

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

**YIĞMA TUĞLA DUVARLARIN DİYAGONAL YÜK ETKİSİ
ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK
DENEYSEL ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdul Salam AKRAMİ

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

Mayıs 2020

BEYAN

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

Abdul Salam AKRAMİ

22.05.2020



TEŞEKKÜR

Başta tüm eğitim hayatım boyunca beni yalnız bırakmayan, karşılıksız, beklentisiz, var olan güçleriyle beni destekleyen ve benim bugünlere gelememe sebep olmuş olan değerli aileme, yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteklerini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından, yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam; Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN, ortak danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Alper CUMHUR ve ekip olarak çalıştığımız Dr. Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA ve Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Zeki ÖZYURT'a yaptıkları destekler ve katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışması sırasında anlayış ve desteklerini esirgemeyen her aşamada yanımda olan değerli arkadaşlarım; İnşaat Mühendisi Azizullah RASULY 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.....	vii
RESİMLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Taşıyıcı Sistem Güçlendirmesi.....	1
1.2. Eleman Güçlendirmesi.....	2
1.3. Çalışmada Kullanılacak Yöntemin Belirlenmesi.....	2
1.4. Amaç ve Kapsam.....	3
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	6
2.1. FRP (Lifli Polimer ile Güçlendirme).....	6
2.2. Elyaf Donatılı Harç (FRM) ile Güçlendirme.....	8
2.3. Çelik Levhalar ile Güçlendirme.....	9
2.4. Çelik Profiller ile Güçlendirme.....	13
2.5. İçi Boş Çelik Kutular ile Güçlendirme.....	13
2.6. Çelik Şeritler ile Güçlendirme.....	14
2.7. Çelik Hasır ve Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirme.....	15
2.8. Çelik Hasır ve Tekstil Donatılı Horasan Harcı ile Güçlendirme....	17

2.9. Çelik Lif Katkılı Harç (SFRM) ile Güçlendirme.....	17
2.10. Beton Şeritler ile Güçlendirme.....	17
 BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	19
3.1. Deney Programı.....	19
3.2. Kullanılan Malzeme ve Cihaz Özellikleri.....	20
3.2.1. Düşey delikli tuğla özellik ve dayanımı.....	20
3.2.2. Genişletilmiş çelik levha özellik ve dayanımı.....	23
3.2.3. Kullanılan bulon, somun ve pul özellikleri.....	26
3.2.4. Kullanılan harç.....	27
 BÖLÜM 4.	
PÜSKÜRTME BETON.....	31
4.1. Püskürtme Beton.....	31
4.2. Püskürtme Beton Kullanım Alan ve Amaçları.....	31
4.3. Uygulama Teknikleri.....	32
4.4. Püskürtme Beton Karışım Oranı.....	33
 BÖLÜM 5.	
DENEY ELEMANLARI.....	37
5.1. Deney Elemanlarının Hazırlanması.....	37
5.1.1. Deney malzemelerin montajı.....	37
5.2. Deney Düzeni.....	43
5.2.1. Deney düzeneği ve deney çerçevesi.....	43
5.2.2. Yükleme mekanizması.....	44
5.2.3. Yükleme programı.....	45
5.2.4. Ölçüm düzeni.....	46
 BÖLÜM 6.	
DENEY SÜRECİ.....	49
6.1. Referans Deney Elemanı (RS).....	49

6.2. Güçlendirilmiş Deney Elemanları.....	53
6.2.1. MBWS 2,0-200 deneyi.....	53
6.2.2. MBWS 3,0-400 deneyi.....	56
6.2.3. MBWS 3,0-200 deneyi.....	60
6.2.4. MBWS 3,0-150 deneyi.....	63
6.2.5. MBWS 3,0-100 deneyi.....	66
6.3. Deney Elemanlarının Yüzeylerindeki Deformasyonların Belirlenmesi.....	69
 BÖLÜM 7.	
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	74
7.1. Genel Değerlendirme.....	74
7.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirme.....	76
7.2.1. Taşıma Gücü.....	76
7.2.2. Rijitlik.....	78
7.2.3. Süneklik.....	81
7.2.4. Enerji dönüştürme kapasitesi.....	84
7.2.5. Deney elemanlarının kayma gerilmelerinin belirlenmesi.....	86
7.3. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma.....	89
7.3.1. Deney elemanlarının davranış ve performansı üzerindeki bulon aralığı etkisi.....	89
 BÖLÜM 8.	
SONUÇ VE ÖNERİ.....	92
KAYNAKLAR.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	99

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: American society for testing and materials
MBWS	: Blok Tuğla Duvar Püskürtme Beton
CFRP	: Karbon lifli kumaşlar
TBDY(2018)	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)
D_{com}	: Tuğla duvarların diyagonal basınç dayanımı
D_{ten}	: Blok tuğla duvarın diyagonal gerilme kapasitesi
E	: Elastisite modülü
E_s	: Çeliğin elastisite modülü
ε	: Şekil değiştirme oranı
τ	: Duvar kayma dayanımı
ε_y	: Akma birim kısalma oranı
FEMA	: Federal acil durum yönetim kurumu
FRP	: Fiber reinforced polimer
E_y	: Akma birim kısalma oranı
δ_y	: Akmanın başladığı andaki deplasman değeri
GFRP	: Cam elyaf takviyeli polimerler
L_0	: İlk uzunluk
ΔL	: Birim boy değişimi
ΔL_y	: Akma birim boy değişimi
LVDT	: Elektronik boy değişimi ölçer
M6	: 6 mm çapında bulon
MPa	: Mega Pascal
P_f	: Deneyin son deplasman anındaki taşıma gücü
P_{max}	: Maksimum taşıma gücü

P_{ort}	: Ortalama taşıma gücü
P_t	: Deneyin ilk tepe noktasına ait taşıma gücü
P_y	: Akma anındaki taşıma gücü
RS	: Referans deney elemanı
Std. Sap.	: Standart sapma
NPU 300	: 300 mm genişliğinde NPU çelik profil
α	: Başlangıç rijitliği
δ_0	: Maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri
δ_i	: Rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değeri
δ_f	: Maksimum deplasman değeri
δ_t	: Deneyin ilk tepe noktasındaki yüke ait deplasman değeri
δ_u	: Ortalama taşıma gücünün (P_{ort}) % 85'indeki deplasman değeri

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Genişletilmiş çelik levha geometrisi.....	23
Şekil 3.2. Genişletilmiş çelik levha şekil ve geometrisi.....	24
Şekil 3.3. ISO 6892-1 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri.....	24
Şekil 3.4. ASTM Standardına uygun lama tipi dikdörtgen geometriye sahip çekme deneyi numunesini.....	25
Şekil 4.1. Yaş karışım püskürtme yöntemi.....	32
Şekil 4.2. Kuru karışım püskürtme yöntemi.....	33
Şekil 5.1. RS Deney elemanının ebatları.....	38
Şekil 5.2. RS Deney elemanı püskürtme betonlu.....	38
Şekil 5.3. MBW 2,0-200 Deneme elemanı.....	39
Şekil 5.4. MBWS 3,0-400 Deneme elemanı.....	39
Şekil 5.5. MBWS 3,0-200 Deney elemanı.....	40
Şekil 5.6. MBWS 3,0-150 Deney elemanı.....	40
Şekil 5.7. MBWS 3,0-100 Deney elemanı.....	41
Şekil 6.1. RS deney elemanın yük-deplasman grafiği.....	52
Şekil 6.2. MBWS 2,0-200 numunesinin yük-deplasman eğrisi.....	55
Şekil 6.3. MBWS 3,0-400 numunesinin yük-deplasman eğrisi.....	59
Şekil 6.4. MBWS 3,0-200 numunesinin yük-deplasman eğrisi.....	62
Şekil 6.5. MBWS 3,0-150 numunesinin yük-deplasman eğrisi.....	65
Şekil 6.6. MBWS 3,0-100 numunesinin yük-deplasman eğrisi.....	68
Şekil 6.7. Deney elemanın ön yüzeyindeki LVDT konumu Cumhuriyet (2016).....	69
Şekil 6.8. Deney elemanın arka yüzeyindeki LVDT konumu Cumhuriyet (2016).....	69
Şekil 6.9. RS deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafikleri.....	71

Şekil 6.10. RS deney elemanının arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafikleri.....	71
Şekil 6.11. MBWS 2,0-200 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği.....	71
Şekil 6.12. MBWS 3,0-400 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği.....	72
Şekil 6.13. MBWS 3,0-200 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği.....	72
Şekil 6.14. MBWS 3,0-150 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği.....	72
Şekil 6.15. MBWS 3,0-100 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği.....	73
Şekil 7.1. Deney elemanların taşıma gücü hesaplanırken kullanılan temsili yük deplasman eğrisi.....	77
Şekil 7.2. Deney elemanlarının taşıma gücü grafiği.....	78
Şekil 7.3. Deney elemanların rijitlikleri hesaplanırken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	79
Şekil 7.4. Deney elemanlarının rijitlik grafiği.....	81
Şekil 7.5. Deney elemanların süneklikleri hesaplanırken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	82
Şekil 7.6. Deney elemanlarının süneklik oranı grafiği.....	83
Şekil 7.7. Deney elemanların enerji dönüştürme kapasitesi hesaplanırken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	84
Şekil 7.8. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi grafiği.....	86
Şekil 7.9. Taşıyıcı duvarların deprem yönündeki farklı kırılma ve hasar görme biçimleri (FEMA 273).....	87
Şekil 7.10. Deney elemanlarının kayma dayanımı grafiği.....	88
Şekil 7.11. Tüm Deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri.....	90
Şekil 7.12. Tüm Deney elemanlarının enerji-deplasman grafikleri.....	91

RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1. Gabor ve arkadaşlarının (2018) çalışmalarındaki referans ve güçlendirilmiş numuneler.....	7
Resim 2.2. Babayani (2012) deney elemanın deney sonrası hasar durumu.....	10
Resim 2.3. Özbek (2015) Yaptığı deney düzeneği ve köşelerde alınan önlemler.....	11
Resim 2.4. Cumhuri (2016) referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarının genel hasar durumu.....	11
Resim 2.5. Özmen (2018) boşluklu tuğla duvar referans ve güçlendirme biçimleri.....	12
Resim 2.6. Elz Eldeen ve arkadaşları (2017) duvar güçlendirme ve yükleme biçimleri.....	14
Resim 2.7. Farooq ve arkadaşları (2006) yaptığı çalışmada deney düzeneği ve güçlendirme şekli.....	14
Resim 2.8. Ateş (2013) numunenin hazırlanması ve deney düzeneği.....	15
Resim 3.1. Blok tuğla geometrisi.....	20
Resim 3.2. Resim 3. 1. Blok tuğla dayanım testi.....	21
Resim 3.3. Çelik levhanın (a) çekme deneyi öncesi,(b) çekme deneyi sonrası..	26
Resim 3.4. Tij, pul ve somun geometrisi.....	27
Resim 3.5. Alınan 9 adet harç silindir numune.....	28
Resim 4.1. Püskürtme beton karışım anı.....	34
Resim 4.2. Püskürtme beton silindir numuneler.....	34
Resim 4.3. Püskürtme beton silindir numune test anı.....	35
Resim 4.4. Silindir numuneye potansiyometre bağlanma şekli.....	35
Resim 4.5. Silindir numuneye potansiyometre bağlanarak dayanım ve deformasyon testi.....	35

Resim 5.1. Deney elemanının tuğla örülme aşaması.....	41
Resim 5.2. Deney elemanının montaj ve uygulama tekniği.....	42
Resim 5.3. Deney elemanının ankaraj uygulaması.....	42
Resim 5.4. Deney elemanının püskürtme betonu (a) uygulama anı, (b) bitmiş hali.....	42
Resim 5.5. Deney sistemi.....	44
Resim 5.6. Deney elemanı deney düzeneğine yerleştirilirken.....	45
Resim 5.7. Deney elemanı ve deney mekanizması.....	45
Resim 5.8. LVDT bağlantısı ön yüzey.....	47
Resim 5.9. LVDT bağlantısı arka yüzey.....	47
Resim 5.10. Deney sırasında veri kaydı ve yük deplasman grafiği.....	48
Resim 6.1. Deney öncesi RS duvar durumu.....	50
Resim 6.2. Deney sonrası RS duvar durumu.....	52
Resim 6.3. MBWS 2,0-200 numunesinin deney öncesi durumu.....	53
Resim 6.4. MBWS 2,0-200 numunesinin deney sonrası hasar durumu.....	56
Resim 6.5. MBWS 3,0-400 numunesinin deney öncesi durumu.....	57
Resim 6.6. MBWS 3,0-400 numunesinin deney sonrası hasar durumu.....	59
Resim 6.7. MBWS 3,0-200 numunesinin deney öncesi durumu.....	60
Resim 6.8. MBWS 3,0-200 numunesinin deney sonrası hasar durumu.....	62
Resim 6.9. MBWS 3,0-150 numunesinin deney öncesi durumu.....	63
Resim 6.10. MBWS 3,0-150 numunesinin deney sonrası hasar durumu.....	65
Resim 6.11. MBWS 3,0-100 numunesinin deney öncesi durumu.....	66
Resim 6.12. MBWS 3,0-100 numunesinin deney sonrası hasar durumu.....	68
Resim 7.1. Referans deney elemanının deney sonu hasar durumu.....	74
Resim 7.2. Güçlendirilmiş deney elemanının deney sonu hasar durumu.....	75

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney elemanların indislerinin açılımları.....	19
Tablo 3.2. Deney elemanlarının özellikleri.....	20
Tablo 3.3. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı.....	22
Tablo 3.4. Düşey delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı.....	22
Tablo 3.5. Düşey delikli tuğlanın deliklere paralel doğrultudaki basınç dayanımı.....	22
Tablo 3.6. ISO 6892-1 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri.....	25
Tablo 3.7. ASTM E8:2016 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri.....	25
Tablo 3.8. Geniştirilmiş çelik levhanın çekme deneyi.....	26
Tablo 3.9. Tijlerin basınç eğilmesi sonuçları.....	27
Tablo 3.10. Harç karışım oranları.....	28
Tablo 3.11. Harç silindir numunelerin test sonucu.....	28
Tablo 4.1. Püskürtme beton karışım oranları.....	33
Tablo 4.2. Püskürtme beton silindir numunelerin test sonuçları.....	36
Tablo 5.1. Deney elemanları için uygulanan yükleme hızları	46
Tablo 6.1. Referans deney elemanının temas yüzeyleri.....	51
Tablo 6.2. MBWS 2,0-200 deney elemanının temas yüzeyleri.....	55
Tablo 6.3. MBWS 3,0-400 deney elemanının temas yüzeyleri.....	58
Tablo 6.4. MBWS 3,0-200 deney elemanının temas yüzeyleri.....	61
Tablo 6.5. MBWS 3,0-150 deney elemanının temas yüzeyleri.....	64
Tablo 6.6. MBWS 3,0-100 deney elemanının temas yüzeyleri.....	67

Tablo 6.7. Deney elemanlarının ön yüzeyindeki deformasyonlara bağlı birim boy kısaltmaları.....	73
Tablo 7.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma güçleri ve göreceli taşıma gücü oranları.....	77
Tablo 7.2. Deney elemanlarının başlangıç rijitlik ve göreceli rijitlik oranları..	80
Tablo 7.3. Deney elemanlarının $0,85 \times P_{ort}$ değerine göre süneklik ve göreceli süneklik oranları.....	82
Tablo 7.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri.....	85
Tablo 7.5. Deney elemanlarının kayma gerilmeleri.....	87
Tablo 7.6. Deney elemanlarının tüm deney sonuçları.....	89

ÖZET

Anahtar kelimeler: Yığma tuğla duvar, güçlendirme, genişletilmiş çelik levha, diyagonal basınç yüklemesi, kayma gerilmesi, püskürtme beton.

Geçmişten günümüze kadar dünyanın farklı yerlerinde meydana gelen büyük depremler sonucu yapıların göçmeleri veya ağır hasar almaları, can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Türkiye’de mevcut yapı stokunun büyük bir kısmı yığma yapılardan oluşmaktadır. Yığma yapıların en büyük özelliği duvarların taşıyıcı eleman olarak tasarlanması olup, bu duvarların düşey statik yüklerle beraber deprem, rüzgâr ve benzer nedenlerden oluşan yatay dinamik yükleri de karşılamaları gerekmektedir. Genel olarak yapılar; işçilik hataları, inşaat ve imalat eksikliği ve kusurları, denetim yetersizliği, yönetmeliklerin değişmesi, yapıların kullanım amaçlarının değişmesi vb. durumlar nedeniyle meydana gelebilecek yeni depremler öncesinde güçlendirilmeye ihtiyaç duymaktadırlar. Günümüze kadar araştırmacılar daha etkili, ekonomik ve pratik açıdan uygulanabilir güçlendirme sistemleri araştırmaya ve geliştirmeye çalışmışlardır. Yapılan bu araştırmalar incelendiğinde önemli bölümünün taşıyıcı olan veya olmayan duvarların çeşitli malzemeler (FRP, elyaf donatılı harç, çelik levhalar, çelik profiller, içi boş çelik kutular, çelik şeritler, çelik hasır ve donatılı püskürtme beton, çelik hasır ve tekstil donatılı horasan harcı, çelik lif katkılı harç ve beton şeritler) kullanılarak güçlendirmesi ile oluşmaktadır. Ancak yapılan veya önerilen bu güçlendirme yöntemlerinin uygulanma açısından zor ve maliyetli olması, bazılarının yangına karşı hassas olması, uygulama sırasında yapıların boşaltılması gibi durumlar gerektirdiği için kullanılmasını sınırlı kılmıştır. Bu çalışma kapsamında ise yığma (düşey delikli blok tuğla duvarlı) yapıların güçlendirilmesi, geri dönüşüm özelliği olan uygulaması kolay ve daha az maliyet gerektiren genişletilmiş çelik levhaların, bulon aralığının ve püskürtme betonun etkisi ele alınmıştır.

Mevcut çalışmada birisi referans beşi güçlendirilmiş olmak üzere toplam 6 adet deney elemanı diyagonal yüklemeye tabi tutularak elemanların dayanım ve davranışları incelenmiştir. Üretilen yığma blok tuğla duvarlar, iki taraflı olmak üzere genişletilmiş çelik levhalar yerleştirilerek bulonlar vasıtasıyla ankrajlanmış ve üzerine 30 mm yaş püskürtme beton uygulaması yöntemiyle güçlendirilmiştir. Deneyel çalışmanın değişken parametreleri olarak; bulon aralığı belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, genişletilmiş çelik levhalar ve püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmiş deney elemanlarının çekme gerilmelerinin büyük bir kısmının levhalar tarafından karşılandığı ve duvarlarda çekme gerilmesinden doğacak çatlamların önlendiği belirlenmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarında ankrajlanan bulonlar sayesinde sargılama basıncının olduğu, deney boyunca bu elemanlarda ani yük kaybı olmadan bir bütün şeklinde çalıştıkları ve numerik çalışma sonucunda kayma gerilmelerinin arttığı gözlenmiştir. Sonuç olarak “Genişletilmiş Çelik Levha + Püskürtme Beton” ile güçlendirilmiş yığma blok tuğla duvarların; yük taşıma kapasiteleri, rijitlik, süneklik, enerji dönüştürme kapasiteleri ve kayma gerilmelerinde yüksek artışlar meydana gelerek davranışlarının iyileştiği gözlenmiştir.

EXPERIMENTAL STUDY FOR IMPROVING THE BEHAVIOR OF THE MASONRY BRICK WALLS WITH THE DIAGONAL LOAD EFFECT

SUMMARY

Keywords: Masonry brick Wall, reinforcement, expanded steel plate, diagonal pressure loading, shear stress, shotcrete.

The large earthquakes, which have occurred in the past, resulted in collapse or severe damage to many buildings around the world, consequently caused significant economic losses and took many lives. Most of the built structures in turkey are masonry buildings. The foremost characteristic of these types of buildings is their load-bearing walls which are generally designed to resist vertical loads, building self-load, as well as lateral loads including earthquake-induced forces, wind, or similar dynamic loads. Generally, the structures are required to be retrofitted prior to a likely future earthquake because of the installation and manufacturing errors, poor inspections, modifications in building codes, changes in building usage proposes and etc. The researchers up to now have devoted their studies to develop more effective, economic, and applicable retrofitting methods. Based on the extensive review of the past studies, commonly different materials (FRP, fiber-reinforced mortar, steel plates, steel profiles, hollow steel boxes, steel strips, steel mesh, and reinforced shotcrete, steel mesh and textile reinforced mortar, steel fiber reinforced mortar and concrete strips) are used for the strengthening of load-bearing or infill masonry walls. However, the developed or recommended retrofitting methods are less applicable due to many reasons including difficulties in installation, being too costly, some of them are sensitive to fire, or evacuation of the buildings are required throughout the retrofitting process. In the scope of this study, the retrofitting of masonry (vertically perforated masonry brick walls) buildings are performed using expanded steel plates and shotcrete. Compared to the available methods, this method is less costly, easy to install, and the materials can be recycled.

In this study, a total of 6 experiment specimens, one of them as a reference and the other 5 strengthened, are selected and all of them are subjected to diagonal loading, accordingly their strength and behaviors are examined. The retrofitting process of developed masonry walls began with placing expanded steel plates on both sides of the walls, which were anchored by bolts, afterwards, the shotcrete with 30 mm thickness was applied on it. As the variable parameters of the experimental study; the distance between of the bolts were determined. As a result of the study, it was observed that a large part of the tensile stresses of the experimental elements, retrofitted with expanded steel and shotcrete, was craied out by expanded steel plates. In addition, cracking due to tensile stress on the walls was prevented. Furthermore, the confinement stress was developed on the strenghtned exprimental specimens, thanks to the anchored bolts, as well as these elements were functioned as a whole and there was no sudden loss in loadings during the whole exprimental process. It was shown that the shear stress was increased in the exprimental specimens as a result of numerical study. Consequently, a significant increase in rigidity, ductility, shear stress, load-bearing capacities and energy transformation of the masonry wall retrofitted with “expanded steel plate + shotcrete” was observed, indicating that their behavior are getting much better.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Deprem gibi doğal afetlerin yaşandığı zamanlarda, can ve mal kayıplarını en aza indirmek, depreme dayanıklı yapı tasarımında üzerine çalışılan önemli konulardan biri olmuştur. Deprem dayanımı ve güvenliği açısından ilk sırada yer alan yapılar; içinde yaşadığımız konut, hastane, işyeri ve kullandığımız diğer binalar olmaktadır. Bu tür yapılar, her ne kadar tasarım aşamasında üzerine etki edebilecek deprem yüklerini karşılayacak şekilde tasarlansalar da; işçilik hataları, inşaat ve imalat eksik ve kusurları, yönetmeliklerin değişmesi, denetim yetersizliği, yapıların kullanım amaçlarının değişmesi vb. durumlar nedeniyle güçlendirilmeye ihtiyaç duymaktadırlar.

Güçlendirme; hasar görmemiş bir yapıyı ya da yapı elemanını yönetmeliklerce belirlenmiş geçerli bir güvenlik düzeyine çıkarmak için yapılan işlemler bütünü olarak tanımlanabilir. Literatürde genel olarak yapıların güçlendirilmesi, güçlendirmenin uygulandığı alana göre ikiye ayrılmıştır;

1.1. Taşıyıcı Sistem Güçlendirmesi

Bu yöntem yapının bir bütün olarak depreme karşı dayanımının ve davranışının iyileştirilmesi için kullanılır. Bu yöntem de kendi içerisinde;

- a. Düşey taşıyıcı elemanların güçlendirilmesi, örnek olarak; tüm kolonların güçlendirilmesi veya perdelerin güçlendirilmesi

- b. Sisteme yeni elemanlar eklenmesi: örnek olarak; kolonlar arasına çelik çapraz eklenmesi veya çerçevedeki bazı dolgu duvarları boşaltılıp yerine betonarme perde eklenmesi,
- c. Betonarme yapılarda mevcut ama taşıyıcı olmayan duvarların, yığma yapılarda ise taşıyıcı olan bu duvarların çeşitli güçlendirme malzemeleri ile güçlendirilmesi örnek olarak; FRP (Lifli Polimer), CFRP (Karbon Lifli Polimer), GFRP (Cam Lifli Polimer), genişletilmiş çelik levhalar, delik çelik levhalar, çelik hasır, püskürtme betonu, epoksi reçinesi ve benzeri ile güçlendirilmesi,

olarak sınıflandırılabilir.

1.2. Eleman Güçlendirmesi

Bir yapı elemanının bağımsız olarak güçlendirmesine dayalı bir yöntemdir. Bu yöntemde; Örnek olarak yapının düşey taşıyıcıları tek tek analiz edilerek depreme karşı dayanımı yetersiz veya risk taşıyan elemanlar, özellikle yetersiz kolonlar, etrafına ankraj edilen donatılar ile üzerine beton manto giydirilerek güçlendirme işlemi yapılmaktadır.

1.3. Çalışmada Kullanılacak Yöntemin Belirlenmesi

Bu iki yöntem arasında; uygulama açısından en kolay, en hızlı uygulanabilen yöntem, sistem güçlendirmesi olmakla beraber, daha hassas işçilik ve malzeme gerektirdiği için uygulaması zor, maliyetli ve zaman alıcı yöntem eleman güçlendirmesi yöntemi olmaktadır. Bu yöntemin maliyetini düşürmek, yaygın olarak kullanımını sağlamak için literatürde eleman güçlendirmesi üzerine farklı uygulamalar geliştirilmiştir. Mevcut çalışmada yığma tuğla duvarların güçlendirilmesi söz konusu olduğu gerekçeyle sistem güçlendirmesi üzerine çalışılmıştır.

Genel olarak yatay karakterli yükler etkisi altında bir bütün olarak davranan ve taşıyıcı sistemi kiriş ve kolondan oluşan çerçeve tipi yapılarda sistem güçlendirmesinde daha çok kolon ve kiriş elemanları üzerine yoğunlaşılırken, ağırlıklı olarak düşey karakterli yüklerin güvenli bir şekilde karşılanması esasına dayalı olarak inşa edilen yapılarda ise ikincil taşıyıcı eleman olarak rol oynayan yığma duvarların güçlendirilmesi üzerine yoğunlaşmıştır.

18. yüzyılda betonarme yapının keşfi ve 19. yüzyılda betonarme yapı inşa oranındaki artışa rağmen, geçmişten bugüne dünya genelinde yığma yapılar, yapı stoğunun büyük bir kısmını oluşturmaktadırlar. Yığma yapıların en büyük özelliği duvarların taşıyıcı eleman olarak tasarlanması olup, bu duvarların düşey statik yüklerle beraber deprem, rüzgâr ve benzer nedenlerden oluşan yatay dinamik yükleri de karşılamaları gerekmektedir. Ayrıca betonarme binalarda, duvarlar taşıyıcı olarak tasarlanmamalarına rağmen binanın dayanımına, sünekliğine, yatay ötelenme rijitliğine, deprem enerjisinin sönmelenmesine ve depreme karşı hasar görmemesine önemli katkıları olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY, 2018)'de belirtildiği gibi binalarda B tipi düzensizliklerde yumuşak kat ve zayıf kat davranışlarının duvarlarla ilişkili olduğu bilinmektedir.

1.4. Amaç ve Kapsam

Yapı dayanım ve davranışında bu denli etkin olan duvarların güçlendirilmesi ile depreme karşı daha dayanıklı yapılar inşa edilebileceği düşünülerek, bu çalışmada yığma blok tuğla duvarların güçlendirilmesi konusu ele alınmıştır.

Literatürde yapılan inceleme ve araştırmalar ile duvarların güçlendirmesi için pek çok farklı yöntem ve malzemelerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Güçlendirme malzemesi olarak lifli kumaş türlerinin kullanımının yaygın olduğu ve bu kumaşların farklı şekiller ve yöntemler ile yapıştırılması ile yapılan güçlendirmelerin en yaygın güçlendirme türü olduğu görülmüştür. Lifli kumaş kullanılarak yapılan güçlendirmelerin olumlu yönleri olduğu gibi Türkiye gibi bazı ülkelerde uygulama maliyetinin yüksek olması, lifli kumaşları epoksi ile uygulandığı için yangına karşı

hassas olması ve bunların yanı sıra gevrek bir güçlendirme yöntemi olması gibi negatif yanları da bulunduğu için bu yöntemin uygulanmasını sınırlı kılmıştır. Bu çalışmada; sünek, kolay temin edilebilen, kolay işlenebilir özelliği olan, maliyeti diğer güçlendirme yöntemlerine göre daha uygun olan genişletilmiş çelik levhalar, püskürtme beton ile yığma tuğla duvarların güçlendirilmesi ele alınarak, bu güçlendirme tekniğinin söz konusu duvarların performansları üzerine etkisi araştırılmıştır.

Genişletilmiş çelik levhaların tuğla duvarların davranışına aşağıda açıklanan şekilde iki açıdan katkı sağlaması beklenmektedir;

- a. Genişletilmiş çelik levhaların duvarların çekme dayanımını iyileştirmesi, çekme gerilmelerinden oluşan yatay ve düşey çatlakların genişlemesini önlemesi.
- b. Genişletilmiş çelik levhalar duvarın her iki tarafına bulonlar ile ankraj edildiği için, yükleme etkisi altında duvarı sargılayarak ani göçme ve dağılmaları önlemesi, basınç dayanımını, rijitlik, süneklik, kayma gerilmelerini ve enerji dönüştürme kapasitelerini arttırması.

Güncel uygulamada yığma yapı güçlendirme uygulaması olarak kullanılan en yaygın yöntem hasır çelik donatı üzerine yapılan püskürtme beton uygulaması olup, literatürde genişletilmiş çelik levha ve delikli sac levha yönteminin kullanıldığı çalışmalarda, güçlendirilen duvar yüzeylerinde sadece sıva kullanılmış olması, bizi bu çalışmada “*Genişletilmiş Çelik Levha + Püskürtme Beton*” farklı bulon aralıklarıyla bağlanmalarını dikkate alarak çalışmaya ve bu birlikteliğin duvar dayanımına katkısını araştırmaya sevk etmiştir.

“*Genişletilmiş Çelik Levha + Püskürtme Beton*” uygulamasında, genişletilmiş çelik levhalarda bulunan deliklerin, duvar ve püskürtme betonu arasında daha fazla aderans yüzeyi sağlayarak genişletilmiş çelik levha ve duvarlar, bulonlar vasıtasıyla bütün

olarak çalışarak üzerine gelen yük etkilerine karşı daha yüksek bir performans sergileyeceği düşünülmüştür.

Bu amaçla; çalışmada 1 adet referans, 5 adet “*Genişletilmiş Çelik Levha + Püskürtme Beton*” ile güçlendirilmiş olmak üzere toplam 6 adet deney elemanı üretilmiştir. Güçlendirilmiş deney numunelerinden birisi (MBWS 2,0-200) deneme elemanı, diğer dördü (MBWS 3,0-100, MBWS 3,0-150, MBWS 3,0-200, MBWS 3,0-400) ise deney ana elemanları olarak tasarlanıp, güçlendirmede kullanılan bulon aralığının, söz konusu güçlendirilmiş deney elemanlarının davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

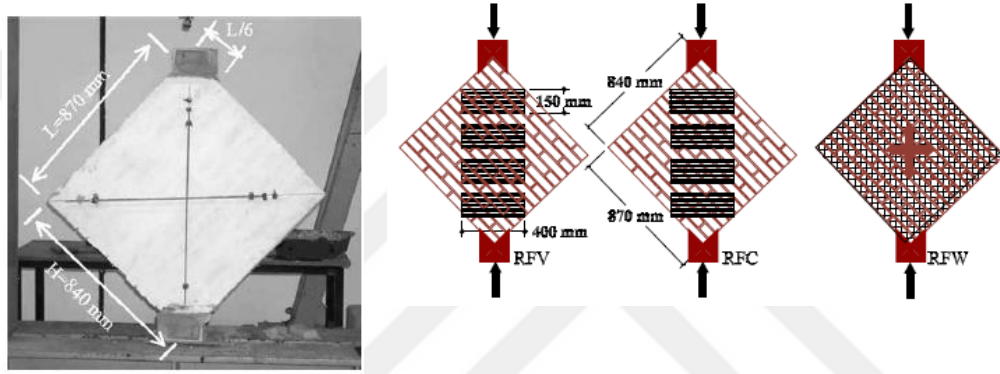
Uzun yıllardan beri duvarların yapı deprem davranışına katkı sağlayabilmesi, duvarların sünek davranması ve özellikle betonarme perdelerin davranışlarına yakın davranış sergileyebilmelerini sağlamak için güçlendirilmeleri ile ilgili olarak deneysel ve kuramsal çalışmalar devam etmekte olup, bu amaç doğrultusunda her dönemin imkanlarına ve teknoloji olanaklarına göre çeşitli güçlendirme yöntemleri, güçlendirme malzemeleri ve güçlendirme teknikleri ortaya çıkmıştır. Geliştirilen bu yöntemlerden bazıları (FRP, elyaf donatılı harç, çelik levhalar, çelik profiller, içi boş çelik kutular, çelik şeritler, çelik hasır ve donatılı püskürtme beton, çelik hasır ve tekstil donatılı horasan harcı, çelik lif katkılı harç ve beton şeritler) ile güçlendirme özet olarak aşağıda sırayla açıklanmıştır.

2.1. FRP (Lifli Polimer) ile Güçlendirme

Lifli polimer ile güçlendirme yönteminde duvarların tek veya iki yüzüne lifli polimerler çeşitli biçimlerde yapıştırılarak güçlendirme gerçekleştirilmektedir. Bu güçlendirme yönteminde duvarların bir bütün şeklinde çalışması, sünekliğinin, kayma gerilmesinin, taşıma gücü kapasitesinin ve yatay yüklere karşı yanal rijitliğinin artması hedeflenmiştir.

Anania ve diğ. (2013), yaptıkları deneysel çalışmada kalkerli duvar panellerini, CFRP ile güçlendirerek düzlem dışı davranışını incelemişlerdir. Referans numunesi ve CFRP ile güçlendirilmiş numuneleri düşey yük altında yatay tersinir tekrarlanır yüke tabi tutarak, duvarların kayma ve basınç dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda güçlendirilmiş numunenin düzlem dışı sapmasında referans numunesine göre düşüş, elastik dayanımında referansa göre 7 kat artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Gabor ve diğ. (2018), bir tanesi referans üç tanesi FRP ile güçlendirilmiş numunelerden oluşan 4 lü deney matrisini oluşturmuşlardır. Referans ve 3 tip FRP kompozit ile güçlendirilmiş duvardan oluşan deney numunelerinin hem deneysel hem de sonlu elemanlar programı (ANSYS) kullanarak diyagonal yükleme altındaki davranışını araştırıp sonuçları karşılaştırmışlardır. Güçlendirilmiş numunelerin dayanımlarının ve deformasyon kapasitelerinin referans numuneye göre üç kat daha artış gösterdiğini, güçlendirilmiş numunelerin elastik ve sünek davranış kabiliyetlerinin referans numunesine göre daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Resim 2.1.'de referans ve güçlendirilmiş deney elemanları verilmiştir.



Resim 2.1. Gabor ve arkadaşlarının (2018) çalışmalarındaki referans ve güçlendirilmiş numuneler

Saghafi ve diğ. (2014), yaptıkları çalışmada 4 adet panel duvar üzerinde iki farklı kalınlıkta (2 mm, 4 mm) CFRP kullanarak, iki panel duvarda CFRP şeritleri duvarın her iki yüzeyine ve 4 köşesinde birbirini 90 derece kesecek şekilde, diğer iki panel duvarda ise yine duvarın her iki yüzeyine CFRP şeritleri düşey yönde birbirine paralel olacak şekilde yerleştirerek güçlendirme yapmışlardır. Güçlendirilmiş deney numunelerini aynı anda yatay ve düşey yüklere tabi tutarak davranışlarını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda; kullanılan iki yöntemden, 4 köşesinde birbirini 90 derece kesecek şekilde CFRP ile güçlendirme yönteminin daha iyi bir performans sergilediğini, diğer yöntemle oranla taşıma gücünde ve sünekliğinde artış olduğunu saptamışlardır.

Onar (2007) çalışmasında; yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların CFRP ile güçlendirilmesini incelemiştir. Bunun için 19cm × 9cm × 5cm boyutlarındaki harman tuğlaları 9,5cm × 4,5cm × 2,5cm boyutlarında keserek model tuğlalar oluşturmuş ve

bu tuğlalardan $19,5 \times 17,5 \times 4,5$ cm boyutlarında duvar numunelerini 0,5 cm derz aralığı bırakarak örmüştür. 3 seri şeklinde tasarlanan toplam 36 adet deney numunesi; her seriden 6 numuneyi referans numunesi olarak belirlemiş ve bu numunelere güçlendirmeden önce hasar verip tekrar epoksi ile onararak incelemiştir. Diğer numuneleri ise hasarlı ve hasarsız numuneler olarak ayrı iki grupta halinde incelemiş ve bu gruptaki tüm elemanların onarım ve güçlendirmesinde CFRP kullanmıştır. Tüm deney numunelerini diyagonal basınç yüküne tabi tutmuştur. Çalışma sonucunda çift taraflı dokuma CFRP ile güçlendirilen duvarların dayanımı, taşıma gücü kapasitesi, sünekliği ve enerji yutma kapasitesinin daha yüksek çıktığını vurgulamıştır.

Öztaş (2009) çalışmasında; mevcut bir binayı bilgisayar ortamında modelleyip, iki farklı güçlendirme tekniği ile model binanın güçlendirmesini simüle edip, analiz ederek sonuçlarını karşılaştırmıştır. Binanın mevcut durumunu bilgisayar programı kullanarak analiz etmiş, daha sonra belli yerlere güçlendirme perdeleri ekleyerek yapıyı tekrar analiz etmiştir. Son çalışmasında ise; eklediği perdeleri kaldırıp yerine duvarları cam lifli polimerler (GFRP) ile güçlendirerek yapıyı 3. kez analiz etmiştir. Çalışma sonucunda betonarme perdelerle güçlendirilmiş yapının, mevcut yapı arasındaki yer değiştirmelerde X doğrultusunda 4 kat Y doğrultusunda ise 9 kat azalma oluşmuştur. GFRP ile güçlendirilmiş yapının mevcut yapı arasındaki yer değiştirmelerde ise X doğrultusunda 1,5 kat Y doğrultusunda ise 4 kat azalma olduğunu gözlemlemiştir.

2.2. Elyaf Donatılı Harç (FRM) ile Güçlendirme

Güçlendirme işlemi esnasında yapı elemanına lifli polimerlerin yapıştırılmasında kullanılan epoksi reçinesinin yangına karşı hassas olmasından dolayı, özellikle tarihi yapıların güçlendirilmesinde, içinde lifli polimer dokumaların donatı malzemesi olarak kullanıldığı harçların (FRM) kullanılması gündeme gelmiştir. Harçlarda donatı malzemesi olarak kullanılan bu dokumalar, 0 ile 90 derece polimer liflerin birleşiminden oluşmaktadır. Son yıllarda, çok önemli tarihi yapıların yer aldığı dünyanın farklı yerlerinde özellikle Avrupa ülkelerinde FRM ile güçlendirme yöntemi birçok araştırmada ele alınmıştır.

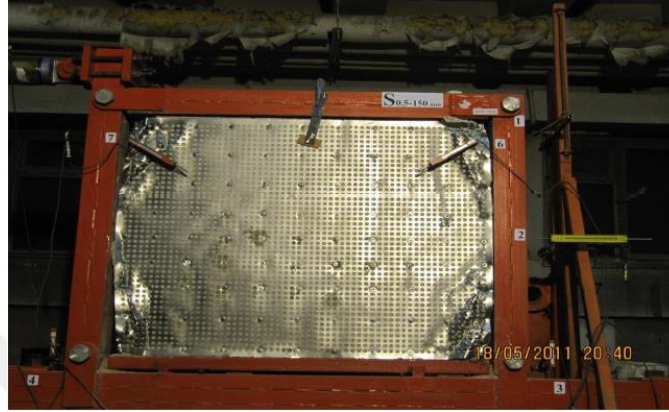
Kabir ve Kalali (2012), yaptıkları çalışmada, boşluklu yığma duvarların cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirmiş ve periyodik (çevrimsel) yük altında davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmalarında 1/2 ölçekli, biri referans, beşi her iki yüzeyi de deprem yüklerine karşı cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirilmiş deney elemanları olmak üzere toplam 6 adet boşluklu tuğla duvarlar, kullanarak güçlendirilmeden önce ve sonraki çevrimsel davranışlarını incelemişlerdir. Deney elemanları çimento harcı ve katı kil tuğlalardan oluşmuş, duvarların ortasında bir pencere boşluğu bırakılmış şeklinde inşa edilmiştir. Güçlendirilmiş numunelerden biri deneye tabi tutulup hasar verilip, daha sonra sismik hasar görmüş deney elemanı cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirme yapılarak tekrar deneye tabi tutulmuştur. Deney numunelerin tamamı, sabit yük altında test edilmiş olup, yük kademeli artan ve düzlem içi şeklinde yüklenmiştir. Cam elyaf takviyeli polimerler (GFRP) ile güçlendirilmiş, tuğla duvarın enerji dönüştürme ve deplasman kapasiteleri önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir. GFRP ile güçlendirilmiş deney elemanların basınç dayanımı, güçlendirilmemiş deney elemanlarına göre yaklaşık 2 kat artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

2.3. Çelik Levhalar ile Güçlendirme

Bu yöntem lifli polimer yöntemlerine göre daha sünek ve yangına karşı nispeten daha dayanıklı bir güçlendirme yöntemidir. Bu yöntemin duvarların ötelenme rijitliğini, sünekliğini ve duvarın bütünlüğünü artıracakı düşünülmektedir.

Babayani (2012) çalışmasında; birisi referans 12'si delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş sıvalı tuğla duvarlar olmak üzere toplam 13 adet deney elemanını dört köşesi mafsallarla bağlanmış çelik çerçeve içerisinde tersinir tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Bu çalışmada; delikli çelik levha kalınlığının, bulon aralığının ve köşelerin ezilmemesi için alınan çeşitli önlemlerin, duvarların dayanım, rijitlik, enerji dönüştürme kapasitesi ve süneklikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda; referans numunesi ile karşılaştırdığında, güçlendirilmiş numunelerin yanal ötelenme dayanımında 1-3 kat artış meydana gelirken, kat ötelenme oranlarında ise önemli bir dayanım kaybı olmadan %10'luk değerlerine ulaştığını saptamıştır. Ayrıca

yanal rijitlikte referansa göre 2 kat ve enerji dönüştürme kapasitesinde ise 5-10 kat artış gözlemlenmiştir. Bulon aralıkları duvar davranışında etkili olmuş, bulon sayısı sık olan numuneler daha iyi bir davranış göstermiştir. Aşağıda Resim 2.2.'de deney sonu hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 2.2. Babayani (2012) deney elemanın deney sonrası hasar durumu

Özbek (2015), Babayaninin çalışmasının devamında sıvalı tuğla duvarlar üzerinde iki farklı kalınlıkta farklı bulon aralığı ve betonarme çerçeveye bağlanma durumuna göre 14 adet numuneyi tersinir tekrarlanır yatay yük altında test ederek yaptığı çalışmada dolgu duvarların betonarme çerçeve ile birlikte etkisini irdelemiştir. Çalışma sonucunda standart duvarların %2,5 ötelenme olan sınırı delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş numunelerde %7,5'ten büyük değerlere çıktığı taşıma gücünde ise 1,5-2 kat arasında bir artış olduğunu gözlemlenmiştir. Aynı işlemi analitik olarak da hesaplayarak deneysel sonuçlar ile yakınsaklığını göstermiştir. Bu çalışmada koşelerde standart önlemler alındığı için bulon aralığının dayanıma, rijitliğe veya enerji dönüştürme kapasitesine önemli bir etkisi olmadığını gözlemlenmiştir. Aşağıda Resim 2.3.'te deney düzeneği gösterilmiştir.



Resim 2.3. Özbek (2015) Yaptığı deney düzeneği ve köşelerde alınan önlemler

Cumhur (2016), yaptığı tez çalışmasında; referans ve güçlendirilmiş numuneler olmak üzere toplam 30 adet deney elemanını diyagonal yük altında test etmiştir. Yapılan güçlendirmelerin, genişletilmiş çelik levhaların konumuna (tuğla duvar üzerine, kaba sıva üzerine ve bitmiş ince sıva üzerine), kalınlığına ve bulon sayısına göre etkisini incelemiştir. 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, öte yandan bulon aralığının duvarların taşıma gücüne katkısı çelik levhalara nazaran daha fazla olduğunu göstermiştir. Bu çalışmayı analitik olarak da hesaplayarak sonuçların birbirine yakın çıktığını göstermiştir. Aşağıda Resim 2.4. 'te R2 (referans) ve FP3,0-100 güçlendirilmiş deney elemanlarının deney sonu hasar durumları verilmiştir.



(a) R2 deney elemanı



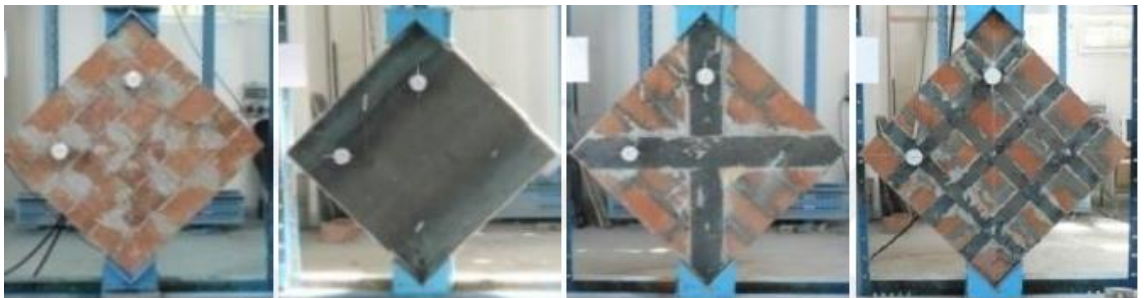
(b) FP 3,0-100 deney elemanı

Resim 2.4. Cumhur (2016) referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarının genel hasar durumu

Aykaç & Böcek (2017), 8 adet numune üzerinde yaptıkları çalışmada referans ve delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş numuneleri betonarme çerçevede, depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yüklemeler altında test etmişlerdir. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş yapı elemanlarında, dayanımda önemli bir kayıp olmadan %7'lik ötelenme oranlarına ulaşmıştır. Ayrıca dayanım veya hasar açısından da bu yöntem can ve mal güvenliğini önemli derecede arttıracaklarını göstermişlerdir.

Koprman, Özgedik ve diğ. (2018), yayınladıkları makalede; 4 adet boşluklu tuğla duvarı çelik elemanlarla güçlendirerek eksenel basınç yük etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Çalışma sonucunda çelik levhalarla yüzeyleri kaplanmış olan numuneler, şerit halinde veya çapraz şeklinde güçlendirilmiş olan numunelerle taşıma güçleri birbirine yakın olduğu ama referans numunesine göre %142 daha yüksek çıktığını göstermiştir. Enerji tüketme kapasitesi ise %552-576'a kadar artmıştır.

Özmen (2018), yaptığı çalışmada; 30 adet farklı malzemelerden (boşluklu tuğla, dolu harman tuğla ve gaz beton)'den duvarlar örerek çelik levhalarla, dikey ve yatay çelik şeritler ve çapraz çelik şeritlerle güçlendirerek duvarların kesme dayanımlarını test etmiştir. Sonuç olarak güçlendirilmiş numunelerin referanslara göre, deplasman kapasiteleri, enerji tüketme kapasiteleri ve taşıma gücü kapasiteleri çok yüksek olduğunu göstermiştir. Güçlendirme desenleri arasında taşıma gücü açısından önemli bir fark olduğunu gözlemlememiştir. Resim 2.5.'te deney düzeni verilmiştir.



Resim 2.5. Özmen (2018) boşluklu tuğla duvar referans ve güçlendirme biçimleri

Seydanhoğlu (2013), delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş numuneler üzerinde diyagonal yük altında levha kalınlığının ve bulon aralığının etkisini incelemiştir. Çalışma sonucunda sac levhalarla güçlendirilmiş duvarların basınç dayanımları %30-

%160 arasında arttığı göstermiştir. Ayrıca bu güçlendirme işlemi; numunelerin enerji dönüştürme kapasitelerini de referans numunelere göre 3-14 kat arasında artırmıştır. Bu çalışma sonucunda; eleman davranışında en önemli faktörün bulon aralığının değişmesi olduğunu ifade etmiştir. Elemana yerleştirilen bulon aralığının değişmesi; eleman sünekliliğine ve enerji dönüştürme kapasitesine etkisinin %26'dan-%66'e kadar çıktığını gözlemlemiştir.

2.4. Çelik Profillerle Güçlendirme

Bu yöntemin amacı düşük maliyetli, kolay uygulanabilir ve yapıda yaşayanlara fazla rahatsızlık vermeyerek yapılan bir güçlendirme tekniği olarak geliştirilmiştir.

Can ve ark. (2012), yaptıkları çalışmada 6 adet numune üzerinde tersinir yatay yük altında çelik profillerin ve çaprazların köşesindeki bayrak levhalarının dayanım, enerji tüketimi ve rijitlik açısından etkisini incelemiştir. Deneysel çalışmanın sonucunda; çelik profil ve kullanılan üçgen levhaların büyüklüğü ve iki taraflı olması, dayanıma ve rijitliğe katkı sağladığını gözlemlemiştir. Ayrıca çelik profillerle güçlendirilmiş numuneler; referans numuneye göre dayanımı 3,5 kat, rijitliği ise 3 kat artış olduğunu ifade etmişlerdir.

2.5. İçi Boş Çelik Kutular ile Güçlendirme

Ezz-Eldeen & Elsamny (2017), yaptıkları çalışmada 6 adet ortasında delikler olan güçlendirilmemiş duvarı düşey statik üniform yüklemeye tabi tutarak, referans numunesi çökene kadar, diğer numuneler ise %80 taşıma gücünü kaybedene kadar yüklemeye devam ederek dayanım ve rijitliklerini incelemeye çalışmışlardır. Hasar görmüş numunelerin iki tanesi içi boş çelik kutular ile güçlendirilirken diğer üç numunesi ise iç kenarları L şeklinde levhalarla rijitleştirilmiş çelik kutularla güçlendirilerek tekrar yükleme yapmışlardır. Çalışma sonucunda sadece çelik kutularla güçlendirilmiş numunelerin dayanımı referansa göre taşıma güçleri %46,67 artarken, L şeklinde levhalarla rijitleştirilmiş kutularla güçlendirilmiş numunelerin taşıma güçlerinde ise %66,06 artış meydana gelmiştir. Yapılan çalışmanın sonunda uygulanan

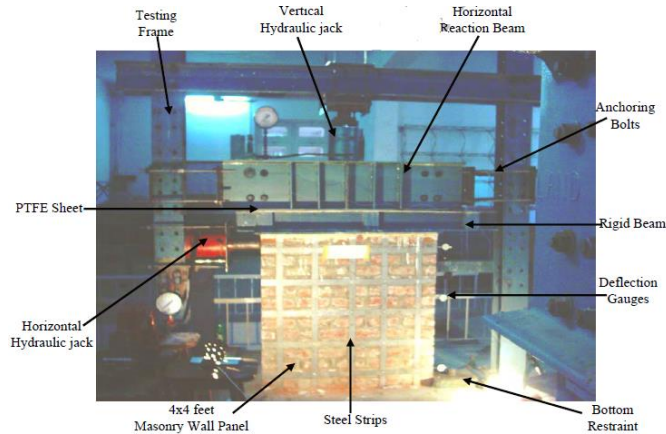
güçlendirme türünün rijitliğe çok önemli bir etkisi olmadığını ifade etmişlerdir. Resim 2.6.'da deney düzeneği gösterilmiştir.



Resim 2.6. Elz Eldeen ve arkadaşları (2017) duvar güçlendirme ve yükleme biçimleri

2.6. Çelik Şeritlerle Güçlendirme

Farooq ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada 8 adet tuğla duvarı bulon vasıtasıyla ankraj edilen çelik şeritlerle güçlendirerek basınç dayanımını test etmek için düşey statik yüke, kayma direncini test etmek için ise yanal yüke tabi tutmuşlardır. Deney sonucunda çelik şeritler duvarın basınç dayanımına katkısı %12-%26 arasında bir değişkenlik göstermiştir. Ayrıca çelik şeritlerin duvar sünekliğine katkısı olduğunu da gözlemlemişlerdir. Diğer yandan çelik şeritlerin duvarın kayma direncini artırdığı, kayma direncine yatay ve düşey şeritlerin neredeyse eşit katkı sağladıklarını göstermişlerdir Resim 2.7.'de deney düzeneği verilmiştir.



Resim 2.7. Farooq ve arkadaşları (2006) yaptığı çalışmada deney düzeneği ve güçlendirme şekli

2.7. Çelik Hasır ve Donatılı Püskürtme Beton ile Güçlendirme

Yiğit Yedek (2013), tez çalışmasında, 2 adet sıvalı yalın tuğla duvar ve 2 adet hasır çelik donatılı üzerine 5cm kuru karışım püskürtme beton uygulamasıyla güçlendirilmiş numuneler tersinir yük altında test edilmiştir. Deney sonucunda güçlendirilmiş numuneler yalın numunelere göre taşıma güçlerinde 6 kata yakın bir artış gözlemlenmiştir. Bu çalışma sonucuna dayanarak bu yöntemin mevcut olan yığma yapılara uygulanabileceği öne sürülmüştür.

Ateş (2013), tarafından yapılan çalışmada tuğla duvar numunesi; çift yüzölümlü hasır donatılı yaş yöntemi uygulanmıştır. Püskürtme betonu ile güçlendirilen numune tersinir tekrarlanır yük altında test edilmiştir. Daha önce (Kanit, 2005) ve (Kalkan, 2008) yaptıkları çalışmalarda yalın ve tek yüzölümlü hasır donatılı püskürtme betonu ile güçlendirilmiş numuneleri tersinir tekrarlanır yükler altında test ederek incelemiştir. Bu çalışmanın sonucu diğer çalışmaların sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Deney sonucunda deney elemanının rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitesinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Resim 2.8.'de güçlendirme ve deney sistemi verilmiştir.



Resim 2.8. Ateş (2013) numunenin hazırlanması ve deney düzeneği

Kılıç (2012), yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında; iki katlı 5 adet betonarme çerçeve üreterek birisi boş birisi referans numunesi diğer üçü ise hasır çelik donatılı özel sıva ile güçlendirilmiş numunelerden doldurmuştur. Birinci duvar numunesinde 1 sıra hasır çelik üzerinde 15mm sıva kullanırken, ikinci ve üçüncü duvar numunelerinde ise sıva kalınlığı 30 mm'ye çıkarmıştır. Hazırlanan numuneleri tersinir tekrarlanır yük altında test ederek performanslarını irdelemiştir. Deney sonucunda kayda değer bir sonuç

alamamıştır. Bunun nedeni olarak duvarların çerçeve ile bağlantısının düzgün olmaması kiriş ve kolon donatılarının kenetlenme boylarının yetersiz olması olarak yorumlamıştır.

Kaya (2013), yaptığı çalışmada 2 adet yalın duvar numunesi ve 2 adet yığma duvar numunesi üzerine 100 mm kalınlığında 9 kg/m³ polipropilen lif katkılı kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirme yaparak toplam 4 adet deney elemanı üretmiştir. Güçlendirilmiş duvar numunelerinin yük-yer değiştirmeleri, çatlak şekilleri, kırılma biçimleri ve kırılma yüklerini incelemiştir. Çalışmanın sonucunda polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmiş deney elemanları güçlendirilmemiş elemanına göre taşıma gücü yükü, çekmede % 592-515, itmede % 362-310 artış göstererek taşıma gücü yaklaşık 5 kat arttığını göstermiştir.

Kahn (2015), Yaptığı çalışmada içerisinde donatı bulunan püskürtme beton ile güçlendirmenin donatısız tuğla duvarların davranışları üzerindeki etkilerini araştırmak için 17 tane tuğla paneli diyagonal basınç yükü altında test etmiştir. Çalışmada, duvar yüzeyinin ıslak veya kuru olmasının, epoksi ile kaplanmasının ve duvar yüzeyinde bağlantı ankrajlarının bulunmasının numunelerin davranışı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda; püskürtme beton ile duvar arasındaki bağlantı ankrajlarının bulunmasının veya duvar yüzeyinin epoksi ile kaplı olmasının, püskürtme beton ile güçlendirme yönteminin etkinliğini önemli bir derecede etkilemediğini gözlemlemiştir. Ayrıca, güçlendirilmiş duvarın kesme dayanımının, püskürtme beton ve içerisindeki donatı tarafından sağlandığı ve duvarın kendi kesme dayanımının güçlendirilmiş duvarın kesme dayanımına fazla katkısının olmadığını da göstermiştir.

Elgawady (2006), çalışmasında ½ ölçekli tuğla duvarları çelik hasır donatılı püskürtme beton kullanarak güçlendirip, eksenel ve yanal yükler altında test etmiştir. Deneyler, belirli bir miktar hasır donatıyı duvarın tek yüzünde kullanmak yerine iki eşit parça halinde iki yüzde de kullanmanın, duvarın enerji dönüştürme ve yer değiştirme kapasitelerine çok büyük ölçüde katkıda bulunduğunu gözlemlemiştir.

2.8. Çelik Hasır ve Tekstil Donatılı Horasan Harcı ile Güçlendirme

Alhan Şimşek (2018), çalışmasında dolu harman tuğlaları, çelik hasır ve geri dönüşüm özelliği olan tekstil donatılı horasan harcı kullanılmıştır. Çalışmada 42 adet numune üzerinde deney parametreleri; donatılı ve donatısız horasan harcı, tek taraflı ve çift taraflı güçlendirme, hasarlı ve hasarsız güçlendirme, cam lif, çelik lif ve güçlendirmede kullanılan donatı türü olarak belirlenerek diyagonal yük altında test edilmiştir. Sonuç olarak çelik hasır donatılı horasan harcı ile güçlendirilen tuğla duvarların taşıma yükleri ve kayma gerilmeleri en çok artış gösteren numuneler olarak belirlenmiştir.

2.9. Çelik Lif Katkılı Harç (SFRM) ile Güçlendirme

Leeanansaksiri ve ark. (2018), tarafından yapılan çalışmada; genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş duvarların, tersinir tekrarlanır yükleme altında betonarme çerçevelerin davranışları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, deprem yükü için tasarlanmamış üç katlı betonarme bir binadan bir çerçeve seçilmiştir. Betonarme boş çerçeve, tuğla duvarlı dolu çerçeve ve genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş duvar ile dolu çerçeve olmak üzere, üç deney elemanı hazırlanmıştır. Deney sonucunda güçlendirilmiş elemanın referans elemana göre yanal mukavemeti %25, ilk yanal rijitliği %26 ve enerji dönüştürme kapasitesinde, %27 lik bir artış görülmüştür. Güçlendirilmemiş duvarın referans elemana göre yük taşıma kapasitesinin ve yatay yük kapasitesinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş numunelerin, enerji dönüştürme kapasiteleri, referans elemanına göre sırayla; 5 ve 6 katı kadar artış gözlenirken, yük kapasitelerinde referans elemanına göre önemli artışlar olduğu görülmüştür.

2.10. Beton Şeritler ile Güçlendirme

Beton şeritler kullanılarak yapılan güçlendirmedeki amaç diğer çalışma yöntemleri gibi dolgu duvarları daha rijit bir hale getirmek ve depreme karşı dayanımını artırmaktır.

Baran ve ark. (2013), yaptıkları çalışmada sıvanmış duvarların üzerine beton paneller ekleyerek tersinir tekrarlanır yatay yük altında test etmişlerdir. Deney değişkenleri olan bulon sayısı ve beton panellere hasır donatısı eklenmesinin etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda beklendiği gibi bulon sayısı fazla olan ve kalın olan hasır donatılı beton panellerin taşıma gücü ve dayanımı daha yüksek olduğunu göstermişlerdir.

Genel olarak Türkiye gibi ülkelerde şehir merkezlerinden uzak ve düşük gelirli insanların yaşadığı alanlarda var olan veya inşa edilen yapıların büyük bir kısmının yığma yapılar olmasından dolayı, yapılan ve geliştirilen tüm bu güçlendirme yöntemlerinde (FRP, elyaf donatılı harç, çelik yapı elemanları, çelik profiller, içi boş çelik kutular, çelik şeritler, çelik hasır ve donatılı püskürtme beton, çelik hasır ve tekstil donatılı horasan harcı, çelik lif katkılı harç ve beton şeritler) ile güçlendirmede kullanılan malzemelerin; süneklik, rijitlik, ve dayanım kapasitesine katkı sağlamasının yanı sıra özellikle uygulanan güçlendirmenin maliyeti ve uygulama kolaylığı hayati önem arz etmektedir. Görüldüğü gibi literatürde daha çok dolgu duvarların veya eleman güçlendirmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu bilgiler ışığında yığma yapılarda kullanılan düşey delikli blok tuğla duvar “*Genişletilmiş Çelik Levha + Püskürtme Beton*” ile güçlendirilmesi ön plana çıkmıştır. Söz konusu bu güçlendirme yönteminin uygulama açısından daha hızlı olması ve uygulama sırasında yapıların boşaltılmasını gerektirmemesi nedeniyle daha az maliyetli ve aynı zamanda dayanım açısından önemli bir rol oynamasından dolayı bir ihtiyaç olarak görülmüştür.

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deney Programı

Tüm deney elemanlarının laboratuvarında üretildiği, çerçeveye ve deney sistemine kolayca yerleştirilebilmesi, güçlendirme sisteminin daha rahat ve düzgün yapılması, deneyde kullanılan ölçüm aletlerinin yeterli kapasitelere sahip olabilmesi için deney elemanlarının boyutları 1000×1000 mm olarak seçilmiştir. Bu çalışmada piyasada mevcut olan (290 × 190 × 135 mm) ebatlarında olan düşey delikli blok tuğla (yığma tuğla), (54×26 mm) delik açıklığı, 2 mm ve 3 mm sac kalınlığı olan genişletilmiş çelik levhalar, beyaz çimento ve ince kum ile oluşan püskürtme betonu kullanılmıştır. Üretilen numuneler referans ve güçlendirilmiş numunelerden ibaret olup diyagonal statik yüklemeye tabi tutulmuştur. Deney elemanlarının özellikleri aşağıda Tablo 3.1.'de verilmiştir. Çalışmanın deney parametresi olarak; güçlendirmede kullanılan bulon aralıkları belirlenmiştir. Bu parametrenin deney numunelerinin performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tablo 3.2.'de deney elemanlarına verilen indislerin açılımları aşağıda Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Deney elemanların indislerinin açılımları

İndisler	Açılımları
RS	Reference Shotcrete = Referans Püskürtme Beton
MBWS	Masonry Brick Wall Shotcrete= Yığma Tuğla Duvar Püskürtme Beton
2,0-200	Genişletilmiş çelik levha kalınlığı 2 mm, bulon aralığı 200 mm
3,0-100, 150, 200, 400	Genişletilmiş çelik levha kalınlığı 3 mm, bulon aralığı 100, 150, 200, 400 mm

Deney elemanlarının güçlendirme detaylarına geçilmeden önce deneme elemanı olan (MBWS 2,0-200); hazırlanıp test edilmiştir. Deney sonucunda; güçlendirmede optimum sonuçların elde edilmesi için genişletilmiş çelik levha kalınlığı 3 mm olarak karar verilmiştir. Ayrıca MBWS 3,0-400 deney elemanı da güçlendirmede kullanılan

bulon aralıklarının deney elemanlarının performansları üzerindeki etkisinin daha net anlaşılması için deney matrisine dahil edilmiştir

Tablo 3.2. Deney elemanlarının özellikleri

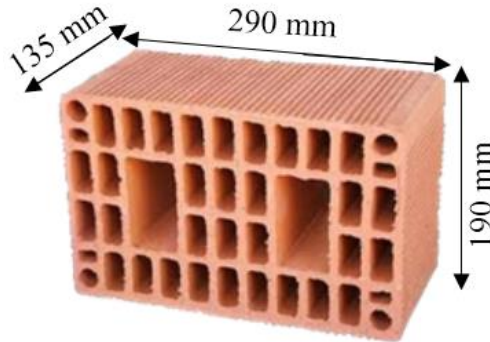
No	Numune	Püskürtme Beton (mm)	Levha kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	M6 Bulon Sayısı
1	RS	30	-	-	-
2	MBWS 2,0-200 (Deneme Elemanı)	30	2,0	200	25
3	MBWS 3,0-400	30	3,0	400	9
4	MBWS 3,0-200	30	3,0	200	25
5	MBWS 3,0-150	30	3,0	150	49
6	MBWS 3,0-100	30	3,0	100	100

3.2. Kullanılan Malzeme ve Cihaz Özellikleri

Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için tüm numunelerde piyasada mevcut olan, kolayca temin edilebilen ve aynı özelliklere sahip olan malzemeler kullanılıp sıradan bir işçilikle numuneler üretilmiştir. Bu çalışmada düşey delikli blok tuğla, genişletilmiş çelik levha, harç, bulon, tij, pul ve püskürtme betonu kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin özellikleri ve dayanımları aşağıda açıklanmıştır.

3.2.1. Düşey delikli tuğla özellik ve dayanımı

Mevcut çalışmada düşey delikli (290 × 190 × 135 mm) blok tuğlalar kullanılmıştır. Tuğlaların tamamı aynı özelliklere sahip ve aynı yerden temin edilmiş Resim 3.1.'de ebat ve kesiti verilmiştir.



Resim 3.1. Blok tuğla geometrisi

Düşey delikli blok tuğlaların mekanik özellikleri üretim standardına göre tuğla ağırlığı; 4,7-5 kg/adet, hacim ağırlığı ise yaklaşık 700 kg/m^3 olarak üretilmektedir. Üretim prosedörüne göre düşey delikli tuğlaların basınç dayanımı yaklaşık 4 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda mevcut çalışmada kullanılan düşey delikli tuğlaların özellikleri TS EN 1052-1'e göre uygunluğunun test edilmesi amacıyla 27 adet tuğla üzerinde yapılan deneyler sayesinde tuğlaların ağırlığı ortalama olarak yaklaşık 4,75 kg/adet olarak belirlenmiştir. Ayrıca bu 27 adet tuğla numunesi TS EN 1052-1 prosedürüne uygun olarak basınç altında tutularak dayanımları test edilmiştir. Bu numunelerin 9 adedinde tuğlaların deliklere dik uzun doğrultuda ortalama 3,3 MPa, standart sapması ise 0,7 MPa kaydedilmiştir. 9 adedinde ise tuğlaların deliklere dik kısa doğrultuda ortalama 1,3 MPa, standart sapması ise 0,5 MPa hesaplanmıştır. 9 adedinde ise deliklere paralel uzun doğrultusunda ortalama 3,3 MPa, standart sapması 1,0 MPa basınç dayanımına sahip oldukları görülmüştür. Tuğlaların basınç dayanımının test anı Resim 3.2.'de, sonuçları ise Tablo 3.3.-3.5.'te verilmiştir.



Resim 3.2. Blok tuğla dayanım testi

Tablo 3.3. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı

No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç yükü (MPa)
1	36400	80,2	2,2
2	36400	148,9	4,1
3	36400	111,7	2,4
4	36400	120,8	3,3
5	36400	122,1	3,3
6	36400	153,2	4,1
7	36400	95,4	2,6
8	36400	154,4	4,2
9	36400	133,6	3,7
Ortalama		124,5	3,3
Std. Sapma		24,5	0,7

Tablo 3.4. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı

No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç yükü (MPa)
1	24050	15,9	0,7
2	24050	25,9	1,1
3	24050	36,3	1,5
4	24050	24,9	1,0
5	24050	31,9	1,3
6	24050	47,2	1,9
7	24050	49,0	2,0
8	24050	12,8	0,5
9	24050	30,3	1,3
Ortalama		3,5	1,3
Std. Sapma		11,7	0,5

Tablo 3.5. Yatay delikli tuğlanın deliklere paralel basınç dayanımı

No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç yükü (MPa)
1	51800	132,2	2,6

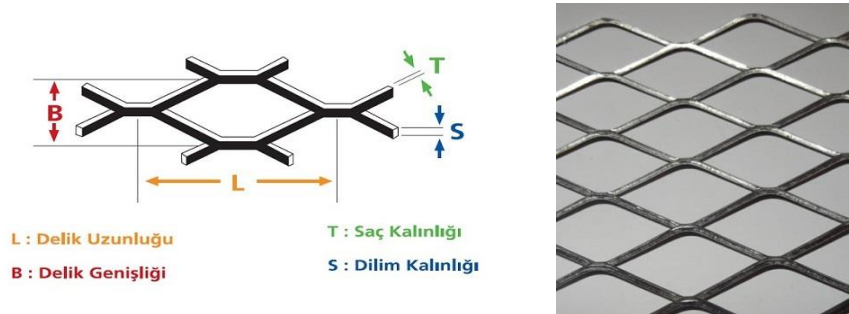
2 51800 164,5 3,2

Tablo 3.5. (Devamı)

3	51800	114,8	2,2
4	51800	237,6	4,6
5	51800	105	2,0
6	51800	240,4	4,6
7	51800	147,1	2,8
8	51800	237,3	4,6
9	51800	147,5	2,8
Ortalama		169,6	3,3
Std. Sapma		51,4	1,0

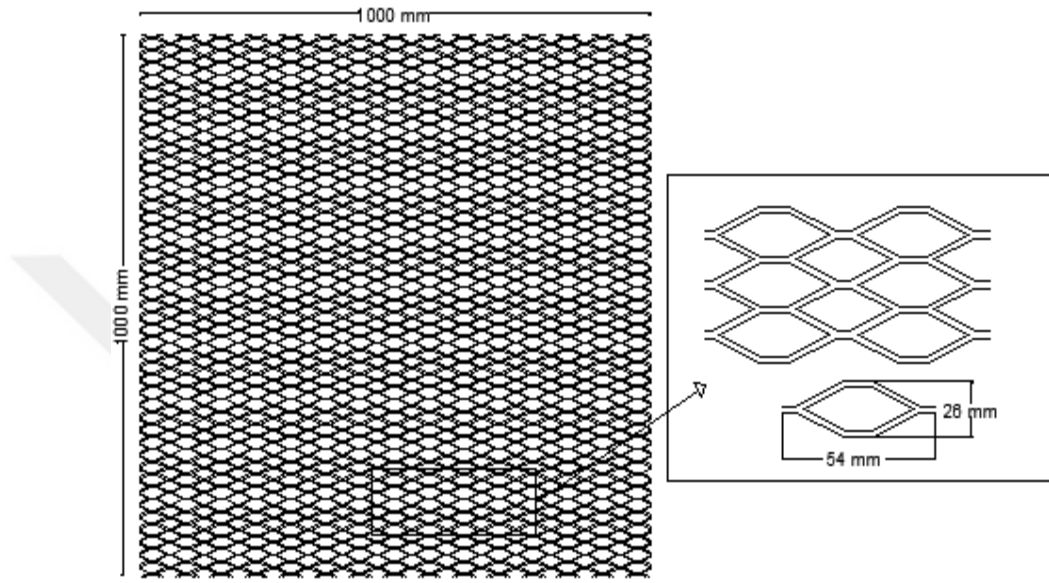
3.2.2. Genişletilmiş çelik levha özellik ve dayanımı

Bu çalışmada piyasada kolayca temin edilebilen, hem ucuz hem de geri dönüşümlü ve sünek malzeme özelliklerine sahip, dayanımı, yangına karşı direnci lifli polimer malzemelerine göre daha yüksek bir malzeme olan genişletilmiş çelik levhalar kullanılmıştır. Genişletilmiş çelik levhalar, tek bir parça metalden imalathanede hiçbir montaj veya kaynaklanma yapılmadan üretilmiştir. Bu çalışmada iki farklı sac (2mm ve 3mm) kalınlığında çelik levhalar duvarlar üretildikten sonra bulonlarla duvarların iki yüzeyinde olacak şekilde ankraj edilerek kullanılmıştır. Kullanılan çelik levhaların boyutları ve geometrisi Şekil 3.1.-3.2.'de verilmiştir.



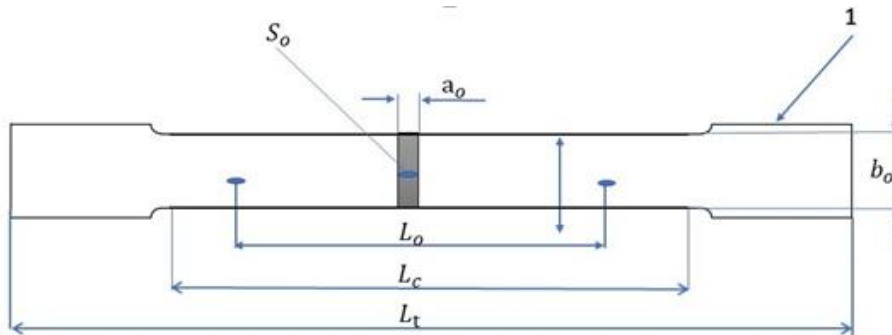
Şekil 3.1. Genişletilmiş çelik levha geometrisi

Günümüzde kullanılan bu genişletilmiş çelik levhalar; cephe kaplamalarında, kafes sistemi imalatlarında, ısıtma ve soğutma sistemlerinin korunduğu mekanlarda, fabrikalarda, asma tavan sistemlerinde, duvar güçlendirmelerinde vb. gibi alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 3.2. Genişletilmiş çelik levha şekil ve geometrisi

Kullanılan çelik levhanın çekme dayanımını test etmek amacıyla standartlara uygun numuneler kesilerek laboratuvarında deneye tabi tutulmuştur. Genel olarak, metal malzemelerin çekme deneyi için ISO 6892-1: 2016 ve ASTM E8:2016 standartları; uluslararası literatürde en çok kullanılan standartların başında yer almaktadır. ISO 6892-1: 2016 ve ASTM E8:2016 lama tipi dikdörtgen geometriye sahip, çekme deneyi numunesinin boyutları ve kesme biçimi açısından farklılıkları bulunmaktadır Şekil 3.3.'te ISO 6892-1'e göre geometrisi, ebatları ise Tablo 3.6.'da verilmiştir.

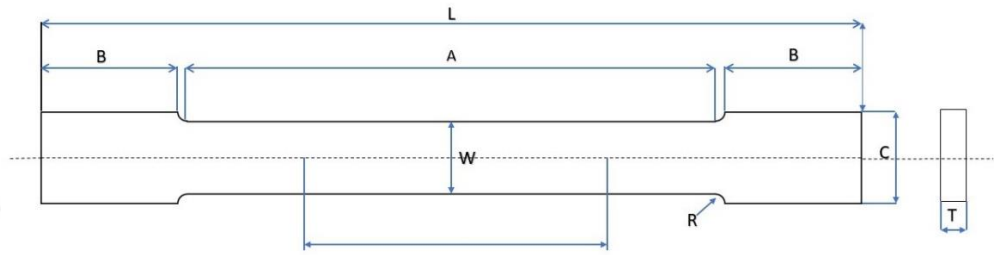


Şekil 3.3. ISO 6892-1 standardın lama tipi numune için tanımlanmış boyut değerleri

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

Öte yandan ASTM E8:2016'e göre numune geometrisi Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. ASTM Standardına uygun lama tipi dikdörtgen geometriye sahip çekme deneyi numunesini.

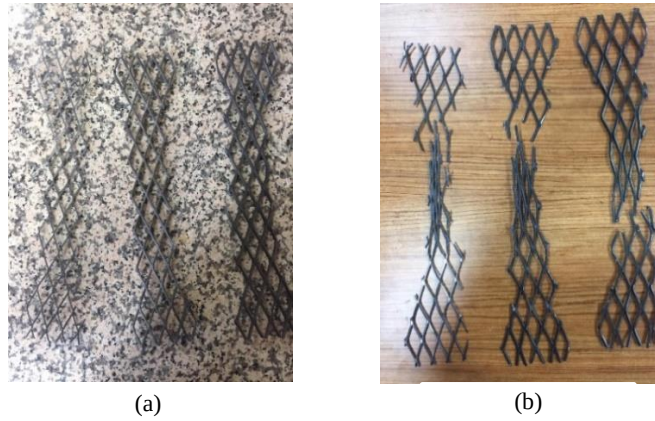
ASTM E8:2016'e göre numune ebatları Tablo 3.7.'de verilmiştir.

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

Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.'da görüldüğü gibi metal malzemelerin gerçekleştirilen çekme deneyi kapsamında deney numunesinin malzeme test makinası çenelerine bağlanması çerçevesinde kullanılan aparatların tanımlanması konusuna, ISO 6892-1:2016 standardında oldukça yüzeysel bir şekilde değinilmiştir. Ancak, ASTM E8:2016 standardında bu konu; lama, silindirik, yaprak, saç ve tel deney numuneleri için son derece ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada kullanılan genişletilmiş çelik levhaların çekme deneyi için ASTM E8:2016'ya uygun olarak numuneler kesilerek çekme deneyi yapılmıştır. Aşağıda Resim 3.3.'te yapılan çekme deneyin öncesi ve sonrası verilmiştir.



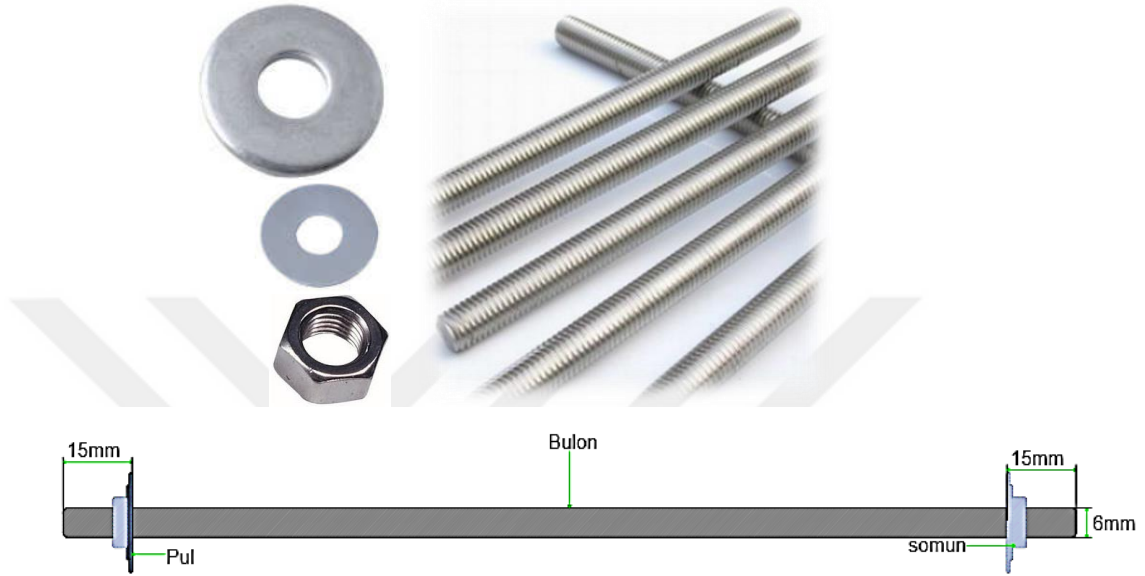
Resim 3.3. Çelik levhanın (a) çekme deneyi öncesi, (b) çekme deneyi sonrası

Aşağıda 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

3.2.3. Kullanılan bulon, somun ve pul özellikleri

Bu çalışmada tij çapı 6mm olarak seçilmiştir. Tijler 1000 mm uzunluğunda olup duvarın iki tarafında somun ve pulların rahat takılabilmesi ve yeterince aderans payı olması için tij uzunlukları 250 mm olarak kesilmiştir. Tijlerin, pulların ve somunların geometrisi Resim 3.4.'te gösterilmiştir.



Resim 3.4. Tij, pul ve somun geometrisi ve bağlanma şekli

Kullanılan tijlerin eğilme ve uzama miktarlarının belirlenmesi için 6 adet 250 mm uzunluğunda kesilip laboratuvarında deneye tabi tutulmuştur. Yapılan basınç eğilme test sonuçları Tablo 3.9.'da verilmiştir.

Tablo 3.9. Tijlerin basınç eğilme kuvveti, uzama ve gerilme 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

3.2.4. Kullanılan harç

Bu çalışmada kullanılan harç sıradan bir işçilikle aynı usta tarafından hazırlanıp kullanılmıştır. Harç karışımı; çimento, kum, kireç ve su ile belli birim ve oranlara göre karıştırılarak yapılmıştır. Oran ölçümleri kilogram cinsindendir. Aşağıda Tablo 3.10.'da harç karışım oranları gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Harç karışım oranları

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

Hazırlanan harçlardan toplam 9 adet silindir numune alınıp 28 gün kür ardından basınç deneyine tabi tutularak dayanımları elde edilmiştir. Silindir numunelerin test sonuçları ortalama olarak 10,8 MPa standart sapması ise 1,1 MPa olarak kaydedilmiş Resim 3.5.'te alınan harç silindir numuneleri gösterilmiştir.



Resim 3.5. Alınan 9 adet harç silindir numune

Aşağıda Tablo 3.11.'de numunelerin deney sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.11. Harç silindir numunelerin test sonucu

No	Yükleme alanı (mm ²)	Kırılma yükü (kN)	Basınç yükü (MPa)
1	7853,9	70,7	9,0
2	7853,9	90,7	11,3
3	7853,9	89,2	11,5

Tablo 3.10. (Devamı)

4	7853,9	93,6	11,9
5	7853,9	97,8	12,4
6	7853,9	87,9	11,1
7	7853,9	84,5	10,7
8	7853,9	83,2	10,5
9	7853,9	70,0	8,9
Ortalama		85,2	10,8
Std Sapma		8,9	1,1

Örnek olarak kırılma yükü ortalama, standart sapma ve varyans hesabı aşağıda Denklem 3.1.'de açıklanmıştır.

$$\bar{X} = \frac{70,7+90,7+89,2+93,6+97,8+87,9+84,5+83,2+70,0}{9} = 85,2 \text{ kN} \quad (3.1)$$

Standart Samanın hesaplanması için aşağıda 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.

$$\text{Örnek: } \sigma = \sqrt{\frac{(70,7-85,2)^2 + \dots +}{9-1}} = 8,9 \text{ MPa}$$

Varyansın hesaplanması için aşağıda Denklem 3.3.- 3.4. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S^2 = \sum (x_i - \bar{x})^2 / n-1 \quad (3.3)$$

$$S^2 = \sum (70,7-85,2)^2 + (90,7-85,2)^2 + \dots + / 9-1 = 743,4/8 = 92,9 \text{ MPa} \quad (3.4)$$

$$S = \sqrt{92,9} = 9,6 \text{ MPa}$$

BÖLÜM 4. PÜSKÜRTME BETON

4.1. Püskürtme Beton

Amerikan beton enstitüsüne göre püskürtme betonu “bir hortumla taşınarak bir yüzey üzerine basınçlı hava yardımıyla yüksek hızla püskürtülen beton ya da harç karışımı” olarak tanımlanmıştır. (ACI Committee 506, 1966).

Türk Standartları 14487-2’de ise; püskürtme betonu “ onarım veya yapım amacı ile önceden hazırlanmış olan betonun hava basıncı yardımı ile yüksek hızla uygulama yüzeyi veya uygulama alanına püskürtülerek elde edilen beton” olarak tanımlanmaktadır.

4.2. Püskürtme Beton Kullanım Alan ve Amaçları

Püskürtme betonu kullanım alanları; yeraltı ve yerüstü alanı olmak üzere ikiye ayrılmıştır.

Püskürtme betonu yeraltında en çok tünellerde, madenlerde, yeraltı depolarında ve benzer yerlerde kullanılmaktadır.

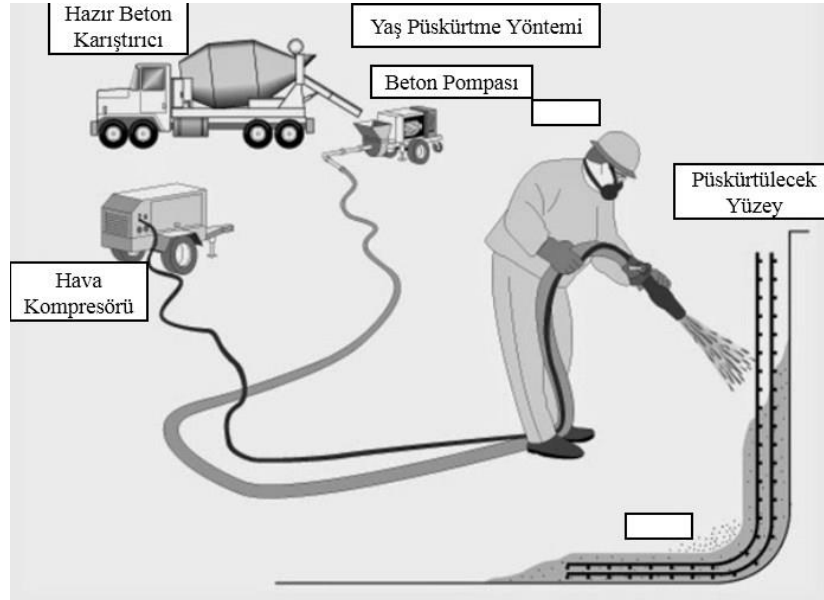
Püskürtme betonu yerüstünde ise en çok kayma tehlikesi olan yol şevlerinde, kaplama, bina güçlendirme, onarım işlerinde vesaire mühendislik alanlarında duraylılığı sağlamak, can ve mal kayıplarını önlemek amacı ile kullanılmaktadır.

4.3. Püskürtme Beton Uygulama Teknikleri

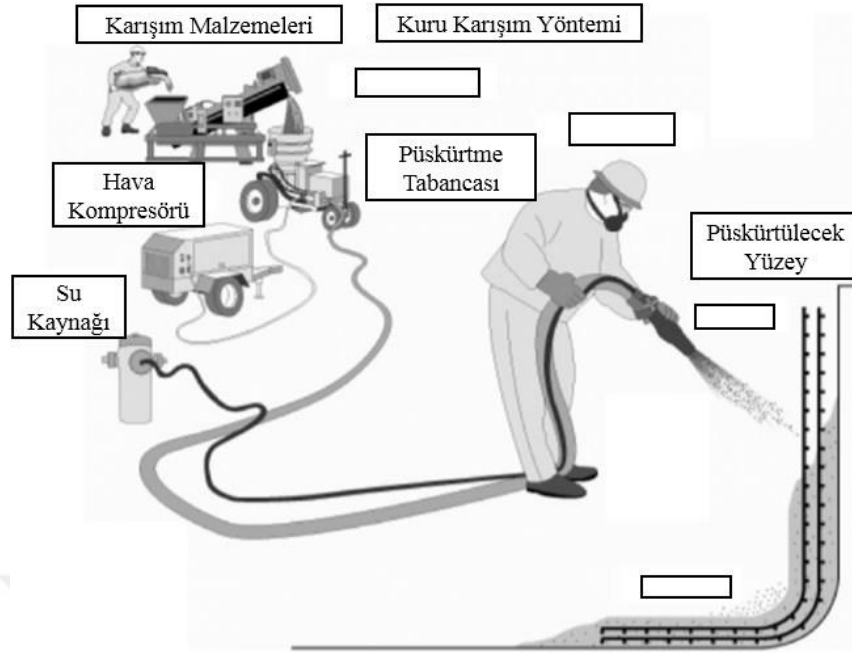
Püskürtme betonu uygulama ve karışım yöntemi olarak yaş püskürtme karışım ve kuru püskürtme karışım yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır;

- a. Yaş püskürtme uygulamasında önce karışımda gerekli olan tüm malzemeler karıştırma tankında karıştırıldıktan sonra beton pompasına dökülerek ve pompadan ileti boru vasıtasıyla basınçlı hava yardımıyla istenilen yüzeye püskürtülüyor.
- b. Kuru püskürtme uygulamasında ise gerekli olan malzemeler kuru ortamda hazırlandıktan sonra püskürtme ucuna nakledilip hidrasyonun sağlanması için gerekli olan su püskürtme ucunda basınçlı olarak verilmektedir. Kuru yöntemde katkı maddesi ilave edilmek gerekiyorsa, katkı maddesi sıvı ise su ile katkı maddesi toz ise püskürtme beton makinesine eklenerek uygulanır.

Aşağıda Şekil 4.1.-4.2.'de sırayla yaş ve kuru püskürtme yöntemleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Yaş karışım püskürtme yöntemi.



Şekil 4.2. Kuru karışım püskürtme yöntemi.

4.4. Püskürtme Betonu Karışım Oranı

Bu çalışmada hazırlanan referans ve güçlendirilmiş numuneler üzerinde sıva yerine 30 mm kalınlıkta beton püskürtülmeye karar verilmiştir. Uygulamada numune yüzeylerin pürüzsüz olması, 30mm kalınlığın daha rahat ve homojen bir biçimde sağlanması ve aynı zamanda kuru püskürtme yöntemine göre laboratuvar ortamına daha uygun olması için yaş karışım yöntemi seçilerek uygulama yapılmıştır. Uygulanan püskürtme beton karışım oranları Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Püskürtme beton karışım oranları

No	Malzeme Adı	Oran (kg)
1	Beyaz Çimento	9
2	Meta kaolin	1
3	Silis kumu	10
4	Hiper Akışkanlaştırıcı	0,024
5	Akrilik Polimer	0,3
6	Su	3,2

Aşağıda Resim 4.1.'de püskürtme beton karışım ve pompaya dökülme aşması gösterilmiştir.



Resim 4.1. Püskürtme beton karışım anı.

Uygulanan püskürtme betonu karışımı yapıldıktan sonra 8 adet silindir numune alınıp 28 gün kür ardından basınç dayanımı test edilmiştir. Püskürtme beton silindir numunelerin test sırasında 2 adedi makinenin teknik arızadan dolayı sonuçları alınamamıştır. Diğer 6 numuneden 3 adedi normal basınç testine tabi tutulurken, kalan 3 silindir numuneye elastisite modülünün hesaplanması için 2 adet düşey ve 1 adet yatay potansiyometre takılarak basınç dayanımları incelenmiştir. Deneye tabi tutulan silindir numunelerin test sonuçları ortalama olarak 19,0 MPa standart sapması ise 0,6 MPa olarak hesaplanmıştır. Aşağıda Resim 4.2.-4.5.'te silindir numunelerin test aşamaları, Tablo 4.2.'de ise silindir numunelerin deney sonuçları verilmiştir.



Resim 4.2. Püskürtme beton silindir numuneler.



Resim 4.3. Püskürtme beton silindir numune test anı.



Resim 4.4. Silindir numuneye potansiyometre bağlanma şekli.



Resim 4.5. Silindir numuneye potansiyometre bağlanarak dayanım ve deformasyon testi.

Tablo 4.2. Püskürtme beton silindir numunelerin test sonuçları.

No	Yüklemeye Alanı (mm ²)	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Yüğü (MPa)	Elastisite Modülü N/mm ²
1	7853,9	156,4	19,9	3,77×10 ⁴
2	7853,9	144,1	18,3	2,47×10 ⁴
3	7853,9	148,1	18,8	1,83×10 ⁴
4	7853,9	154,5	19,6	
5	7853,9	144	18,3	
6	7853,9	151,1	19,2	
Ortalama		149,7	19,0	2,69×10 ⁴
Std Sapma		5,2	0,6	

3 adet silindir numunelerin elastisite modülünün hesaplanması için Denklem 4.1.-4.2. kullanılmıştır. 3 numunenin elastisite modülleri ayrı ayrı hesaplanarak ortalamaları alınmıştır. Poisson oranının hesaplanması için Denklem 4.3. kullanılmaktadır.

$$\varepsilon = \Delta L_y / L_{0y} \quad (4.1)$$

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (4.2)$$

$$\nu = \Delta L_x / L_y \quad (4.3)$$

$$L_{0y} = 200 \text{ mm}, \quad \Delta L_{y1} = 0,1, \quad \Delta L_{y2} = 0,2, \quad \Delta L_{y3} = 0,2$$

$$\varepsilon_1 = \Delta L_1 / L_0 = 0,1 / 200 = 5 \times 10^{-4}$$

$$E_1 = \sigma_1 / \varepsilon_1 = 18,8 / 0,0005 = 3,77 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$E_2 = 2,47 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$E_3 = 1,83 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{\text{ort}} = (3,77 + 2,47 + 1,83) \cdot 10^4 / 3 = 2,69 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$$

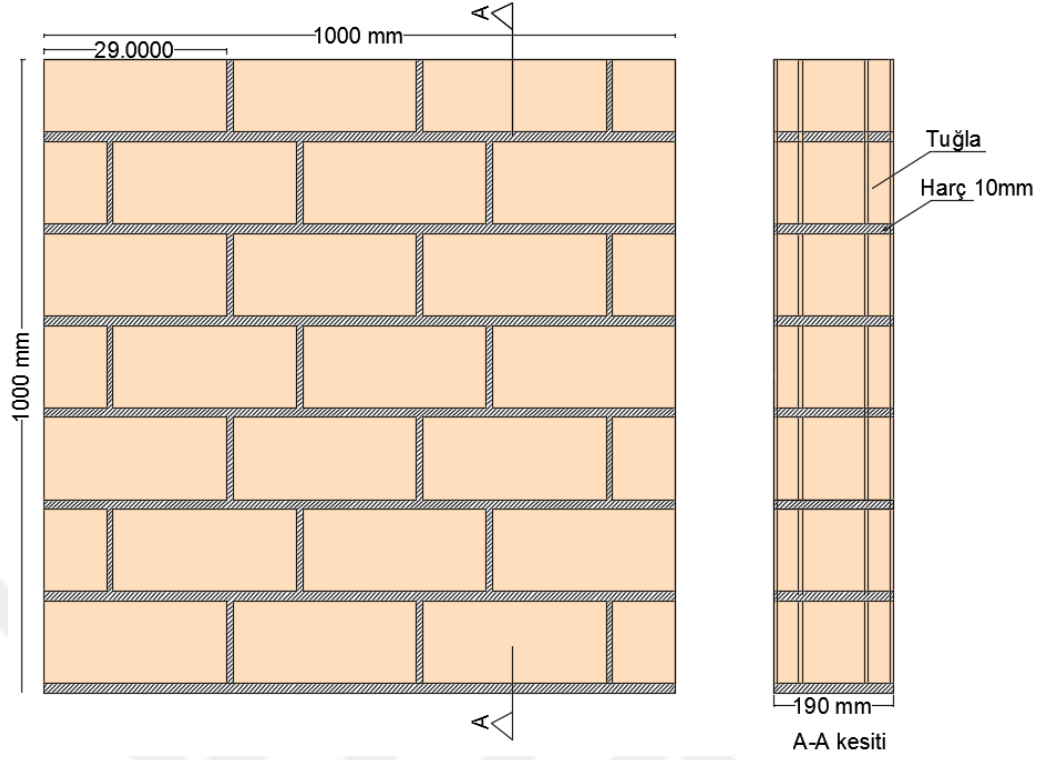
BÖLÜM 5. DENEY ELEMANLARI

5.1. Deney Elemanlarının Hazırlanması

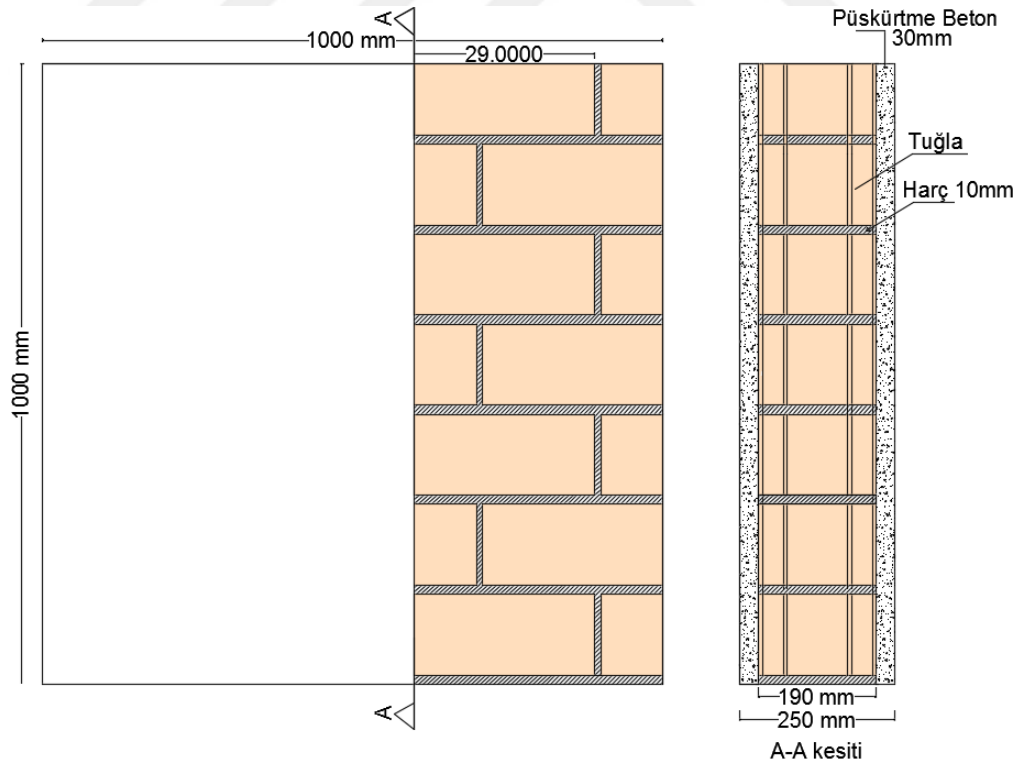
Birisi referans birisi deneme elemanı ve dördü genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş olmak üzere toplam 6 adet deney elemanı hazırlanmış ve diyagonal statik yük altında test edilmiştir. Deney elemanları 1/1 ölçekli olacak şekilde 1000 × 1000 mm ebatlarında üretilmiştir.

5.1.1. Deney malzemelerin montajı

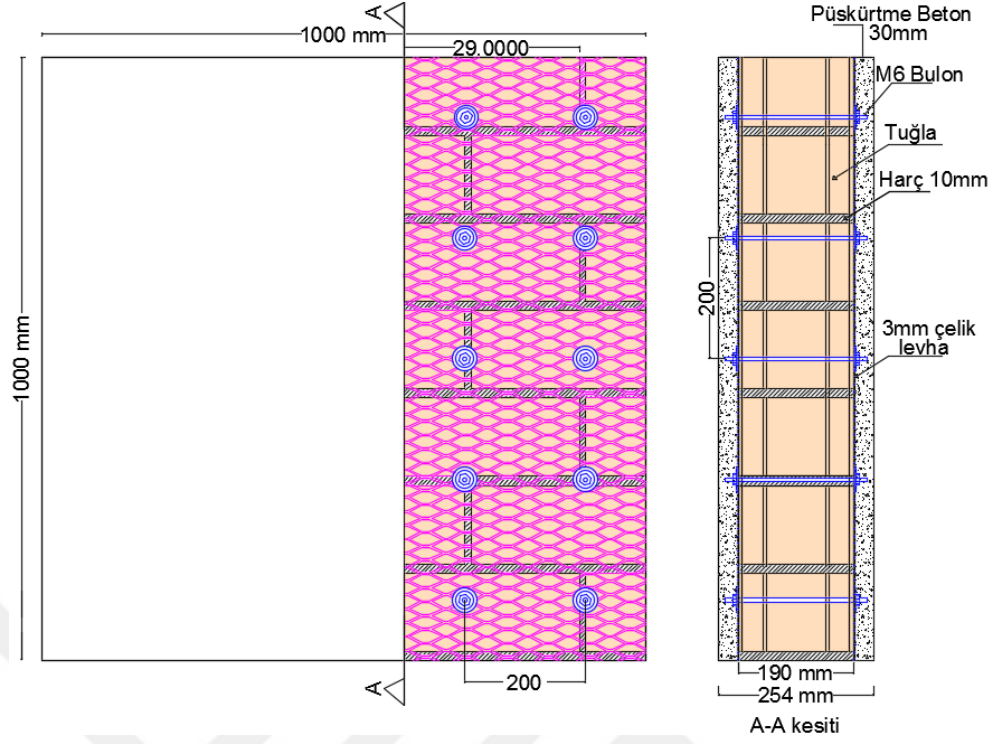
Yukarıda anlatılan tüm malzemelerin kullanım ve montajı sırasıyla önce 1000 mm×1000 mm tuğla duvarlar, derz aralığı ve harç kalınlığı yaklaşık 1,0 cm olacak şekilde sıradan bir işçilikle örülerek deney elemanları hazırlanmıştır. Daha sonra güçlendirilecek her deney elemanının kullanılan bulon sayısına (9, 25, 49 ve 100) göre, bulon yerleri (400, 200, 150 ve 100 mm) aralıklarla işaretlenerek matkap ile delinmiştir. Çelik levhaların kalınlığı (2 mm ve 3 mm) her deney elemanının parametrelerine uygun seçilerek duvarın iki tarafına yerleştirilmiştir. Önceden hazırlanan çapı 6 mm olan tijler deliklerden geçirildikten sonra çelik levhanın tijlerden sıyrılmaması için en altta büyük ve kalın olan pul, üzerinde ise küçük ve ince olan pul ve somun takılarak ankraj işlemi iki taraftan tamamlanmış, üstüne yaş püskürtme yöntemine uygun 30 mm püskürtme beton uygulanmıştır. Referans deney elemanı ise herhangi bir güçlendirme yapılmaksızın her iki yüzeyine de 30'er mm püskürtme beton uygulaması yapılmıştır. Aşağıda deney elemanlarının boyutları ve güçlendirme detayları Şekil 5.1-5.7.'de verilmiştir.



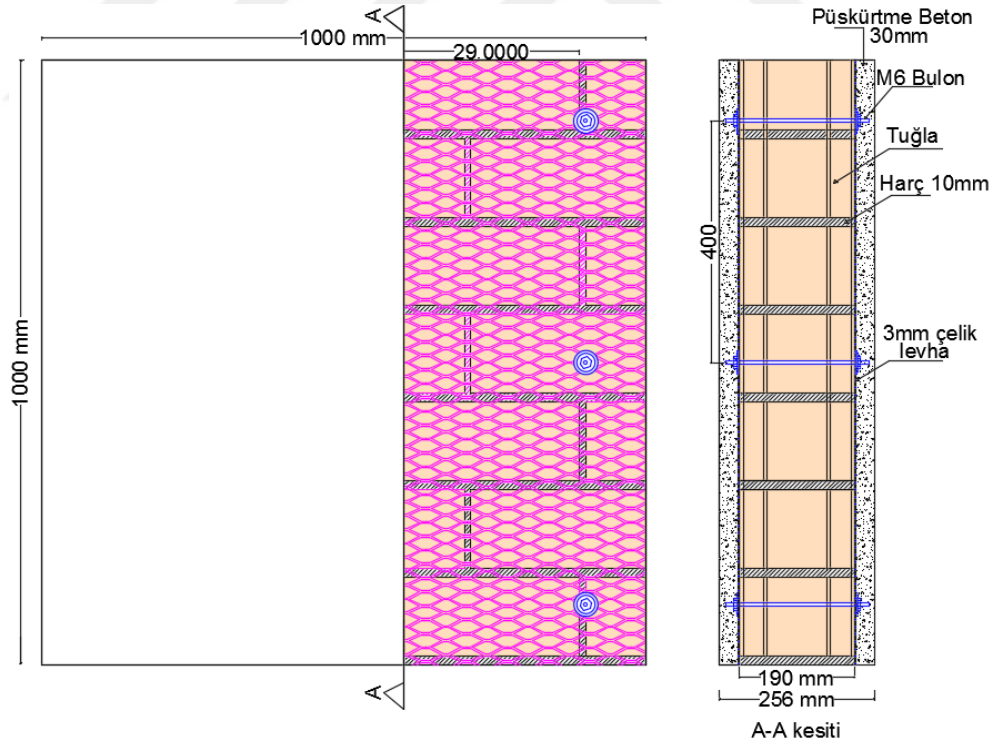
Şekil 5.1. RS Deney elemanının ebatları



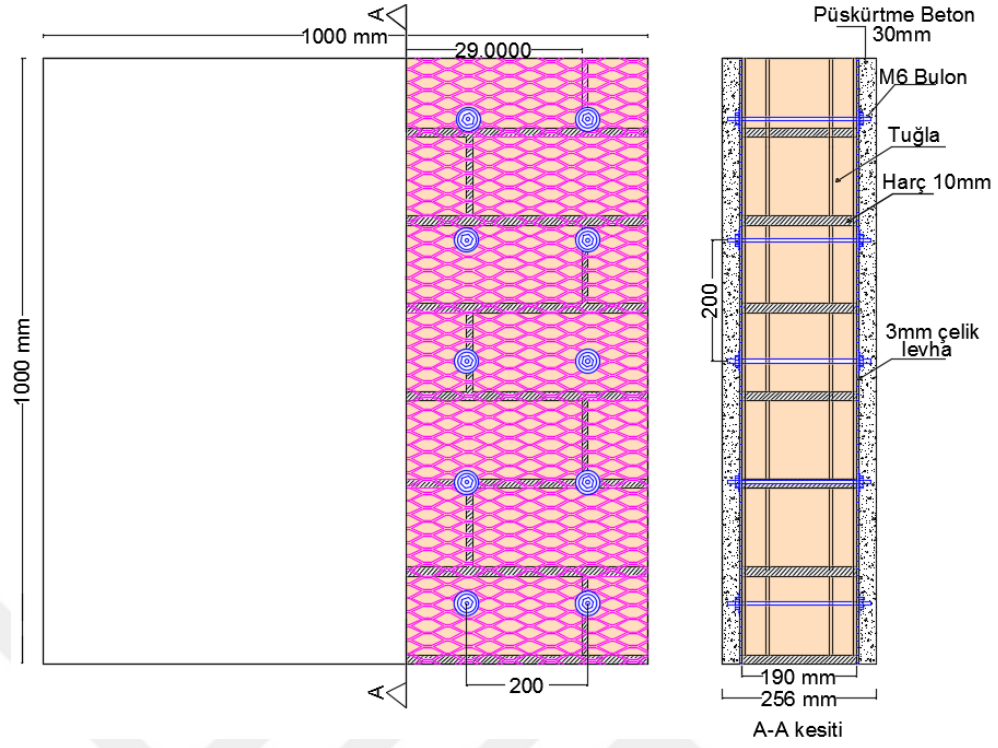
Şekil 5.2. RS Deney elemanı püskürtme betonlu



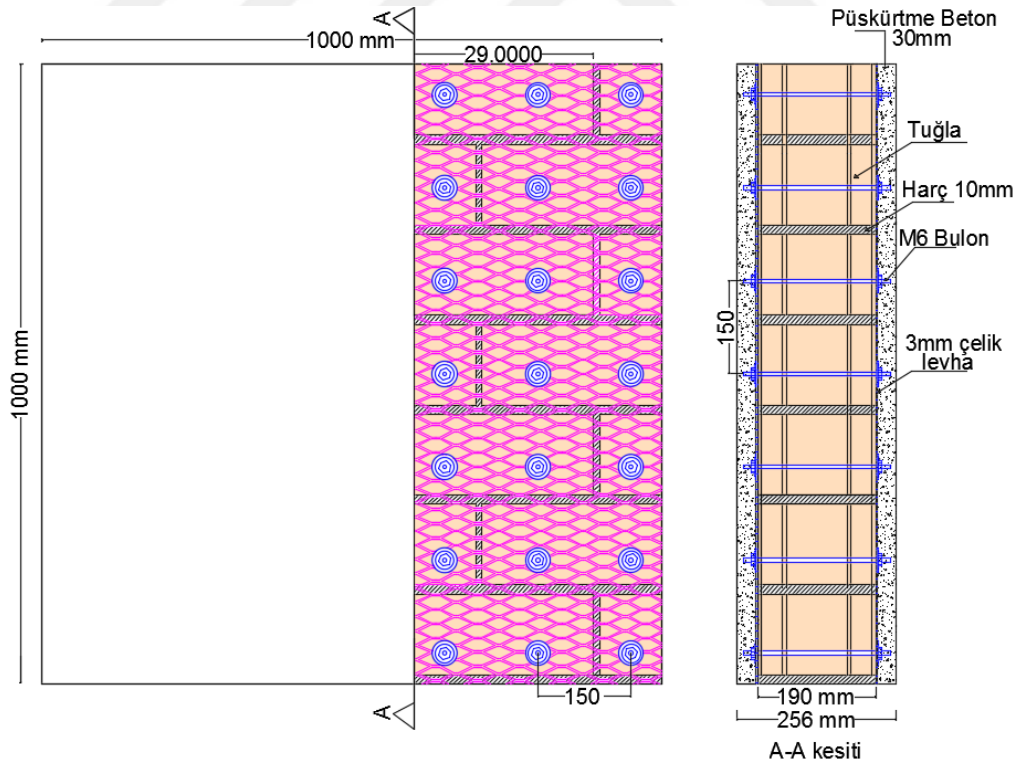
Şekil 5.3. MBW 2,0-200 Deneme elemanı



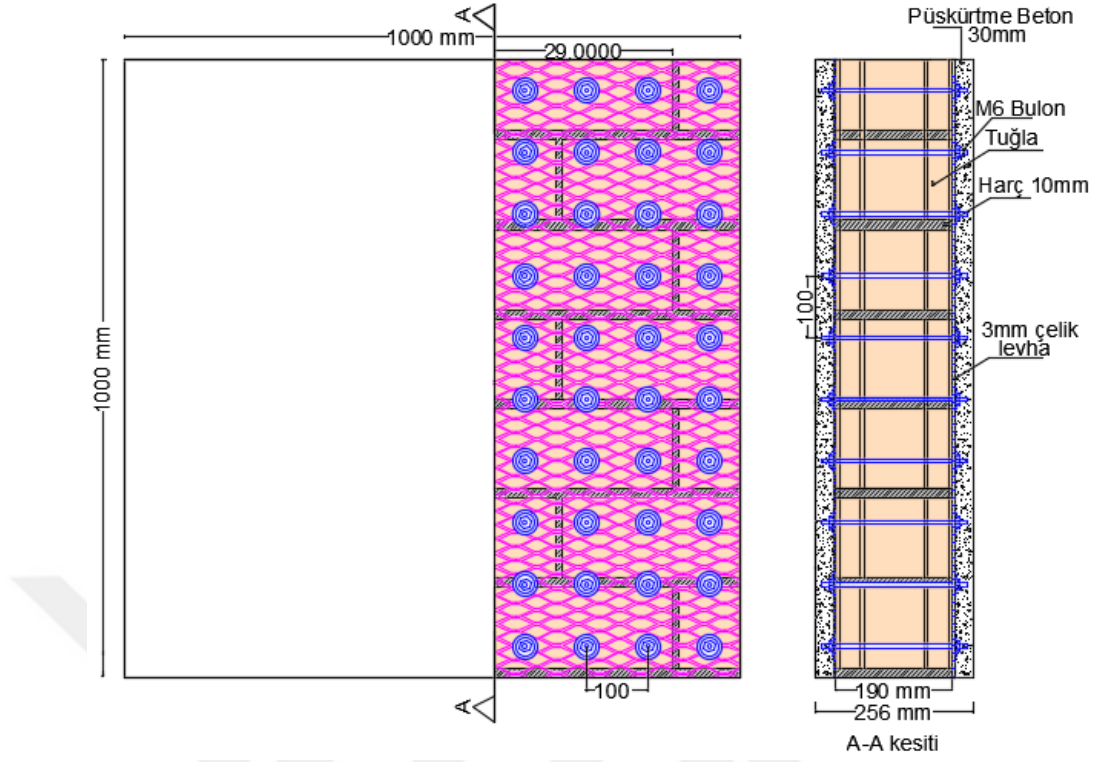
Şekil 5.4. MBWS 3,0-400 Deneme elemanı



Şekil 5.5. MBWS 3,0-200 Deney elemanı



Şekil 5.6. MBWS 3,0-150 Deney elemanı



Şekil 5.7. MBWS 3,0-100 Deney elemanı

Aşağıda Resim 5.1.-5.4.'te tuğla duvar örülme, güçlendirilme, ankraj yapılma ve beton püskürtülme uygulama aşamaları sıralı bir şekilde verilmiştir.



Resim 5.1. Deney elemanının tuğla örülme aşaması



Resim 5.2. Deney elemanının montaj ve uygulama tekniği



Resim 5.3. Deney elemanının ankaraj uygulaması



(a)



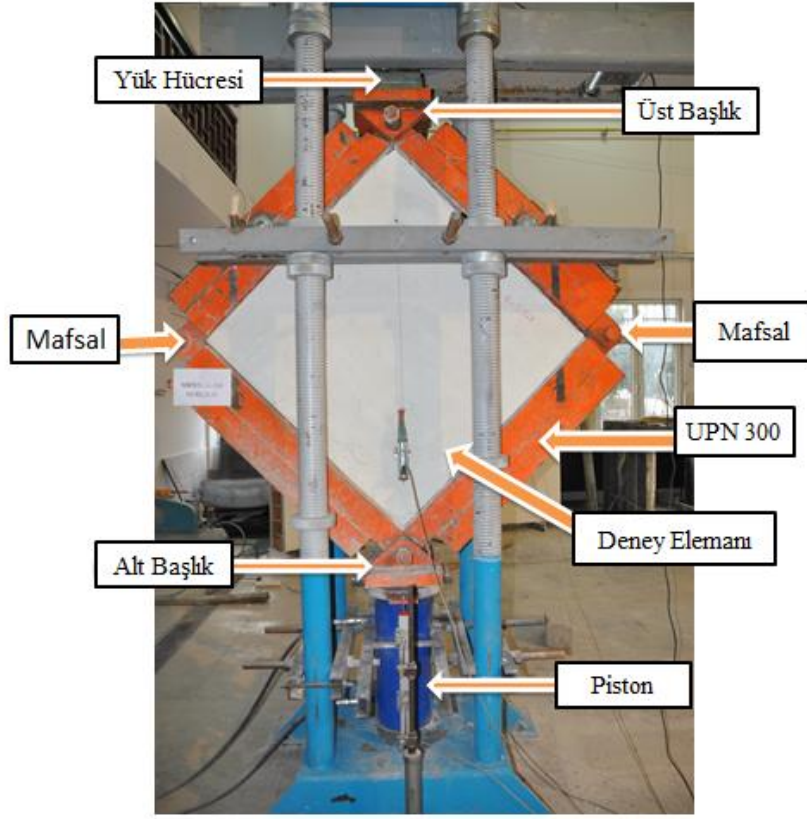
(b)

Resim 5.4. Deney elemanının püskürtme betonu (a) uygulama anı, (b) bitmiş hali

5.2. Deney Düzeni

5.2.1. Deney düzeneği ve deney çerçevesi

Betonarme taşıyıcı sistemin ve yığma tarzı yapıların, deprem etkisine karşı direnç göstermeleri taşıyıcı sistemlerin yatay rijitliğine bağlıdır. Betonarme sistemlerde yatay rijitliğin bir kısmını ama yığma yapılarda ise tümünü duvarlar karşılamaktadırlar. Duvarlar deprem yükünü diyagonal basınç şeklinde karşılarlar, yani duvarlar yatay yüklere karşı diyagonal çubuk gibi davranmaktadırlar. Bundan dolayı genellikle duvarlar diyagonal basınç yükü altında test edilirler. Duvarlardaki diyagonal basınç test yöntemleri, ASTM E519 (ASTM 2010)'da verilmiştir, duvarların yapımı ve diyagonal basınç yüklemesi ona uygun olarak gerçekleştirilir. Bu yöntemde deney elemanının üst ve alt köşeleri sınırlandırılarak, duvar yan yüzeyleri serbest kalacak şekilde, yükleme başlıkları vasıtasıyla yük deney elemanına iletilmektedir. Aslında bu yöntem betonarme çerçevelerin veya yığma yapıların gerçek davranışlarıyla uzaktır. Örnek olarak gerçek betonarme çerçeve ile duvar arasındaki temas yüzeyi deprem esnasında deformasyona bağlı olarak artmaktadır. Ama ASTM E519 (ASTM 2010) yönteminde temas yüzeyi deney boyunca yaklaşık sabit kalmaktadır. Mevcut çalışmada yığma tuğla duvarların test edilmesi için; Cumhur ve diğ. (2016), diyagonal yükü dolgu duvarlı deney elemanlarına aktarmak için kullandıkları, iç ölçeği 1000×1000 mm, kare şeklinde olan çelik çerçeveden yararlanılmıştır. Bu çelik çerçeve, 4 tarafını oluşturacak UPN300 profilinin birleşmesiyle yüzeyleri rijit bir düzlem olacak şekilde üretilmiştir. Çelik çerçevenin dört köşesinde bulunan mafsallar uygulanan diyagonal yükünün tamamının doğrudan deney elemanına aktarılmasını ve çelik çerçevenin yüke karşı direnç göstermemesini sağlamıştır. Deney sırasında çelik çerçeve ve deney elemanı arasındaki temas yüzeyleri duvarın deformasyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Yani duvarın artan deformasyonu ile temas yüzeyi de arttığı gözlemlenmiştir. Halbuki ASTM E519 sisteminde temas yüzeyi tüm deney boyunca çerçeve yan uzunluğun %12,5'i veya duvar uzunluğunun 1/8'i olarak kalmaktadır. Bu bilgiler ışığında mevcut çalışmada kullanılan bu mekanizma ASTM E519 mekanizmasından, duvarların gerçek davranışlarına daha yakın olduğu düşünülmektedir. Aşağıda Resim 5.5.'te deney mekanizması gösterilmiştir.



Resim 5.5. Deney sistemi

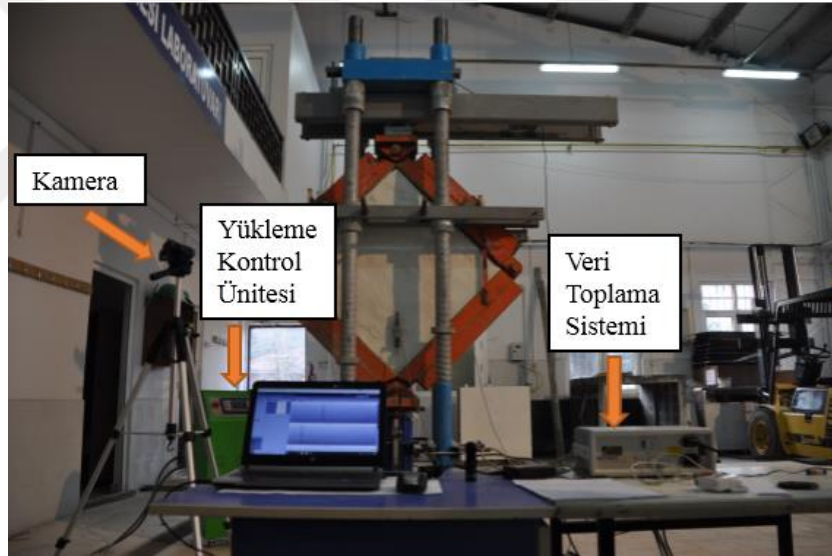
5.2.2. Yükleme mekanizması

Deney elemanları hazırlandıktan sonra çelik rijit çerçeveye yerleştirilip daha sonra Forklift kullanılarak deney mekanizmasına yerleştirilmiştir. Yükenin homojen bir biçimde deney elemanına verilmesi için çelik çerçevenin alt ve üst başlıkları hidrolik pistonu ve yük hücresini tam ortalayacak şekilde ayarlanmıştır. Çerçevenin ileri veya geri gitmemesi için önüne ve arkasına hareketini engelleyecek profiller (rijitleştiriciler) yerleştirilmiştir.

Deney elemanlarına 1000 kN kapasiteli deney mekanizmasının alt kısmında bulunan hareketli çift etkili hidrolik bir piston vasıtasıyla statik yük verilmiştir. Bu yük deney mekanizmasının en üstte bulunan 1000 kN kapasitesi olan yük hücresi (load cell) yardımıyla ölçülmüştür. Deney elemanının deplasman kontrollü, yükleme hızı değiştirilmiştir. Aşağıda Resim 5.6.-5.7.'de yükleme anı ve deney mekanizması gösterilmiştir.



Resim 5.6. Deney elemanı deney düzeneğine yerleştirilirken



Resim 5.7. Deney elemanı ve deney mekanizması

5.2.3. Yükleme programı

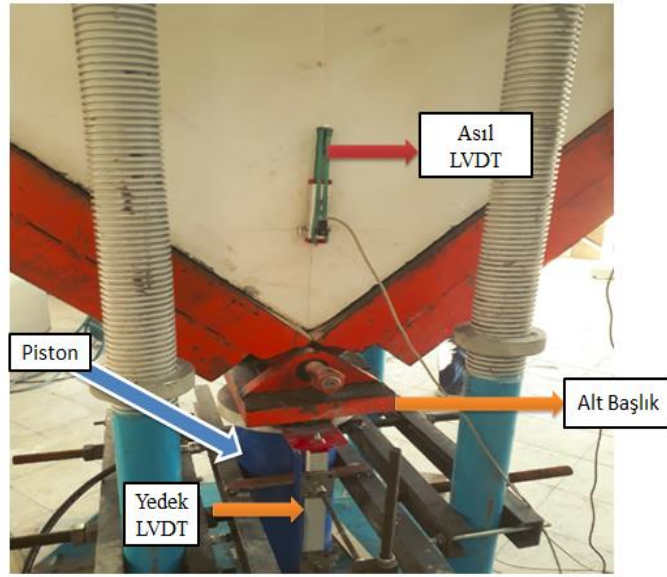
Deney sırasında tüm deneme elemanlarında yükleme hızı başlangıçtan 10 mm deformasyona kadar %5 birim 10 mm'den 35 mm deformasyona kadar %25 birim 35 mm den deney sonuna kadar %50 birim sabit kalacak şekilde ayarlanmıştır. Deney elemanları için yükleme hızları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Deney elemanları için uygulanan yükleme hızları

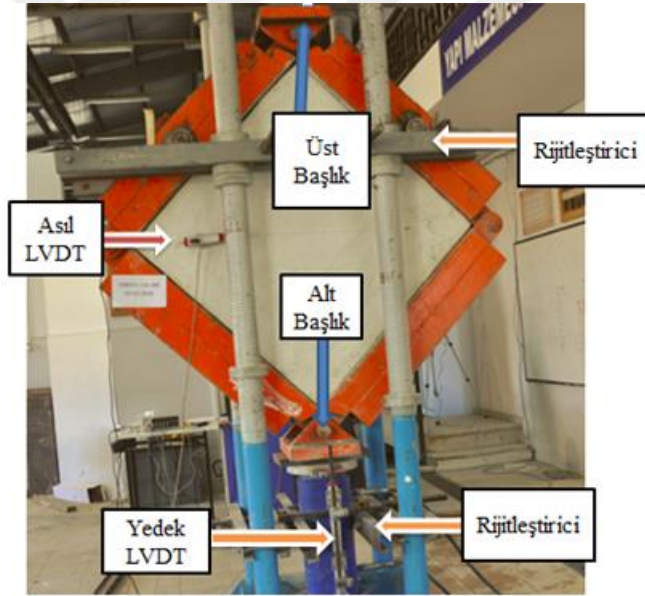
Deplasman (mm)	Deney Yükleme Hızı
0-10	5
10-35	25
≥ 35	50

5.2.4. Ölçüm düzeni

Deney mekanizmasında deney elemanının yük doğrultusundaki kısılmasını ve yüke dik olan (yatay) yüzeyin uzamasını ölçmek için her biri 0,01mm hassasiyetinde olan toplam 4 adet LVDT kullanılmıştır. Bu LVDT 'lerin diyagonal deformasyonları ölçmek amacıyla ikisi 50 mm ölçüm kapasitesine sahip olup birisi duvarın ön yüzeyine yük doğrultusundaki kısılmayı diğeri ise duvarın arka yüzeyinde yüke dik doğrultusundaki uzamayı ölçmek için bağlanmıştır. Bu LVDT 'ler özellikle duvarın ön yüzeyinde yerleştirilen ve yük doğrultusundaki kısılmayı ölçecek olan 50 mm kapasiteli LVDT, duvar yüzeyindeki püskürtme betonu kabarıp çatlamaya başladığında yanlış veriler vermemeleri için zamanında çıkarılmışlardır, bu nedenle bazen deneyin sonuna kadar okuma alınamamıştır. Ayrıca gerçek değerleri sonuna kadar alabilmek için piston üst tablasına bağlanan birisi ön tarafta birisi arka tarafta olan düşey deformasyonları okuyacak iki tane 400 mm kapasiteli LVDT kullanılmıştır. Bu LVDT' ler duvarın deformasyonundan etkilenmeyip deneyin başından duvarın çökmesine kadar ölçüm vermeye devam etmişlerdir. Resim 5.8.-5.9.'da LVDT bağlantı yerleri verilmiştir.



Resim 5.8. LVDT bağlantısı ön yüzey



Resim 5.9. LVDT bağlantısı arka yüzey

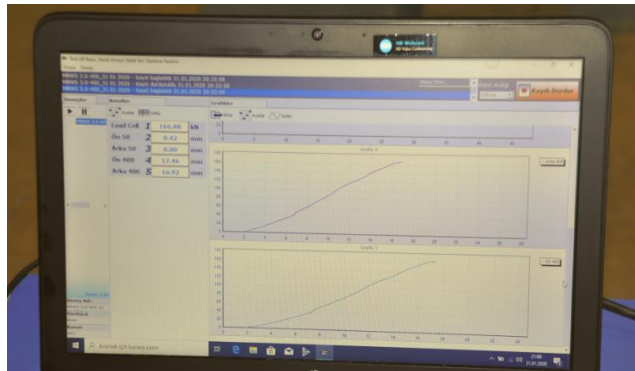
Deney sırasında yük hücresinin ve tüm LVDT'lerin kanallarla saniyede kanal başında 8 okuma yapabilen veri toplama sistemine bağlanarak bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisyarda bu veriler doğrultusunda deneyin her anında yük-deplasman grafiği çizdirilmiş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Sensörlerden gelen sinyalleri dijital veriye çeviren ve bilgisayara aktaran sisteme veri toplama sistemi adı verilir.

LVDT'ler, deney sırasında yapılan deplasmanları elektronik sinyallere dönüştürüp bilgisayara aktarılma işlemini sağlamaktadır.

Deneylerde kullanılan LVDT'ler

1. LVDT Ön 50; deney elemanlarının ön yüzeyin alt köşesine yerleştirilen, yüke bağlı diyagonal deformasyonları (kısalmayı) ölçüp elektronik veriye dönüştüren ve kanal vasıtasıyla bilgisayara aktaran ölçüm cihazıdır.
2. LVDT Arka 50; deney elemanlarının arka yüzeyin sol köşesinde yatay olarak yerleştirilen, yüke bağlı diyagonal deformasyonları (uzamayı) ölçüp elektronik veriye dönüştüren ve kanal vasıtasıyla bilgisayara aktaran ölçüm cihazıdır.
3. LVDT Ön 400; piston üst tablasına yerleştirilen, yüke bağlı düşey deformasyonu (kısalmayı) ölçüp elektronik veriye dönüştüren ve kanal vasıtasıyla bilgisayara aktaran ölçüm cihazıdır.
4. LVDT Arka 400; piston üst tablasına yerleştirilen, yüke bağlı düşey deformasyonu (kısalmayı) ölçüp elektronik veriye dönüştüren ve kanal vasıtasıyla bilgisayara aktaran ölçüm cihazıdır.

Deneye başlamadan önce video çekimi başlatılarak deney boyunca tüm detaylar kayıt altına alınmıştır. Aynı zamanda deneydeki veri ve grafikler bilgisayarda kayıt edilmiştir. Resim 5.10.'da yük deplasman grafiği kaydedilirken verilmiştir.



Resim 5.10. Deney sırasında veri kaydı ve yük-deplasman grafiği

BÖLÜM 6. DENEY SÜRECİ

Çalışmanın bu bölümünde birisi güçlendirilmemiş referans beşi güçlendirilmiş deney elemanı olmak üzere toplam altı adet deney elemanı diyagonal statik yük altında gösterdikleri performansları gözlemlenerek incelenmiştir. Bir adet referans deney elemanı (RS), bir adet güçlendirilmiş deneme elemanı (MBWS 2,0-200) ve dört adet deney ana elemanı (MBWS 3,0-400, MBWS 3,0-200, MBWS 3,0-150, MBWS 3,0-100), indisleriyle gösterilen numunelerin deney sonuçları, deney süreçleri, yük deplasman grafikleri, deney öncesi ve sonrası resimleri aşağıda; 6.1, 6.2 ve 6.3 bölümlerinde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

6.1. Referans Deney Elemanı (RS):

Referans deney elemanı güçlendirilmemiş, sadece duvar ve üzerinde 30 mm püskürtme betondan ibaret olup, güçlendirilmiş deney elemanları ile karşılaştırma amacıyla test edilmiştir. Bu deney elemanı yükleme altında düşey gerilme çatlakları meydana gelene kadar lineer bir davranış göstererek ve maksimum taşıdığı yük 103 kN olarak saptanmıştır. Çatlamalar meydana geldikten sonra duvar çok gevrek bir performans sergileyerek ani bir yük kaybına neden olmuştur. Böylece duvar taşıyıcı özelliğini kaybedip, bütünlüğünü koruyamadığı nedeniyle deney sonlandırılmıştır.

Referans numunesinin deneme öncesi hasarsız durumu aşağıda Resim 6.1.'de verilmiştir.



Resim 6.1. RS (Referans deney elemanının) Deney öncesi durumu

Deney sürecinde yapılan önemli gözlemler:

- a. 14 mm deplasman ve 103 kN yükte duvar arka yüzeyinde düşeye doğru ana eksenin yaklaşık 30 cm solunda bir çatlak meydana geldiği görülüp ve 3 kN yük kaybına neden olmuştur. 15 mm deplasmana geldiğinde ise duvarın arka yüzeyindeki çatlak hızla genişlemeye ve yük ise düşmeye başlamıştır. Duvarın ön yüzeyinde ise herhangi bir çatlak veya kırılma görülmemiştir. Akabinde 16 mm deplasmanda ise yük 75 kN'e kadar düşmeye devam etmiştir. Bu sırada duvardan kırılma ve çatlama sesleri duyulmuştur. Duvar sıkışmasından dolayı tekrar yük almaya başlamış ve 81 kN'e kadar çıkmıştır. Duvar yük taşımaya devam ederken yük kademeli bir şekilde düşüşe geçtiği görülmüştür.
- b. 21 mm deplasman, 70 kN yük ön yüzey üst mafsaldan yaklaşık 50 cm aşağıda düşey doğrultuda küçük bir çatlak meydana geldiği görülmüştür. Akabinde 22 mm deplasman ve 70 kN yük arka yüzeyde düşey doğrultuda ana eksenin sağında 3 tane kılcal çatlak meydana geldiği gözlenmiştir.
- c. 27 mm deplasman ve 66 kN yük kaydedilirken, ani bir yük kaybı meydana gelmiştir. Bu aşamada arka yüzeyde yerleştirilen 50 mm ölçme potansiyeli olan

LVDT yaklaşık 3 mm duvarda yük eksenine dik yönde uzama kaydedilmiştir. Üst mafsalsın solunda ve yaklaşık 40 cm aşağıda yatay şeklinde bir çatlak meydana gelip hızla büyümeye devam ettiği gözlenmiştir.

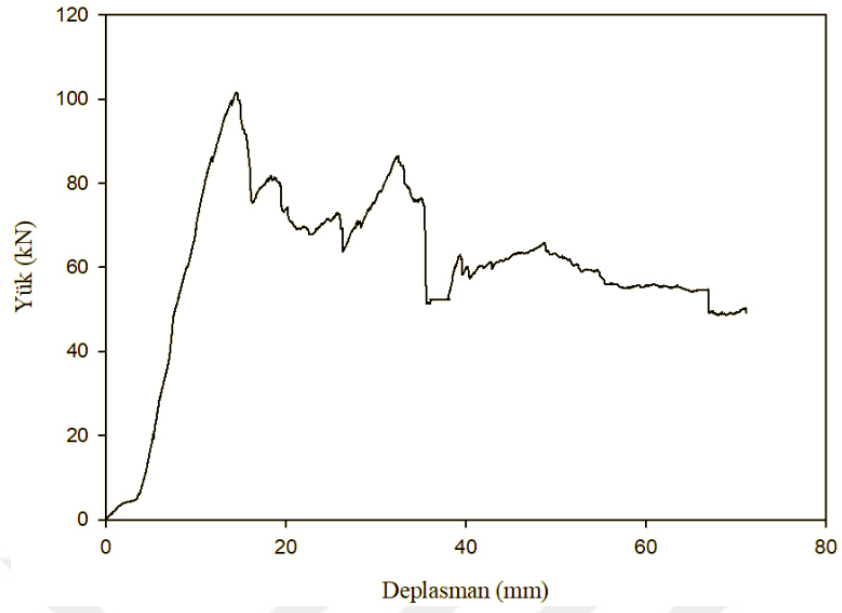
- d. 50 mm deplasman ve 60 kN yük arka yüzeydeki çatlak genişliği daha belirgin hale geldiği, görülmüştür.
- e. 66 mm deplasman ve 55 kN yük, ise ön yüzeyin mafsalla temas kısmında püskürtme betonda işlem aşamasında betonun yüzeylere tutması için iki kademe olarak püskürtüldüğü ve tabakalar arası sulama yapılmadığından dolayı beton tabakaları kabarıp üst tabaka yüzeyden ayrılmıştır. Arka yüzeydeki düşey doğrultuda olan çatlak daha da büyüyüp yaklaşık 1,5 cm genişliğine ulaşmıştır.
- f. Böylece duvarın yük taşıma kapasitesinin oldukça düştüğü ve artık yük taşımadığı gözlemlenerek deneyin sonlandırılmasına karar verilmiştir.

Deney sürecinde elemanın çerçeve ile temas yüzeyi duvarın yaptığı deformasyona bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tablo 6.1.'de Referans deney elemanın temas yüzeyleri verilmiştir.

Tablo 6.1. Referans deney elemanın temas yüzeyleri

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

Şekil 6.1.'de referans deney elemanın yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.1. RS (Referans deney elemanının) yük-deplasman grafiği

Referans deney elemanında meydana gelen en önemli olaylar gevrek davranması ve düşey doğrultusunda büyük bir çatlak oluşmasıdır. Resim 6.2.'de deney sonrası hasar durumu verilmiştir.



Resim 6.2. RS (Referans deney elemanının) deney sonrası durumu

6.2. Güçlendirilmiş Deney Elemanları:

Bu deney numunelerinde genişletilmiş çelik levha tuğla duvarın üzerine iki taraflı olacak şekilde yerleştirilerek ankaraj işlemi tamamlandıktan sonra üzerine 30 mm püskürtme betonu uygulanmıştır. 28 gün kür işleminden sonra deneye tabi tutulmuştur. Deneyler sırasında meydana gelen önemli olaylar her numuneye ait davranışları deney öncesi ve deney sonrası hasar durumlarını gösteren resimler ve ayrıca yük-deplasman grafikleri sırasıyla aşağıda açıklanmıştır.

6.2.1. MBWS 2,0-200 deneyi:

Numune özellikleri:

Genişletilmiş çelik levha kalınlığı: 2,0 mm

Bulon aralığı : 200 mm

Püskürtme beton : 30 mm

Aşağıda Resim 6.3.'te elemanın deney öncesi durumu gösterilmiştir.



Resim 6.3. MBWS 2,0-200 numunesinin deney öncesi durumu

Deney sürecinde yapılan önemli gözlemler:

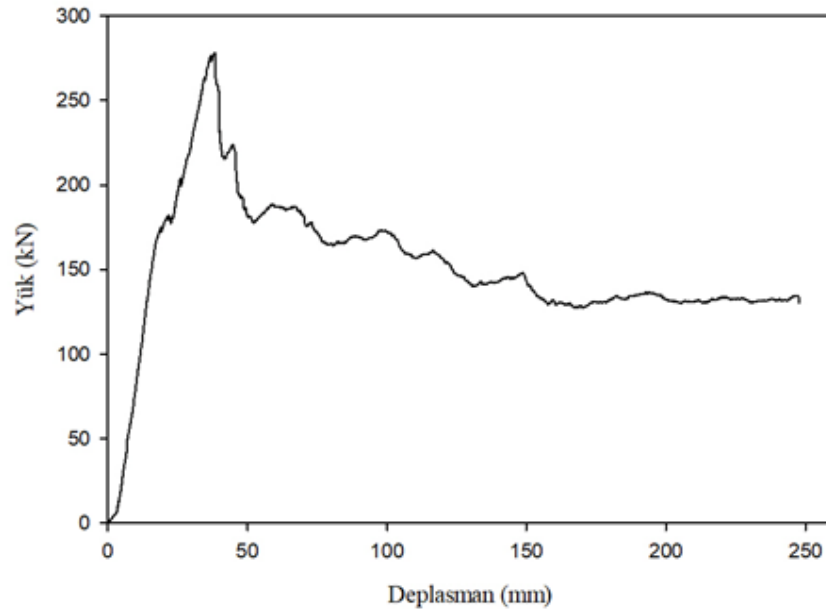
- a. 20 mm deplasman ve 177 kN yük, duvar arka yüzeyinde boydan boya küçük kılcal bir çatlak meydana geldiğinden dolayı yaklaşık 5 kN civarında bir yük kaybı yaşanmıştır. Daha sonra 26 mm deplasman ve 199 kN yük sırasında duvar ön yüzey üst mafsallarda püskürtme betonda biraz kabarma ve dışarıya doğru taşma meydana geldiği görülmüştür.
- b. Duvar bir yandan yük almaya devam ederken öte yandan duvarın alt ve üst mafsallarında ezilmeler ve küçük kırılmalar yaşanmaya devam ederek yükün 277 kN'e kadar çıktığı gözlenmiştir.
- c. 35 mm deplasman ve 273 kN yükte, tekrar küçük bir yük kaybı meydana gelmiştir. Duvar ön yüzeyinde düşey ekseninde kılcal bir çatlak oluştuğu gözlenmiştir. 40 mm deplasmana geldiğinde ise yaklaşık 30 kN ani bir yük kaybı olduğu gözlenerek duvarın mafsallarında ezilmeler ve püskürtme betonda kırılmalar tabakalar şeklinde meydana gelerek düştüğü görülmüştür.
- d. 45 mm deplasmanda ani bir yük kaybı daha meydana gelmiştir. Bundan sonra yük kademeli ama hızlı bir şekilde düşmeye devam ederken duvarda özellikle üst mafsalda hasarlar oluşmaya devam etmiştir.
- e. 240 mm deplasmana geldiğinde deney sonlandırılmıştır. Deney sonunda duvarın ön ve arka yüzey üst mafsallarında daha büyük, ama alt mafsallarda küçük ezilmeler, kırılmalar ve çelik levhada buruşmalar meydana gelmiştir. Bu deney sırasında ankraj bulonlarında herhangi bir sıyrılma veya kopma görülmemiştir.
- f. Genel olarak püskürtme betonun mafsallar ve yakınlarında çelik çerçeveye temas ettiği kısımlarda parçacıklar şeklinde düştüğü gözlenmiştir. Ama orta yüzeylerde çatlama veya kırılma gözlenmemiştir.

Deney sürecinde MBWS 2,0-200 deney elemanının çerçeve ile temas yüzeyi duvarın yaptığı deformasyona bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tablo 6.2.'de deney elemanın temas yüzeyleri verilmiştir.

Tablo 6.2. MBWS 2,0-200 deney elemanın temas yüzeyi

Deplasman (mm)	Yük (kN)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
20	177	20	30	31	20
40	230	22	30	31	23
60	187	26	30	31	25
80	165	28	30	31	28
100	171	32	30	31	28
120	155	38	40	33	34
140	142	42	43	40	36
160	130	50	45	44	50
180	131	54	47	40	54
200	132	59	47	45	56
220	131	59	47	45	56
240	131	59	47	45	60

Şekil 6.2.'de MBWS 2,0-200 deney elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.2. MBWS 2,0-200 numunesinin yük-deplasman eğrisi

MBWS 2,0-200 deney elemanında meydana gelen en önemli olay önceki deney elemanına benzer, püskürtme betonun tabakalar şeklinde kabarıp düşmesi olmuştur. Resim 6.4.'te hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 6.4. MBWS 2,0-200 numunesinin deney sonrası hasar durumu

6.2.2. MBWS 3,0-400 deneyi:

Numune özellikleri:

Genişletilmiş çelik levha kalınlığı: 3,0 mm

Bulon aralığı : 400 mm

Püskürtme beton : 30 mm

Aşağıda Resim 6.5.'te elemanın deney öncesi durumu gösterilmiştir.



Resim 6.5. MBWS 3,0-400 numunesinin deney öncesi durumu

Deney sürecinde yapılan önemli gözlemler:

- a. 18 mm deplasman, 178 kN yük, duvarda iç kısmında gerilmeden dolayı sesler işitilmiş ve yaklaşık 6 kN civarında bir yük kaybı meydana geldiği gözlenmiştir. Akabinde tekrar yük almaya devam ederek, 25 mm deplasman ve 214 kN yük, yine duvardan sesler gelerek küçük bir yük kaybı yaşanmıştır.
- b. 26 mm deplasman ve 215 kN yük sırasında duvar arka yüzey çelik çerçevenin alt mafsallında püskürtme betonda ezilmeden dolayı küçük bir kırılma meydana gelerek ani bir yük kaybına neden olmuştur. Ardından yük kademeli bir şekilde düşmeye devam etmiştir. Ardından kırılan püskürtme beton parçaları yavaş yavaş ayrılarak düşmeye başlamıştır, düşen püskürtme betonların altındaki çelik levhada buruşmalar meydana geldiği gözlenmiştir. Ama bulonlarda herhangi bir sıyrılma gözükmemiştir.
- c. 34 mm deplasman, 194 kN yük, duvar ön yüzeyin alt mafsallında püskürtme betonda ezilmeler gözlenmiştir. Duvarın arka yüzey üst mafsallında püskürtme betonda ezilmeden dolayı küçük bir kırılma gözlenmiştir. Akabinde yavaş

yavaş yük kademeli bir şekilde düşmeye devam ederken duvarda ezilmeler ve mafsallara yakın kısımlarda püskürtme betonda, uygulama sırasında alt tabakanın prizini tam almadan yeni bir tabaka uygulandığı için tabakalar şeklinde ayrılmalar, düşey delikli tuğlalarda kırılmalar ve çelik levha buruşarak duvarda hasarlar meydana gelmeye devam etmiştir.

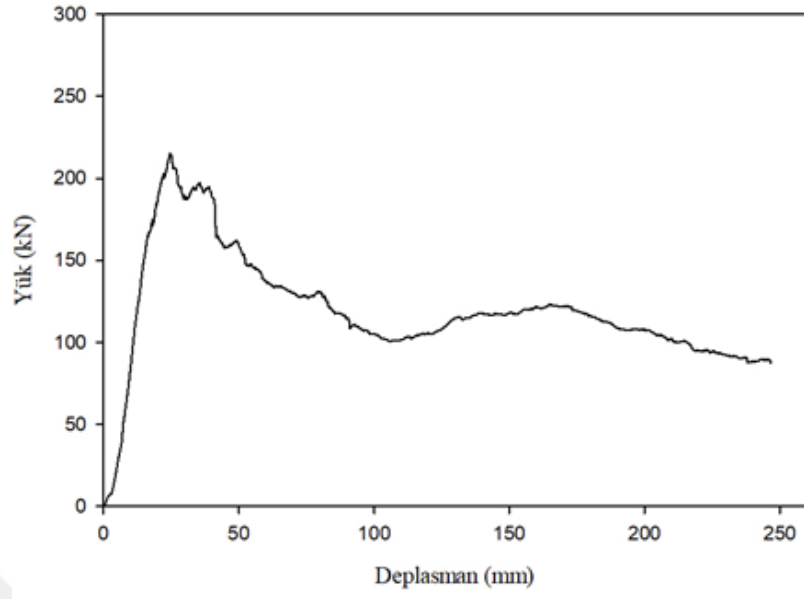
- d. 105 mm deplasmana gelindiğinde yük 100 kN'e kadar düştüğü görülmüştür. Ardından çelik levha ve bulonların etkisi ile birlikte yük artmaya başlayarak 170 mm deplasmanda 122 kN'a çıktığı gözlenmiştir.
- e. Böylece 240 mm deplasmanda duvara uygulanan yük 88 kN olarak saptanarak pistonun stroke boyunun sonuna geldiği için deney sonlandırılmıştır. Duvarın yükü karşıladığı bölgelerinden hariç ön ve arka yüzeylerinin orta kısımlarında herhangi bir çatlama veya kırılma meydana gelmezken alt mafsalda ise püskürtme betonda büyük bir kırılma meydana geldiği gözlenmiştir.

Deney sürecinde MBWS 3,0-400 deney elemanının çerçeve ile temas yüzeyi duvarın yaptığı deformasyona bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tablo 6.3.'te deney elemanının temas yüzeyleri verilmiştir.

Tablo 6.3. MBWS 3,0-400 deney elemanının temas yüzeyi

Deplasman (mm)	Yük (kN)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
20	184	40	15	15	40
40	192	41	40	40	41
60	138	48	47	51	52
80	130	45	55	60	55
100	104	50	61	67	58
120	105	55	65	71	63
140	117	55	66	72	65
160	120	58	67	75	66
180	115	60	70	75	67
200	107	70	72	75	71
220	99	73	73	78	80
240	88	77	73	78	80

Şekil 6.3.'te MBWS 3,0-400 deney elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.3. MBWS 3,0-400 numunesinin yük-deplasman eğrisi

MBWS 3,0-400 deney elemanında meydana gelen en önemli olay püskürtme betonun tabakalar şeklinde kabarıp düşmesidir.

Aşağıda Resim 6.6.'da deney sonu elemanın hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 6.6. MBWS 3,0-400 numunesinin deney sonrası hasar durumu

6.2.3. MBW 3,0-200 deneyi:

Numune özellikleri:

Genişletilmiş çelik levha kalınlığı: 3,0 mm

Bulon aralığı : 200 mm

Püskürtme beton : 30 mm

Aşağıda Resim 6.7.'de elemanın deney öncesi durumu gösterilmiştir.



Resim 6.7. MBWS 3,0-200 numunesinin deney öncesi durumu

Deney sürecinde yapılan önemli gözlemler:

- a. 21 mm deplasman, 174 kN yük, duvar arka yüzeyin alt mafsasında püskürtme betonda küçük ezilme ve kabarma meydana gelerek çok az bir yük kaybına neden olmuştur. Ardından tekrar yük alarak 30 mm deplasman ve 206 kN yükte arka yüzey üst mafsalda püskürtme beton kabarıp parçacıklar şeklinde düşmüştür.
- b. 32 mm deplasman, 201 kN yük ön yüzey alt mafsalda püskürtme betonda küçük kabarmalar meydana gelerek düşmüştür. Çelik levhada buruşma

meydana geldiği ama ortaya çıkan bulonda sıyrılma olmadığı gözlenmiştir. Duvar tekrar yük olarak 213 kN'e kadar çıkarken duvarda ezilmeler ve püskürtme betonda tabakalar şeklinde kırılmalar devam etmiştir.

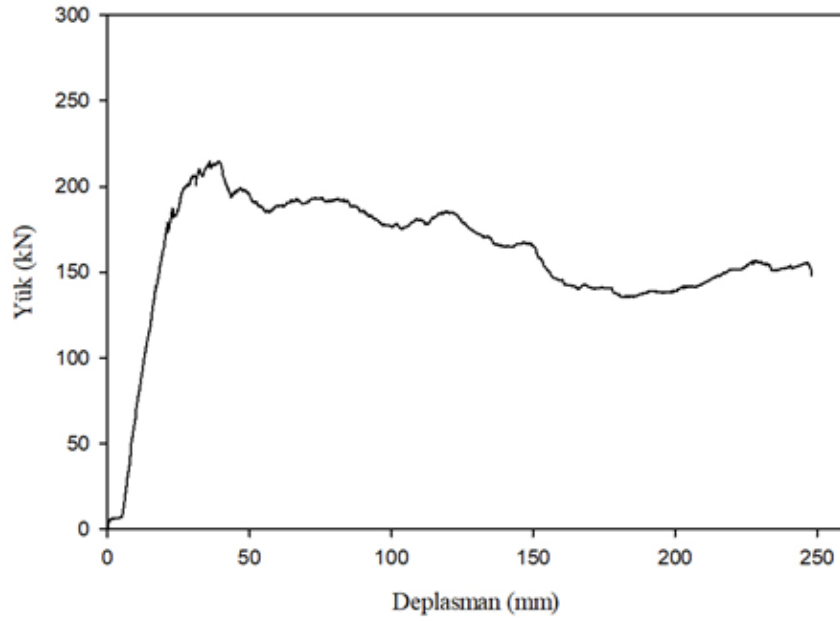
- c. 45 mm deplasmana geldiğinde yük kademeli bir şekilde 197 kN 'e kadar düşerek duvarda meydana gelen hasarlar devam etmiştir. 240 mm deplasman ve 153 kN yük uygulanırken strok boyundan dolayı deney sonlandırılmıştır.
- d. Genel olarak bu deney numunesinde çok büyük ani yük kayıpları yaşanmadan bir yandan yük kademeli bir şekilde düşmeye devam ederken diğer yandan duvarda hasarlar ve çelik levhada buruşmalar meydana gelmeye devam etmiştir. Daha önceki deneylerde olduğu gibi bu deneyde de mafsallara yakın çerçeve ile temas halinde olan püskürtme betonda kırılmalar ve çatlamlar meydana gelmişken duvar orta yüzeylerinde herhangi bir çatlama veya hasar oluşmamıştır. Deney sonuna doğru duvar sıkışmasından ve bolunların etkisinden dolayı yük tekrar artmaya devam etmiştir.

Deney sürecinde MBWS 3,0-200 deney elemanının çerçeve ile temas yüzeyi duvarın yaptığı deformasyona bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tablo 6.4.'te deney elemanın temas yüzeyleri verilmiştir.

Tablo 6.4. MBWS 3,0-200 deney elemanın temas yüzeyi

Deplasman (mm)	Yük (kN)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
20	163	20	11	15	20
40	212	35	30	33	32
60	188	47	41	40	40
80	192	47	41	42	47
100	177	50	44	45	51
120	184	50	44	45	52
140	165	50	44	45	52
160	145	52	46	45	52
180	137	55	49	50	55
200	139	60	51	50	60
220	151	60	51	50	64
240	153	60	51	50	64

Şekil 6.4.'te MBWS 2,0-200 deney elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.4. MBWS 3,0-200 numunesinin yük-deplasman eğrisi

MBWS 3,0-200 deney elemanında meydana gelen en önemli olay önceki deney elemanına benzer, püskürtme betonun tabakalar şeklinde kabarıp düşmesi olmuştur. Resim 6.8.'de hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 6.8. MBWS 3,0-200 numunesinin deney sonrası hasar durumu

6.2.4. MBW 3,0-150 deneyi:

Numune özellikleri:

Geniştirilmiş çelik levha kalınlığı: 3,0 mm

Bulon aralığı : 150 mm

Püskürtme beton : 30 mm

Resim 6.9.'da MBWS 3,0-150 deney elemanının deney önesi durumu verilmiştir.



Resim 6.9. MBWS 3,0-150 numunesinin deney önesi durumu

Deney sürecinde yapılan önemli gözlemler:

- a. 25 mm deplasman, 200 kN yükte duvar mafsallarında küçük ezilmeler meydana gelmiştir, ama kırılma parçalanma veya düşme yaşanmamıştır.
- b. 26 mm deplasmanda duvarda üst mafsala yakın püskürtme beton kabarıp dışa doğru taşmasından, 6 kN yük kaybı meydana gelerek 203 KN den 197 kN'e düşmüştür. Duvar tekrar yük almaya devam ederek 40 mm deplasman yaparken yük 222 kN'e çıktığı görülmüştür. Bu sırada duvarda alt ve üst

mafsallarda püskürtme betonda kabarmalar meydana gelmiş ve küçük parçalar şeklinde düştüğü gözlenmiştir.

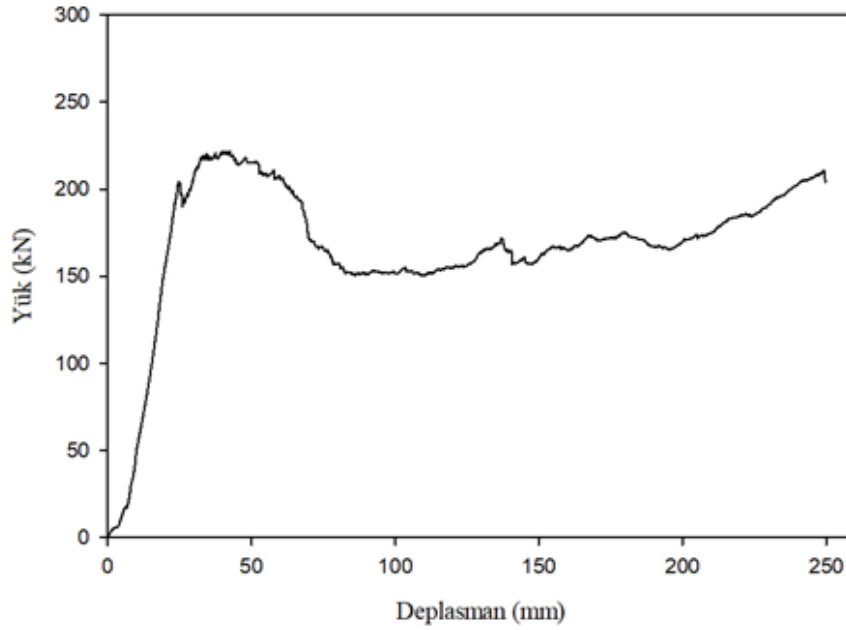
- c. 58 mm deplasmana geldiğinde yük 206 kN civarında seyrederken arka yüzey üst mafsalda kırılan püskürtme beton düştüğü için küçük bir yük kaybı meydana gelmiştir. Düşen beton altında ortaya çıkan çelik levhada buruşma fakat bolunlarda herhangi bir sıyrılma veya kopma gözlenmemiştir. Böylece yük kademeli bir şekilde 152 kN'e kadar düşmeye devam ederken duvarda hasarlar oluşmaya ve çelik levhada buruşmalar meydana gelmeye devam etmiştir.
- d. Genel olarak bu deney elemanında çok büyük ani yük kayıpları yaşanmamıştır. Duvar temas yüzeylerinin artmasından ve daha çok ankraj bulonların devreye girmesinden dolayı tekrar yük almaya başlamıştır.
- e. 240 mm deplasmanda deney sonlandırılırken 205 kN yük taşımakta olduğu saptanmıştır.

Deney sürecinde MBWS 3,0-150 deney elemanının çerçeve ile temas yüzeyi duvarın yaptığı deformasyona bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tablo 6.5.'te deney elemanın temas yüzeyleri verilmiştir.

Tablo 6.5. MBWS 3,0-150 deney elemanın temas yüzeyi

Deplasman (mm)	Yük (kN)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
20	150	20	20	18	20
40	220	30	30	37	27
60	206	31	40	40	30
80	155	48	48	45	48
100	152	50	48	48	50
120	155	50	48	48	50
140	157	50	50	50	50
160	164	53	53	53	51
180	175	54	53	54	54
200	169	54	53	54	53
220	185	60	53	54	60
240	202	60	53	54	60

Şekil 6.5.'te MBWS 3,0-150 deney elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.5. MBWS 3,0-150 numunesinin yük-deplasman eğrisi

MBWS 3,0-150 deney elemanında meydana gelen en önemli olay önceki deney elemanlarına benzer, püskürtme betonun tabakalar şeklinde kabarıp düşmesi olmuştur. Resim 6.10.'da hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 6.10. MBWS 3,0-150 numunesinin deney sonrası hasar durumu

6.2.5. MBW 3,0-100 deneyi:

Numune özellikleri:

Genişletilmiş çelik levha kalınlığı : 3,0 mm

Bulon aralığı : 100 mm

Püskürtme beton : 30 mm

Aşağıda Resim 6.11.'de deney öncesi durumu verilmiştir.



Resim 6.11. MBWS 3,0-100 numunesinin deney öncesi durumu

Deney sürecinde yapılan önemli gözlemler:

- a. 35 mm deplasman, 243 kN yük, duvar arka yüzey alt mafsalda püskürtme betonda ezilmeden dolayı küçük bir parça şeklinde kırılma oluşmuştur.
- b. 50 mm deplasman 266 kN yükte duvar ön yüzeyin üst mafsalda püskürtme betonda kırılma meydana gelmiştir. Küçük ani yük kayıpları yaşanmasına

rağmen, 55 mm deplasmanda duvar 274 kN'e kadar yük almaya devam etmiştir.

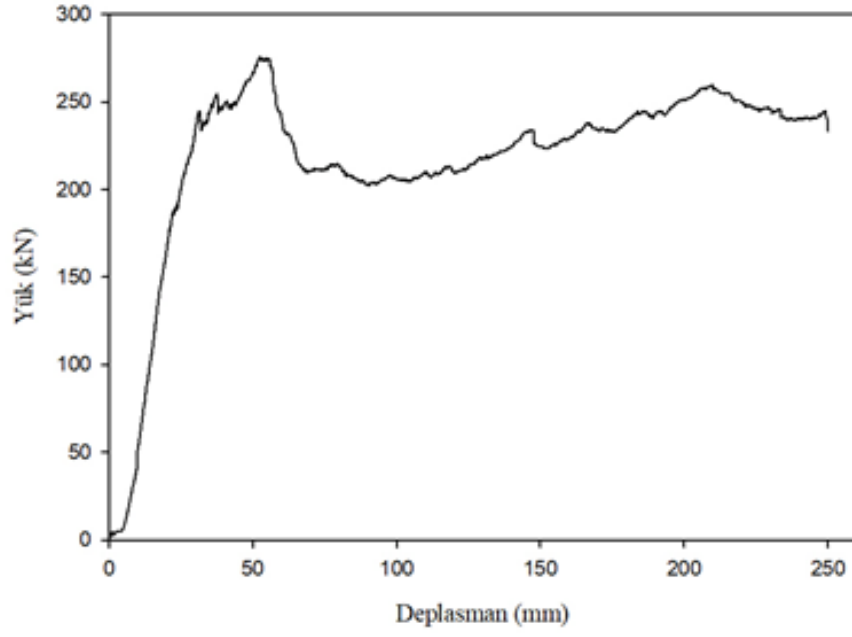
- c. 55-60 mm deplasman arasında püskürtme beton kırılmasından veya çelik levha buruşmalarından yaklaşık 30 kN civarında bir yük kaybı meydana gelerek 244 kN'e düşmüştür.
- d. Bir yandan duvarda hasarlar oluşurken diğer yandan duvar sıkışmasından, çelik levha ve bolunların devreye girmesinden dolayı yük kademeli bir şekilde artmaya devam ederek 240 mm deplasmanda strok boyundan dolayı deney sonlandırılmaya karar verilirken 244 kN yük taşımakta olduğu saptanmıştır.

Deney sürecinde MBWS 3,0-100 deney elemanının çerçeve ile temas yüzeyi duvarın yaptığı deformasyona bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Tablo 6.6.'da deney elemanının temas yüzeyleri verilmiştir.

Tablo 6.6. MBWS 3,0-100 deney elemanının temas yüzeyi

Deplasman (mm)	Yük (kN)	Ön sol (cm)	Ön sağ (cm)	Arka sol (cm)	Arka sağ (cm)
20	165	20	-	-	20
40	249	40	30	33	35
60	244	40	42	40	38
80	214	40	44	45	40
100	207	40	50	50	40
120	209	43	54	55	43
140	226	43	55	56	41
160	229	45	55	56	42
180	239	46	55	56	46
200	251	47	55	56	49
220	248	49	55	56	50
240	240	49	55	56	50

Şekil 6.6.'da MBWS 3,0-100 deney elemanının yük-deplasman grafiği gösterilmiştir.



Şekil 6.6. MBWS 3,0-100 numunesinin yük-deplasman eğrisi

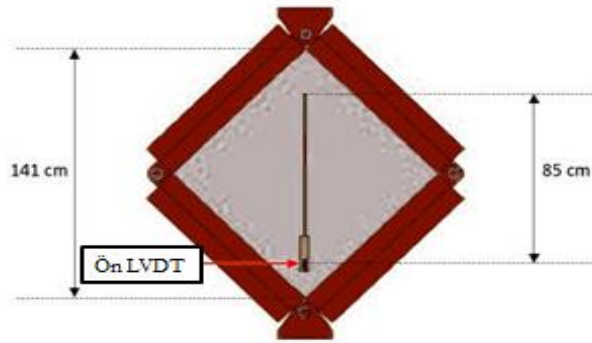
MBWS 3,0-100 deney elemanında meydana gelen en önemli olay önceki deney elemanlarına benzer, püskürtme betonun tabakalar şeklinde kabarıp düşmesi olmuştur. Resim 6.12.'de hasar durumu gösterilmiştir.



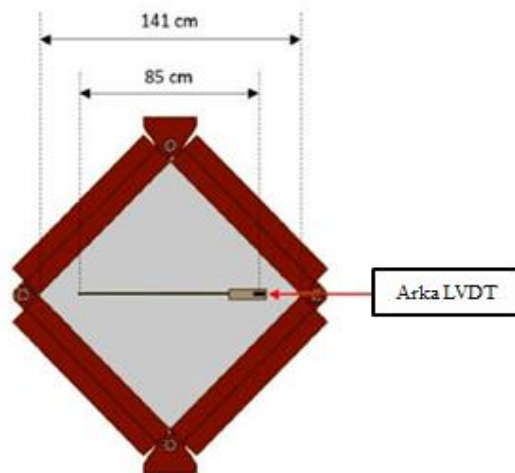
Resim 6.12. MBWS 3,0-100 numunesinin deney sonrası hasar durumu

6.3. Deney Elemanlarının Yüzeylerindeki Deformasyonların Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde 6 adet deney elemanının ön ve arka yüzeylerindeki deformasyonlar belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda 0,01 mm hassasiyetinde, 50 mm ölçme kapasitesi olan iki adet LVDT kullanılmıştır. LVDT konumlarının deney numuneleri üzerinde ön yüzeydeki LVDT için çelik çerçevenin alt başlığın iç kısmından yukarıya doğru 28,5 cm, arka yüzeydeki LVDT için ise sol köşenin iç kısmından sağa doğru 28,5 cm mesafe işaretlenip LVDT'ler bağlanmıştır. Aynı şekilde üst başlığın altından aşağıya doğru 28,5 cm, arka yüz sağ köşesinin iç kısmından sola doğru 28,5 cm ölçerek orta mesafesi 85 cm kalacak şekilde kalibrasyon işlemi tamamlanarak iplerle bağlanmıştır. Şekil 6.7.-6.8.'de bağlanmaları verilmiştir.



Şekil 6.7. Deney elemanının ön yüzeyindeki LVDT konumu, Cumhuriyet (2016)



Şekil 6.8. Deney elemanının arka yüzeyindeki LVDT konumu, Cumhuriyet (2016)

Deney elemanlarının şekil değiştirmesinin (ε) hesaplanması için deney elemanının ilk boy uzunluğu L_0 , deney elemanına uygulanan yük sebebiyle meydana gelen boy değişimi ΔL ile gösterilirse, deney elemanın şekil değiştirmesi aşağıda Denklem 6.1 ile yazılacaktır.

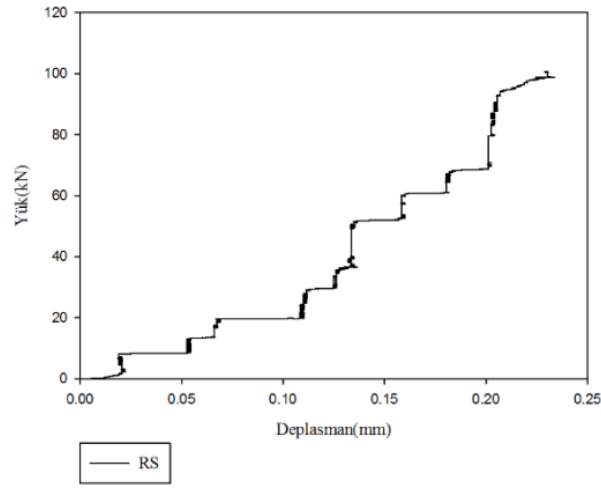
$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (6.1)$$

Diyagonal basınç yüklemeye maruz kalan numunelerin akma anındaki birim kısalması ΔL_y ve ilk boy ise L_0 ile gösterilirse akmanın başladığı ilk andaki birim kısalması Denklem 6.2 ile yazılacaktır.

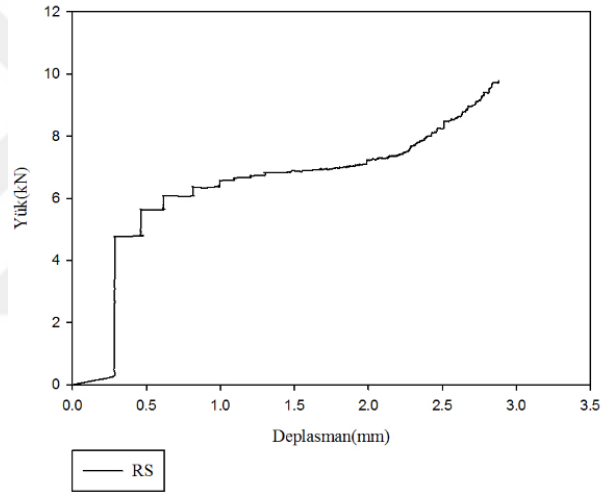
$$\varepsilon_y = \Delta L_y / L_0 \quad (6.2)$$

Bu denklemler sayesinde deney elemanlarının akma ve kopma anında ön yüzeyindeki birim kısaltmaların ve arka yüzeyindeki ise birim uzamaların hesaplanması amaçlanmıştır. Ancak deney elemanlarının uygulanan ve deplasmana bağlı artan diyagonal yük nedeniyle alt başlıkların ezilmesi ve püskürtülen betonun kabarması ya da dışa doğru taşması nedeniyle ön 50 LVDT ile deneyin sonuna kadar ölçüm alınamamıştır. 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.

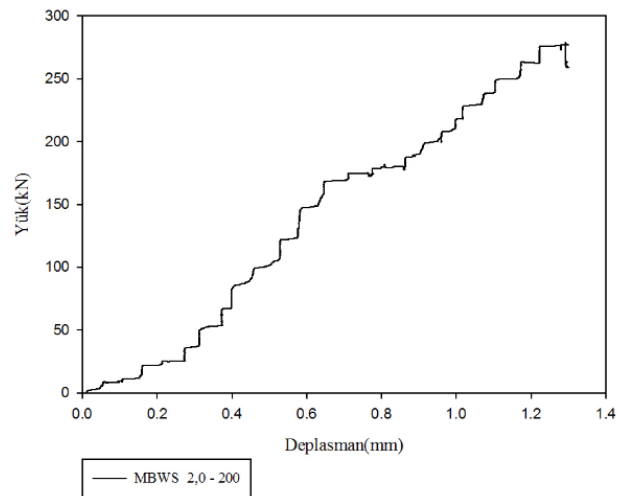
Deney elemanlarının iç ölçümler ile belirlenen ön yüzeydeki deformasyonlara bağlı olarak birim kısaltmaları ve arka yüzeydeki deformasyonlara bağlı olarak birim uzamaları yük-deplasman grafikleri sırasıyla aşağıda Şekil 6.9.-6.15.'te verilmiştir.



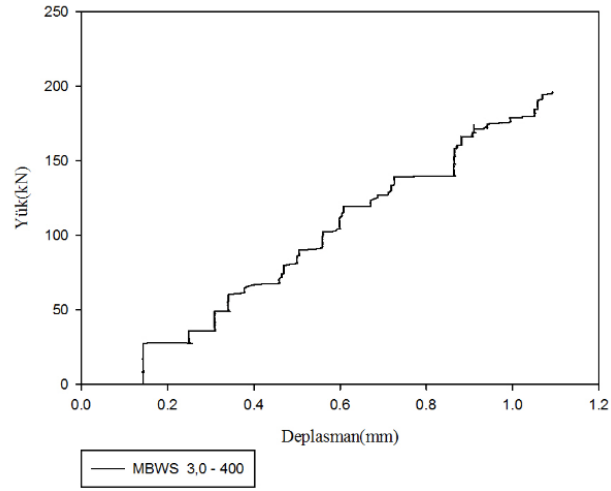
Şekil 6.9. RS deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafikleri



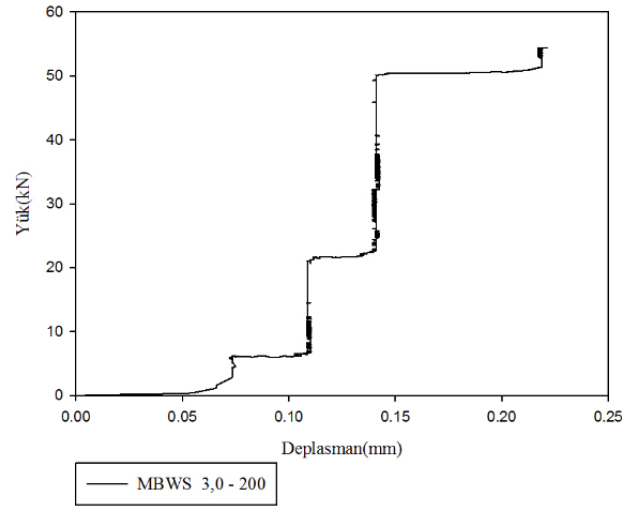
Şekil 6.10. RS deney elemanının arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafikleri



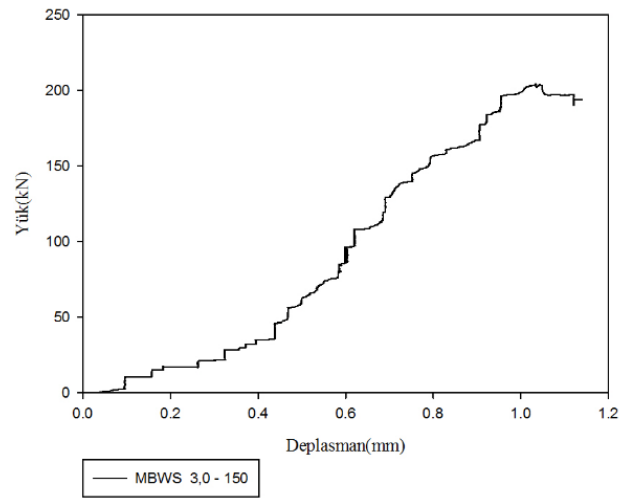
Şekil 6.11. MBWS 2,0-200 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği



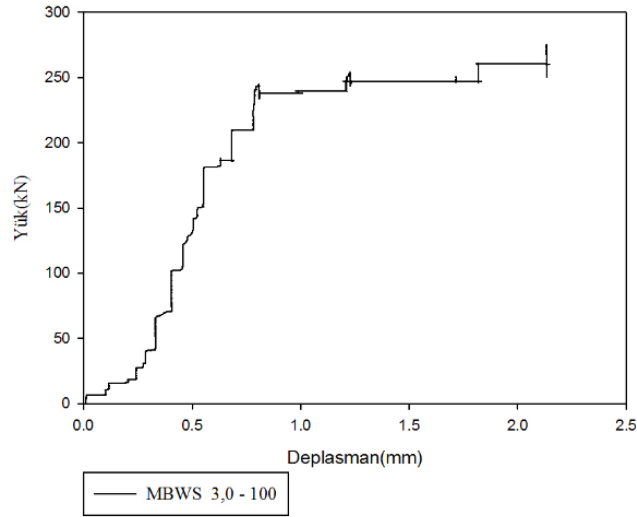
Şekil 6.12. MBWS 3,0-400 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği



Şekil 6.13. MBWS 3,0-200 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği



Şekil 6.14. MBWS 3,0-150 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği



Şekil 6.15. MBWS 3,0-100 deney elemanının ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman grafiği

Tablo 6.7.'de deney elemanlarının ön yüzündeki deformasyonlara bağlı olarak birim boy kısaltmaları verilmiştir.

Tablo 6.7. Deney elemanlarının ön yüzündeki deformasyonlara bağlı birim boy kısaltmaları

Deney Elemanı	İlk boy L_0 (mm)	Kısalma Miktarı ΔL (mm)	Akma birim kısalma oranı $\epsilon_y (\times 10^{-4})$
RS	850	0,2	2,5
MBWS 2,0-200	850	1,2	14,7
MBWS 3,0-400	850	1,1	13,5
MBWS 3,0-200	850	>0,2	>2,7
MBWS 3,0-150	850	1,1	13,8
MBWS 3,0-100	850	>0,7	>8,8

Tablo 6.7.'de görüldüğü gibi güçlendirilmiş deney elemanlarının referans numunesine göre daha sünek davranmalarında dolayı akma birim kısalma oranları daha yüksek çıkmıştır. Referans numunesinin birim kısalma oranı $2,5 \times 10^{-4}$ olarak belirlenirken, en yüksek akma birim kısalma oranı ise $14,7 \times 10^{-4}$ ile MBWS 2,0-200 deney elemanında meydana gelmiştir. MBWS 3,0-200 deney elemanının alt mafsalda püskürtme betonda deformasyondan dolayı kabarmalar meydana geldiği için ön 50 LVDT deney sonuna kadar okuma alınamayarak 0,2 mm de çıkarılmıştır. MBWS 3,0-100 deney elemanında bulon sayısının fazla olduğu için beklendiği gibi birim kısalma oranı diğer numunelere göre düşük çıkmıştır.

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Genel Değerlendirme

Referans numunesi (RS) deney sırasında yüzeylerinde oluşan düşey ana çatlaktan sonra çok gevrek davranıp ani yük kayıplarına sebep olmuştur. Resim 7.1.'de görüldüğü gibi bu çatlak kayma dayanımı zayıf olan tuğla ve harçta da meydana gelmiştir. Referans numunesi çok hızlı yük kayıpları yaşadığı ve sünek olmayan bir davranış sergilediği için oldukça sınırlı deplasman yapmıştır. Artık yük taşımadığı gözlemlendiği gerekçesiyle deneyin sonlandırılmasına karar verilirken 80 mm altında deplasman yaptığı kaydedilmiştir. Resim 7.1.'de referans numunesinin deney sonu hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 7.1. Referans deney elemanının deney sonu hasar durumu

Güçlendirilmiş deney elemanları referans numunesinin gevrek ve kırılgan davranışına karşın daha sünek bir davranış gösterip deney sisteminin yapabildiği maksimum deplasman değerine kadar parçalanmadan devam ettikleri kaydedilmiştir.

Genişletilmiş çelik levha ve püskürtme beton uygulaması ile yapılan güçlendirme çalışmasının güçlendirilmiş deney elemanlarının davranışları üzerinde olumlu etkiler meydana getirmiştir. Bu olumlu etkiler aşağıda verilmiştir.

- a. Genişletilmiş çelik levha ve püskürtme beton uygulaması, güçlendirilmiş deney elemanlarında diyagonal tekdüze yükleme ile meydana gelen çekme gerilmelerini karşılayarak hasarı önemli ölçüde azaltmıştır.
- b. Genişletilmiş çelik levha ve püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmiş duvar deney elemanlarında bulonlar vasıtasıyla sargılama etkisi oluşmuştur. Bunun sonucunda güçlendirilmiş deney elemanlarının mekanik özelliklerinde iyileşmeler görülmüştür.
- c. Genişletilmiş çelik levha ile püskürtme beton arasında oldukça yüksek bir aderans sağlanmıştır. Bu aderans sayesinde güçlendirilmiş deney elemanlarının sünek davranışları referans elemana göre artmıştır.

Deney kapsamında uygulanan diyagonal tekdüze yükleme altında güçlendirilmiş deney elemanlarının alt ve üst köşelerinde ezilmeler sonucunda çelik levhada buruşmalar, duvarların orta bölgesinde ise kısmi kılcal çatlaklar görülmüştür. Deneyler tamamlanıncaya kadar güçlendirilmiş deney elemanları bütünlüğünü koruyarak, ani yük kaybı meydana gelmeden yük taşıma kapasiteleri devam etmiştir. Resim 7.2.'de MBWS 3,0-400 güçlendirilmiş deney elemanının hasar biçimi gösterilmiştir.



Resim 7.2. MBWS 3,0-400 Güçlendirilmiş deney elemanının deney sonu hasar durumu

7.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler

Çalışmanın bu kısmında daha önce deney elemanlarından, deney sisteminden ve yapılan deneylerden elde edilen bilgiler ve veriler yardımıyla deney elemanların taşıma gücü, rijitlik, süneklik, kayma dayanımları ve enerji dönüştürme kapasiteleri karşılaştırılarak şekil ve tablolar halinde verilmiştir.

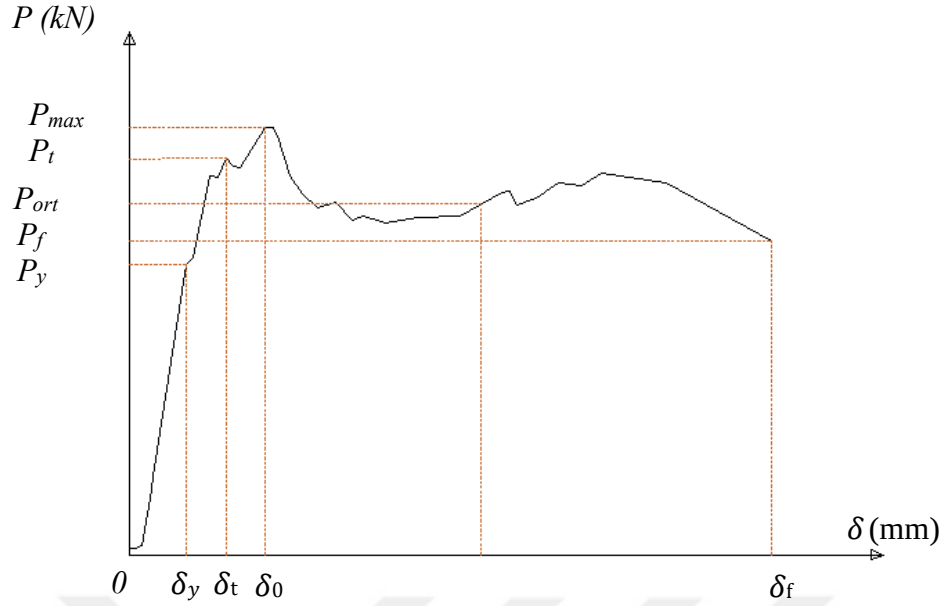
7.2.1. Taşıma gücü

Güçlendirme amaçlarından birisi deney elemanlarının depreme karşı dayanımı ve taşıma gücü kapasitesinin artırılmasıdır.

Deney mekanizmasında dikkate alınan deplasman değeri 240 mm olarak belirlenmiştir.

Akma anındaki deplasman değeri (δ_y) ile maksimum deplasman değeri (δ_f)'in arasındaki deplasmana karşılık gelen yüklerin aritmetik ortalaması (P_{ort}), güçlendirilmiş deney numunelerin yük taşıma kapasitesi olarak varsayılmıştır. Referans numunesinde ise (P_{max}) maksimum taşıma kapasitesi olarak belirlenmiştir. Akma noktasındaki taşıma gücü (P_y), ilk tepe noktasındaki taşıma gücü (P_t), son deplasman noktasındaki taşıma gücü (P_f), ilk tepe noktasının yüküne denk gelen deplasman değeri (δ_t), maksimum taşıma gücüne ait deplasman (δ_0), ve maksimum deplasman değeri (δ_f) ile gösterilmiştir.

Tablo 7.1.'de akma anındaki taşıma gücü, ilk tepe noktası taşıma gücü, maksimum taşıma gücü ve deney sonlandırılırken taşıma güçleri ve göreceli taşıma güçleri verilmiştir. Ayrıca Şekil 7.1.'de yük-deplasman grafiği yukarıda açıklanan indislerin şematik gösterimi için temsili olarak verilmiştir.



Şekil 7.1. Deney elemanların taşıma gücü hesaplanırken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

Tablo 7.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma güçleri 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
RS	103	103	103	55	103	-
MBWS 2,0-200	175	277	277	131	156,4	1,5
MBWS 3,0-400	170	215	215	88	126,6	1,2
MBWS 3,0-200	180	209	213	153	166,8	1,6
MBWS 3,0-150	208	220	222	205	174,5	1,7
MBWS 3,0-100	240	245	274	244	229,7	2,2

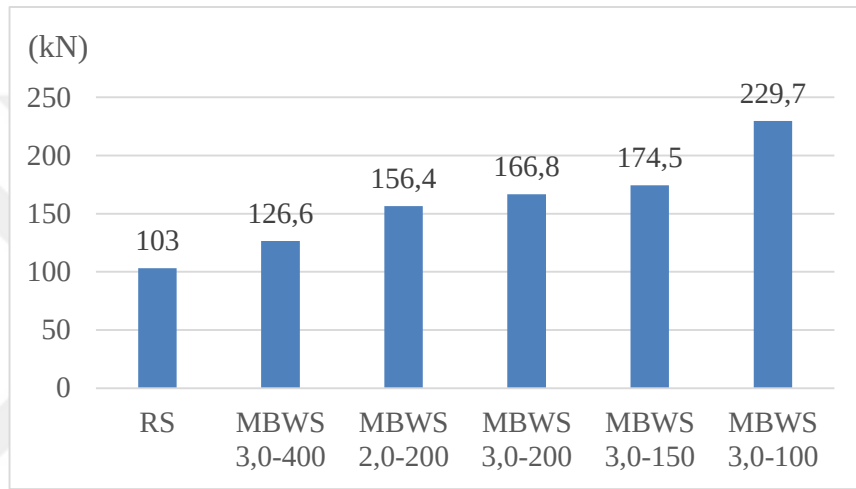
Tabloda 7.1.’deki göreceli taşıma gücü oranı güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma güçleri referans numunesinin taşıma gücüne oranlanarak hesaplanmıştır. Örneğin; (MBWS 3,0-400) göreceli taşıma gücü oranı Denklem 7.1.’de verilmiştir.

$$MBWS\ 3,0-400_{G.T.G.O} = \frac{126,6}{103} \cong 1,2 \quad (7.1)$$

Tablo 7.1.’de güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma güçleri referans numunesine göre; minimum 1,2, maksimum 2,2 katına ulaştığı görülmektedir. Bulon aralığı en fazla olan deney elemanı (MBWS 3,0-400) taşıma gücü, referans numunesine göre %20’lik bir artış gösterirken, bulon aralığı en sık olan (MBWS 3,0-100) deney elemanı, referans numunesine göre taşıma gücü % 120 lik bir artış göstermiştir.

Bulon aralığı aynı ama levha kalınlığı farklı olan (MBWS 3,0-200 ve MBWS 2,0-200) deney elemanlarında ise levha kalınlığının taşıma gücüne etkisi olduğu görülmüştür. (MBWS 2,0-200) deney elemanın referans numunesine göre taşıma gücü %50'lik bir artış gösterirken, (MBWS 3,0-200)'ün taşıma gücü %60'a kadar çıktığı gözlenmiştir.

Genel olarak bulon aralığı daha az ve levha kalınlığı fazla olan deney elemanlarının taşıma gücü kapasiteleri daha yüksek çıktığı gözlenmiştir. Aşağıda Şekil 7.2.'de deney elemanlarının taşıma güçleri grafik olarak verilmiştir.



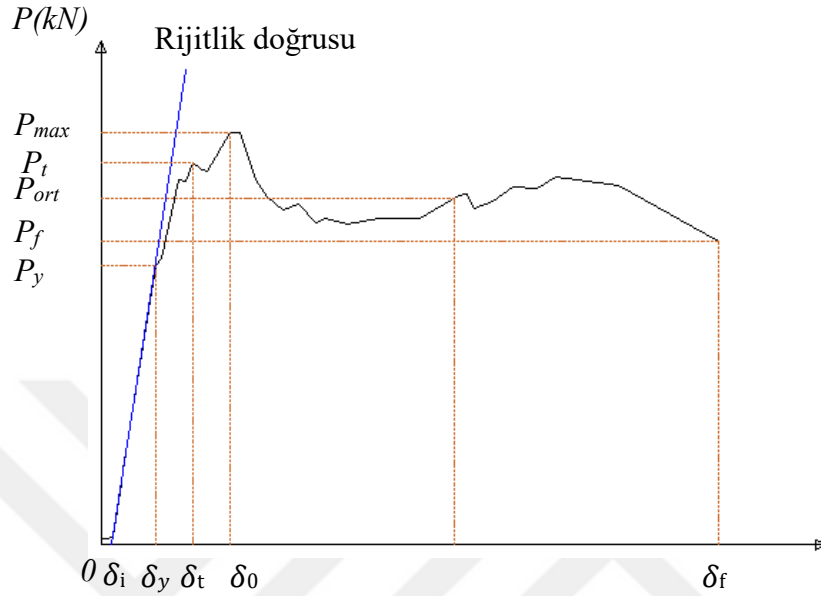
Şekil 7.2. Deney elemanların taşıma gücü grafiği

7.2.2. Rijitlik

Genel bir tanım olarak rijitlik cisimlerin yer değiştirmesine karşı gösterdiği dirençten ibarettir. Güçlendirme sistemi dolgu ve yığma duvarların rijitliğini artırdığı için yapıların da yanal ötelenmesini azaltmış oluyor, bu da yönetmelikler tarafından istenilen ve güçlendirmede amaçlanan bir davranıştır.

Deney elemanlarının rijitliklerini bulmak için kullanılan indislerin açılımları şöyledir; (α) başlangıç rijitliği, (P_y) akma anındaki taşıma gücü, (P_t) ise deneyin ilk tepe noktasındaki taşıma gücü, (P_{max}) maksimum taşıma gücü, (P_{ort}) ortalama taşıma gücü, (P_f) son deplasmanda iken taşıma gücü, (δ_i) rijitlik doğrusunun başladığı deplasman noktası, (δ_y) akmanın başladığı ana denk gelen deplasman noktası, (δ_t) deneyin ilk tepe noktasındaki yüke denk gelen deplasman noktası, (δ_0) maksimum taşıma gücünü

gösteren deplasman noktası ve (δ_f) ise maksimum deplasman değerini göstermektedir. Aşağıda Şekil 7.3.'te yük-deplasman grafiği yukarıda açıklanan indislerin şematik gösterimi için temsili olarak verilmiştir.



Şekil 7.3. Deney elemanların rijitlikleri hesaplanırken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

Deney elemanlarının başlangıç rijitliklerini bulmak için akma yükünün, akma anındaki diyagonal boyunca sebep olduğu kısalmaya oranından hesaplanacaktır. Elastik doğrusunun bittiği noktaya denk gelen yük akma yüküne eşittir, levhalar akmaya başlayınca yükte hafif bir ani boşalma meydana gelmiştir. Referans numunelerde çelik levha ve bulon kullanılmadığı için akma meydana gelmemektedir. Dolayısıyla referans numunelerin başlangıç rijitlikleri yük-eğilme grafiğinin başlangıç noktasından hesaplanmaktadır.

Tablo 7.2.'de verilen akma deformasyonları $(\bar{\delta}_y)$, Denklem 7.2. ile başlangıç rijitliği ise Denklem 7.3. ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{\delta}_y = \delta_y - \delta_i \quad (7.2)$$

$$\text{Başlangıç rijitliği} = \tan \alpha = P_y / \bar{\delta}_y \quad (7.3)$$

Tablo 7.2’de deney elemanlarının akma anındaki taşıma güçleri, rijitlik doğrusunun başladığı andaki deplasman değeri akma deformasyon değeri, rijitlikleri ve göreceli rijitlik oranları hesaplanmıştır.

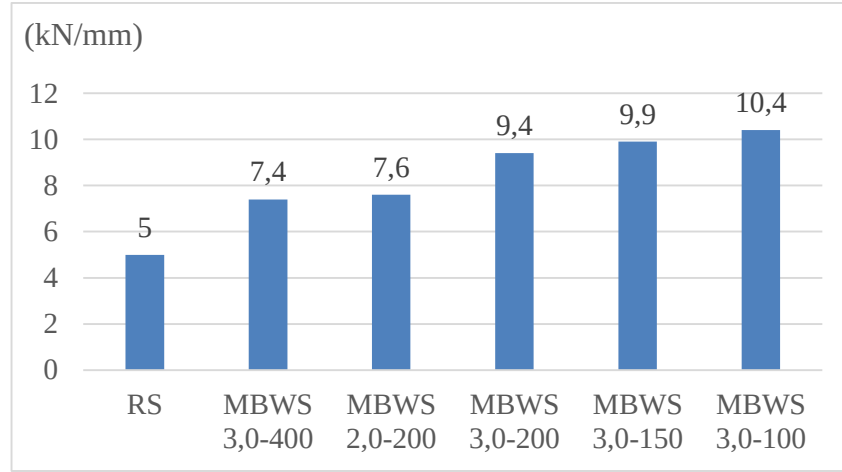
Tablo 7.2. Deney elemanlarının başlangıç rijitlik ve göreceli rijitlik oranları

Deney Elemanı	P_y (kN)	δ_y (mm)	δ_t (mm)	$\bar{\delta}_y$ (mm)	Rijitlik (kN/mm)	Göreceli Rijitlik Oranı
RS	-	-	-	-	5,0	-
MBWS 2,0-200	175	26	3	23	7,6	1,5
MBWS 3,0-400	170	25	2	23	7,4	1,5
MBWS 3,0-200	180	22	3	19	9,4	1,8
MBWS 3,0-150	208	24	3	21	9,9	1,9
MBWS 3,0-100	240	25	2	23	10,4	2,0

Tabloda 7.2.’deki göreceli rijitlik oranı güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlikleri, referans numunesinin rijitlik oranından hesaplanmıştır. Örneğin; MBWS 3,0-400 göreceli taşıma gücü oranı Denklem 7.4.’te verilmiştir.

$$\text{MBWS 3,0-400}_{G. R. O} = \frac{7,4}{5} \cong 1,5 \quad (7.4)$$

Tablo 7.2.’de görüldüğü üzere güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlikleri, referans numunesine göre minimum 1,5, maksimum 2,0 katına kadar çıkmıştır. Bu deney elemanları arasında (MBWS 3,0-100) deney elemanı %108’lik bir artışla en yüksek rijitliğe ulaştığı görülmektedir. (MBWS 3,0-400, MBWS 3,0-200, MBWS 3,0-150) deney elemanları ise referans numunesinin rijitliğine göre sırasıyla %50-%90’a kadar daha fazla bir rijitliğe ulaştıkları gözlenmiştir. Eşdeğer bulon aralığına sahip (MBWS 3,0-200 ve MBWS 2,0-200) deney elemanları arasında güçlendirmede kullanılan genişletilmiş çelik levha kalınlığının rijitliğe etkisi açık bir şekilde görülmüştür. Levha kalınlığı 3 mm olan deney elemanın rijitliği, 2 mm levha kalınlığına sahip olan deney elemanın rijitliğine göre 1,25 kat fazla çıkmıştır. Aşağıda Şekil 7.4.’te deney elemanlarının rijitlikleri grafik olarak verilmiştir.



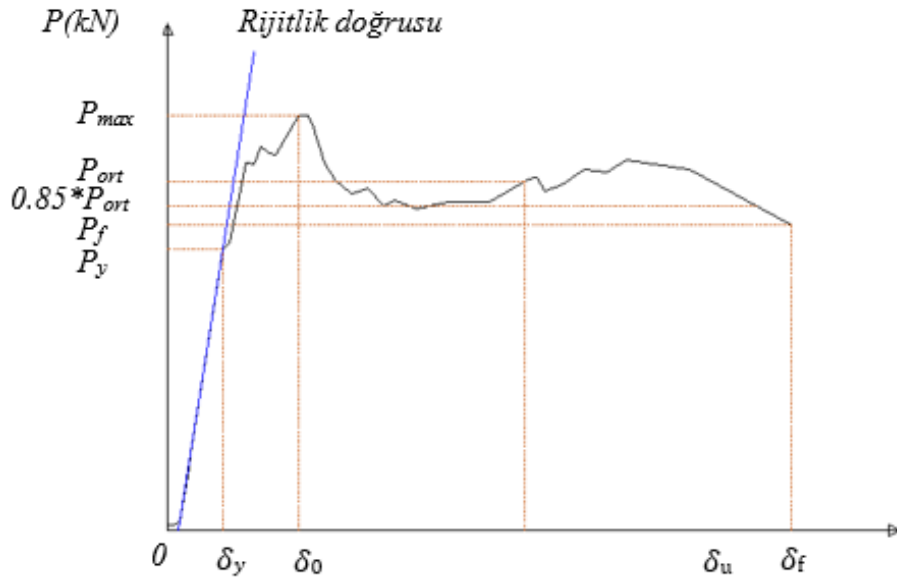
Şekil 7.4. Deney elemanların rijitlik grafiği

7.2.3. Süneklik

Süneklik: Dayanımda kayda değer bir azalma olmadan elastik ötesi şekil değiştirmeler yapabilme ve kararlı çevrimsel davranışla deprem enerjisini tüketebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Süneklik oranı elemanın dayanımının %15'ini kaybettiği andaki deformasyon değeri, akmanın başladığı andaki deformasyon değerine oranından ibarettir.

Güçlendirmenin en önemli amaçlarından biri deprem gibi büyük dinamik yükleri altında yapıların aniden göçmemeleri ve depreme karşı dayanıklı olmalarının yanı sıra, gevrek davranış göstermemeleri, insanların çıkabilecek ve binaları boşaltacak, zamanı bulmaları için yapıların sünek davranmalarını sağlamaktır.

Akma anındaki ortalama yük değeri, ortalama taşıma gücünün % 85' ine denk gelmektedir ve $(0,85 \times P_{ort})$ ile gösterilmektedir. Tablo 7.3.'te, (δ_i) rijitlik doğrusunun başlangıç deplasmanı, (δ_u) ise ortalama yük (p_{ort}) değerinin %85'ine denk gelen deplasman değeri ve (δ_y) akma başlangıç anındaki deplasman değerini göstermektedir. Aşağıda Şekil 7.5.'te yük-deplasman grafiği, yukarıda açıklanan indislerin şematik gösterimi için temsili olarak verilmiştir.



Şekil 7.5. Deney elemanların süneklikleri hesaplanırken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

(P_{ort}) %85'indeki mutlak deplasman değeri olan ($\bar{\delta}_u$) Denklem 7.5 ile, akma noktasındaki mutlak deplasman değeri olan ($\bar{\delta}_y$) Denklem 7.6 ile hesaplanırken, süneklik oranı ise Denklem 7.7 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{\delta}_u = \delta_u - \delta_i \quad (7.5)$$

$$\bar{\delta}_y = \delta_y - \delta_i \quad (7.6)$$

$$\text{Süneklik oranı} = \bar{\delta}_u / \bar{\delta}_y \quad (7.7)$$

Deney elemanlarının süneklik değerleri ve göreceli süneklik değerleri aşağıda Tablo 7.3.'te verilmiştir.

Tablo 7.3. Deney elemanlarının $0.85 \times P_{ort}$ değerine göre süneklik ve göreceli süneklik oranları

Deney Elemanı	$0.85 \times P_{ort}$ (kN)	δ_i (mm)	δ_u (mm)	δ_y (mm)	$\bar{\delta}_u$	$\bar{\delta}_y$ (mm)	Süneklik Oranı ($\frac{\bar{\delta}_u}{\bar{\delta}_y}$)	Göreceli Süneklik Oranı
RS	51,2	3	10	5	7	2	3,5	-
MBWS 3,0-200	141,8	3	205	19	202	16	12,6	3,6
MBWS 3,0-400	107,6	2	200	23	198	21	9,4	2,7
MBWS 2,0-200	132,9	3	200	23	197	20	9,8	2,8

Tablo 7.3. (Devamı)

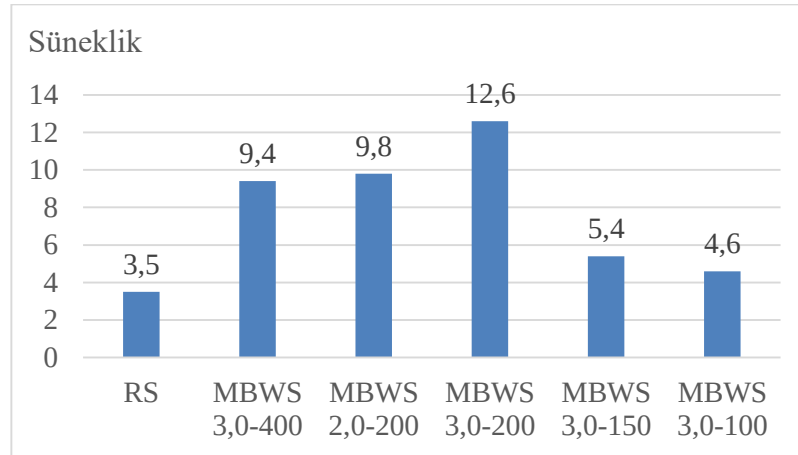
MBWS 3,0-150	148,3	3	105	21	102	19	5,4	1,5
MBWS 3,0-100	195,2	2	≥100	23	98	21	4,6	1,3

Tabloda 7.3.’teki göreceli süneklik oranı güçlendirilmiş deney elemanlarının süneklikleri, referans numunesinin süneklik oranından hesaplanmıştır. Örneğin; MBWS 3,0-400 göreceli süneklik oranı Denklem 7.8’de verilmiştir.

$$\text{MBWS 3,0-400}_{\text{G. S. O}} = \frac{9,4}{3,5} \cong 2,7 \quad (7.8)$$

Tablo 7.3.’te verilen değerler, güçlendirilmiş deney elemanlarının sünekliği referans numunesinin sünekliğinin 3,6 katına kadar çıktığı gözlenmektedir. (MBWS 3,0-200) deney elemanı tüm elemanlar arasında maksimum sünekliğe ulaşmış deney elemanı olarak saptanmıştır. Referans numunesine kıyasla en az sünek davranış sergileyen eleman (MBWS 3,0-100) deney elemanı olmuştur. Genel olarak bulon aralığı fazla olan deney numuneleri bulon aralığı az olan deney numunelerine göre daha çok sünek davrandıkları gözlenmiştir. Eşdeğer bulon aralığına sahip (MBWS 3,0-200) ve (MBWS 2,0-200) numuneleri arsında levha kalınlığı 3 mm olan deney numunesi, 2 mm olan numuneye kıyasla sünekliği 1,2 katına kadar daha yüksek çıkmıştır.

Aşağıda Şekil 7.6.’da deney elemanlarının süneklikleri grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.6. Deney elemanlarının süneklik oranı grafiği

7.2.4. Enerji dönüştürme kapasitesi

Enerji dönüştürme kapasitesi; yapıların deprem enerjisini göçme anına kadar tükettiği enerji miktarına denir. Güçlendirmede amaçlanan en önemli faktörlerden biri yapının deprem enerjisini dönüştürme kapasitesini güçlendirerek can ve mal güvenliğini sağlamaktır. Elemanların yük-yerdeğiştirme grafiğinin altındaki alan enerji dönüştürmesine eşittir.

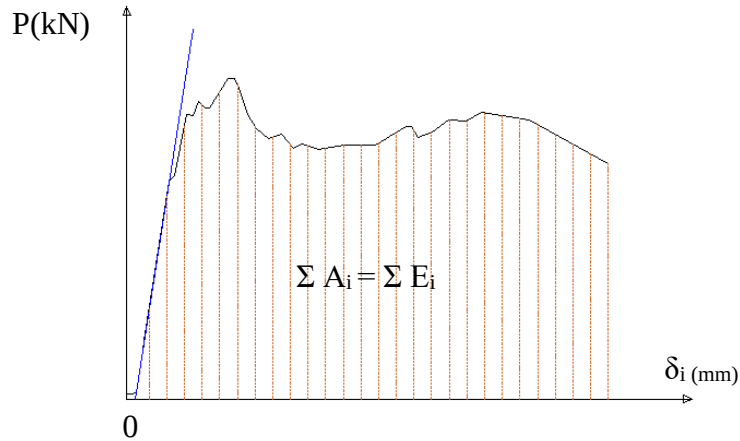
Deneylerde elde edilen yük verileri (P_i), her bir verilen yüke denk gelen deplasman değeri (δ_i), her bir yük ve deplasmana tüketilen enerji (E_i), her deplasman ve yüklerin oluşturduğu eğri altında kalan alan (A_i), ile gösterilirse toplam enerji dönüştürme kapasitesi eğrinin altındaki toplam alanı ($\sum A_i$), eşittir tüketilen enerjiye ($\sum E_i$). Enerji dönüştürme hesabı ve toplam tüketilen enerji Denklem 7.9.-7.10. ile hesaplanmaktadır.

$$E_i = \left\{ \left[\frac{(P_i + P_{i+1})}{2} \right] \times \left[\frac{(\delta_i - \delta_{i+1})}{2} \right] \right\} + E_{i-1} \quad (7.9)$$

$$\sum A_i = \sum E_i = (E_1 + E_2 + E_3 + \dots \dots \dots E_n) \quad (7.10)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ deney verilerini sembolize etmektedir.

Aşağıda Şekil 7.7.'de yük-deplasman grafiği enerji dönüştürme alanının şematik gösterimi için temsili olarak verilmiştir.



Şekil 7.7. Deney elemanların enerji dönüştürme kapasitesi hesaplanırken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

Bir yapının ve/veya bir yapı elemanının çökene kadar tükettiği enerji o yapının ve/veya yapı elemanının depreme karşı dayanımını ifade etmektedir. Geniştirilmiş çelik levhalar ve püskürtme beton uygulaması ile güçlendirilmiş deney elemanlarının performanslarını incelemek için Tablo 7.4.'te maksimum deplasman ve enerji tüketme kapasitesi (kJ), değerleri verilmiştir. Bu deneysel çalışmada kullanılan piston strok boyu yaklaşık 270 mm olarak ölçülmüştür. Ancak deney elemanlarının yerleşim payı, yeterli okuma alma imkanı vb. sebepleri nedeniyle referans deney elemanı hariç, tüm güçlendirilmiş deney elemanlarının kıyaslanması için alınabilen ortak deplasman değeri 240 mm olmuştur. Belirlenen bu deplasmana kadar deney elemanlarının enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Tablo 7.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri

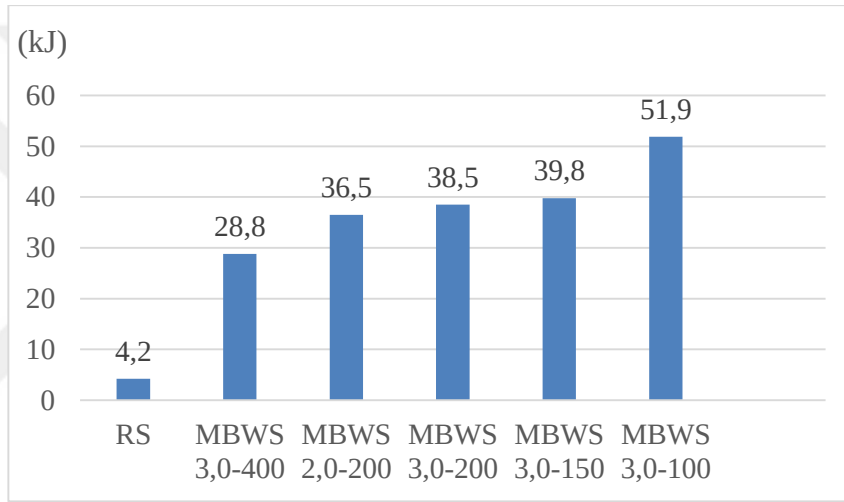
Deney Elemanı	Maksimum Deplasman (mm)	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (kJ)	Göreceli Enerji Dönüştürme
RS	70	4,2	-
MBWS 2,0-200	240	36,5	8,5
MBWS 3,0-400	240	28,8	6,8
MBWS 3,0-200	240	38,5	9,0
MBWS 3,0-150	250	39,8	9,3
MBWS 3,0-100	250	51,9	12,1

Tablo 7.4.'teki güçlendirilmiş deney elemanlarının göreceli enerji dönüştürme kapasitesini hesaplamak için aşağıdaki Denklem 7.9 kullanılmıştır. Güçlendirilmiş numunelerin göreceli enerji dönüştürme kapasiteleri referans numunesinin enerji dönüştürme kapasitesine oranlanarak hesaplanmıştır. Örneğin; MBWS 3,0-400 göreceli enerji dönüştürme oranı Denklem 7.11'de verilmiştir.

$$MBWS\ 3,0 - 400_{G.E.D.} = 28,8/4,2 \cong 6,8 \quad (7.11)$$

Tablo 7.4.'te güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri referans numunesine göre minimum 5,8 kat, maksimum 11,1 kat arttığı gözlenmektedir. Referans numunesi 70 mm deplasman yaptıktan sonra yük taşıma özelliğini kaybettiği için maksimum enerji dönüştürme kapasitesine ulaşmış, güçlendirilmiş deney numuneleri ise 240 mm deplasmana yapmalarına rağmen

bazılarında yük kademeli bir şekilde artmaya devam ederken pistonun stroke boyunun maksimuma ulaşmış olmasından dolayı deneyin sonlandırılmasına karar verilmiştir. Bu durum güçlendirme yönteminin enerji yutma konusunda ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Genel olarak güçlendirilmiş deney elemanlarında bulon aralığı azaldıkça enerji dönüştürme kapasitelerinin arttığı gözlenmiştir. Bulon sayısı eşit çelik levha kalınlığı farklı olan deney numuneleri arasında levha kalınlığı 3 mm olan numunenin enerji dönüştürme kapasitesi levha kalınlığı 2 mm olan numuneye göre yaklaşık %6 daha fazla çıkmıştır. Aşağıda Şekil 7.8.'de deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri grafik olarak verilmiştir.

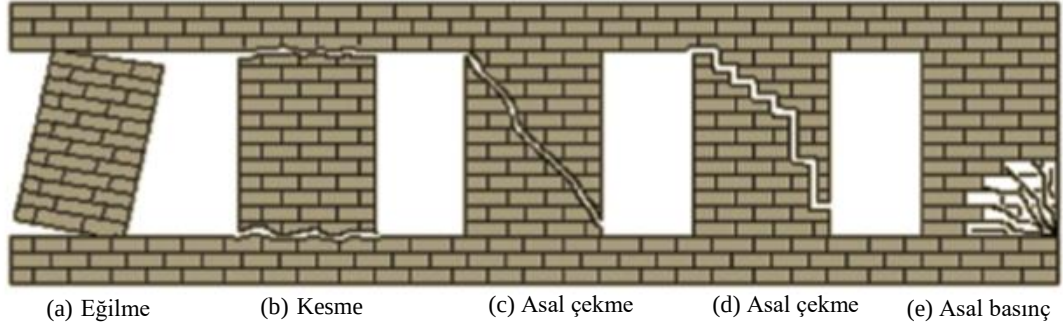


Şekil 7.8. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi grafiği

7.2.5. Deney elemanlarının kayma gerilmelerinin belirlenmesi

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 eksenel yük altında yer değiştirme kontrollü çevrimsel yüklerle gerçekleştirilen ve elemanın dayanım ve yer değiştirme sınır durumlarının test edildiği bu tür çalışmalardan elde edilen sonuçlar, performansa yönelik tasarım yönetmeliklerinde (FEMA 273, FEMA 306 vb.) kullanılmaktadır. Örnek olarak FEMA 273 (ATC 1997) yönetmeliğinde kullanılan

duvar düzlemi doğrultusunda davranış sergileyen taşıyıcı duvarların son limit durumda bazı kırılma ve hasar biçimleri Şekil 7.9’da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Taşıyıcı duvarların deprem yönündeki farklı kırılma ve hasar görme biçimleri (FEMA 273)

Şekil 7.9.’da görüldüğü gibi deprem yükleri altında duvarlarda daha çok kayma veya kesme gerilmeleri meydana gelmektedir. Duvarların kayma dayanımını sağlayan harç-tuğla ve tuğla-tuğla arasındaki aderansın olmasıdır. Duvar numunelerinde kaymanın meydana gelmesi; söz konusu aderansın yetersiz kalması veya sona ermesi nedeniyle oluşur. Deney elemanlarının kayma dayanımlarının hesaplanması için ASTM E519M-10 tarafından önerilen Denklem 7.12 kullanılarak hesaplanmıştır. Verilen denklemde P_{max} , referans numunesinde ve güçlendirilmiş elemanlarında, deneylerde elde edilen numunelerin maksimum taşıma gücü kapasiteleri alınmıştır. A, tuğlaların birbiriyle temas yüzeylerinden çıkılarak duvar yüzey alanı hesaplanmıştır.

$$\tau_{(Mp)} = \frac{p_{max}(Kn)xcos45^0x 1000}{2A} \quad (7.12)$$

Tablo 7.5.’te tüm deney elemanlarının kayma gerilmeleri ve göreceli kayma gerilmeleri verilmiştir.

Tablo 7.5. Deney elemanlarının kayma gerilmeleri

No	Deney Elemanı	P_{max} (kN)	P_x (N)	2A (mm)	τ (MPa)	Göreceli Kayma Gerilme Oranı
1	RS	103	72832	38×10^4	0,1	-
2	MBWS 2,0-200	156,4	195868	38×10^4	0,3	3,0

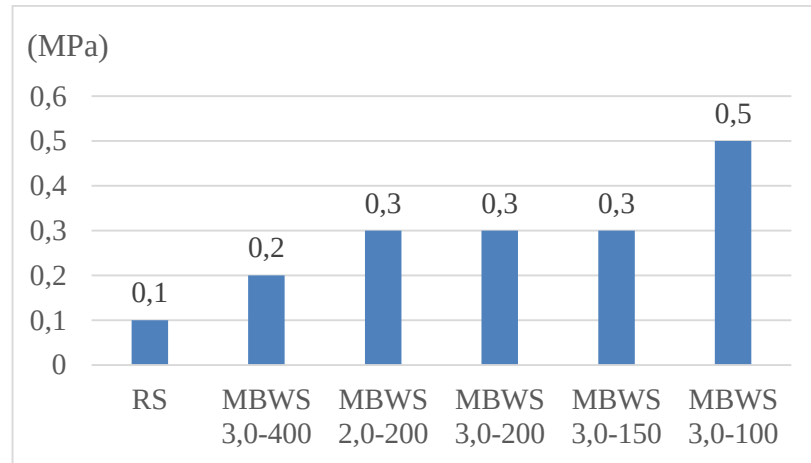
Tablo 7.5. (Devamı)

3	MBWS 3,0-400	126,6	152028	38×10^4	0,2	2,0
4	MBWS 3,0-200	166,8	150613	38×10^4	>0,3	>3,0
5	MBWS 3,0-150	174,5	156977	38×10^4	>0,3	>3,0
6	MBWS 3,0-100	279,7	193747	38×10^4	0,5	5,0

Tablo 7.5.'teki göreceli kayma gerilemelerini hesaplamak için aşağıdaki Denklem 7.13 kullanılmıştır. Güçlendirilmiş numunelerin göreceli enerji dönüştürme kapasiteleri referans numunesinin enerji dönüştürme kapasitesine oranlanarak hesaplanmıştır. Örneğin; MBWS 3,0-400 göreceli enerji dönüştürme oranı Denklem 7.13'te verilmiştir.

$$\text{MBWS 3,0} - 400_{\text{G. K. O.}} = 0,2/0,1 \cong 2,0 \quad (7.13)$$

Tablo 7.5.'te görüldüğü gibi güçlendirilmiş deney elemanlarının kayma gerilmeleri referans deney elemanına göre minimum 2,0 maksimum ise 5,0 katına ulaştığı gösterilmiştir. Genel olarak güçlendirilmiş deney elemanlarında bulon aralığı azaldıkça kayma gerilme kapasitelerinin arttığı gözlenmiştir. (MBWS 3,0-100) deney elemanının kayma gerilmesi, (MBWS 3,0-400) deney elemanın 2,5 katına çıkmıştır. Bulon sayısı eşit, çelik levha kalınlığı farklı olan deney numuneleri arasında levha kalınlığı 3 mm olan numunenin kayma gerilmesi, levha kalınlığı 2 mm olan numunenin kayma gerilmesine yaklaşık eşit çıkmıştır. Aşağıda Şekil 7.10.'da deney elemanlarının kayma dayanımları grafik olarak verilmiştir.



Şekil 7.10. Deney elemanlarının kayma dayanımı grafiği

7.3. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

Bölüm 3.1. de anlatıldığı gibi bu tez çalışmasında genişletilmiş çelik levha kalınlığı, levhaları duvarlara bağlayan bulon aralığı ve püskürtme beton, deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Çalışmanın bu kısmında ise bu parametrelerin etkisi kendi aralarında karşılaştırılacaktır. Daha önce deney elemanlarının hesaplanan; taşıma gücü kapasiteleri, rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasiteleri, Tablo 7.6.'da hepsi birlikte verilmiştir. Tablo 7.6.'daki göreceli oranlar deney elemanlarının mutlak değerleri referans numunesine oranlanarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.6. Tüm deney sonuçları

Deney 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 Kapasitesi
RS	103	-	5	-	3,5	-	4,2	-
MBWS 2,0-200	156,4	1,5	7,6	1,5	9,8	2,8	36,5	8,5
MBWS 3,0-400	126,6	1,2	7,4	1,4	9,4	2,7	28,8	6,7
MBWS 3,0-200	166,8	1,6	9,4	1,8	12,6	3,6	38,5	9,0
MBWS 3,0-150	174,5	1,7	9,9	1,9	5,4	1,5	39,8	9,3
MBWS 3,0-100	229,7	2,2	10,4	2,0	4,6	1,3	51,9	12,1

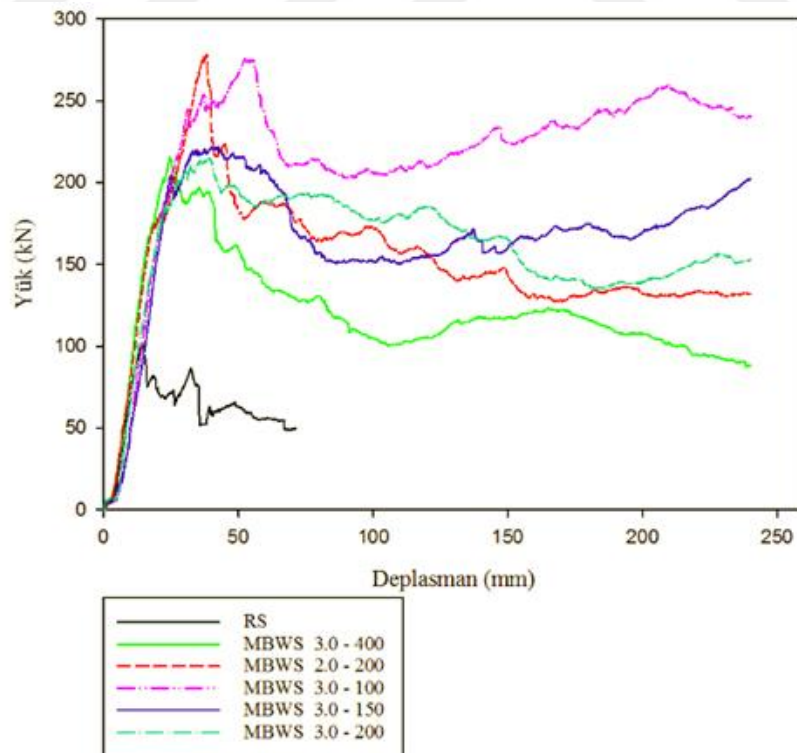
7.3.1. Deney elemanlarının davranışı ve performansı üzerinde bulon aralığının etkisi

Tablo 7.6.'daki hesaplamalara dayanarak; bulon aralıklarının, levha kalınlığına göre enerji dönüştürme kapasitesine daha büyük etkisi olduğu görülmüştür. Aynı levha kalınlığına sahip deney numunelerinin bulon aralığı 400 mm den 100 mm'ye düşürülmesiyle beraber enerji dönüştürme kapasitesinde %33,7-%80,1 arasında bir artış meydana gelmiştir. 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanı, 150 mm bulon

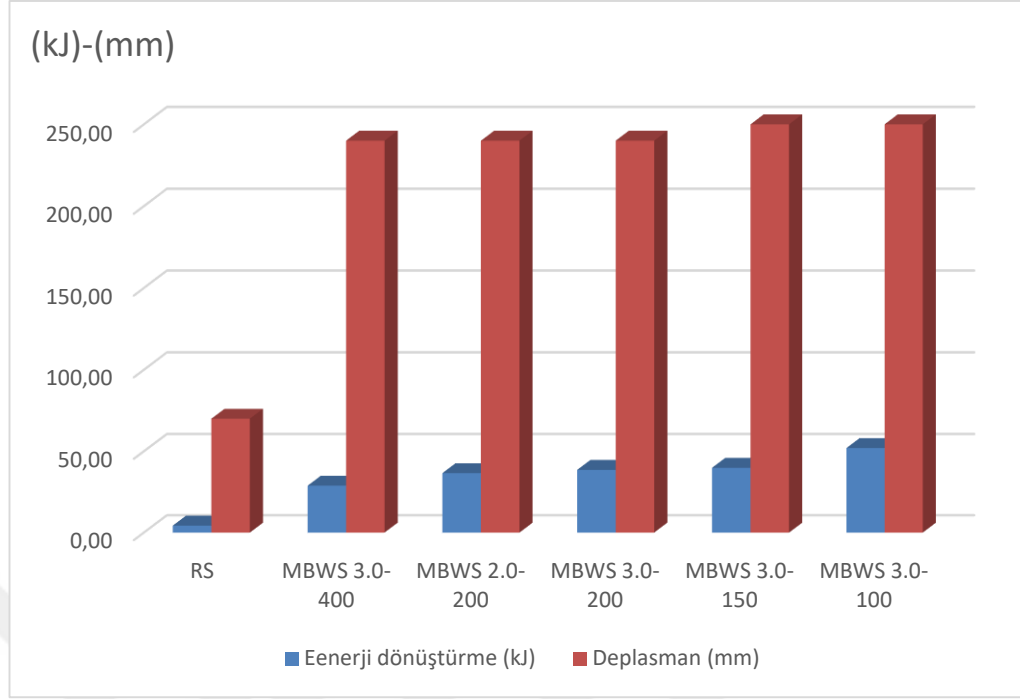
aralığı olan deney elemanına göre taşıma gücü %30'luk bir artış göstermiştir. 150 mm bulon aralığı olan deney elemanın ise 200 mm bulon aralığı olan deney elemanına göre taşıma gücüne %3'lük bir artış meydana gelmiştir.

Eşdeğer bulon aralığı ama farklı levha kalınlığına sahip deney elemanları arasında levha kalınlığının etkisi olduğu gözlenerek, levha kalınlığı 3 mm olan deney elemanı, 2 mm olan deney elemanına göre taşıma gücü %6,6'lık bir artış göstermiştir. Bulon aralığı ve levha kalınlığının deney elemanlarının başlangıç rijitliklerine önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Levha kalınlığı ve bulon aralığının deney elemanlarının davranışları ve dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla, levha kalınlığı aynı ama bulon aralığı farklı olan numuneler ve bulon aralığı aynı ama levha kalınlığı farklı olan numunelerin yük-deplasman ve enerji-deplasman grafikleri, referans numunesi ile karşılaştırmalı olarak Şekil 7.11.-7.12.'de gösterilmiştir



Şekil 7.11. Deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri



Şekil 7.12. Deney elemanlarının enerji-deplasman grafikleri

BÖLÜM 8. SONUÇ VE ÖNERİ

Tuğla dolgu duvarlar ve yığma duvarların güçlendirilmesi için günümüze kadar (FRP, elyaf donatılı harç, çelik levhaları, çelik profiller, içi boş çelik kutular, çelik şeritler, çelik hasır ve donatılı püskürtme beton, çelik hasır ve tekstil donatılı horasan harcı, çelik lif katkılı harç ve beton şeritler) ile güçlendirmeleri gibi farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu güçlendirme yöntemlerinden biri olan mevcut çalışmada, birisi referans 5'i güçlendirilmiş olmak üzere toplam 6 adet deney elemanı araştırılmıştır. Mevcut güçlendirme yönteminde duvarların her iki yüzüne deney programına uygun kalınlıkta genişletilmiş çelik levhalar yerleştirilerek M6 bulonlar kullanılarak ankraj işlemi tamamlanıp üzerlerine 30 mm beyaz çimentolu yaş yöntemi ile püskürtme beton uygulaması yapılmıştır. Bulon aralıkları, deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Deney elemanları, UPN300 profilin'den oluşturulmuş dört tarafı mafsallı olan, deney sırasında temas yüzeylerinin değişmesini sağlayan çelik çerçeve ve yükleme mekanizması kullanılarak diyagonal yükleme altında test edilmiştir. Bu güçlendirme yönteminin etkisinin incelenmesi için deney elemanlarının; taşıma güçleri, başlangıç rijitlikleri, süneklik oranları, kayma gerilmeleri ve enerji dönüştürme kapasiteleri ele alınmıştır. Ayrıca deney elemanlarının ön ve arka yüzeylerine yerleştirilen LVDT'ler vasıtasıyla iç ölçümler ile belirlenen ön yüzeydeki birim kısalmalara bağlı boy değişimleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak çalışma neticesinde elde edilen önemli bulgular aşağıda sırayla özetlenmiştir.

- a. Güçlendirilmiş deney elemanları genişletilmiş çelik levhaların ankrajı için kullanılan bulon aralığı çok geniş olan numune dahi referans numunesine göre daha sünek ve daha rijit bir davranış göstermiştir.

- b. Levha kalınlığı aynı, bulon sayısı farklı olan deney numuneleri arasında bulon sıklığı fazla olan duvarların yük taşıma kapasiteleri, rijitlikleri, enerji dönüştürme kapasiteleri ve kayma gerilmeleri, fazla bulon sayısı bulunmayan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.
- c. Bulon sayısı eşit, levha kalınlığı farklı olan deney numuneleri arasında levha kalınlığı olarak 3 mm olan deney numunesi, 2 mm olan numuneye göre, taşıma gücü, rijitlik süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesi açısından değerlendirildiğinde daha iyi bir davranış göstermiştir. Sonuç olarak güçlendirilmiş deney elemanlarındaki çelik levha kalınlığının; taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitelerinde katkısı olmuştur.
- d. Bulon aralığı düşürülünce deney elemanlarının sünekliği düşmüştür. Ayrıca bulon aralığının ve çelik levha kalınlığının başlangıç rijitlikleri üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı gözlenmiştir.
- e. Güçlendirilmiş deney elemanlarının çatlama ve kırılma davranışları incelenmesi suretiyle, püskürtme betonun gevrek bir davranış sergilediği görülmektedir. Çelik çerçeve ile temasta olan tüm alanlarda püskürtme betonda çatlama, kırılmalar ve dökülmeler meydana geldiği gözlenmiştir. Ayrıca uygulama sırasında beton, tabakalar şeklinde püskürtüldüğü için ilk tabakanın prizini tamamlamadan ikinci tabakanın atılması ve sulama yapılamadığı nedeniyle tabakalar arası aderans zayıflığı oluşmuş, deney sırasında beton tabakalar şeklinde kabarıp düştüğü gözlenmiştir.
- f. Bu çalışmadaki güçlendirilmiş numunelerinin orta yüzeylerinde çatlama ve kabarma davranışları açısından çelik levha ile güçlendirilmiş ve normal sıva ile kaplanmış duvarlarla farkı; deney elemanlarının orta yüzeylerinde çok kılcal çatlaklar hariç gözle görülür herhangi bir çatlama veya kabarmanın oluşmamasıdır.

- g. Güçlendirilmiş deney elemanlarının davranış açısından bir bütün şeklinde çalışması ve deney boyunca herhangi bir sıyrılma veya ayrışma göstermemeleri, çelik levhaların ankrajı, püskürtme betonun duvar ve çelik levha ile aderansının güçlü olduğunu göstermiştir.
- h. Deney numunelerinin ön yüzeylerine yerleştirilen 50 mm ölçme kapasitesi olan LVDT'ler vasıtasıyla kaydedilen ölçülere göre güçlendirilmiş elemanların birim kısalma oranları, referansa numunesine kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- i. UPN300 profili ile oluşturulan ve dört köşesi mafsallı olan çelik çerçeve ile deney elemanları arasındaki temas yüzeyi yükün uygulandığı noktadan çerçeve yan uzunluğunun ortalama olarak %60'lere (60 cm) kadar ulaştığı görülmüştür.
- j. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü diyagonal yükleme moduna daha yatkın iken, referans deney elemanı gerilme çatlakları oluşuktan hemen sonra aniden yük kayıplarına yol açtığı gözlenmiştir. Ancak bazı güçlendirilmiş deney elemanlarında küçük ani yük kayıpları meydana gelmesine rağmen düzlem dışı göçmeler meydana gelmemiş ve yük taşıma kapasiteleri strok boyunun sonuna kadar devam etmiştir.
- k. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilme yönteminin 1m²'lik duvar başına, maliyeti; yaklaşık (165 TL) olarak hesaplanmıştır. Ancak bu güçlendirme yönteminde maliyeti etkileyen en önemli faktörler arasında püskürtme beton, iş gücü ve zamanın olmasıdır. Güçlendirme alanlarının daha geniş olması durumunda, zaman öneminin ön plana çıkması, kısa sürede büyük alanların yapılması ve iş gücü maliyetinin düşmesi nedeniyle diğer güçlendirme yöntemlerine göre püskürtme betonun uygulama fiyatı daha ucuza mâl olacaktır.

- l. Bu güçlendirme yönteminde 1m^2 'lik duvar birim hacim ağırlığı (tuğla + harç + çelik levha + bulon + püskürtme beton) yaklaşık 240 kg olarak hesaplanmıştır.
- m. Püskürtme betonun deney sırasında yük eksenindeki alt ve üst mafsalla birlikte, çerçeve ile temas ettiği tüm alanlarda çatlayıp, kabarıp ve düşmesi, sonucunda gevrek bir davranış sergilediği gözlenmiştir. Bunu önlemek, püskürtme betonun çekme ve kırılma dayanımını artırmak niyetinde beton içerisine; cam lif, çelik lif, literatürde veya piyasada mevcut olan herhangi bir lif katarak sağlanması önerilmektedir.



KAYNAKÇA

- ACI Committe 506, A. (1966). ACI Committe 506, American Concrete İnstitute;. ACI.
- Alhan Şimşek, E. 2018. Tarihi yapılarda tuğla duvarların çelik hasır ve tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendimesinin deneysel olarak incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Anabilim Dalı, Yüksek Lisan Tezi
- Anania, L., D'Agata, G., Giaquinta, C., & Badalà, A. (2014). Out of plane behavior of calcareous masonry panels strengthened by CFRP. APCBEE procedia, 9, 401-406.
- ASTM E519/E519M-10. 2010. Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, U.S.A.
- Ateş, T. 2013. İçten ve dıştan donatılı püskürtme beton ile güçlendirilen yığma duvarların düzlem dışı tekrarlı yük altındaki davranışı. Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Aykaç, S., & Böcek, M. 2017. Çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarların davranışı. 4. uluslararası deprem mühendisliği ve sismoloji konferansı . Anadolu Üniversitesi Eskişehir.
- Babayani, R. 2012. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların ters inir tekrarlanır yükler altındaki davranış ve dayanımı Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Baran, M. ve ark. 2013. Sıvanmış tuğla dolgu duvarların şerit beton/betonarme panellerle güçlendirilmesi. journal of the faculty of engineering and architecture of Gazi University.
- Can, H., & ark., E. 2012. Dolgu tuğla duvarların çelik profillerle güçlendirilmesi. journal of the faculty of engineering and architecture of Gazi University.
- Cumhur, A. 2016. Tuğla dolgu duvarların genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmesi. Sakarya Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Cumhur, A., Altundal, A., İlker, K., Aykaç, S. 2016. Behaviour of brick infill walls strengthened with expanded steel plates. Bulletin of Earthquake Engineering. 14, 3231-3258.
- Elgawady, M. A., Lestuzzi, P. ve Badoux, M., 2006. "Retrofitting of Masonry Walls Using Shotcrete", Proceedings of 2006 New Zealand Society for Earthquake Engineering Conference, Napier, New Zealand, 45-53.

- Ezz-Eldeen, H., & Elsamny, M. 2017. Structural behavior of brick walls with openings rehabilitated with steel plates box- section and steel angles. al-Azhar University. Article in International Journal of Scientific and Engineering Research.
- Farooq, S., İlyas, M., & Ghaffar, A. 2006. Technique for strengthening of masonry wall panels using steel strips. asian journal of civil engineering (building and housing).
- FEMA, (ATC 1997). Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. Federal Emergency Management Agency, Redwood City, California, U.S.A.
- FEMA, F. 1998. FEMA 306. 1998. Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. Federal Emergency Management Agency, Redwood City, California, U.S.A.
- Gabor, A., Bennani, A., Jacquelin, E., & Lebon, F. (2006). Modelling approaches of the in-plane shear behaviour of unreinforced and FRP strengthened masonry panels. Composite structures, 74(3), 277-288.
- ISO 6892-1, (2016), Metallic materials- Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature.
- Kahn, L. F., 2015 “Shotcrete Retrofit for Unreinforced Brick Masonry”, Proceedings of 8th World Congress on Earthquake Engineering, San Francisco, CA, USA, 583-590 (1984).
- Kalali, A., Kabir, M.Z., 2012 “Cyclic behaviour of perforated masonry walls strengthened with glass fiber reinforced polymers”, Scientia Iranica, 19 (Issue 2): 151-165.
- Kalkan, N. 2008, “Düzlem dışı tersinir yüklenen yığma yapıların donatılı püskürtme beton ile güçlendirilmesi”, Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 6-147.
- Kaya, F 2013. “Yığma yapıların polipropilen lifli kuru karışım püskürtme beton ile güçlendirilmesi”, Yüksek lisans tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıç, A. 2012. Betonarme çerçevesi yapılarında dolgu duvarların güçlendirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Koprarnan, Y , Özmen, R , Özdemir, A , Özgedik, A . (2018). Çelik Elemanlar İle Güçlendirilen Tuğla Duvarların Kayma Davranışının Araştırılması. Politeknik Dergisi , 21 (2) , 471-476 . DOI: 10.2339/politeknik.389634
- Leeanansaksiri, A., Panyakapo, P., & Ruangrassamee, A. (2018). Seismic capacity of masonry infilled RC frame strengthening with expanded metal ferrocement. Engineering Structures, 159, 110-127.
- Onar, E. 2007. Yığma yapılarda taşıyıcı tuğla duvarların cfrp ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Özbek, E. 2015. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisi. Gazi Üniversitesi, Doktora Tezi.

- Özmen, R. 2018. Tuğla duvarların çelik levha/şerit kullanılarak kesme davranışının iyileştirilmesi. Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Öztaş, V. 2009. Yığma yapıların güçlendirilmesi ve bir yığma yapı örneğinde güçlendirme analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Saghafi, M. H., Safakhah, S., Kheyroddin, A., & Mohammadi, M. (2014). In-plane shear behavior of FRP strengthened masonry walls. APCBEE procedia, 9, 264-268.
- Seydanlioğlu, M. 2013. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tekdüze yükler altındaki davranışı . Gazi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- TS EN 1052-1, “Kâgir - deney metotları -Bölüm 1: Basınç dayanımı tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2000).
- TS EN 14487-2, “Püskürtme beton - Bölüm 2: Uygulama”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2007).
- Yiğit Yedek, Ç.2013. Yığma yapıların hasır çelik donatılı kuru karışım püskürtme beton uygulamasıyla güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi. Süleyman demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.

ÖZGEÇMİŞ

Abdul Salam Akrami, 15.05.1993'te Afganistan Ghor şehrinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ghor'da tamamladı. 2012 yılında Sultan Alawaddin Ghor Lisesinden mezun oldu. 2012 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümünde eğitim görmek üzere Afganistan devleti tarafından Türkiye'ye gönderildi. 2012-2013 yılları arasında İzmir'de Ankara Üniversitesi TÖMER Şubesinde Türkçe eğitimi gördü. 2013 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2017 yılında başarıyla bitirdi. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı.