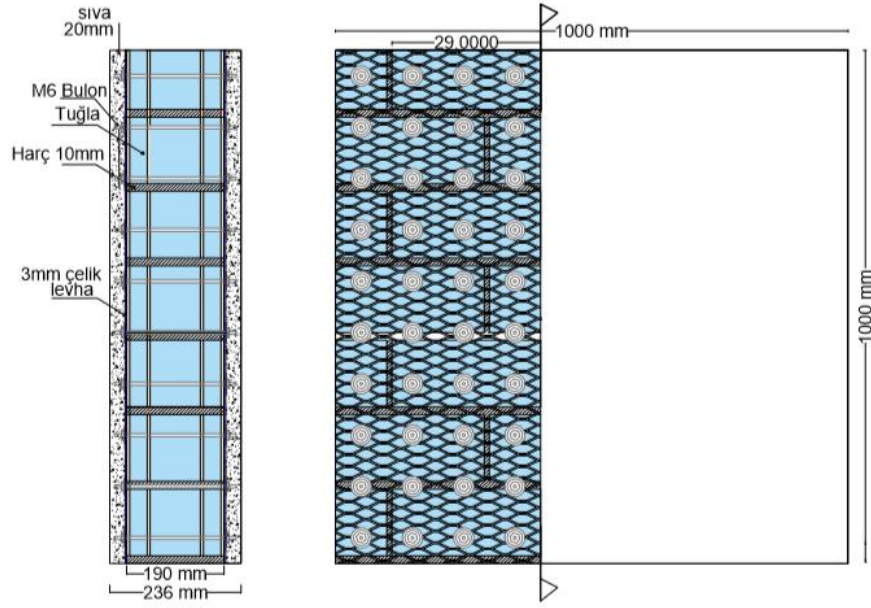
Şekil 3.13. Deney elemanın boyutları

Referans deney elemanı, herhangi güçlendirme yapılmamıştır. Düşey delikli blok tuğla ile örülmüştür. Tuğla üzerinde, yaklaşık 20 mm kalınlığında kaba sıva uygulandıktan sonra ve üzerine ince alçı sıva çekilmiştir. Referans elemanın en kesit detayları Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



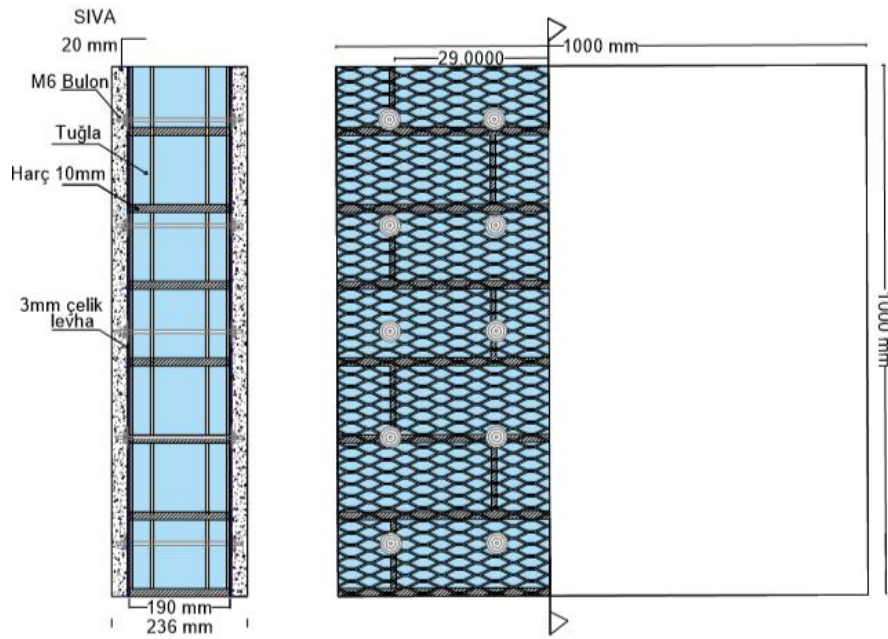
Şekil 3.14. Referans (R) deney elemanının boyutları ve detayları

MBW 3,0-100 nolu deney elemanı, genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilmiş olarak hazırlanmıştır. Önce tuğla duvar örülmüş, daha sonra ankraj işlemi için 100 mm aralıklar işaretlenerek delikler açılmıştır. 3 mm kalınlıklı genişletilmiş çelik levha ile duvarın her iki taraftan birbirine monte edilebilmesi için bolunlar bu delikten geçirilmiştir. Daha sonra bolunlar bağlanmıştır. Bu işlemden sonra güçlendirilmiş duvar üzerine kaba sıva uygulanmıştır (Şekil 3.15).



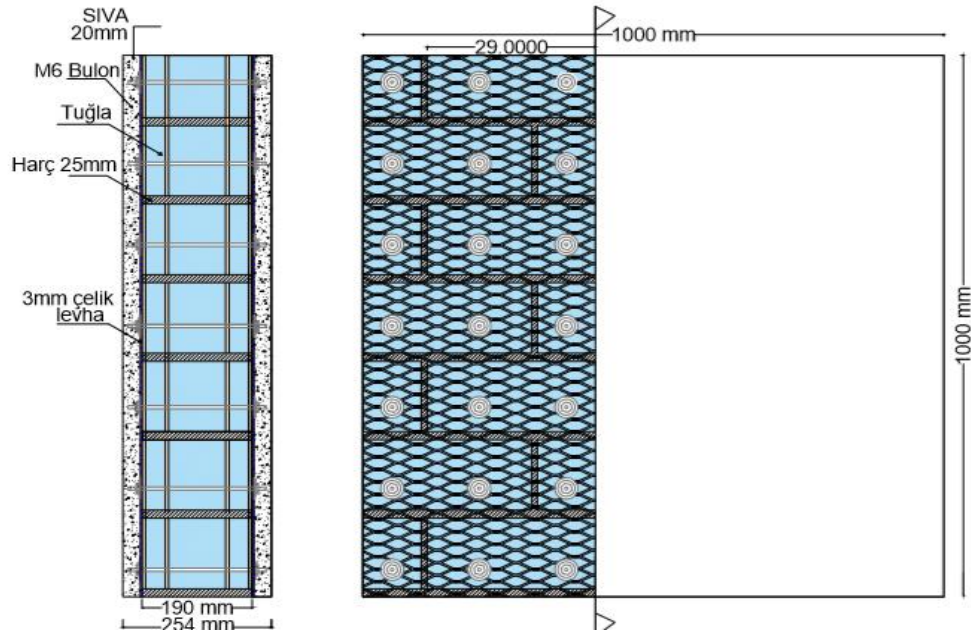
Şekil 3.15. MBW 3,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları

MBW 3,0-200 nolu numune ise; 2 mm levha kalınlığına ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş deney elemanıdır. Bu elemanın boyutları ve güçlendirme detayları Şekil 3.16.'da verilmiştir.



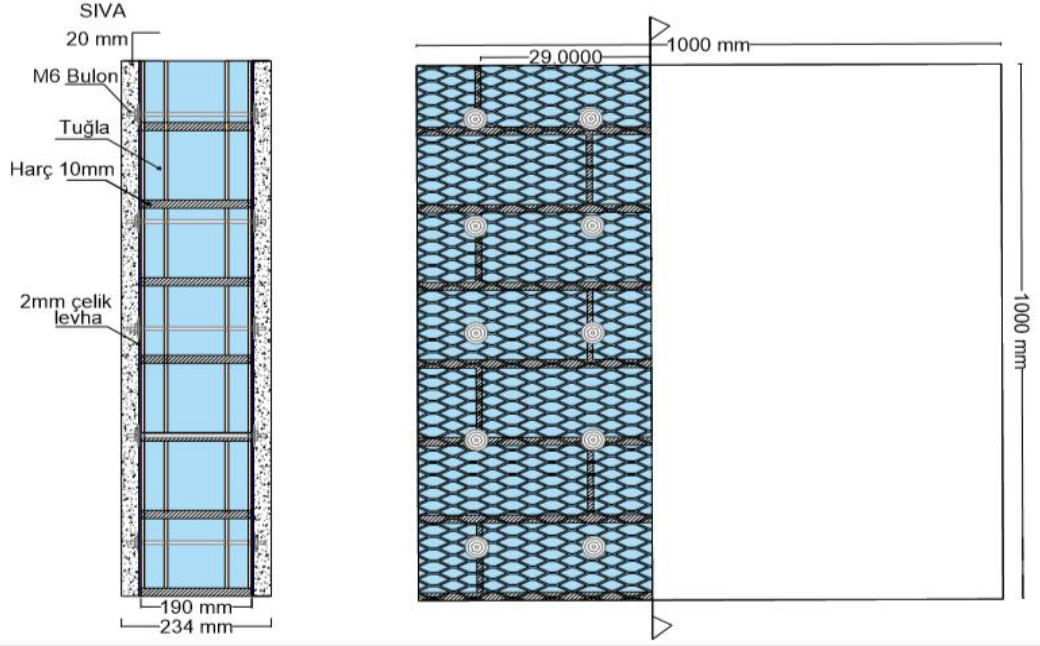
Şekil 3.16. MBW 3,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları

MBW 3,0-150 olarak isimlendirilmiş olan deney elemanı ise 3 mm genişletilmiş çelik levha kalınlığına ve 150 mm bolun aralığına sahiptir. Bu numunenin kesit boyutları ve güçlendirme detayları aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. MBW 3,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları

MBW 2,0-200 deney elemanı; 2 mm levha kalınlığı ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemandır. Bu elemanın diğer güçlendirilmiş elemanlardan farkı levha kalınlığıdır. Söz konusu elemanın boyutları ve güçlendirme detayları Şekil 3.18.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. MBW 2,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları

3.4. Deney Elemanlarının Hazırlanması

Referans numune, çelik çerçevenin içinde düşey delikli tuğla kullanılarak örülmüştür. Duvar örülürken çerçevenin bir tarafı ahşap kalıp ile sabitlenmiştir. Duvar derzleri yaklaşık 10 mm harç ile doldurulmuştur. Duvarların yüzeyi yaklaşık 20 mm kalınlığında çimento-kum-kireç karışım sıva harcı ile sıvanmıştır. Standart olarak duvarlarda her seferinde sıva tek kat olarak uygulanmıştır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Deneş elemanlarının yapım aşamasında tuğla duvar örülmesi

Deneş elemanları çerçeve içerisinde örölmüş ve daha sonra tuğlalar arasındaki derzlerde bulunan harçlar sulanmıştır. (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Çerçeve içinde bitmiş tuğla duvar durumu

Duvarlar öröldükten sonra 28 gün bekletmiştir. Bu süre sonunda, genişletilmiş çelik levha ile duvarın güçlendirilmesi için ankraj işlemleri yapılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen bolun aralığı karton üzerine işaretlenmiş ve duvara delme işlemleri yapılmıştır. Bu işlemler yapılırken duvara zarar vermemek için duvarın diğer tarafından

ahşap kalıp duvara işkence ile bağlanmıştır. Böylece, matkap kullanılarak 6 mm çapında delikler açılmış ve tijler deliklerden geçilerek sabitlanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Deneç elemanlarının yapım aşamasında ankaraj uygulaması

Duvarda delikler açıldıktan sonra genişletilmiş çelik levhalar duvarın iki yüzüne de yerleştirilmiş ve tijler deliklerden geçirilerek bulonlar yardımıyla genişletilmiş çelik levhaları duvara bağlanmıştır (Şekil3.22).



Şekil 3.22. Deneç elemanlarının yapım aşamasında ankaraj yapılması

Deney elemanları çerçeve içerisinde örülmüş tuğlalar üzerinde güçlendirme işlemi yapılmıştır ve daha sonra sıva uygulanmıştır (Şekil 3.23).

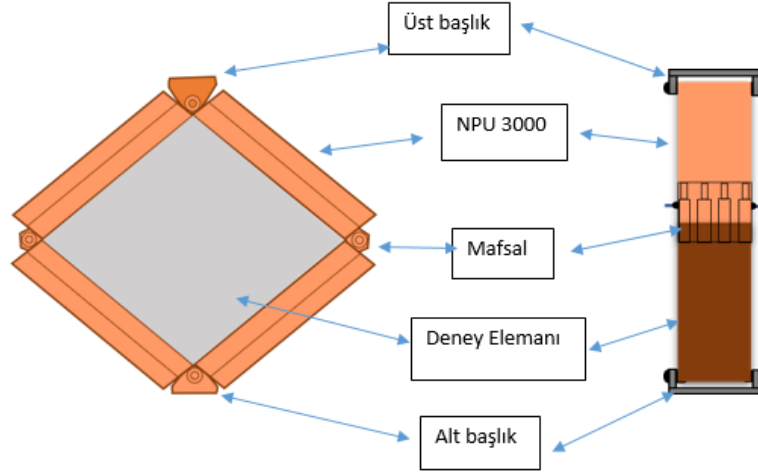


Şekil 3.23. Deney elemanlarının sıvanması

3.5. Deney Düzeni

Yığma duvarların, yatay deprem yükleri altında diyagonal basınç çubuğu gibi davranacağı varsayımına uygun olarak yığma duvarlar genellikle diyagonal basınç yüklemesi altında test edilirler. Bu kapsamda; duvar üretim ve yapımındaki diyagonal yükleme testleri genellikle ASTM E519 (ASTM 2010) 'da verilen test prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde yük, deney elemanlarına yükleme başlıkları yardımıyla üst ve alt köşelerden iletilmektedir. Bu yöntemde duvar temas yüzeyleri deney süresi boyunca sabit kalmaktadır ve o da duvar yan uzunluğunu $1/8$ denk gelmektedir.

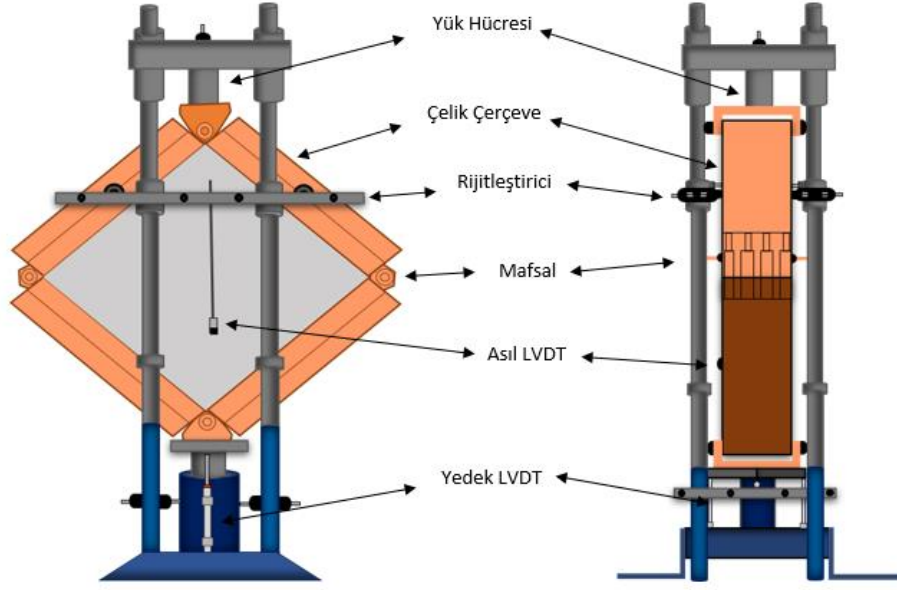
Diyagonal basınç yükünü deney elemanına aktarmak için, dört köşesi mafsallı bir çelik çerçeve kullanılmıştır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Dört köşesi mafsallı yüzeyleri çelik rijit çerçeve

Cumhur ve diğ. (2016), diyagonal yükü dolgu duvarlı deney elemanlarına aktarmak için kullandıkları, iç ölçüğü 1000×1000 mm, kare şeklinde olan çelik çerçeveden yararlanılmıştır. Rijit bir düzlem elde etmek için dörtkenarı, iki adet U300 profilinin birleştirilmesiyle çelik bir çerçeve hazırlanmıştır. Bu çerçevenin dört köşesinde mafsallar bulunmaktadır, bu mafsalların ikisinde 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. Deney sırasında çelik çerçeve ve deney elemanı arasındaki temas yüzeyleri duvarın deformasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Duvarın artan deformasyonu ile temas yüzeyi de arttığı gözlemlenmiştir. ASTM E519 ise sisteminde temas yüzeyi tüm deney boyunca çerçeve yan uzunluğunun %12,5'i veya duvar uzunluğunun $1/8$ 'i olarak kalmaktadır.

Çelik çerçeve ve deney elemanı arasındaki temas yüzeyi, gerçek sınır koşullarına benzer şekilde deplasmana bağlı olarak duvarın artan deformasyonlarıyla birlikte artmıştır. Aşağıda Şekil 3.25.'te deney mekanizması gösterilmiştir.

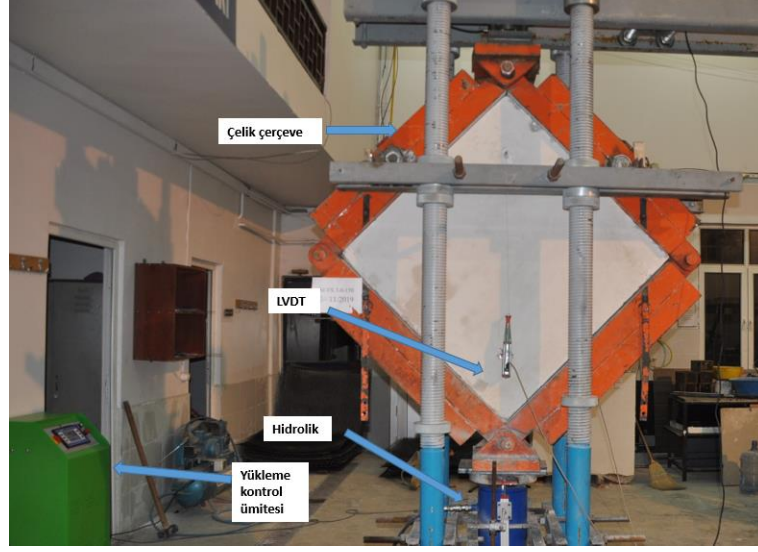


Şekil 3.25. Deney sistemi

3.5.1. Yükleme düzeni

Deney elemanları ilk önce hasar görmeden çelik kalıp çerçeveye yerleştirilmiş sonrasında deney cihazına yerleştirilmiştir. Deney cihazına yerleştirilirken çelik çerçevenin düzleminin diyagonal eksenden uygulanan yük ile çakışmasını sağlamak için yük hücresinin altında ve hidrolik pistonun üzerinde ortalanmıştır. Çerçevenin deney sırasında hareket etmemesi için yan takviye sistemleri (rijitleştirici) yardımıyla sabitlenip ve deney sırasında düzlem dışı yer değiştirmeler engellemiştir. Yükleme duvarın deplasman kontrollü yükleme ile ve stroke boyu kapasitesine uygun bir şekilde yükleme yapılmıştır, ardından yer değiştirme kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Yük deney elemanının farklı yük seviyelerindeki hasar derecesini gözlemlemiş ve temas yüzeyleri ölçülmüştür.

Deney elemanlarına yük, çelik çerçevenin altında 1000 kN kapasiteli, hareketli, çift etkili hidrolik kriko ile verilmiştir. Uygulanan yük, çelik kalıp çerçeve üzerinde 1000 kN yük hücresi yardımıyla ölçülmüştür (Cumhur, 2016). Deney sistemin yükleme düzeneği Şekil 3.26.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.26. Deney sistemin yüklemeye düzeneği

3.5.2. Yüklemeye programı

Yüklemeye hızı başlangıçta 10 mm deformasyona kadar %5 birim, 10 - 35 mm deformasyona kadar deney hızı %25 ve 35 mm deformasyona geldiğinde deney hızı sabit olarak %50 tutulmuştur. Deney elemanlarının yüklemeye hızları yerdeğiştirmeye bağlı olarak Tablo 3.15.'te verilmiştir.

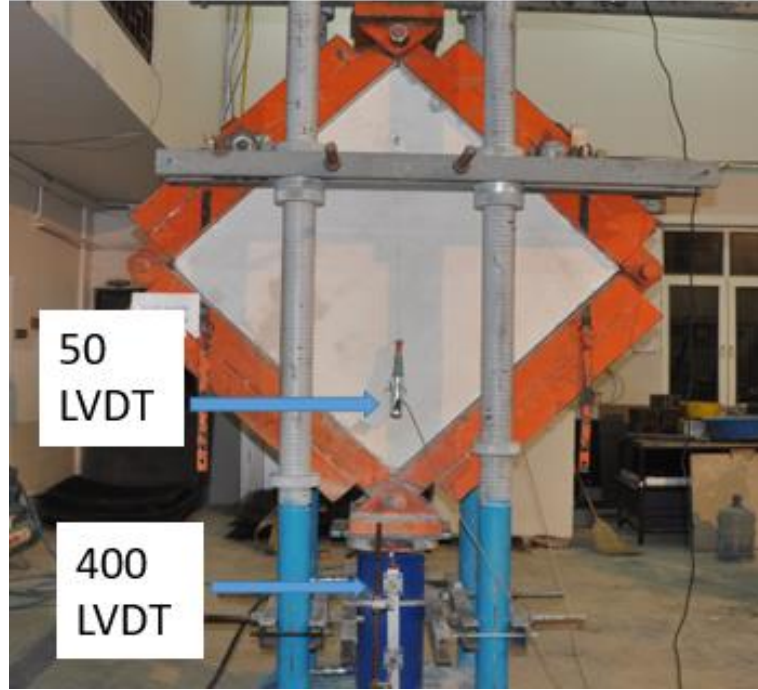
Tablo 3.15. Deney elemanlarına deplasmana bağlı uygulanan yüklemeye hızları

Yer değiştirme (mm)	Yüklemeye hızı (%)
0 - 10	5
10 - 35	25
> 35	50

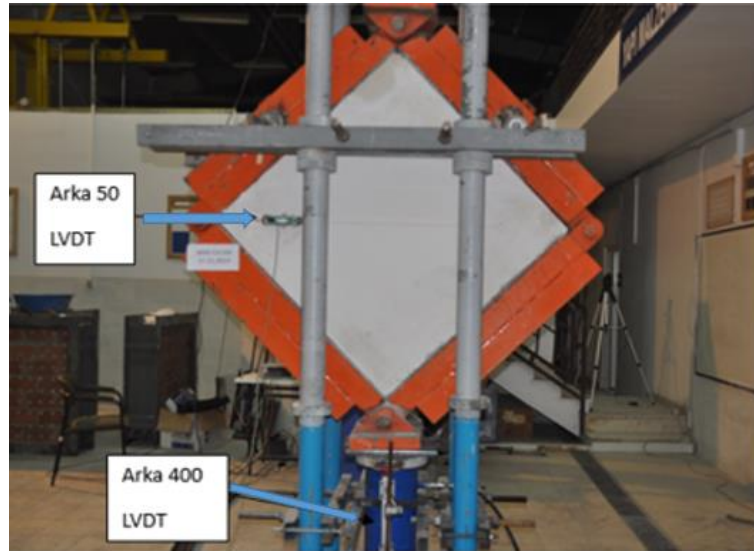
3.5.3. Ölçüm düzeni

Deney sisteminde uygulanan tekdüze diyagonal yüklemeye ile deney elemanlarındaki deney sırasında düşey yük doğrultusunda kısalmayı ve yük doğrultusuna dik (yatay doğrultuda) ise uzamayı ölçmek için 0,01 mm hassasiyette toplam 4 LVDT kullanılmıştır. Duvarın ön ve arka yüzeylerin deformasyonları ölçmek için 50 mm ölçüm yapabilen LVDT kullanılmıştır. Ancak deney esnasında sıvanın çatlaması,

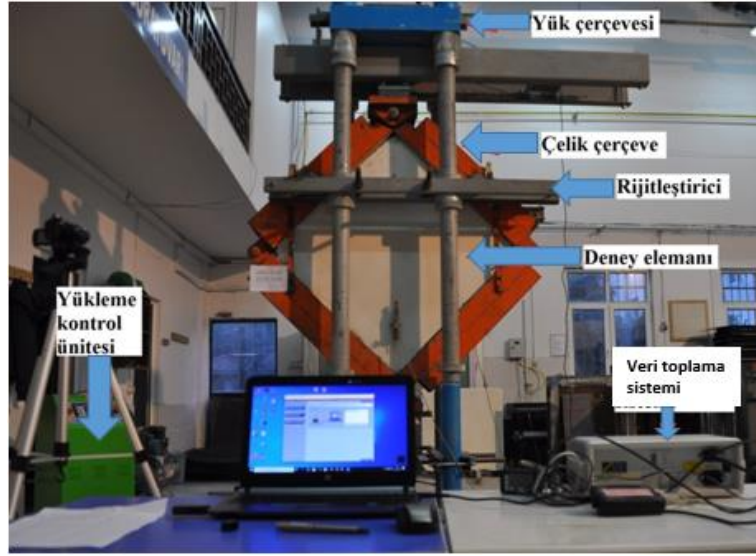
LVDT aletlerinin yanlış deformasyon değerleri vermesi nedeniyle, elik levhannın taban plakasına iki tane 400 mm ölüm yapabilen LVDT bağlanmıştır. Ölüm aletlerinin kalibrasyonları her deneyden önce kontrol edilmiştir (şekil 3.27-30).



şekil 3.27. n yüz ölüm düzeni



şekil 3.28. Arka yüz ölüm düzeni



Şekil 3.29. Deney sisteminde uygulanan video kaydı



Şekil 3.30. Deney sisteminde elde edilen verilerin grafik çizimi

BÖLÜM 4. DENEYSEL SÜREÇ

Bu bölümde, deney elemanları ayrıntılı olarak incelemek amacıyla biri referans dördü güçlendirilmiş deney elemanı olmak üzere toplam 5 adet tam ölçekli deney elemanı diyagonal statik yük altında gösterdikleri performansları gözlemlenerek incelenmiştir. Referans deney elemanı (R), bir adet güçlendirilmiş deneme elemanı (MBW 2,0-200), ve üç adet tuğla duvar üzerine genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanları (MBW 3,0-100, MBW 3,0-150, MBW 3,0-200) ile gösterilen deney elemanlarının deney sonuçları, deney elemanlarının davranışları, deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri, deney öncesi ve sonrası resimleri aşağıda sırayla ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

4.1. Referans (R) eleman deneyi:

Referans elemanı (R) düşey delikli blok tuğla üzerine herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmamış, sadece duvar, üzerinde 20 mm kalınlığında sıva ve üzerinde alçı sıvası uygulanmıştır. Referans deney elemanı güçlendirilmiş deney elemanları ile karşılaştırma amacıyla test edilmiştir. Referans deney elemanı yükleme altında düşey çatlaklar meydana geldikten sonra gevrek bir performans sergileyerek ve tuğlalarının parçalanması nedeniyle ani yük kaybına uğramıştır, Böylece deney sonuna kadar bütünlüğünü koruyamamıştır. Referans numunesinin deney öncesi hasarsız durumu aşağıda şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. R deney elemanının deneyden önceki durumu

Deney sürecinde gözlemlenen önemli olaylar

- a. 13 mm deplasman ve 9 kN yükte referans deney elemanının ön yüzünde alçıda yaklaşık olarak 2 mm Küçük kılcak çatlak oluşmuştur.
- b. 25 mm deplasman ve 63 kN yükte alt köşenin 20 cm solunda da çatlak oluşmuş ve yük kaybı yaşanmıştır. Bunun sebebi ise elemanda boşluk oluşmasıdır.
- c. 75 mm deplasman ve 83 kN yükte elemanın ön yüzünde boydan boya çatlak belirginleşmiş ama eleman bütünlüğünü korumuştur.
- d. 92 mm deplasman ve 59 kN yükte mevcut elemanın ön yüzeydeki sıva çatlağı nedeniyle potansiyometrenin ölçü alınmadığından dolayı çıkarılmıştır.
- e. 97 mm deplasman ve 110 kN yükte duvarın dayanımı tamamen kaybolduğu tespit edilip deney sonlandırılmıştır

- f. Deneý sonucunda temas yüzeýleri farklı görülmüştür. Bunun nedeni ise; numunenin tam ortada olmaması ihtimaliyle, gerek pistonun gerekse de Loadcell'in merkezden biraz da olsa kaymış olmasıdır. Ayrıca, bu durum çatlaklardan da kaynaklanmış olması ihtimali de söz konusudur. Çatlağın en fazla oluştuğu bölgede boşalma meydana gelmiş ve o tarafa daha fazla kayma gerçekleşmiş olması mümkündür. Diğer taraftan, kırılmanın tam ortada oluşmaması da bu duruma neden olmuş olabilir.

Deneý sırasında Referans elemanın temas yüzeýleri her 20 mm deplasmanda ölçümleri alınmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. R deneý elemanının temas yüzeýleri

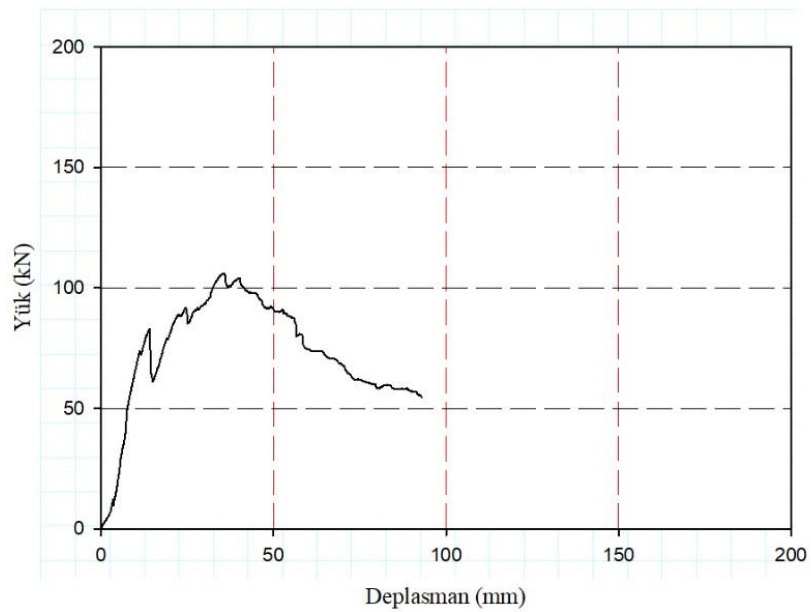
Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön Sol (cm)	Ön Sağ (cm)	Arka Sol (cm)	Arka Sağ (cm)
29	20	12	15	15	20
72	40	60	55	60	55
95	60	80	56	80	56
65	80	90	62	85	61
58	100	100	66	100	67

Referans elemanın yükün uygulandığı yöne doğru çatlaklar oluşmuştur ve deneý böylece sonlandırılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. R (Referans deney elemanın) deney sonrası durumu

Deneyin sonuçları yorumlamak için başlangıç rijitliği, dayanımına, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesi bulmak için yük-deplasman grafikleri verilmiştir. Bu grafikler yük değerlerine (kN) ve deplasman (mm) değerleriyle gösterilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Referans (R) deney elemanının yük-deplasman grafiği

4.2. MBW 2,0-200 deneyi

MBW 2,0-200 deney elemanı, 2 mm genişletilmiş çelik levha kalınlığı, 200 mm, bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemandır. Deney sırasında diyagonal çekme çatlakları ve köşelerde ezilmeler meydana gelmiş, köşelerde levhalarda buruşmalar meydana gelmiş ancak herhangi bir bolunda sıyrılmalar ve ayrışmalar oluşmamıştır. Deney elemanı deney sonuna kadar bütünlüğünü korumuştur (Şekil 4.4).

Genişletilmiş çelik levha kalınlığı	: 2 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
Sıva	: Genişletilmiş çelik levha üzerinde



Şekil 4.4. MBW 2,0-200 deney elemanının deneyden önceki durumu

Deney sürecinde gözlemlenen önemli olaylar

- Deney başladıktan sonra 24 mm deplasman ve 57 kN yükte elemanın arka yüzeyde üst köşede alçı sıvada kabarma meydana gelmiştir.

- b. 26 mm deplasman ve 94 kN yükte elemanın ön yüzeyinde ince kılcal çatlaklar meydana gelmiştir.
- c. 54 mm deplasman ve 102 kN yükte arka yüzeydeki üst köşede sıvada kabarma meydana gelmiştir.
- d. 130 mm deplasman ve 116 kN yükte sıvada kabarma meydana gelmiş ve dolayısıyla potansiyometre ölçüm alınmadığı için çıkarılmıştır.
- e. 170 mm deplasman ve 83 kN yükte ön yüzeyde alt köşede genişletilmiş çelik levhada yırtılma meydana gelmiş ama ankrajda sıyrılma olmamıştır.
- f. 180 mm deplasman ve 79 kN yükte duvarın dayanımı tamamen kaybolduğu tespit edilip deney sonlandırılmıştır.

MBW 2,0-200 deney elemanın deneyinde, her bir 20 mm deplasman değerinde temas yüzeyleri ölçülmüştür (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. MBW 2,0-200 deney elemanının temas yüzleri

Yük (kN)	Deplasman (mm)	Ön Sol (cm)	Ön Sağ (cm)	Arka Sol (cm)	Arka Sağ (cm)
32	20	24	15	15	24
95	40	20	18	18	20
153	60	40	30	30	40
152	80	45	33	32	46
132	100	50	35	35	50
128	120	65	41	41	65
116	140	74	45	45	74
104	160	75	46	46	75
95	180	75	51	50	75
79	180	75	52	52	75

Deney elemanı deney sırasında tam simetrik yerleştiği için temas yüzeylerinde eşitlik görülmüştür.

MBW 2,0-200 numunesinin deney sırası durumu aşağıda şekil 4.5.'de verilmiştir.



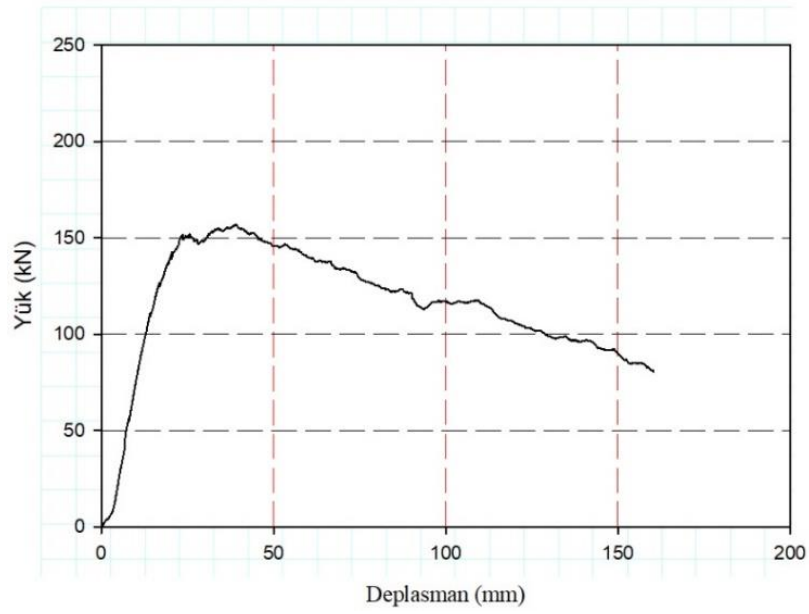
Şekil 4.5. MBW 2,0-200 deney sırası durumu

Deney elemanı deney sonuna kadar bütünlüğünü korumuş, yalnızca sıvanın genişletilmiş çelik levhadan ayrıldığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, çelik levhada buruşmalar meydana gelmiştir. Ancak sıyrılma ve ayrışma görülmemiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. MBW 2,0-200 deney sonu hasar durumu

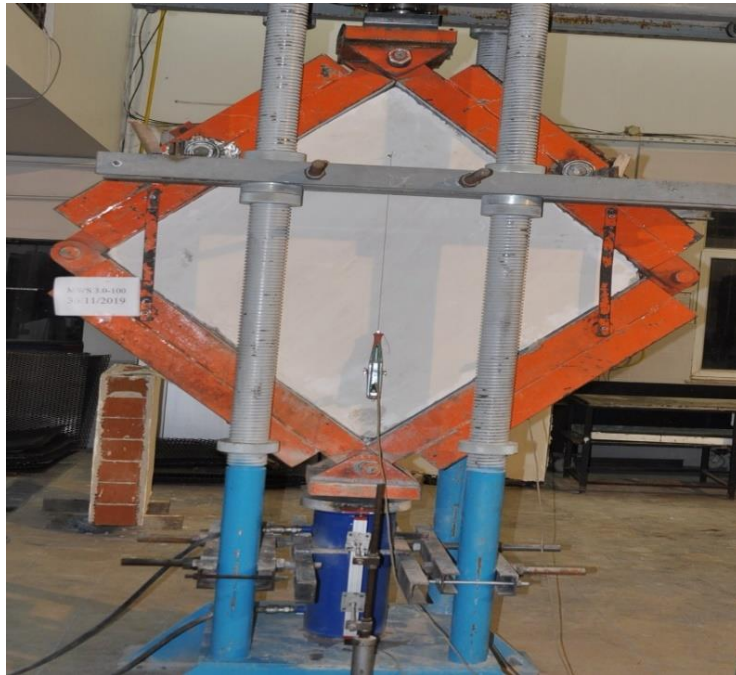
Şekil 4.7.'de MBW 2,0-200 deney elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.7. MBW 2,0-200 Deneme elemanın yük-deplasman grafiği

4.3. MBW 3,0-100 deneyi

MBW 3,0-100, Genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilmiş elemandır; genişletilmiş çelik levha kalınlığı 3 mm ve 100 mm aralıklarla bulonlar kullanılarak güçlendirilmiştir. Aşağıda şekil 4.8.'de elemanın deney öncesi durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.8. MBW 3,0-100 deney elemanın deney öncesi durumu

Deney sürecinde gözlemlenen önemli olaylar

- a. Deneyde 34 mm deplasman ve 170 kN yükte değerlerinde sıvada ilk kılcal çatlamlar görülmüştür.
- b. 56 mm deplasman ve 194 kN yükte değerlerinde elemanın alt köşesinde ezilmeden dolayı sıva dışa doğru kabarmıştır.
- c. 114 mm deplasmana geldiğinde yük 149 kN 'e kadar düşerek duvarda meydana gelen hasarlar devam etmiştir, elemanın arka yüzün sağında temas yüzey fazla olduğu için ezilme sonucunda sıva kabarmıştır. Bulon aralığı daha az olduğu için elemanın orta bölgesinde herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
- d. 185 mm deplasman ve 143 kN yük değerlerinde elemanın alt köşesinde ezilmeler oluşmuştur ve sıva blok şeklinde ayrılmıştır. Genişletilmiş çelik levhalarda buruşmalar meydana gelmiştir. Ancak herhangi bir sıyrılma oluşmamıştır.
- e. Strok kapasitesi bitmesinden dolayı 120 kN yük ve 246 mm deplasman değerlerinde deneye son verilmiştir. Eleman bütünlüğünü korumakta olup, elemanın alt köşelerde ezilme oluşmuştur. Ankrajlarda ise ezilme görülmemiştir.

Deney esnasında MBW 3,0-100 nolu deney elemanda gözlemler yapılmış ve temas yüzeyleri ölçülmüştür (Tablo 4.3).

Tablo 4.3. MBW 3,0-100 deney elemanının temas yüzleri

YÜK (kN)	Deplasman (mm)	Ön Sol (cm)	Ön Sağ (cm)	Arka Sol (cm)	Arka Sağ (cm)
32	5	24	15	15	24
146	25	29	24	27	28
191	45	40	30	34	40
194	55	44	31	37	44

Tablo 4.3. (Devamı)

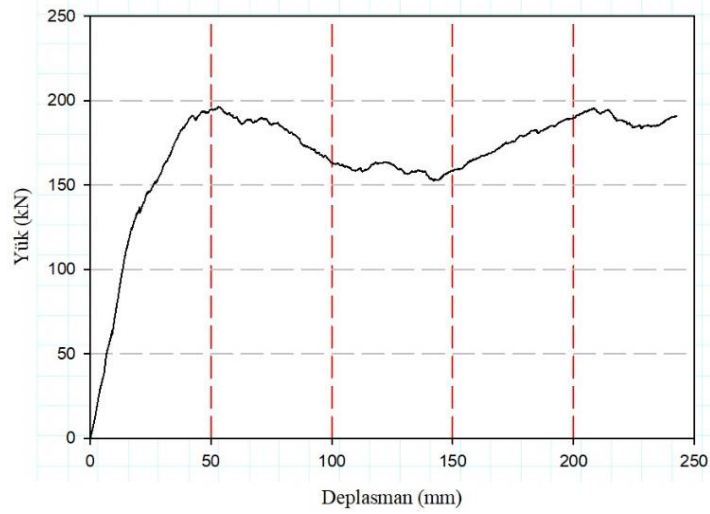
186	75	50	38	41	52
168	95	55	39	44	55
162	115	56	40	43	57
158	135	56	42	43	58
161	155	57	45	44	57
176	175	60	46	46	59
188	195	60	47	47	60
192	210	63	47	48	62
185	230	64	50	50	64
190	240	64	50	50	64

MBW 3,0-100 elemanı en sık bulona sahip deney elemanı olup, deney sonuna kadar bu numunede çatlak oluşmamıştır. Yalnızca duvarın köşelerinde ezilmeden dolayı sıvalar ayrılmıştır, ancak çelik levhada ayrışma ve sıyrılma meydana gelmemiştir. Duvarın daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. MBW 3,0-100 elemanının deney sonu hasar durumu

Şekil 4.10'da MBW 3,0-100 elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.10. MBW 3,0-100 elemanın yük-deplasman grafiği

4.4. MBW 3,0-150 deneyi:

MBW 3,0-150 deney elemanı, her iki taraftan 3 mm kalınlıkta genişletilmiş çelik levha yerleştirilerek güçlendirilmiştir. Genişletilmiş levhaları duvara 150 mm aralıkta bulonlarla sabitlenmiştir, bulonların sıyrılmaması için de pullar kullanılmıştır. Pulların çapının çelik levhaların deliklerinden daha büyük olmasına dikkat edilmiştir. Duvarın her iki tarafına sıva yapılmış, sonuçları daha net görmek için alçı sıvası da yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. MBW 3,0-150 elemanın deney önceki durumu

Deney sürecinde gözlemlenen önemli olaylar

- a. 12 mm deplasman ve 49 kN yük değerlerinde elmanın üst mafsalın sağında sıvada kılcal çatlak oluşmuştur. Başlangıçta çerçeve tam yük almadığı için temas yüzeyleri farklı olmakla beraber, yük artıkça temas yüzeyleri birbirine eşitlenmiştir.
- b. 30 mm deplasman ve 150 kN yük değerlerine ulaşınca elemanın ön yüzün orta bölgesinde düşey doğrultuda iki tane kılcal çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca elemanın alt mafsalın solunda ezilmeden dolayı sıvada kabarma oluşmuştur. Arka yüzünde ise mafsalın sağında ve solunda ezilmeden dolayı kılcal çatlaklar oluşmuştur.
- c. Deney elmanda kısmi bir yük kaybı yaşanmış olup, 35 mm deplasman ve 155 kN yük değerlerinde arka yüzeydeki alt mafsalda blok şeklinde 9 mm'lik bir çatlak oluşmuştur.
- d. 85 mm deplasmanda elemanın arka yüzeyde üst mafsalda sıva ayrılmış olup, yük 155 kN den 146 kN'e düşmüştür. Bu sırada duvarda alt ve üst mafsalarda sıvada kabarmalar meydana gelmiş ve küçük parçalar şeklinde düştüğü gözlenmiştir.
- e. Yük değerlerinde, 6 adet bulon görülmektedir. Ancak bulonlarda sıyrılmaya meydana gelmemiştir. Temas yüzeyleri iki tarafta 45 cm ölçülmüştür.
- f. 150 mm deplasman geldiğinde kademeli bir şekilde yük 464 kN den 120 kN'e düşmüştür. Ancak duvar yük almaya devam etmiştir. Elemanın alt ve üst bölgelerde kabarma meydana gelmiştir. Ön yüzeydeki potansiyometrenin ipi çerçeveye temas ettiği için, okuma yapılmamış olup, potansiyometre çıkarılmıştır.

- g. Deneyin sonuna kadar duvar bütünlüğünü korumuş ve çelik levhanın hiç bir zarar görmediği görülmüştür. Sadece köşelerde, ezilmeden dolayı buruşmalar meydana gelmiş ama herhangi bir sıyrılma görülmemiştir. Çatlak genişliği 10 mm'ye ulaşmıştır. Strok kapasitesi bitmesinden dolayı 107 kN yük ve 240 mm deplasmanda deneye son verilmiştir.

Deney esnasında MBW 3,0-150 nolu deney elemanda gözlemler yapılmış ve temas yüzeyleri ölçülmüştür (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. MBW 3,0-150 deney elemanının temas yüzleri

YÜK (kN)	Deplasman (mm)	Ön Sol (cm)	Ön Sağ (cm)	Arka Sol (cm)	Arka Sağ (cm)
13	20	28	24	20	25
153	40	32	32	33	33
148	60	35	34	34	34
128	80	46	40	40	46
126	100	49	45	45	49
115	120	53	51	51	53
106	140	52	50	50	52
107	160	54	52	54	52
110	180	54	54	55	53
111	200	54	54	55	54
107	220	54	54	55	54
110	240	54	54	55	55

MBW3,0-150 elemanının deney sırası hasar durumu (Şekil 4.12).



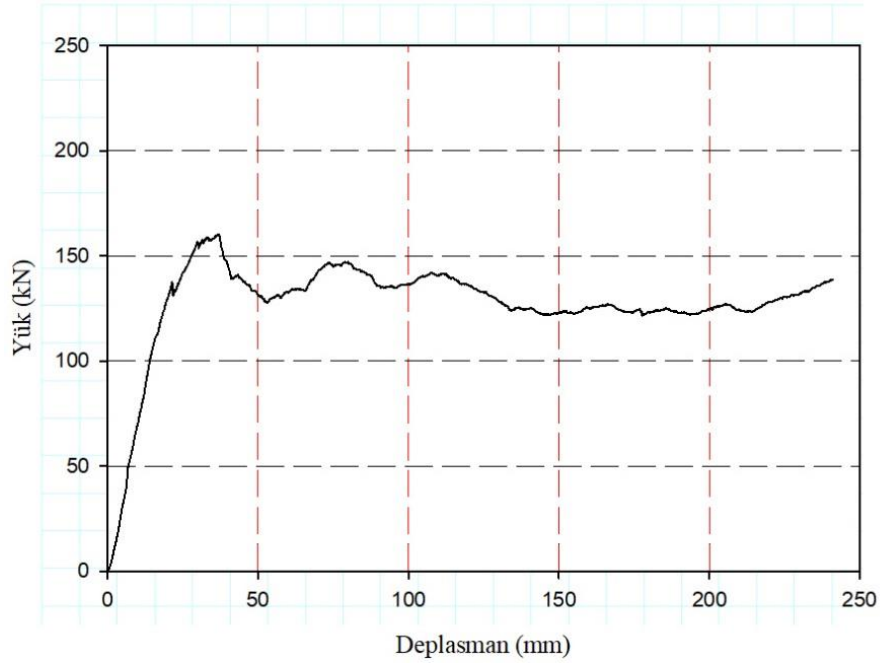
Şekil 4.12. MBW3,0-150 elemanın deney sırası hasar durumu

Deney sonuna gelmesine rağmen duvar bütünlüğünü korumuştur ve ilave yük kapasitesine sahip olduğu anlaşılmıştır. Çelik levhada az miktarda buruşmalar meydana gelmiş, ancak bulonda sıyrılmamıştır Şekil 4.13.'te deney sonu hasar durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.13. MBW 3,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu

Şekil 4.14' da MBW 3,0-150 elemanın yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 4.14. MBW 3,0-150 elemanın yük-deplasman grafiği

4.5. MBW 3,0-200 deneyi:

MBW 3,0-200 elemanı; 3mm kalınlığa sahip olan genişletilmiş çelik levhalar ile duvarın her iki taraftan yapılan güçlendirme ile elde edilmiş olan deney elemanıdır. Levhalar birbirine ve 200 mm aralık ile bulonlar ile sabitlenmiş durumdadır. Genişletilmiş çelik levhalar üzerinde sıva yapılmış olup, ayrıca deney esnasında çatlakları daha iyi gözetlemek ve yorum yapabilmek amacıyla sıva üzerinde alçı yapılmıştır. Şekil 4.15.'te MBW 3,0-200 elemanın deney öncesi durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.15. MBW 3,0-200 deney öncesi durum

Deney sürecinde gözlemlenen önemli olaylar

- a. 26 mm deplasman ve 126 kN yük değerinde, deney elemanın ön yüzü temiz olmakla beraber, arka yüzün alt köşesinde ise sıvada küçük kılcal çatlaklar meydana gelmiştir.
- b. 64 mm deplasman ve 154 kN yük değerinde, elemanın alt ve üst bölgelerde alçı sıvada kabarmalar meydana gelmiştir. Arka yüzey ise alt köşede sıvada belirgin bir çatlak oluşmuştur.
- c. 85 mm deplasman değerine gelince elemanda yük 126 kN'e düşmüştür, elemanın ön yüzünde orta bölgede küçük kılcal çatlaklar meydana gelmiştir. Alt köşelerde ise sıva blok şeklinde ayrılmıştır ve bulonlar gözükümüştür.
- d. 93 mm deplasman ve 127 kN yük değerinde, elemanın ön yüzeyinde kabarma meydana gelmiştir. Ön yüzeydeki potansiyometrenin okuma yapmadığı için ÖN 50 LVDT çıkarılmıştır.

- e. 246 mm deplasman ve 105 kN yük değerinde, strok boyundan dolayı deney sonlandırılmaya karar verilmiştir. Eleman bütünlüğünü korumuştur. Çelik levhalarda alt ve üst mafsallarda buruşma oluşmuştur. Ancak ankrajlarda sıyrılma görülmemiştir.

Deney sürecinde MBWS 3,0-200 deney elemanının çerçeve ile temas yüzeyi duvarın yaptığı deformasyona bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tablo 4.5.'te deney elemanın temas yüzeyleri verilmiştir.

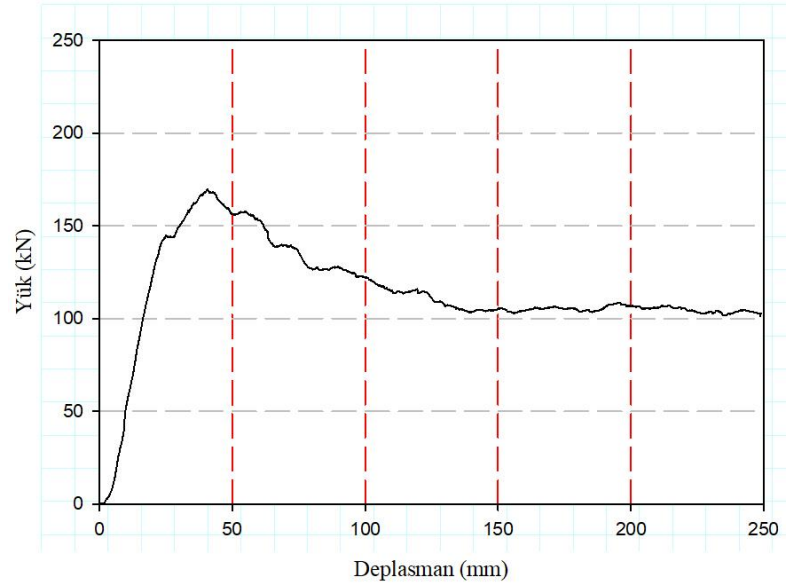
Tablo 4.5. MBW 3,0-200 deney elemanının temas yüzleri

YÜK (kN)	Deplasman (mm)	Ön Sol (cm)	Ön Sağ (cm)	Arka Sol (cm)	Arka Sağ (cm)
144	20	40	24	27	44
163	40	48	29	24	48
157	60	43	30	37	48
135	80	49	32	38	49
124	100	53	36	40	53
114	120	55	43	43	57
105	140	56	44	43	57
103	160	57	44	44	57
105	180	57	44	44	57
108	200	57	45	45	57
106	220	58	45	45	58
104	240	58	45	45	58



Şekil 4.16. MBW 3,0-200 deney sonu hasar durumu

Şekil 6.7.'da MBW 3,0-200 deney elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.

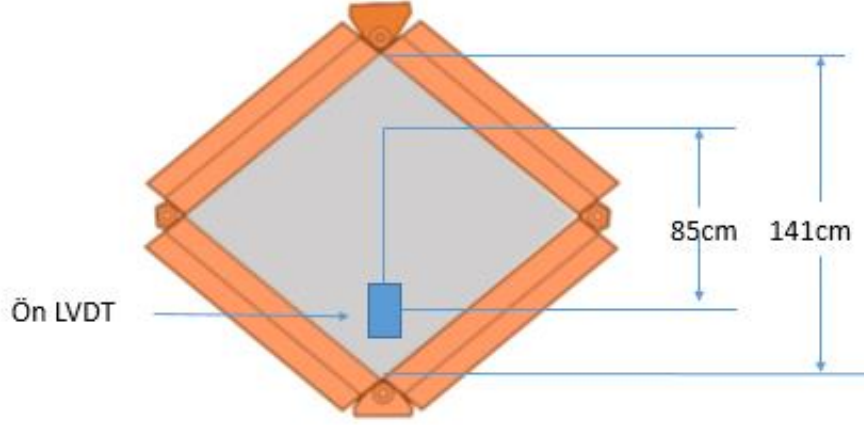


Şekil 4.17. MBW 3,0-200 elemanının yük-deplasman grafiği

4.6. Deney Elemanlarının Ön ve Arka Yüzündeki Deformasyonların Belirlenmesi

Birisi referans numune ve dördü güçlendirilmiş deney elemanı toplam beş adet deney numunelerinin önündeki ve arkasındaki deplasmanları belirlemek için 0,01 mm hassasiyete sahip 50 mm ölçekbilen 2 LVDT seçilmiştir. Kullanılan LVDT'ler den

alınan veriler, bir okuyucu tarayıcıdan bilgisayara aktarılıp kaydedilmiştir. Her deneyden önce tüm LVDT'lerin ipleri kontrol edilip kalibrasyonları sağlanmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. LVDT'nin ön yüzündeki konumu ve ölçüm uzunlukları

Deney elemanların ilk boy uzunluğu L_0 (mm), uygulanan artan bir P (kN) kuvvet ile tekdüze basınca maruz kalırsa, herhangi bir zaman diliminde kesitin herhangi bir bölümdeki meydana gelen kısalma ΔL ile gösterilerek, şekil değiştirme (ε) Denklem 4.1.'de verilen formüle yazılmıştır.

Tekdüze basınca maruz kalan deney elemanlarının akma uzunluğu kısaltılmış ΔL_y uzunluğu L_0 olan ilk boya orantılı ise, akma ilk başladığında birim kısaltma oranı Denklem 4.2'de verilmiştir.

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (4.1)$$

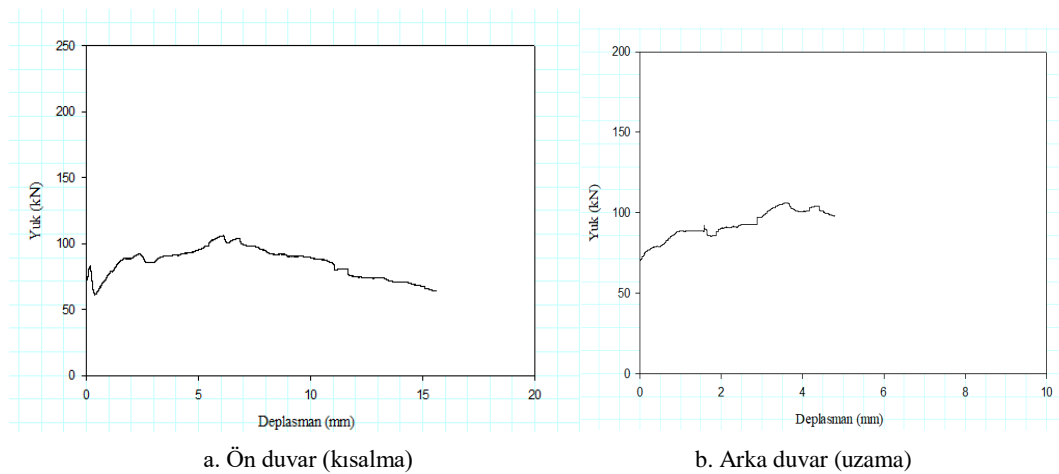
$$\varepsilon_y = \Delta L_y / L_0 \quad (4.2)$$

Deney elemanlara artan yük ile meydana gelen akma ve kopma anındaki deney elemanlarının ön yüzünde uzama birimi uzunluk değişikliklerinin ve arka yüzeydeki kısaltma birimi uzunluk değişikliklerinin bulunması amaçlanmıştır. Ancak deney elemanlarının uygulanan ve deplasmana bağlı artan diyagonal yük nedeniyle alt başlıkların ezilmesi ve sıvanın kabarması ya da dışa doğru taşması nedeniyle ön 50 LVDT ile deneyin sonuna kadar ölçüm alınamamıştır. Bu nedenle, Deney

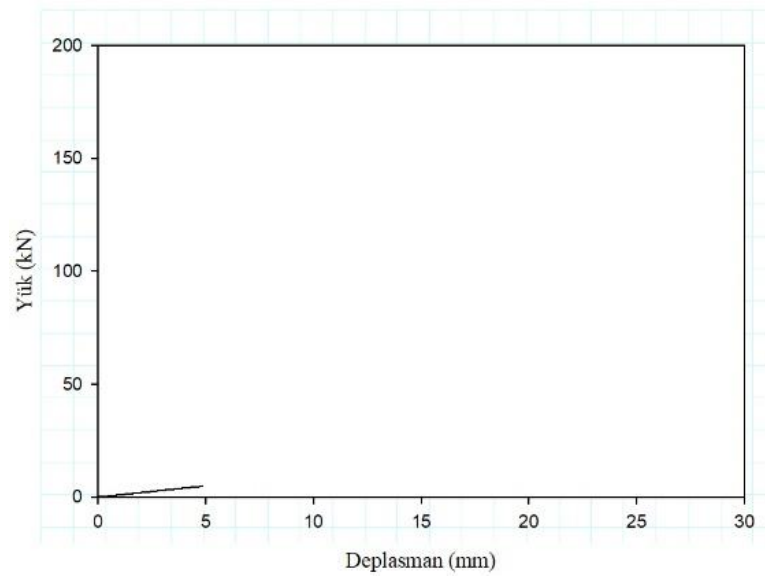
elemanlarının arka kısmı için yeterli ölçüm alınmadı, ancak deney elemanlarının ön yüzü için deney sonuna kadar olmasa da kısmi ölçümler olarak değerlendirme yapılmıştır. Buna rağmen deney elemanlarının ön yüzeyinde akma anındaki ve biraz ötesi plastik birim deformasyonlar belirlenebilmiştir. Ancak güçlendirilmiş deney elemanlarının arka yüzeyleri deplasmanların çok kısıtlı olmasından dolayı deformasyonları belirlenememiştir.

Deney elemanlarının ön yüzeyinde akma anında ve ötesinde plastik birim deformasyonlar belirlenmiştir. Deney elemanlarının arkasındaki deformasyonlar, çok kısıtlı olmaları veya hiç meydana gelmemeleri nedeniyle deformasyonları belirlenememiştir.

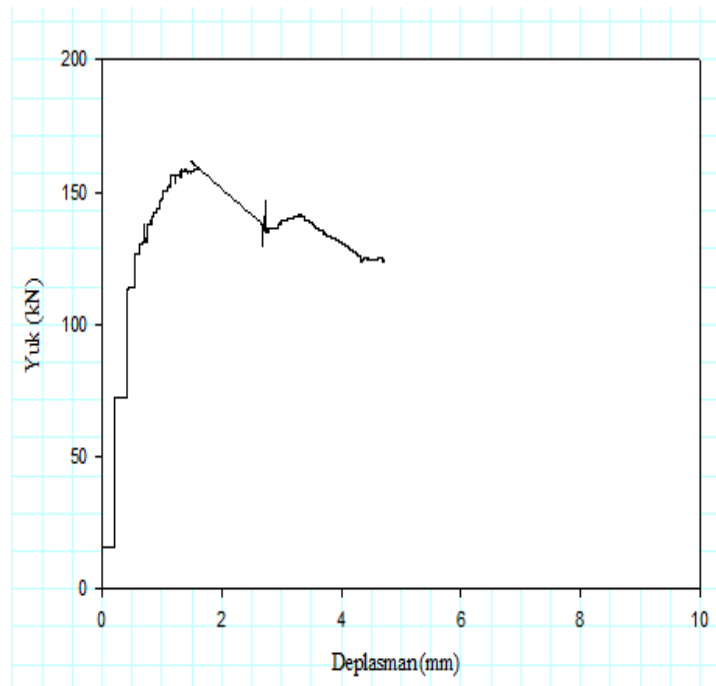
Deney elemanlarının birim kısalmaları ve arka yüzeydeki deformasyonlara bağlı olarak birim uzamaları yük-deplasman grafikleri sırasıyla aşağıda Şekil 4.17.-4.21.'de verilmiştir.



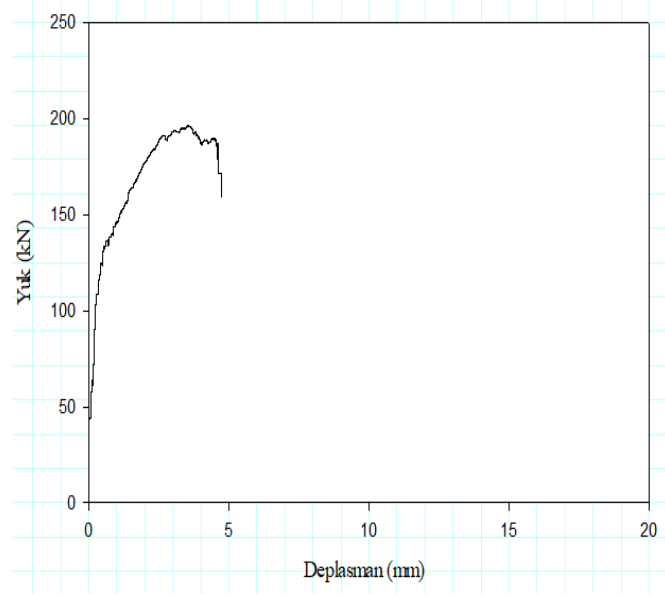
Şekil 4.17. R elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.18. MWS 2,0-200 elemanın ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği



Şekil 4.19. MWS 3,0-150 elemanın ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği



Şekil 4.20. MWS 3,0-100 elemanın ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği

Tablo 4.7. Deney numunelerin ön yüzündeki birim boy değişimleri

Eleman	İlk boy L0 (mm)	Kısalma Miktarı ΔL (mm)	Akma birim kısalma oranı ϵ_y ($\times 10^{-3}$)
R	850	1,6	1,8
MBW 2,0-200	850		
MBW 3,0-100	850	5,2	6,1
MBW 3,0-150	850	5,3	6,2
MBW 3,0-200	850	5,6	7,2

Tablo 4.7.'e göre, referans elemanı güçlendirilmiş deney elemanlarının birim kısalma oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Referans elemanı akma birimi kısalma oranı $1,8 \times 10^{-3}$ olarak belirlenmiştir. Güçlendirilmiş elemanlarda ise, birim kısalma oranlarının $7,2 \times 10^{-3}$ ile $6,2 \times 10^{-3}$ değerleri arasında olduğu görülmektedir. MBW 2,0-200 deney elemanında, Deney elemanlarının arka yüzündeki 50mm LVDT ile yeterli ölçümler belirlenemediği için birim uzama oranları belirlenememiştir.

BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Genel Değerlendirme

Depreme dayanıklı bir yapı yüksek taşıma kapasitesine, ötelenme rijitliği ve yeterli sünekliğe sahip olmalıdır. Bu bölümde, deneylerden elde edilen veriler, Taşıma gücü, başlangıç rijitliği, süneklik ve enerji dönüşüm kapasitelerine göre değerlendirilmiştir. İlgili bölümler başlığı altında verilerin nasıl analiz edildiği açıklanmaktadır. Analizlerde, deneyde elde edilen yük-deplasman grafiklerinden faydalanılmıştır. Karşılaştırmayı kolaylaştırmak için, güçlendirilmiş her deney elemanının yük-deplasman eğrisi, referans elemanın yük-deplasman eğrisi ile birlikte ele alınarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Analizlerde yapılan karşılaştırmalar ve yorumlar çoğunlukla referans elemanlarla güçlendirilmiş eleman arasındadır. Başka bir deyişle, referans eleman ve güçlendirilmiş elemanlar arasındaki temel davranış farklılıkları bu aşamada ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Referans elemanda (R), deney sırasında yüzeylerinde oluşan düşey ana çatlaklar meydana geldikten sonra çok gevrek davranıp ani yük kayıplarına sebep olmuştur. Şekil 5.1.'de Referans deney elemanın deney sonu hasar durumu gösterilmiştir.



Şekil 5.1. R (Referans eleman) deney elemanın deney sonu hasar durumu

Güçlendirilmiş elemanlar R (Referans eleman) aksine yüksek bir sünek davranış göstermiştir. Güçlendirilmiş elemanlar deneyin sonuna kadar parçalanmamış, duvarlar bütünlüklerini korumuştur (Şekil 5.2) .

Diğer taraftan; genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş elemanların üzerinde diyagonal tekdüze yüklerin etkileri de incelenmiştir.

Bilindiği gibi, duvara iletilen çapraz yüklere dik yönde çekme gerilme meydana gelmektedir. Genişletilmiş çelik levhalar, bu çekme gerilmelerini karşılayarak tuğla duvarın hasar görmesini azaltmaktadır. Genişletilmiş çelik levhalar, güçlendirilmiş yığma duvar üzerinde sargılama etkisi; genişletilmiş çelik levhalar ile bu levhaları birbirine ankrajlayan tijler sağlamıştır. Ayrıca, çelik levhalar ile sıva arasında çok iyi derecede bir aderans bulunduğu gözlenmiştir.

Güçlendirilmiş elemanlarda, tekdüze yükleme sonucunda yükleme doğrultuda dik doğrultuda meydana gelen çekme gerilmesinden dolayı elemanda her hangi bir hasar oluşmamıştır. Elemanın köşelerinde ezilmeler meydana gelmiş ve çelik levhalarda da

5.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler

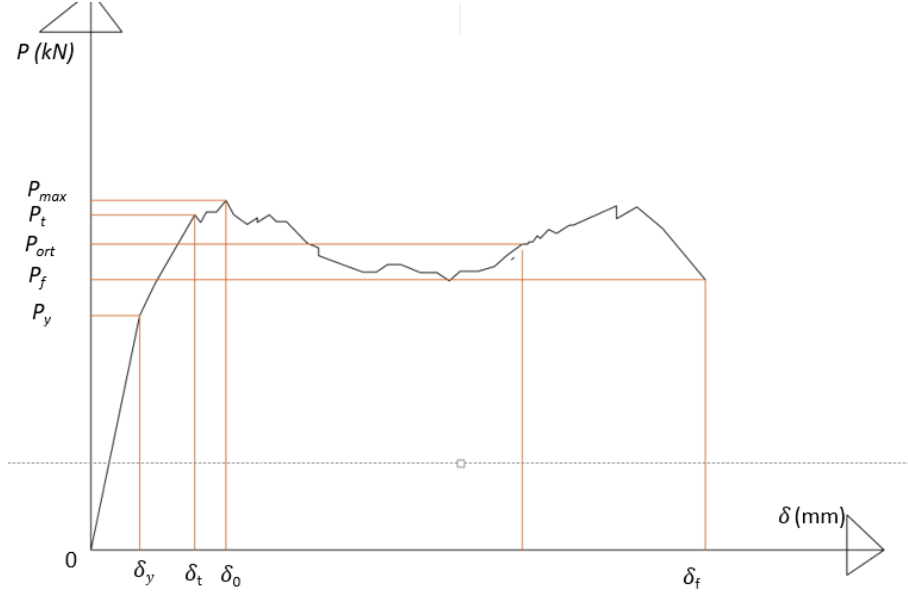
Bu bölümde, deneylerden elde edilen veriler; Taşıma gücü, başlangıç rijitliği, süneklik ve enerji dönüşüm kapasitelerine göre değerlendirilmiştir.

5.2.1. Taşıma gücü

Deney elemanların güçlendirme amaçlarından birisi deney elemanlarının depreme karşı taşıma gücü kapasitesinin artırılmasıdır.

Deney düzeneğinde 240 mm deplasman değeri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Deney elemanlarının taşıma gücü bulunurken kullanılan yük-deplasman eğrisi Şekil 5.4.'te verilmiştir. Deney elemanlarının taşıma gücünü hesaplayabilmek için kullanılan indislerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

- P_y : akma anındaki taşıma gücü
- P_t : deneyin ilk tepe noktasına ait taşıma gücü
- P_{max} : maksimum taşıma gücü
- P_{ort} : ortalama taşıma gücü
- P_f : deneyin son deplasman anındaki taşıma gücü
- δ_y : akmanın başladığı andaki deplasman değeri
- δ_t : deneyin ilk tepe noktasındaki yüke ait deplasman değeri
- δ_0 : maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri
- δ_f : maksimum deplasman değeri



Şekil 5.4. tensili olarak yük-deplasman eğrisi

Tablo 5.1.'de, deney elemanlarının akma anındaki taşıma gücü, deneyin ilk tepe noktasına ait taşıma gücü, maksimum taşıma gücü, deneyin son deplasman anındaki taşıma gücü, deney elemanların taşıma gücü ve taşıma gücü oranları verilmiştir.

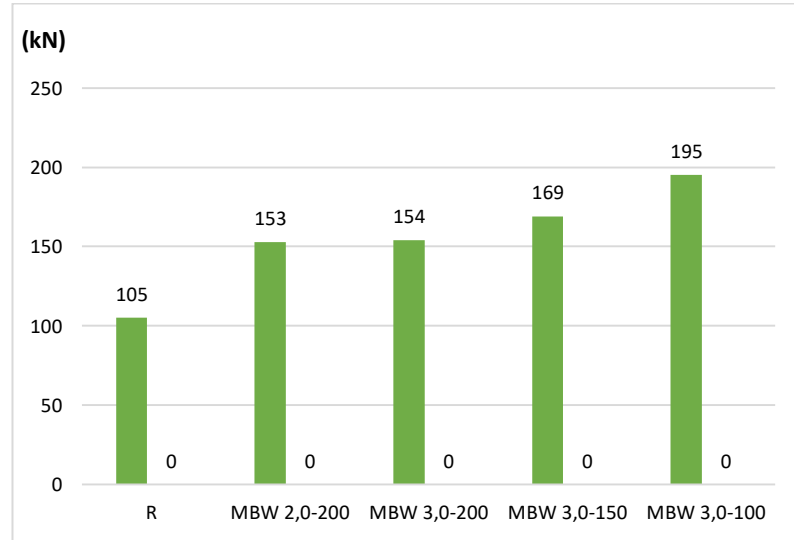
Tablo 5.1. Deney numunelerin taşıma gücü ve göreceli taşıma gücü oranları

Deney Elemanı	P_y (kN)	P_t (kN)	P_{max} (kN)	P_f (kN)	Taşıma Gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı
R	73	83	105	50	105	-
MBW 2,0-200	125	151	157	78	154	1,46
MBW 3,0-100	131	194	198	187	195	1,85
MBW 3,0-150	110	148	160	132	153	1,45
MBW 3,0-200	143	169	169	97,5	169	1,61

Tablo 5.1.'deki değerleri deneylerden elde edilen veriler ve grafiklerden alınmıştır ve göreceli taşıma gücü oranları, güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü değerlerinin, referans elemanın taşıma gücü oranına bölünerek hesaplanmıştır. Örneğin, MBW 2,0-200 deney elemanının göreceli taşıma gücü oranı, Denklem 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MBW 2,0-200 \text{ G.T. G.O.} = [154/105] = 1,46 \quad (5.1)$$

Tablo 5.1.'de güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücünün, referans elemanın taşıma gücü kıyasla 1,46–1,85 kat arttığı görünmektedir. MBW 3,0-200 güçlendirilmiş elemanı diğer numunelere kıyasla bulon aralığı daha fazla (200 mm) olup, referans elemanın 1,61 katına kadar daha iyi taşıma gücüne ulaşmıştır. Bulon aralığı en sık olan (MBW 3,0-100) deney elemanı, referans deney elemana göre taşıma gücü 1,85 katına kadar bir artış göstermiştir. Tablo 5.1.'deki deney elemanlarının taşıma gücü değerleri, genişletilmiş çelik levhaları duvara bağlayan bulon sayısının taşıma kapasitesine önemli bir katkı sağladığını göstermektedir. Eşdeğer bulon aralığına sahip (MBW 2,0-200, MBW 3,0-200) deney elemanları referans numunesine göre taşıma gücü 1,46-1,61 katına kadar çıktığı gözlenmiştir. Aşağıda Şekil 5.5.'te deney elemanların taşıma güçleri grafik olarak verilmiştir.



Şekil 5.5. Deney elemanların taşıma gücü grafiği

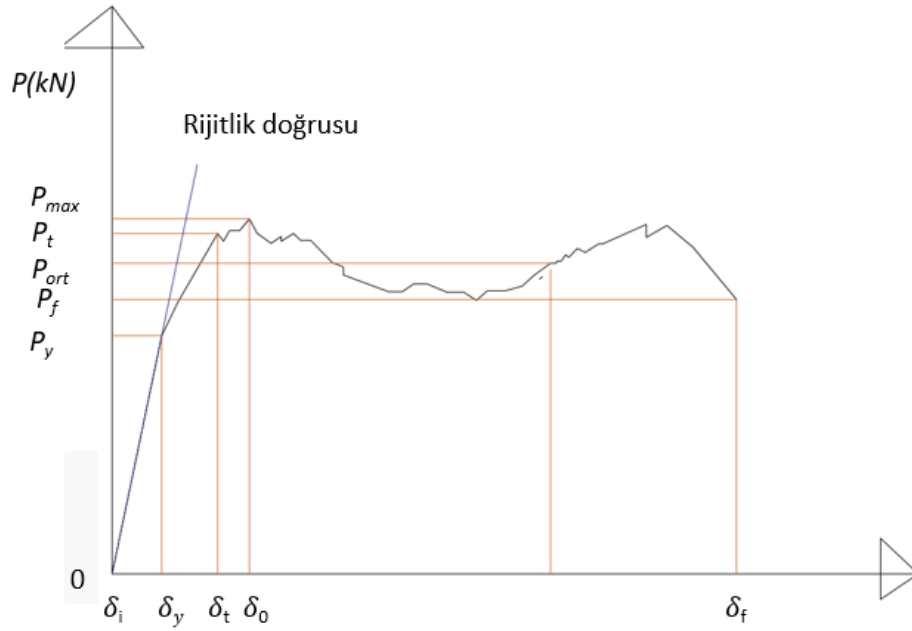
5.2.2. Rijitlik

Rijitlik; deformasyon etkilerine karşı nesnelere direnç derecesi olarak ifade edilebilir. Yığma duvar güçlendirmesinde de önemli parametrelerden biri rijitliğinin artırılmasıdır. Böylece binanın yanal rijitliği de artmış olmaktadır.

Deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri bulunmak için MBW 2,0-200 deney elemanın yük deplasman eğrisi temsili olarak Şekil 5.6.'da verilmiştir.

Deney elemanlarının başlangıç rijitlik hesaplayabilmek için kullanılan indislerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

- α : başlangıç rijitliği
 P_y : akma anındaki taşıma gücü
 P_t : deneyin ilk tepe noktasına ait taşıma gücü
 P_{ort} : maksimum taşıma gücü (P_{max}), ortalama taşıma gücü
 P_f : deneyin son deplasman anındaki taşıma gücü
 δ_i : rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değeri
 δ_y : akmanın başladığı andaki deplasman değeri
 δ_t : deneyin ilk tepe noktasındaki yükse ait deplasman değeri
 δ_0 : maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri



Şekil 5.6. MBW 2,0– 200 rijitlik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

Bu çalışmada, deney elemanlarının başlangıç rijitliği, akma yükünde diyagonal boyunca akma yükünden meydana gelen kısalma oranından hesaplanmıştır. Akma yükü, eğilme yük eğrisinin başlangıç elastik hattının sona erdiği yük değerine karşılık gelmekte olup, levhalarda akmanın başlaması nedeniyle aniden yükte hafif

bir düşüş meydana gelmektedir. Referans elemanında hiç akma olmadığından, bu numunenin başlangıç rijitlik değerleri, eğilme yük eğrisinin başlangıç doğrusal eğiminden hesaplanmıştır. Tablo 5.2.'de verilen akma deformasyonu (δy^{\equiv}) Denklem 5.2 ile, başlangıç rijitliği ise Denklem 5.3 ile hesaplanmıştır.

$$\delta y^{\equiv} = \delta y - \delta i \quad (5.2)$$

$$\text{Başlangıç rijitliği} = \tan \alpha = P_y / \delta y \quad (5.3)$$

Deney numunelerinin akma yük değerleri (P_y) kN, akma başladığındaki yer değiştirme değerleri (δy), rijitlik çizgisinin başlangıç yer değiştirme (δi) mm cinsinden, ilk rijitlik kN mm/ve göreceli rijitlik oranları Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Deney numunelerin rijitlikleri ve göreceli rijitlik oranları

Deney Elemanı	P_y (kN)	δy (mm)	δi (mm)	δy^{\equiv} (mm)	Rijitlik (kN mm/)	Göreceli Rijitlik Oranı
R	105	18	6	12	8,8	-
MBW 2,0-200	154	20	8	12	12,8	1,5
MBW 3,0-100	195	15	1	14	13,9	1,6
MBW 3,0-150	153	18	3	15	10,2	1,2
MBW 3,0-200	169	20	9	11	15,5	1,8

Tablo 5.2.'deki güçlendirilmiş elemanların rijitlik değerlerinin referans elemanın rijitlik değerine bölünerek göreceli rijitlik oranları bulunmuştur, Örneğin, MBW 2,0-200 deney elemanının göreceli rijitlik oranı, Denklem 5.3 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\text{MBW 2,0- 200G.R.O.} = (12.8/8.8) = 1,5 \quad (5.3)$$

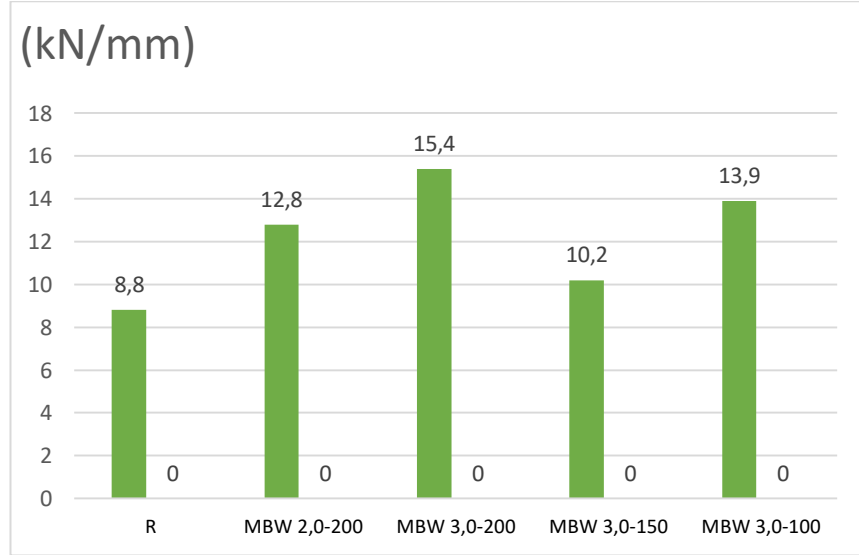
Tablo 5.2.'de, gösterildiği gibi güçlendirilmiş elemanların rijitlik değerleri, referans elemanın rijitliğinin 1,16-1,75 katına ulaşmıştır. Güçlendirilmiş elemanlar arasında ise, MBW 3,0-200 elemanının maksimum rijitliğe ulaştığı anlaşılmaktadır. MBW 2,0-200 ve MBW 3,0-100, MBW 3,0-150, MBW 3,0-200 elemanları, referans

elemanların ortalama rijitlik değerinin sırasıyla %46 ,% 17,%16 ve %75'ü katı kadar bir rijitlik değerine ulaşmıştır.

Genel olarak bulon aralığı azaldıkça güçlendirilmiş deney elemanların rijitliklerin arttığı gözlenmiştir.

Eşdeğer bulon aralığı ve farklı levha kalınlığına sahip olan MBW 2,0-200 ve MBW 3,0-200 deney elemanları arasındaki fark referans elemana göre %46-%75 arasında olduğu görülmüştür. Bu da, levha kalınlığının rijitliğe etkisi olduğunu göstermektedir.

Aşağıda Şekil 5.7.'da deney elemanların sünekliği grafik olarak verilmiştir.



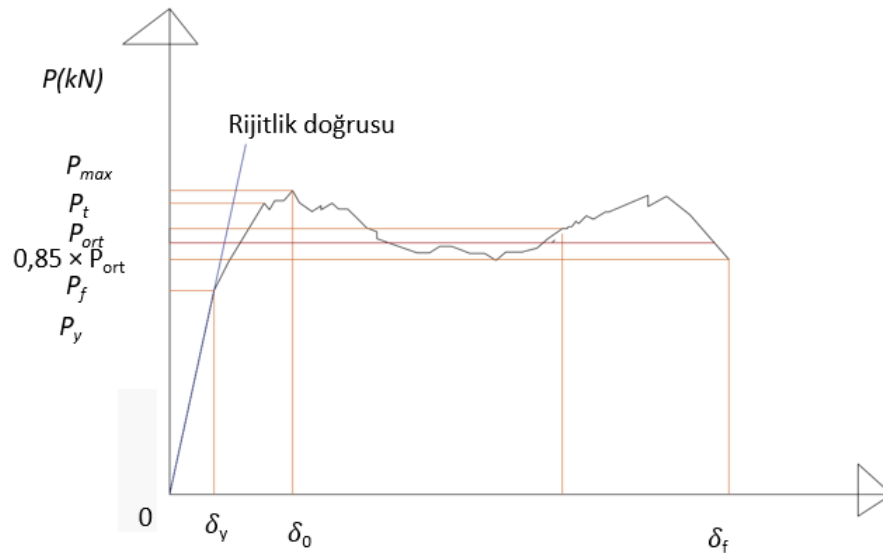
Şekil 5.7. Deney elemanların rijitlik grafiği

5.2.3. 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 (TBDY, 2018).

Bu çalışmada, süneklik oranlarının analizi için elemanların yük-deplasman eğrileri kullanılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan süneklik deformasyon değeri (0,85 Port) değerine geldiği nokta olarak alınmıştır.

Aşağıda temsili yük-deplasman eğrisi Şekil 5.8.'de verilmiştir. Söz konusu Grafikte görüldüğü gibi sünekliğin hesaplanması için kullanılan akma anındaki yük değeri Port'nın %85'ine denk gelmektedir. Ayrıca rijitlik başlangıç değeri (δ_i), akma anındaki yüke denk gelen deplasman değeri, (δ_u), akmanın başladığı anındaki yer değiştirme değeri ise (δ_y) ile gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Deney elemanlarının süneklik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

Süneklik hesabında kullanılan mutlak deplasman değeri (δu), ortalama taşıma gücü (Port) değerinin %85'ine karşılık gelen deplasman değeridir (Denklem 5.4). Akmanın başladığı andaki mutlak deplasman değeri (δy) ise Denklem 5.5.'te verilmiştir. Süneklik oranı bu iki deplasman değerinin oranı olup, Denklem 5.6.'de tanımlanmıştır.

$$\delta \bar{u} = \delta u - \delta i \quad (5.4)$$

$$\delta \bar{y} = \delta y - \delta i \quad (5.5)$$

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

Deney elemanlarının $0,85 \times \text{Port}$ değerine göre tanımlanan süneklik ve göreceli süneklik oranları Tablo 5.3.'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Deney numunelerin süneklikleri ve göreceli süneklik oranları

Deney Elemanı	Port \times 0,85	δi	δu	Δy	δu	δy	Süneklik Oranı ($\delta u / \delta y$)	Göreceli Süneklik Oranı
R	89,4	6	30	18	54	14	3,8	-
MBW 2,0-200	130,9	8	80	20	72	14	5,1	1,4
MBW 3,0-100	165,7	1	120	15	119	14	8,6	2,2
MBW 3,0-150	130,5	3	150	18	147	15	9,8	2,5
MBW 3,0-200	143,6	9	90	20	81	10	8,1	2,1

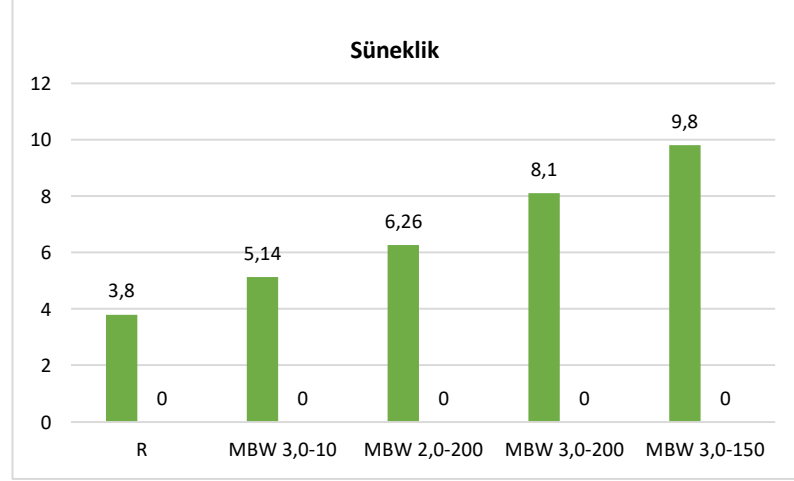
Tablo 5.2.'de güçlendirilmiş elemanların göreceli süneklik değerleri, R'nin (Referans elemanın) süneklik oranına bölünerek elde edilmiştir. Örnek olarak MBW 2,0-200, MBW 3,0-100 göreceli süneklik oranları aşağıda Denklem 5.7.'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{MBW 2,0-200 G.S.O.} = [5,1/3,8] = 1,367 \cong 1,4 \quad (5.7)$$

$$\text{MBW 3,0-100 G.S.O.} = [8,6/3,8] = 2,2 \quad (5.8)$$

Tablo 5.3.'te görüldüğü gibi güçlendirilmiş deney elemanların süneklik oranı referans deney elemana göre minimum MBW 3,0-200 deney elemanında %10 artarken, Maksimum MBW 3,0-150 de ise %154 artmıştır. Bulon aralığı eşit ama Levha kalınlığı farklı olan MBW 2,0-200 ve MBW 3,0-200 deney elemanları arasında ise levha kalınlığının etkisi olduğu görülmektedir.

Genel olarak bulon aralığı minimum ve maksimum olan deney elemanlarında süneklik oranı daha düşük çıkmıştır. Aşağıda Şekil 5.9.'de elemanların süneklik oranları grafik olarak verilmiştir.



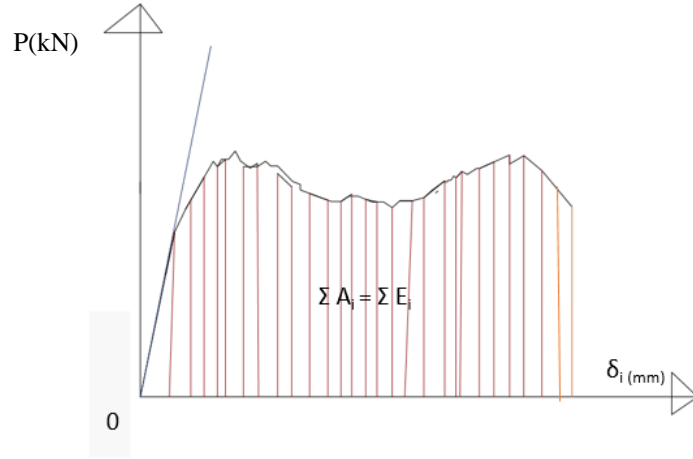
Şekil 5.9. Deney elemanlarının süneklik grafiği

5.2.4. Enerji dönüştürme kapasitesi

Bir elemanın yer değiştirene kadar dönüştürdüğü enerjiye "enerji dönüşüm kapasitesi" denir. Farklı kaynaklardaki bu kavrama "enerji yutma" veya "enerji tüketimi" adı da verilmektedir.

Ayrıca, fiziğin temel yasası olan enerjinin korunumu yasası, bu kavramın enerji dönüşüm kapasitesi olarak kullanımını daha doğru ve gerçekçi kılmaktadır. Enerji dönüşüm kapasitesi, elemanın yük-deplasman grafiğindeki tüm alana eşittir.

Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi Şekil 5.10.'de verilmiştir.



Şekil 5.10. Deney elemanlarının temsili yük-deplasman eğrisi

Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi hesaplayabilmek için kullanılan indislerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

i	:= 1,2,3,... n tane deney verisi sırası
E_i	:her bir veri için tüketilen enerji değeri
P_i	:deneylerden elde edilen yük değeri
δ_i	: P_i yüküne denk gelen deplasman değeri
A_i	:her yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan
$\sum A_i$:eğrinin altında kalan toplam alan
$\sum E_i$:toplam dönüştürülen enerjiye

Deney elemanlarının her bir veri için dönüştürülen enerji değeri (E_i) Denklem 5.19, toplam dönüştürülen enerji değeri ($\sum E_i$) ise Denklem 5.10 ile hesaplanmıştır.

$$E_i = [(P_i + P_{i+1})/2] \times [(\delta_i - \delta_{i+1})/2] + E_{i-1} \quad (5.9)$$

$$\sum A_i = \sum E_i = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n) \quad (5.10)$$

Bir yapı elemanı tarafından göçene kadar dönüştürülen toplam enerji miktarı, bu yapı veya yapı elemanının depreme karşı katkısının bir göstergesidir. Deney elemanlarının maksimum yer değiştirmeleri (mm), enerji dönüşüm kapasiteleri ise

(kJ) birim cinsinden gösterilmiştir. Güçlendirme işleminde kullanılan genişletilmiş çelik levhanın, genel yapı enerji dönüştürme kapasitesi üzerindeki etkisini Tablo 5.4.'te verilmiştir. Ayrıca, deney mekanizmasında kullanılan strok boyunun 240 mm yer değiştirme kapasitesine göre ayarlandığından, deney öğelerinin bu yer değiştirme değerine kadar enerji dönüşüm kapasiteleri hesaplanmıştır.

Referans deney elemanı (R) maksimum 91 mm yer değiştirme yaparken, güçlendirilmiş deney elemanları ise 240 mm deplasman yapana kadar her hangi sıyrılmama, ayrışma ve çok büyük ani yük kayıpları yaşanmamıştır. Böylece, güçlendirilmiş deney elemanlarının daha yüksek enerji dönüştürme kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri

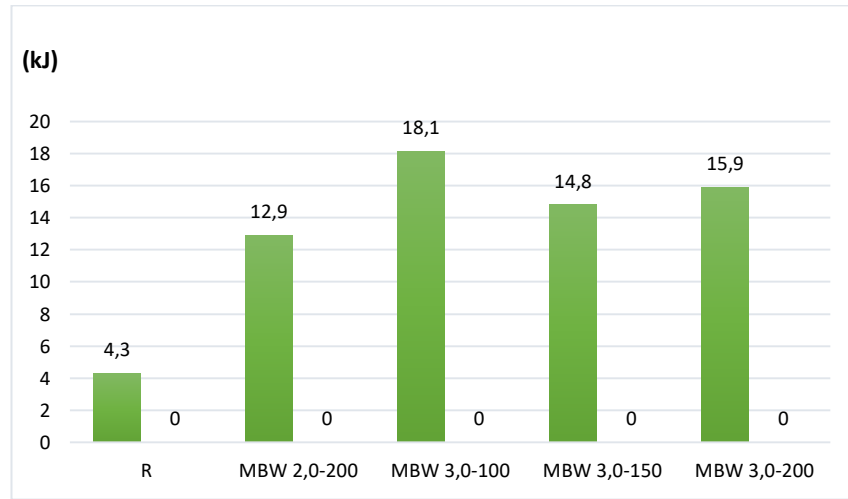
Deney Elemanı	Maksimum Deplasman (mm)	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (kJ)	Göreceli Enerji Dönüştürme
R	91	4,3	-
MBW 2,0-200	240	12,9	3,1
MBW 3,0-100	240	18,1	4,3
MBW 3,0-150	240	14,8	3,5
MBW 3,0-200	240	15,9	3,8

Tablo 5.4.'te güçlendirme deney elemanın göreceli enerji dönüştürme değerleri referans elemanın enerji dönüştürme oranına bölünerek hesaplanmaktadır. Örneğin, MBW 3,0-100 deney elemanının göreceli enerji dönüştürme kapasitesi, Denklem 5.11.' de hesaplanmıştır.

$$MBW 3,0-100G.E.D. = (18,04/4,3) = 4,3 \cong 4,3 \quad (5.11)$$

Tablo 5.4.'te, güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüşüm kapasitelerinin, referans elemanların ortalama enerji dönüşüm kapasitesi değerlerinin yaklaşık 3.0-4.30 katına ulaştığı görülmektedir. Bu, önerilen güçlendirme tekniğinin, güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüşüm kapasiteleri üzerinde ne kadar yüksek bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.4.'e göre, güçlendirilmiş deney elemanlarının bulon aralığı azaldığında, enerji dönüştürme kapasitelerinin arttığı görülmüştür. MBW 2,0-200 deney elemanı ve MBW 3,0-200 deney elemanı aynı bulon aralığına sahip ve genişletilmiş çelik levha kalınlıkları arttıkça, enerji dönüştürme kapasitelerinin arttığı görülmüştür. En iyi enerji dönüştürme kapasitesi MBW 3,0-100 deney elemanında görülmüştür. Aşağıda Şekil 5.11.'de deney elemanların enerji dönüştürme kapasiteleri grafikte verilmiştir.



Şekil 5.11. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi grafiği

5.2.5. Deney elemanlarının kayma gerilmeleri

Yığma duvarların yatay yükler altındaki davranışları deprem yükünün doğrultusuna göre farklılık gösterir. Deprem doğrultusundaki taşıyıcı duvarların alt köşelerinde hasarlar veya mafsallaşmalar meydana gelirken, deprem doğrultusuna dik duvarların üst köşelerinde hasarlar meydana gelebileceği düşünülür. Sabit aksenal yük altında yer değiştirme kontrollü çevrimsel yüklerle gerçekleştirilen ve elemanın dayanım ve yer değiştirme sınır durumlarının test edildiği bu tür çalışmalardan elde edilen sonuçlar, performansla yönelik tasarım yönetmeliklerinde (FEMA 273, FEMA 306 vb.) kullanılmaktadır.

Taşıyıcı duvarların deprem yönündeki farklı kırılma ve hasar görme biçimlerini meydana gelmektedir. Duvarların kayma dayanımını sağlayan harç-tuğla ve tuğla-tuğla arasındaki aderansın olmasıdır. Duvar numunelerinde kaymanın meydana

gelmesi; söz konusu aderansın yetersiz kalması veya sona ermesi nedeniyle oluşur. Deney elemanlarının kayma dayanımlarının hesaplanması için ASTM E519M-10 tarafından önerilen (denklem 5.12) kullanılarak hesaplanmıştır. Verilen denklemde p_{max} , deneylerde elde edilen numunelerin maksimum yük değerleri alınmıştır.

A, tuğlaların birbiriyle temas yüzeylerinden çıkılarak duvar yüzey alanı hesaplanmıştır. Deney numunelere ait maksimum kuvvet, maksimum kuvvetin bileşenleri ve kayma gerilmeleri Tablo 5.5.'de verilmiştir. Deney elemanların maksimum kuvvetin yatay bileşeni (P_x) Denklem 5.12.'de verildiği gibi hesaplanmıştır. Ax tuğla duvar-harç ara yüzey alanını (190 mm x 1000 mm) ifade etmektedir

$$\tau_{(Mp)} = \frac{p_{max}(Kn) \times \cos 45^\circ \times 1000}{2A} \quad (5.12)$$

Tablo 5.1. Deney elemanlarının kayma gerilmeleri

NO	Deney Elemanı	Pmax (kN)	P _x (N)	2A (mm ^{10⁴})	τ (MPa)	Göreceli Kayma Gerilme Oranları
1	R	105	55,3	38	0,14	-
2	MBW 2,0-200	154	80,9	38	0,21	1,5
3	MBW 3,0-200	195	102,4	38	0,26	1,9
4	MBW 3,0-150	153	80,6	38	0,22	1,6
5	MBW 3,0-100	169	88,8	38	0,23	1,6

5.3. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

Bu çalışmada deney elemanlar için deney değişken parametresi olarak genişletilmiş çelik levhaları duvara bağlayan bulon aralıklarıdır, Ayrıca MBW 2,0-200 deneme elemanı, 3 adet güçlendirilmiş seri deney elemanlarının deney öncesinde nasıl bir davranış gösterdiğini tespit etmek, literatürde yapılan benzer çalışmalar ile kıyaslandığında yığma blok duvarlar üzerindeki güçlendirmenin durumunu tespit etmek ve optimum bir sonuç sağlamak amacıyla üretilerek deneyi yapılmıştır.

Deneylelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deneyle elemanlarının özellikleri detaylı bölüm 3.1.'de anlatılmıştır.

Tüm deneyle elemanlarının Taşıma Gücü, Başlangıç Rijitliği, Süneklik ve Enerji Dönüştürme Kapasitesi değerleri ve bunların göreceli oranları Tablo 5.6.'de verilmiştir. Bu tablodaki göreceli oranlar, güçlendirilmiş deneyle elemanlarının mutlak değerlerinin referans deneyle elemanın değerlerine bölünerek elde edilmiştir.

Tablo 5.6. Tüm deneyle sonuçları

Deneyle Elemanı	Taşıma Gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı	Rijitlik (kN/mm)	Göreceli Rijitlik Oranı	Süneklik Oranı	Göreceli Süneklik Oranı	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (kJ)	Göreceli Enerji Dönüştürme Oranı
R	105	-	8,8	-	3,8	-	4,3	-
MBW 2,0-200	154	1,5	12,8	1,5	5,1	1,4	12,9	3,1
MBW 3,0-100	195	1,8	13,9	1,6	8,6	2,2	18,1	4,3
MBW 3,0-150	153	1,5	10,2	1,2	9,8	2,5	14,8	3,5
MBW 3,0-200	169	1,6	15,5	1,8	8,1	2,1	15,9	3,8

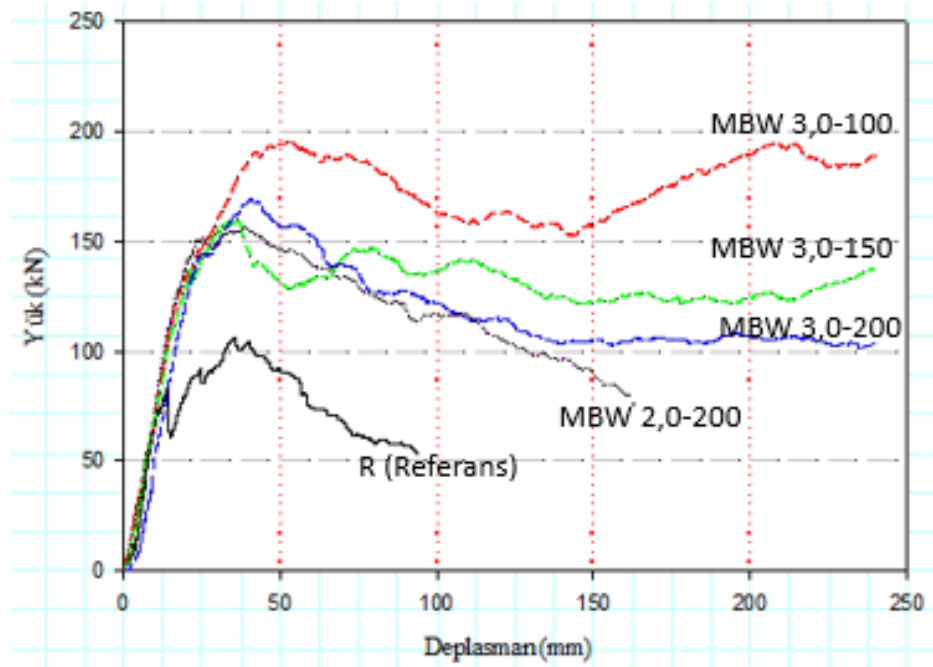
5.3.1. Bulon aralığının dayanım ve davranış üzerindeki etkisi

Tablo 5.6.'da gösterildiği gibi levha kalınlığı eşit, bulon aralığı farklı olan deneyle elemanlarında enerji dönüştürme kapasitesi değerinde bulon aralığı azaldıkça artış görülmektedir. Örnek olarak bulon aralığının 200 mm'den 100 mm'ye düşürülmesi sonucunda enerji dönüştürme kapasitesi değerinde %13'lük bir artış görülmüştür. Bulon aralığının 200 mm'den 150 mm'ye düşürülmesinde ise % 9,2'lik bir düşüş meydana gelmiştir. Aynı bulon aralığına sahip MBW2,0-200 ve MBW 3,0-200 deneyle elemanlarında ise levha kalınlığı 3 mm olan deneyle elemanın enerji dönüştürme kapasitesi 1,2 kat fazla çıkmıştır.

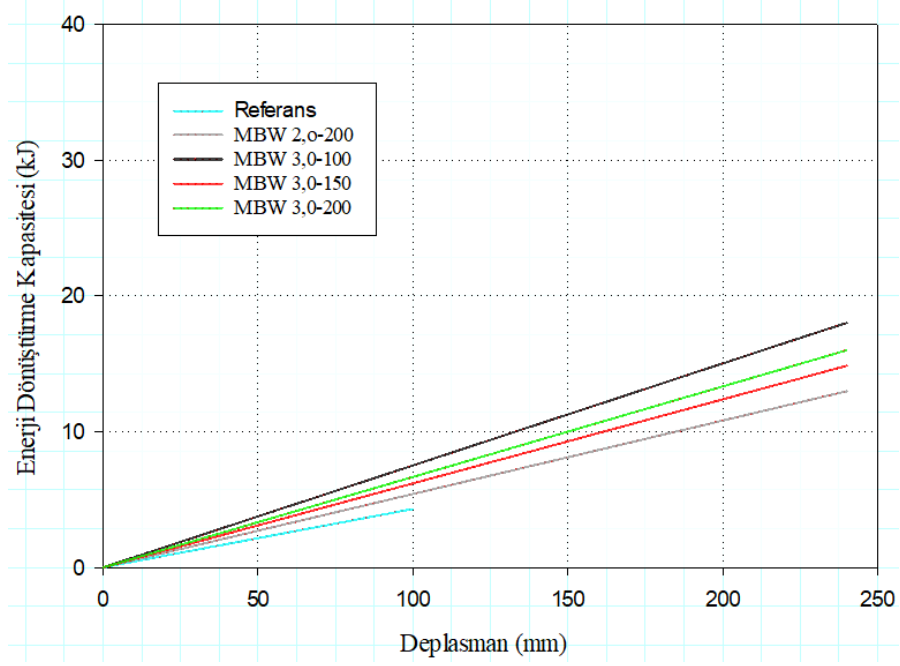
Bulon aralığının başlangıç rijitlik değeri üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Bulon aralığı azaldıkça aynı levha kalınlığına sahip deneyle elemanlarında rijitlik değerinde

artış meydana gelmiştir. Buda bulon aralığının rijitliğe etkisi olduğunu göstermektedir.

Bulon aralığının davranış ve dayanım üzerindeki etkisini incelemek için, yük-deplasman ve enerji-deplasman eğrileri çizilmiştir. Üç adet numunede bulon aralığı dışındaki tüm değişkenleri sabit tutulmuş ve bu numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, levha kalınlığı farklı olan numuneden elde edilen sonuçlarla ve referans elemanından (R) elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aşağıda Şekil 5.12-5.13.'te yük-deplasman ve enerji-deplasman grafikleri verilmiştir.



Şekil 5.11. Tüm deney numunelerinin karşılaştırmalı yük-deplasman eğrileri



Şekil 5.12. Tüm deney numunelerin karşılaştırmalı enerji-deplasman grafikleri

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünya genelinde şiddetli depremler nedeniyle; binlerce bina hasar görmüş ve bu nedenle çok sayıda can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. İleride meydana gelmesi muhtemel depremlere karşı güvenli yapılar inşa etmek hususu kadar, mevcut binaların onarım ve güçlendirilmesi de büyük önem arz etmektedir.

Farklı ülkelerde birçok araştırmacılar tarafından mevcut yapıların güçlendirilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmakta ve yeni teknikler geliştirilmektedir. Bu teknikler ile mevcut yapıların güçlendirilmesi ile ilgili uygulamalar yapılmaktadır. Söz konusu çalışmaların amacı; daha ekonomik, hızlı, basit ve kolayca elde edilebilecek malzemelerle uygulanabilecek teknikleri geliştirmektir.

Bu çalışma kapsamında; biri referans, 4 adet güçlendirilmiş eleman olmak üzere toplam 5 adet deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm deney elemanları diyagonal statik yükleme altında test edilmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda, genişletilmiş çelik levha güçlendirme elemanlarının bulonlarda akma meydana gelene kadar kompozit bir malzeme olarak davrandığı görülmüştür. Ayrıca, güçlendirilmiş deney elemanlarının yük taşıma kapasitelerinde artış görülmüş ve deney elemanlarının deney sonuna kadar bütünlüklerini korudukları tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra; güçlendirilmiş tuğla duvarların, rijitlik, süneklik, enerji dönüştürme kapasitelerinde ve kayma gerilmesi değerlerinde yüksek artışlar sağlanmış olup duvarların davranışlarının iyileştirildiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak çalışmamızdan elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir. Deney numunelerinde 3 mm kalınlığındaki genişletilmiş çelik levhalarla yapılan güçlendirme uygulaması sıradan bir işçilikle gerçekleştirilmiş olup, güçlendirme tekniğinin avantajları ve ne kadar kullanışlı olduğu araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, yığma yapıların düşey yüklere karşı güçlendirilmesi için geliştirilen, genişletilmiş çelik levhalar kullanılması yönteminin oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Sıvanmış düşey delikli tuğla yığma duvarların her iki yüzüne genişletilmiş çelik levhalar bulonlar yardımıyla bağlanarak duvar numuneleri güçlendirilmiştir. Deneylerin sonucunda; elemanların yük taşıma kapasitesinin, dayanımının, sünekliğinin ve rijitliğinin arttığı görülmüştür.

- a. Güçlendirilmiş deney elemanlarının tümü referans numune ile kıyaslanmıştır. Açıklığı en fazla olan bulon aralığına sahip deney elemanının dahi referans deney elemanına göre daha sünek davrandığı gözlenmiştir.
- b. Levha kalınlığı eşit, bulon aralığı farklı deney elemanlarında bulon aralığı azaldıkça taşıma gücünün arttığı gözlenmiştir.
- c. Bulon aralığı eşit, levha kalınlığı farklı olan deney numuneleri incelendiğinde, süneklik, rijitlik, taşıma gücü ve kayma gerilmesi üzerinde kullanılan genişletilmiş çelik levha kalınlığının etkisi olduğu görülmüştür.
- d. Deney elemanlarının ön yüzeylerine bağlanan ve birim kısaltmalarını ölçen 50 mm kapasitesi olan LVDT incelendiğinde, güçlendirilmiş deney elemanlarının referans deney elemanına göre birim kısalma oranlarının daha yüksek oldukları gözlenmiştir.
- e. Deneyde kullanılan çelik çerçevenin duvarla olan temas yüzeyleri % 50 (50 cm) kadar çıktığı saptanmıştır.
- f. Referans deney elemanın orta yüzeyinde gerçekleşen çatlamlar, özellikle düşey boyunca büyük çatlağın oluşmasından sonra ani yük kaybı meydana gelmiştir.

- g. Güçlendirilmiş deney elemanlarında ise referans deney elemanın aksine, orta yüzeylerinde önemli çatlaklar meydana gelmemiş ve ani yük kaybı da yaşanmamıştır.
- h. Güçlendirmede kullanılan çelik levha ve bulonlar vasıtasıyla duvarda sargılama özelliği sağlanmış ve deney boyunca herhangi bir ayrışma ve sıyrılma yaşanmamıştır.

KAYNAKLAR

- 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.
- Babayani, Rahim. Kasım 2012 . «Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tersinir tekrarlanır yükler altındaki davranış ve dayanımı.» Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 130. Yüksek Lisans Tezi.
- Belarbi, Abdeldjelil, Ve Bora Acun. 2013. «FRP systems in shear strengthening of reinforced concrete structures.» journal of Elsevier.
- Bahçekapılı, S. 2003. Mevcut betonarme yapıların depreme karşı güvenliğini belirleme yöntemleri. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Camilo, Vega, Ve Toress Nancy. 2018. «External strengthening of unreinforced masonry walls with polymers reinforced with carbon fiber.» Ingeniería E Investigación Vol. 38 No. 3.
- Catherine, Papanicolaou, Triantafyllou Thanasis , Ve Lekka Maria . 2011. «Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting.» Construction and building materials 25 504–514.
- Corradi, Marco, Antonio Borri, Giulio Castori, Ve Romina Sisti. 2014. «Shear strengthening of wall panels through jacketing with cement.» journal of Elsevier.
- Cumhur, A. 2016. Tuğla dolgu duvarların genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Cumhur, 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.
- Deries, M, Ve Relhacha. 2007. «Flexural and shear strengthening of masonry walls with frp.» International institute for frp in construction.
- DBYBHY, 2018. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- Enea, Mustafaraj, Ve Yavuz Yardım. 2017. «In-plane shear strengthening of unreinforced masonry walls using gfrp jacketing.» Periodica Polytechnica Civil Engineering.

- FEMA 306. 1998. Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wallbuildings. Federal Emergency Management Agency, Redwood City, California, U.S.A.
- H.A, Khan, Roy P, Ve Nanda R.P. 2018. «Retrofitting of brick masonry panels with glass fibre reinforced polymer.» Iosr journal of mechanical and civil engineering
- Hamoush, Sameer, Ve W Mark Mcginley. 2001. «Out-of-plane strengthening of masonry walls with reinforced composite.» Joarnal of composite for construction.
- Maalej, M, Lin V.W.J, Nguyen M.P, Ve Quek S.T. 2010. «Engineered cementitious composites for effective strengthening of unreinforced masonry walls.» journal of Elsevier.
- Najif, Ismail, El-Maaddawy Tamer, Ve Najmal Nouman. 2017. «Diagonal tension testing of as-built and fabric reinforced cementitious matrix strengthened masonry panels.» Santiago chile, january .
- Najif, Ismail, Ve Ingham Jason M. 2016. «In-plane and out-of-plane testing of unreinforced masonry walls strengthened using polymer textile reinforced mortar.» journal of Elsevier.
- Özbek, Eray. 2015. «Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisi .» Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 176. Doktora Tezi.
- Özbek, Keskin. 2007.«Standart sapma mı yoksa standart hata mı?» van tıp dergisi: 14 (2):64-67,.
- Prota, A, G Marcarı, G Fabbrocino, G Manfredı, Ve C Aldea. 2006. «Experimental in-plane behavior of tuff masonry.» journal of seismic effects.
- Tekeli, Hamide, Osman Akyürek, Metin Deniz, Emircan Hersat, Necmi Kara, Uğur Tosun, Ve Fatih Kaya. 2014. «Betonarme çerçevede dolgu duvarların hasır çelik donatılı sıva ile güçlendirilmesi.» Beü fen bilimleri dergisi.
- Tolga Çöğürçü, Mustafa, Ve Mehmet Kamanlı. 2007. «Yığma yapıların dinamik ve mühendislik davranışının düzlem dışı kuvvetler altında deneysel olarak incelenmesi.» Journal of technical-online .
- Valluzzi, M.R, D Tinazzı, Ve C Modena. 2002. «Shear behavior of masonry panels strengthened by frp laminates.» journal of Elseier

ÖZGEÇMİŞ

Mohammadi Mohammadi, 21.05.1994'da Afganistan'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Daikundi Afganistan'da tamamladı. 2012 yılında lise Charkh bagar Lisesi'nden mezun oldu. 2012 yılında başladığı Tömer kursunu Ankara Üniversitesi 2013 yılında tamamladı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü başladı ve 2017 yılında bitirdi.2017 yılında Sakarya Üniversitesi'nde yüksek lisans eğitimine başladı.