

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TUĞLA DOLGU DUVARLARIN GENİŞLETİLMİŞ  
ÇELİK LEVHALAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Alper CUMHUR**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Enstitü Bilim Dalı : YAPI**

**Tez Danışmanı : Prof. Adil ALTUNDAL**

**Ortak Danışman : Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ**

**Eylül 2016**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUĞLA DOLGU DUVARLARIN GENİŞLETİLMİŞ  
ÇELİK LEVHALAR İLE GÜÇLENDİRİLMESİ


DOKTORA TEZİ

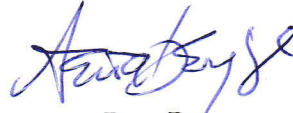
Alper CUMHUR


Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ


Bu tez 05 / 09 / 2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


  
Prof.  
Adil ALTUNDAL  
Jüri Başkanı


  
Doç. Dr.  
Sabahattin AYKAÇ  
Üye

  
Doç. Dr.  
Kemal BEYEN  
Üye

  
Doç. Dr.  
Metin İPEK  
Üye

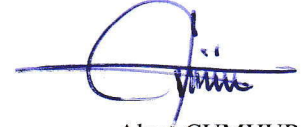
  
Doç. Dr.  
İlker KALKAN  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr.  
Hüseyin KASAP  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr.  
Muhammet Zeki ÖZYURT  
Üye

## BEYAN

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



Alper CUMHUR

05.09.2016

## TEŞEKKÜR

Beni bugünlere getiren, bana her zaman hayatın zorluklarına karşı duruşlarıyla güç veren, hayatta kendilerine ihtiyacım olduğu her anda beni yalnız bırakmayan, benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Emine CUMHUR ve babam Ahmet CUMHUR' a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Doktora eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışman hocalarım Prof. Adil ALTUNDAL ve Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ' a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. İlker KALKAN' a, Yapı Mekaniği Laboratuvar çalışmalarında önemli katkıları olan Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden Arş. Gör. Dr. Eray ÖZBEK ile Arş. Gör. Meryem BÖCEK' e teşekkür ederim. Laboratuvardaki çok zor çalışma şartlarımda bana yardım eden, özveriyle çalışan kardeşim Orhan CUMHUR ve arkadaşım Serkan YILMAZ' a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2012-01-04-019) teşekkür ederim. Çalışmada kullanılan genişletilmiş çelik levhaları titizlikle hazırlayan Tek Metal firmasına ve deneyler süresince veri toplama sistemi ile ilgili verdikleri destekten dolayı Teknik Destek Grubu Bilimsel Ölçme Ltd. Şti.' ne ayrıca teşekkür ederim. Bu tezi oluşturmamda katkısı olan ve adını sayamadığım herkese teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
RESİMLER LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxii
SUMMARY .....	xxiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2.	
YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Kaynak Araştırması .....	4
2.2. Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirme .....	13
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA .....	16
3.1. Deney Programı .....	16
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....	17
3.2.1. Tuğla .....	18
3.2.2. Genişletilmiş çelik levha.....	20
3.2.3. Sıva ve harç.....	22
3.2.4. Bulon, pul ve somun .....	22
3.3. Deney Elemanları .....	23

3.4. Deney Düzeni .....	41
3.4.1. Deney platformu ve deney çerçevesi .....	41
3.4.2. Yükleme düzeni .....	43
3.4.3. Yükleme programı .....	44
3.4.4. Ölçüm düzeni.....	45
BÖLÜM 4.	
DENEYSSEL SÜREÇ .....	49
4.1. Refèrans Eleman Deneyleri .....	49
4.1.1. R1 deneyi.....	50
4.1.2. R2 deneyi.....	52
4.2. Tuğla Duvar Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirilmiş Duvar (B) Deneyleri .....	54
4.2.1. B1,5-100 deneyi.....	55
4.2.2. B1,5-150 deneyi.....	57
4.2.3. B1,5-200 deneyi.....	59
4.2.4. B1,5-500 deneyi.....	61
4.2.5. B2,0-100 deneyi.....	63
4.2.6. B2,0-150 deneyi.....	65
4.2.7. B2,0-200 deneyi.....	67
4.2.8. B3,0-100 deneyi.....	69
4.2.9. B3,0-150 deneyi.....	71
4.2.10. B3,0-200 deneyi.....	73
4.3. Kaba Sıva Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirilmiş Duvar (RP) Deneyleri.....	75
4.3.1. RP1,5-100 deneyi .....	76
4.3.2. RP1,5-150 deneyi .....	78
4.3.3. RP1,5-200 deneyi .....	80
4.3.4. RP2,0-100 deneyi .....	82
4.3.5. RP2,0-150 deneyi .....	84
4.3.6. RP2,0-200 deneyi .....	86
4.3.7. RP3,0-100 deneyi .....	88

4.3.8. RP3,0-150 deneyi .....	90
4.3.9. RP3,0-200 deneyi .....	92
4.4. İnce Sıva Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirilmiş Duvar (FP) Deneyleri .....	94
4.4.1. FP1,5-100 deneyi.....	95
4.4.2. FP1,5-150 deneyi.....	97
4.4.3. FP1,5-200 deneyi.....	99
4.4.4. FP2,0-100 deneyi.....	101
4.4.5. FP2,0-150 deneyi.....	103
4.4.6. FP2,0-200 deneyi.....	105
4.4.7. FP3,0-100 deneyi.....	107
4.4.8. FP3,0-150 deneyi.....	109
4.4.9. FP3,0-200 deneyi.....	111
4.5. Deney Elemanlarının Ön ve Arka Yüzündeki Deformasyonların Belirlenmesi.....	113
BÖLÜM 5.	
DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	127
5.1. Genel Değerlendirme .....	127
5.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler .....	129
5.2.1. Taşıma gücü .....	129
5.2.2. Rijitlik .....	132
5.2.3. Süneklik .....	135
5.2.4. Enerji dönüştürme kapasitesi.....	139
5.3. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma.....	143
5.3.1. Bulon aralığının davranış ve dayanım üzerindeki etkisi.....	144
5.3.2. Genişletilmiş çelik levha kalınlığının davranış ve dayanım üzerindeki etkisi.....	154
5.3.3. Genişletilmiş çelik levha konumunun davranış ve dayanım üzerindeki etkisi.....	164
5.4. Geçmişte Delikli Sac Levhalar Kullanılarak Yapılan Benzer Çalışma İle Karşılaştırma.....	175

5.4.1. Davranış ve dayanımları açısından karşılaştırma .....	175
5.4.2. Güçlendirme maliyetleri açısından karşılaştırma .....	184
BÖLÜM 6.	
ANALİTİK ÇALIŞMA.....	190
BÖLÜM 7.	
TARTIŞMA ve SONUÇ .....	195
KAYNAKLAR.....	200
ÖZGEÇMİŞ .....	203



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$a$	: Diagonal basınç payandasının eşdeğer genişliği
$A_{net}$	: Plaka net kayma alanı
ASTM	: American society for testing and materials
B	: Duvar üzerine uygulanarak güçlendirilmiş deney elemanı
BFRP	: Bazalt takviyeli polimerler
CFRP	: Karbon lifli kumaşlar
DBYBHY	: Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik
$D_{com}$	: Tuğla duvarların diyagonal basınç dayanımı
$D_{ten}$	: Dolgu duvarın diyagonal gerilme kapasitesi
$E_s$	: Çeliğin elastisite modülü
$\varepsilon$	: Şekil değiştirme oranı
$\varepsilon_y$	: Akma birim kısalma oranı
$E_s$	: Çeliğin elastisite modülü
FEMA	: Federal acil durum yönetim kurumu
FRP	: Fiber reinforced polimer
FP	: İnce sıva üzerine uygulanarak güçlendirilmiş deney elemanı
$f'_{me90}$	: Kâğır yapının yatay doğrultuda beklenen dayanımı
$f'_{pl}$	: Sıvanın basıncı
$f_y$	: Plakaların akma dayanımı
GFRP	: Cam elyaf takviyeli polimerler
$h_{inf}$	: Dolgu duvar yüksekliği
$I_p$	: Diagonal basınç payandasının zayıf eksenini etrafındaki alanın ikinci momenti
$L_{inf}$	: Dolgu duvar uzunluğu
$L_0$	: İlk uzunluk

$\Delta L$	: Birim kısalma
$\Delta L_y$	: Akma birim kısalma
LVDT	: Elektronik deplasman ölçer
M6	: 6 mm çapında bulon
MPa	: Mega pascal
$P_{an}$	: Beklenen çökme yükü
$P_{ave}$	: Ortalama taşıma yükü
$P_f$	: 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
R	: Referans deney elemanı
RP	: Kaba sıva üzerine uygulanarak güçlendirilmiş deney elemanı
s	: Bulon aralığı
Std. Sap.	: Standart sapma
$t_{inf}$	: Dolgu duvarın kalınlığı
$t_{pl}$	: Tuğla duvar ve güçlendirme plakaları arasında kalan sıva kalınlığı
TRM	: Tekstil takviyeli harç
NPU 300	: 300mm genişliğinde NPU çelik profil
$V_{cr}$	: Diagonal çatlama yükü
$\alpha$	: Başlangıç rijitliği
$\sigma_{cr}$	: Kagir yapının çatlama dayanımı
Ø6	: 6 mm çapında bulon
$\delta_0$	: Maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri
$\delta_i$	: Rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değeri
$\delta_f$	: Maksimum deplasman değeri
$\delta_t$	: Deneyin ilk tepe noktasındaki yüke ait deplasman değeri
$\delta_u$	: Ortalama taşıma gücünün ( $P_{ort}$ ) % 85'indeki deplasman değeri
$\delta_y$	: Akmanın başladığı andaki deplasman değeri

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney elemanlarının özellikleri.....	17
Tablo 3.2. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı test sonuçları.....	19
Tablo 3.3. Yatay delikli tuğlanın deliklere paralel doğrultudaki basınç dayanımı test sonuçları.....	19
Tablo 3.4. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik kısa doğrultudaki basınç dayanımı test sonuçları.....	20
Tablo 3.5. Sıva ve harçta kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları.....	22
Tablo 3.6. Deney elemanlarına deplasmana bağlı uygulanan yükleme hızları.....	44
Tablo 4.1. Deney elemanlarının ön yüzündeki deformasyonlara bağlı birim boy değişimleri.....	125
Tablo 4.2. Deney elemanlarının arka yüzündeki deformasyonların başladığı andaki yük değerleri.....	126
Tablo 5.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma güçleri ve göreceli taşıma gücü oranları.....	131
Tablo 5.2. Deney elemanlarının başlangıç rijitlik ve göreceli rijitlik oranları.....	134
Tablo 5.3. Deney elemanlarının $0,85 \times \text{Port}$ değerine göre süneklik ve göreceli süneklik oranları.....	138
Tablo 5.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri.....	141
Tablo 5.5. Tüm deney sonuçları.....	143
Tablo 5.6. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilerek karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri.....	177
Tablo 5.7. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmalarının deneysel taşıma gücüne göre karşılaştırılması.....	181

Tablo 5.8. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmalarının süneklik oranına göre karşılaştırılması...	182
Tablo 5.9. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılgüçlendirme çalışmalarının enerji dönüştürme kapasitesine göre karşılaştırılması.	183
Tablo 5.10. Güçlendirme çalışmasında kullanılan malzemeler ve özellikleri .....	185
Tablo 5.11. Delikli sac levha ile 1 m <sup>2</sup> duvarın güçlendirme maliyet analizi .....	186
Tablo 5.12. Genişletilmiş çelik levha ile 1 m <sup>2</sup> duvarın güçlendirme maliyet analizi .....	187
Tablo 5.13. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile 1 m <sup>2</sup> duvarın güçlendirme maliyetlerinin karşılaştırılması.....	188
Tablo 6.1. Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması.....	191

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Yatay delikli tuğla anma boyutları .....	18
Şekil 3.2. Genişletilmiş çelik levha çeşitleri .....	21
Şekil 3.3. Genişletilmiş çelik levha geometrisi .....	21
Şekil 3.4. Güçlendirilmiş deney elemanlarında kullanılan bulon, pul ve somun geometrisi .....	23
Şekil 3.5. R1 ve R2 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	24
Şekil 3.6. B1,5-500 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	24
Şekil 3.7. B1,5-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	25
Şekil 3.8. B1,5-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	25
Şekil 3.9. B1,5-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	26
Şekil 3.10. B2,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	26
Şekil 3.11. B2,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	27
Şekil 3.12. B2,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	27
Şekil 3.13. B3,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	28
Şekil 3.14. B3,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	28
Şekil 3.15. B3,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	29
Şekil 3.16. RP1,5-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	29
Şekil 3.17. RP1,5-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	30
Şekil 3.18. RP1,5-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	30
Şekil 3.19. RP2,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	31
Şekil 3.20. RP2,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	31
Şekil 3.21. RP2,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	32
Şekil 3.22. RP3,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	32
Şekil 3.23. RP3,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	33
Şekil 3.24. RP3,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	33
Şekil 3.25. FP1,5-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	34

Şekil 3.26. FP1,5-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	34
Şekil 3.27. FP1,5-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	35
Şekil 3.28. FP2,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	35
Şekil 3.29. FP2,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	36
Şekil 3.30. FP2,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	36
Şekil 3.31. FP3,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	37
Şekil 3.32. FP3,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	37
Şekil 3.33. FP3,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları .....	38
Şekil 3.34. Dört köşesi mafsallı yüzeyleri çelik rijit çerçeve .....	42
Şekil 3.35. Deney sistemi .....	43
Şekil 4.1. R1 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	51
Şekil 4.2. R2 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	53
Şekil 4.3. B1,5-100 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	56
Şekil 4.4. B1,5-150 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	58
Şekil 4.5. B1,5-200 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	60
Şekil 4.6. B1,5-500 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	62
Şekil 4.7. B2,0-100 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	64
Şekil 4.8. B2,0-150 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	66
Şekil 4.9. B2,0-200 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	68
Şekil 4.10. B3,0-100 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	70
Şekil 4.11. B3,0-150 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	72
Şekil 4.12. B3,0-200 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	74
Şekil 4.13. RP1,5-100 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	77
Şekil 4.14. RP1,5-150 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	79
Şekil 4.15. RP1,5-200 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	81
Şekil 4.16. RP2,0-100 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	83
Şekil 4.17. RP2,0-150 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	85
Şekil 4.18. RP2,0-200 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	87
Şekil 4.19. RP3,0-100 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	89
Şekil 4.20. RP3,0-150 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	91
Şekil 4.21. RP3,0-200 elemanının yük-deplasman eğrisi .....	93
Şekil 4.22. FP1,5-100 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	96

Şekil 4.23. FP1,5-150 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	98
Şekil 4.24. FP1,5-200 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	100
Şekil 4.25. FP2,0-100 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	102
Şekil 4.26. FP2,0-150 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	104
Şekil 4.27. FP2,0-200 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	106
Şekil 4.28. FP3,0-100 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	108
Şekil 4.29. FP3,0-150 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	110
Şekil 4.30. FP3,0-200 elemanının yük-deplasman eğrisi.....	112
Şekil 4.31. Deney elemanlarının ön yüzündeki LVDT'nin konumu ve ölçüm uzunluğu.....	113
Şekil 4.32. Deney elemanlarının arka yüzündeki LVDT'nin konumu ve ölçüm uzunluğu.....	113
Şekil 4.33. R1 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	115
Şekil 4.34. R2 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	115
Şekil 4.35. B1,5-100 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	115
Şekil 4.36. B1,5-150 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	116
Şekil 4.37. B1,5-200 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	116
Şekil 4.38. B1,5-500 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	116
Şekil 4.39. B2,0-100 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	117
Şekil 4.40. B2,0-150 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	117
Şekil 4.41. B2,0-200 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi .....	117
Şekil 4.42. B3,0-100 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük- deplasman eğrisi.....	118

Şekil 4.43. B3,0-150 elemanın ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	118
Şekil 4.44. B3,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi .....	118
Şekil 4.45. RP1,5-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	119
Şekil 4.46. RP1,5-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	119
Şekil 4.47. RP1,5-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi .....	119
Şekil 4.48. RP2,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	120
Şekil 4.49. RP2,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	120
Şekil 4.50. RP2,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi .....	120
Şekil 4.51. RP3,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	121
Şekil 4.52. RP3,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	121
Şekil 4.53. RP3,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi .....	121
Şekil 4.54. FP1,5-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	122
Şekil 4.55. FP1,5-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	122
Şekil 4.56. FP1,5-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi .....	122
Şekil 4.57. FP2,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	123
Şekil 4.58. FP2,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	123



Şekil 4.59. FP2,0-200 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi .....	123
Şekil 4.60. FP3,0-100 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	124
Şekil 4.61. FP3,0-150 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	124
Şekil 4.62. FP3,0-200 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi.....	124
Şekil 5.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma gücü bulunurken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	130
Şekil 5.2. Deney elemanlarının rijitlik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	133
Şekil 5.3. Deney elemanlarının süneklik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	137
Şekil 5.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi.....	140
Şekil 5.5. Tuğla duvar üzeri (B) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	145
Şekil 5.6. Tuğla duvar üzeri (B) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	146
Şekil 5.7. Tuğla duvar üzeri (B) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	146
Şekil 5.8. Tuğla duvar üzeri (B) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	147
Şekil 5.9. Tuğla duvar üzeri (B) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	147
Şekil 5.10. Tuğla duvar üzeri (B) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-sapma eğrileri.....	148
Şekil 5.11. Kaba sıva üzeri (RP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	148
Şekil 5.12. Kaba sıva üzeri (RP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	149

Şekil 5.13. Kaba sıva üzeri (RP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	149
Şekil 5.14. Kaba sıva üzeri (RP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	150
Şekil 5.15. Kaba sıva üzeri (RP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	150
Şekil 5.16. Kaba sıva üzeri (RP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	151
Şekil 5.17. İnce sıva üzeri (FP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	151
Şekil 5.18. İnce sıva üzeri (FP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	152
Şekil 5.19. İnce sıva üzeri (FP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	152
Şekil 5.20. İnce sıva üzeri (FP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	153
Şekil 5.21. İnce sıva üzeri (FP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	153
Şekil 5.22. İnce sıva üzeri (FP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	154
Şekil 5.23. Tuğla duvar üzeri (B) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	155
Şekil 5.24. Tuğla duvar üzeri (B) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	155
Şekil 5.25. Tuğla duvar üzeri (B) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	156
Şekil 5.26. Tuğla duvar üzeri (B) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	156
Şekil 5.27. Tuğla duvar üzeri (B) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	157
Şekil 5.28. Tuğla duvar üzeri (B) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	157

Şekil 5.29. Kaba sıva üzeri (RP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	158
Şekil 5.30. Kaba sıva üzeri (RP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	158
Şekil 5.31. Kaba sıva üzeri (RP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	159
Şekil 5.32. Kaba sıva üzeri (RP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	159
Şekil 5.33. Kaba sıva üzeri (RP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	160
Şekil 5.34. Kaba sıva üzeri (RP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	160
Şekil 5.35. İnce sıva üzeri (FP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	161
Şekil 5.36. İnce sıva üzeri (FP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	161
Şekil 5.37. İnce sıva üzeri (FP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	162
Şekil 5.38. İnce sıva üzeri (FP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	162
Şekil 5.39. İnce sıva üzeri (FP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	163
Şekil 5.40. İnce sıva üzeri (FP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	163
Şekil 5.41. 1,5 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	166
Şekil 5.42. 1,5 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	166
Şekil 5.43. 1,5 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	167
Şekil 5.44. 1,5 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	167

Şekil 5.45. 1,5 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	168
Şekil 5.46. 1,5 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	168
Şekil 5.47. 2,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	169
Şekil 5.48. 2,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	169
Şekil 5.49. 2,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	170
Şekil 5.50. 2,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	170
Şekil 5.51. 2,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	171
Şekil 5.52. 2,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	171
Şekil 5.53. 3,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	172
Şekil 5.54. 3,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	172
Şekil 5.55. 3,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	173
Şekil 5.56. 3,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	173
Şekil 5.57. 3,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri.....	174
Şekil 5.58. 3,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri.....	174
Şekil 5.59. Delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen S1,5-100 deney elemanının yük-deplasman eğrisi (Seydanlıoğlu, 2013).....	180
Şekil 5.60. Genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilen RP1,5-100 deney elemanının yük-deplasman eğrisi .....	180

Şekil 6.1. Deney elemanlarının deneysel ve analitik yük oranı ilişkisi..... 194



## RESİMLER LİSTESİ

Resim 2.1. Seydanloğlu'nun (2013) alışmasında S1,5-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu .....	10
Resim 2.2. Babayani'nin (2012) alışmasında S0,5-CC deney elemanının deney sonu hasar durumu .....	11
Resim 2.3. zbek'in (2015) alışmasında S1ZY200 deney elemanının göçme modu.....	12
Resim 3.1. Deney elemanlarının yapım aşamasında tuğla duvar örülmesi.....	38
Resim 3.2. Deney elemanlarının yapım aşamasında bulon deliklerinin açılması.	39
Resim 3.3. Deney elemanlarının yapım aşamasında bulon montajlarının yapılması .....	39
Resim 3.4. Deney elemanlarının yapım aşamasında sıvanması.....	40
Resim 3.5. Deney elemanlarının yapım aşamasında alçı çekilmesi.....	40
Resim 3.6. Deney elemanlarının çerçeveye yerleştirilmesi .....	41
Resim 3.7. Yükleme düzeni .....	44
Resim 3.8. n yüz ölçüm düzeni .....	46
Resim 3.9. Arka yüz ölçüm düzeni .....	46
Resim 3.10. Deneyleerde uygulanan video kaydı.....	48
Resim 3.11. Deneyleerde elde edilen veri ve grafik kaydı .....	48
Resim 4.1. R1 elemanın deneyden önceki durumu .....	50
Resim 4.2. R1 elemanının deney sonu hasar durumu .....	51
Resim 4.3. R2 elemanın deneyden önceki durumu .....	52
Resim 4.4. R2 elemanının deney sonu hasar durumu .....	53
Resim 4.5. B1,5-100 elemanın deneyden önceki durumu.....	55
Resim 4.6. B1,5-100 elemanının deney sonu hasar durumu .....	56
Resim 4.7. B1,5-150 elemanın deneyden önceki durumu.....	57
Resim 4.8. B1,5-150 elemanının deney sonu hasar durumu .....	58

Resim 4.9. B1,5-200 elemanın deneyden önceki durumu.....	59
Resim 4.10. B1,5-200 elemanın deney sonu hasar durumu .....	60
Resim 4.11. B1,5-500 elemanın deneyden önceki durumu.....	61
Resim 4.12. B1,5-500 elemanın deney sonu hasar durumu .....	62
Resim 4.13. B2,0-100 elemanın deneyden önceki durumu.....	63
Resim 4.14. B2,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu .....	64
Resim 4.15. B2,0-150 elemanın deneyden önceki durumu.....	65
Resim 4.16. B2,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu .....	66
Resim 4.17. B2,0-200 elemanın deneyden önceki durumu.....	67
Resim 4.18. B2,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu .....	68
Resim 4.19. B3,0-100 elemanın deneyden önceki durumu.....	69
Resim 4.20. B3,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu .....	70
Resim 4.21. B3,0-150 elemanın deneyden önceki durumu.....	71
Resim 4.22. B3,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu .....	72
Resim 4.23. B3,0-200 elemanın deneyden önceki durumu.....	73
Resim 4.24. B3,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu .....	74
Resim 4.25. RP1,5-100 elemanın deneyden önceki durumu .....	76
Resim 4.26. RP1,5-100 elemanın deney sonu hasar durumu .....	77
Resim 4.27. RP1,5-150 elemanın deneyden önceki durumu .....	78
Resim 4.28. RP1,5-150 elemanın deney sonu hasar durumu .....	79
Resim 4.29. RP1,5-200 elemanın deneyden önceki durumu .....	80
Resim 4.30. RP1,5-200 elemanın deney sonu hasar durumu.....	81
Resim 4.31. RP2,0-100 elemanın deneyden önceki durumu .....	82
Resim 4.32. RP2,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu .....	83
Resim 4.33. RP2,0-150 elemanın deneyden önceki durumu .....	84
Resim 4.34. RP2,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu .....	85
Resim 4.35. RP2,0-200 elemanın deneyden önceki durumu .....	86
Resim 4.36. RP2,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu.....	87
Resim 4.37. RP3,0-100 elemanın deneyden önceki durumu .....	88
Resim 4.38. RP3,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu .....	89
Resim 4.39. RP3,0-150 elemanın deneyden önceki durumu .....	90
Resim 4.40. RP3,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu .....	91

Resim 4.41. RP3,0-200 elemanın deneyden önceki durumu .....	92
Resim 4.42. RP3,0-200 elemanının deney sonu hasar durumu .....	93
Resim 4.43. FP1,5-100 elemanın deneyden önceki durumu .....	95
Resim 4.44. FP1,5-100 elemanının deney sonu hasar durumu .....	96
Resim 4.45. FP1,5-150 elemanın deneyden önceki durumu .....	97
Resim 4.46. FP1,5-150 elemanının deney sonu hasar durumu .....	98
Resim 4.47. FP1,5-200 elemanın deneyden önceki durumu .....	99
Resim 4.48. FP1,5-200 elemanının deney sonu hasar durumu .....	100
Resim 4.49. FP2,0-100 elemanın deneyden önceki durumu .....	101
Resim 4.50. FP2,0-100 elemanının deney sonu hasar durumu .....	102
Resim 4.51. FP2,0-150 elemanın deneyden önceki durumu .....	103
Resim 4.52. FP2,0-150 elemanının deney sonu hasar durumu .....	104
Resim 4.53. FP2,0-200 elemanın deneyden önceki durumu .....	105
Resim 4.54. FP2,0-200 elemanının deney sonu hasar durumu .....	106
Resim 4.55. FP3,0-100 elemanın deneyden önceki durumu .....	107
Resim 4.56. FP3,0-100 elemanının deney sonu hasar durumu .....	108
Resim 4.57. FP3,0-150 elemanın deneyden önceki durumu .....	109
Resim 4.58. FP3,0-150 elemanının deney sonu hasar durumu .....	110
Resim 4.59. FP3,0-200 elemanın deneyden önceki durumu .....	111
Resim 4.60. FP3,0-200 elemanının deney sonu hasar durumu .....	112
Resim 5.1. Referans deney elemanlarının deney sonu hasar durumu .....	127
Resim 5.2. Güçlendirilmiş deney elemanlarının deney sonu hasar durumu .....	128
Resim 5.3. Delikli sac levhalar (Seydanlıoğlu, 2013) .....	176
Resim 5.4. Genişletilmiş çelik levhalar .....	176
Resim 5.5. Delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen S1,5-100 elemanının deney öncesi durumu (Seydanlıoğlu, 2013) .....	178
Resim 5.6. Genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilen RP1,5-100 elemanının deney öncesi durumu .....	178
Resim 5.7. Delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen S1,5-100 elemanının deney sonundaki hasar durumu (Seydanlıoğlu, 2013) .....	179
Resim 5.8. Genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilen RP1,5-100 elemanının deney sonundaki hasar durumu .....	179



## ÖZET

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

Geçmişte ülkemizde meydana gelen orta ve büyük şiddetteki depremlerde bina türü yapıların ağır hasar görererek can kayıplarına yol açması, meydana gelebilecek yeni depremler öncesinde ağır hasar görme riski yüksek olan ve kusurlu üretilmiş yapıların güçlendirilmesini gerekli kılmıştır. Bu sorunlar, araştırmacıları etkili, ekonomik ve pratik güçlendirme yöntemleri geliştirmeye yöneltmiştir. Yapılan geçmiş çalışmaların önemli bir bölümünde, yapının taşıyıcı olmayan dolgu duvarları farklı malzemeler (lifli polimer şerit ve kumaş, çelik profiller, epoksi reçinesi vs.) kullanılarak güçlendirilmiştir. Ancak önerilen bu güçlendirme metotlarının uygulanması zor ve maliyetli oluşu ile yapının boşaltılmasını gerekli kılması, metotların yaygınlık kazanamamasına sebep olmuştur. Bu çalışma, tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi için etkili, ekonomik ve kullanışlı bir yöntem olan dışarıdan bağlanmış, genişletilmiş çelik levhaların kullanımının etkinliğini araştırmak için yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, ikisi referans, toplam 30 adet deney elemanı, köşegen boyunca tekdüze basınç yükleri altında test edilmiştir. Güçlendirme işleminde mevcut tuğla dolgu duvarların iki yüzüne genişletilmiş çelik levhalar eklenmiş ve bu levhalar birbirlerine bulonlar ile bağlanarak duvar güçlendirilmiştir. Genişletilmiş çelik levha kalınlığı, bulon aralıkları ve uygulama yüzeyi deney değişkenleri olarak seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilen duvarların çekme gerilmelerinin büyük bir kısmının levha tarafından karşılandığı, duvar üzerinde üç eksenli sayılabilecek bir sargılama basıncının oluştuğu ve bulonlarda akma oluşuncaya kadar duvarın kompozit bir malzeme gibi davrandığı görülmüştür. Deneyler süresince güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma kapasitelerinde ani yük kaybı oluşmamış ve deney sonuna kadar güçlendirilmiş tüm deney elemanları bütünlüklerini korumuşlardır. Böylece güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların yük taşıma kapasiteleri, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinde yüksek artışlar sağlanarak davranışları iyileştirilmiştir. Ayrıca genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların diyagonal yük kapasitelerini tahmin etmek için bir analitik gösterim geliştirilmiştir. Analitik yük tahminlerin, deneysel değerler ile tutarlı olduğu belirlenmiştir.

# **STRENGTHENING OF BRICK INFILLED WALLS WITH EXPANDED STEEL PLATES**

## **SUMMARY**

Keywords: Brick infilled wall, rehabilitation, seismic strengthening, expanded steel plate, monotonic diagonal loading, earthquake behaviour.

Building-type structures have been heavily damaged thus causing loss of lives at medium and large-scale past earthquakes in our country, which necessitated strengthening of buildings with high risk of severe damage and defective constructions before new earthquakes that may occur. These problems directed researchers to develop effective, economical and practical methods of strengthening. Non-bearing infill walls of structures were reinforced using different materials (fibrous polymer strips and fabrics, steel profiles, epoxy resin, etc.) in previous studies. However, these strengthening methods have not become popular since their application is costly and difficult-to-apply and they necessitate the evacuation of structures. This study was performed to investigate strengthening of infill walls with externally-connected expanded steel plates which is an effective, economical and practical method.

Within the scope of the study, a total of 30 test specimens, two of which are reference, were tested under monotonic diagonal loading. In strengthening process, expanded steel plates were attached on both sides of the existing brick infilled walls and these plates were connected to each other with bolts. Expanded steel plate thickness, bolt spacing and application surface were selected as test variables. As a result of the study performed, a majority of tensile stresses of walls reinforced with expanded steel plates was found to be resisted by the plates method, a confinement pressure that can be considered as three axial occurred on the wall and the wall acted as a composite material until the bolts yield. Sudden loss of load did not take place at the bearing capacities of the reinforced test elements during the experiment and all strengthened test specimens protected their integrity until the end of the experiment. Thus, load bearing capacities, stiffness, ductility and energy absorption capacities of reinforced-brick infilled walls were highly increased. Moreover, an analytical in order to estimate diagonal load capacities of brick infilled walls reinforced with expanded steel plates. Analytical load estimations were found to be consistent with experimental values.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Önceki depremlerde yapıların çökmesi ve bu başarısızlıkların sonuçları olarak verilen kayıplar, depreme dayanıklı yapıların tasarımında ve mevcut yapıların depreme karşı güçlendirilmesinde mühendislere ağır dersler öğretmiştir. Dünyanın birçok yerinde yapıların büyük bir çoğunluğu dolgu duvarlı betonarme çerçeveli yapılardır. Bu tipteki yapıların depreme karşı güçlendirmesi için üç temel yöntem vardır: (1) yapısal çerçevenin parçalarının güçlendirilmesi; (2) sisteme yeni yapı elemanlarının, özellikle de perde duvarlarının eklenmesi; (3) dolgu duvarlar gibi yapısal olmayan elemanların güçlendirilmesi.

Dolgu duvarların iyileştirilmesi diğer yöntemlere göre pek çok avantaj sunduğundan, geçmiş yıllarda pek çok araştırmaya konu olmuştur. Dolgu duvarların güçlendirilmesinin birinci ve en önemli avantajı, güçlendirilmiş duvarların deprem sırasında deprem enerjisinin büyük bir kısmını dönüştürerek yapı sistemini korumalarıdır. İkinci olarak, bu uygulamalar, dolgu duvarların yatay dayanımını ve rijitliğini artırır. Bu da yapının toplam yatay dayanım ve rijitliğini artırarak ve bir deprem sırasında yanal ötelenmelerini azaltacaktır. Her ne kadar dolgu duvarların betonarme çerçevesinin yatay dayanımına ve rijitliğine katkısı genellikle göz ardı edilse de, önceki araştırmacıların analitik ve deneysel bulguları, (Xingke 2008, Baran 2012, Baran ve diğ., 2014) bunun aksini söylemektedir ve bu yapısal olmayan elemanların yatay dayanım ve rijitliğinin iyileştirilmesinin betonarme çerçevenin geneli üzerindeki önemini belirtmektedirler. Son olarak, dolgu duvarların güçlendirilmesi bir deprem durumunda yaralanmaların en önemli nedenlerin biri olan, bu elemanların deprem sırasında parçalanmalarını önler.

Çalışmanın amacı ve kapsamı aşağıda özetlenmiştir:

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

Bu çalışmanın temel amacı; yapılardaki taşıyıcı olmayan tuğla dolgu duvarları güçlendirerek yapının yanal rijitliğine ve dayanımına katkıda bulunmaktır. Tuğla dolgu duvar davranışının iyileştirilmesi, depremde duvarların eksenleri dışına çıkarak göçmesini önlemek, bu sayede can ve mal güvenliğini temin etmektir. İkinci önemli amacı, güçlendirme esnasında binaların boşaltılmasını gerektirmeden zamandan tasarruf sağlayarak ülke ekonomisine katkı sağlamaktır. Üçüncü önemli amacı da tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi konusunda yapılacak olan araştırmalara önemli veriler sağlamaktır.

Deneysel ve analitik çalışma kapsamı, aşağıda belirtilmiştir:

- a. Referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarının deneysel ve analitik yük taşıma kapasitelerinin belirlenmesi
- b. Referans ve güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitelerinin belirlenmesi
- c. Deney elemanlarının ön ve arka yüzündeki deformasyonların belirlenmesi
- d. Farklı bulon aralığına sahip genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının davranış ve dayanım üzerindeki etkilerinin belirlenmesi
- e. Farklı genişletilmiş çelik levha kalınlıklarına sahip elemanlar ile güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların davranış ve dayanım üzerindeki etkilerinin belirlenmesi
- f. Farklı genişletilmiş çelik levha konumuna sahip güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların davranış ve dayanım üzerindeki etkilerinin belirlenmesi
- g. Tuğla dolgulu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan bulonların en uygun ankraj aralığının belirlenmesi

- h. Tuğla dolgulu duvarların güçlendirilmesinde kullanılan genişletilmiş çelik levhaların optimum kalınlığının belirlenmesi
- i. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilen tuğla dolgulu duvarlarda en etkili levha konumunun belirlenmesi
- j. Deney elemanlarının deneysel ve analitik yük oranı ilişkisinin belirlenmesi
- k. Genişletilmiş çelik levhalar ve delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen tuğla dolgu duvarların aynı parametrelere göre taşıma gücü, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitelerinin karşılaştırılması
- l. Genişletilmiş çelik levhalar ve delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen tuğla dolgu duvarların güçlendirme maliyetlerinin çıkarılarak karşılaştırılması
- m. Bu güçlendirme yöntemi ile uygulama kolaylığının belirlenmesi

Belirtilen amaç ve kapsam doğrultusunda, ikisi referans olmak üzere toplam 30 adet güçlendirilmiş boşluklu tuğla dolgu duvar, tekdüze diyagonal yük altında test edilmiştir. Yatay deprem yükleri dolgu duvarlarda çapraz basınç yükleri oluşturduğu için bu yükleme düzeni seçilmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarında, genişletilmiş çelik levhalar duvarın her iki yüzüne de yerleştirilmiş ve bu levhalar duvara ve birbirlerine ard gerdirmeli çelik bulonlar ile bağlanmıştır. Genişletilmiş çelik levhanın kalınlığı, çelik bulonların aralıkları ve levhaların uygulama yüzeyleri deney parametreleri olarak belirlenmiştir. Deney sonuçları; taşıma gücü, süneklik, rijitlik ve enerji tüketme kapasitelerine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca deney elemanlarının ön yüzündeki deformasyonlara bağlı birim boy değişimleri ve arka yüzündeki deformasyonların başladığı andaki yük değerleri bulunmuştur. Deneysel nihai yük değerleri, bu çalışma içerisinde geliştirilen bir formülasyondan elde edilen analitik değerlerle karşılaştırılmıştır. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilen tuğla dolgu duvarlar, geçmişte delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen tuğla dolgu duvarlar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, tuğla dolgu duvarların davranış, dayanım ve güçlendirme maliyetleri açısından yapılmıştır.

## **BÖLÜM 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Bu bölüm iki aşamada incelenmiştir. Birinci bölümde literatürde yer alan mevcut çalışmalar özetlendikten sonra yapılan çalışmalarda kullanılan yöntem ve malzemelerin olumsuz yönleri ile neden yaygınlık kazanamadıkları belirtilmiştir. İkinci bölümde ise mevcut çalışma kapsamında yer alan genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirme uygulamasının avantajları ve hangi eksiklikleri tamamlayacağı açıklanmıştır.

### **2.1. Kaynak Araştırması**

Tuğla dolgu duvarları güçlendirmek için önceki araştırmacılar tarafından farklı yöntem ve malzemeler önerilmiştir. Literatürde yer alan bu çalışmalar; FRP laminatlar ve şeritler, püskürtme beton, çelik fiber takviyeli harç, çelik şeritler, çelik profiller, prekast yüksek mukavemetli beton paneller, delikli hafif çelik plakalar, beton/betonarme şeritler, ferroçimento ve epoksi ile tuğla dolgu dolgu duvarların güçlendirilmesidir.

Yapılan güçlendirme çalışmaları arasında kompozit malzemelerin kullanımı; uygulama kolaylığı, iyi korozyon direnci ve bu malzemelerin hafifliği nedeniyle birçok araştırmaya konu olmuştur.

Triantafillou (1998), karbon lifli kumaşlar (CFRP) ile güçlendirilmiş dolgu duvarların aksenal yük etkisi altında düzlem ve düzlem dışı eğilmeyle kesme davranışlarını analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Aksenal kuvvet ile kendi düzleminde eğilmeye maruz olan duvarlarda lifli polimer kumaşların koparak ayrıldığını, düzlemdeki eğilme dayanımının lifli polimer kumaşların duvarlara yeterli bağlanmasıyla artırılabilceğini

göstermiştir. Lifli polimer kumaşların tuğla duvarların düzlem dışı eğilme ve kesme davranışlarına ise önemli katkıları olduğunu belirtmiştir.

Vandergrift ve diğ. (2002), CFRP laminatlar ile güçlendirilmemiş duvarların (URM), hem düzlem-içi hem de düzlem-dışı davranışlarını iyileştirmede etkili olduğunu göstermişlerdir.

Özcebe ve diğ. (2003), yatay delikli tuğla duvarları lifli polimer şeritlerle güçlendirerek iki katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçeveleri test etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda taşıyıcı olmayan dolgu duvarların diyagonal CFRP şeritlerle güçlendirmesinin yapının yanal rijitliğini ve dayanımına önemli derecede katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir.

El-Dakhkhni ve diğ. (2006), donatısız dolgu duvarları lifli polimer plakalarla güçlendirilerek dayanım ve deformasyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda güçlendirilmemiş tuğla duvarların paralel ve dik yönde uygulanan aksenal basınç yükü altında çatlaklar sonucu parçalanıp döküldüğünü, güçlendirilmiş duvar bölümlerinde ise çatlama sonrası duvarın iki büyük parçaya ayrıldığı fakat dağılmadan bir bütün olarak kaldığını belirtmişlerdir.

Erdem ve diğ. (2006), iki katlı ve üç açıklıklı iki adet betonarme çerçeveye perde ve tuğla duvar ekleyerek CFRP şeritlerle güçlendirerek test etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda, CFRP yapılandırılmış tuğla duvarların, betonarme perdeler gibi çerçeveye gelen yatay yüklerin büyük bir kısmını alarak çerçevedeki kolonlara düşen yanal kuvvetleri önemli ölçüde düşürdüğünü, çerçevenin yanal rijitliğini büyük oranda artırdığını, CFRP şeritleri duvara ve çerçeveye bağlayan bağlantıların sayısının artırılması gerektiğini vurgulamışlardır.

Altın ve diğ. (2008), tek katlı ve tek açıklıklı tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveleri karbon lifli polimer şeritlerle güçlendirerek test etmişlerdir. Bu çalışma lifli polimer şeritlerle güçlendirme yönteminin çerçevenin davranışına yapacağı katkının şeritle duvar arasındaki bağlantıların sağlığına bağlı olduğunu ve özellikle duvarın iki

yüzünün de simetrik olarak çapraz şeritlerle güçlendirilmesinin çerçevenin yük taşıma kapasitesini, rijitliğini ve maksimum yükte ötelenme oranına önemli katkılar yapacağını ileri sürmüşlerdir.

Çeşitli avantajlar sunmalarına rağmen, FRP kompozitleri ile güçlendirme yapmanın aynı zamanda önemli dezavantajları da vardır. Bunlarla sınırlı olmamak üzere bu malzemelerin yüksek maliyetleri, kompozit malzemelerin kırılma gerilme-deformasyon özellikleri ve uzman iş gücü ihtiyacı dezavantajlar arasındadır. Bu güçlendirme yöntemi tarihi yapılarda ve yüksek yangın riski taşıyan tesislerde tercih edilmez. Çünkü hem kompozit malzeme hem de epoksi yapıştırıcılar yangına dirençli değildir.

Birçok araştırmacı (Triantafillou ve Papanicolaou 2006, Triantafillou ve ark. 2006, Prota ve ark. 2006, Papanicolaou ve diğ. 2007) tarihi yapıları yangına karşı korumada URM duvarları güçlendirmek için Fiber Takviyeli Harç (FRM) veya Tekstil Takviyeli Harç (TRM) kullanımını önermektedir.

Papanicolaou ve diğ. (2011), taş URM duvarların süneklik/düktülite ve enerji emme kapasitelerini arttırmada bazalt elyaf takviyeli polimerle (BFRP) veya cam elyaf/fiber takviyeli polimerle (GFRP) güçlendirilmiş harç kullanmanın etkinliğini göstermişlerdir.

URM duvarların yüzlerine çelik kaynaklı tel takviyesi (WWR) ya da çelik elyaf ile güçlendirilmiş püskürtme beton veya harç uygulaması, önceki araştırmacılar tarafından incelenen güçlendirme yöntemleri arasında sayılabilir.

Kahn (1984), donatısız tuğla duvarların içerisinde donatı bulunan püskürtme beton ile güçlendirerek diyagonal basınç yükü altında test etmiştir. Yaptığı deneyler sonucunda, püskürtme beton ile duvar arasında bağlantı çivilerinin bulunmasının veya duvar yüzeyin epoksi ile kaplı olmasının püskürtme beton ile güçlendirme yönteminin etkinliğini fazla etkilemediğini göstermiştir.



Acun ve Sucuoğlu (2005), tek açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveyi elik hasır donatı uygulayarak glendirmiştir. Yapılan alışmalar sonucunda hasır donatının üzerine atılan sıvanın dayanımı artırılarak ve iki kat hasır kullanılarak, çerçevenin rijitliğinin ve yanal dayanımının boş ve referans çerçevelere oranla önemli derecede artırdığını göstermişlerdir.

ElGawady ve diğ. (2006), tuğla duvarları hasır donatı ile takviye ederek püskürtme beton kullanarak aksenal ve yanal yükler altında test etmişlerdir. Yapılan deneyler ile hasır donatıyı tuğla duvarın iki yüzünde de kullanmanın duvarın enerji tktme ve deformasyon kapasitelerinde büyük katkılar sağladığı sonucuna varmışlardır.

Sevil ve diğ. (2011), tek açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgulu betonarme erevesi hacimce %2 oranında elik lif içeren plastikleştirici katkılı harç ile glendirmiştir. Çalışmanın sonucunda dolgu duvarları glendirilen çerçevenin dolgu duvarları, glendirilmemiş çerçeveye göre iki kat daha büyük yanal dayanım, yaklaşık  kat daha büyük rijitlik ve iki kat daha büyük enerji sönümleme kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

n retimli yüksek dayanımlı paneller, şerit beton/betonarme panelleri ve ferrocement tabakaları da tuğla duvarları glendirmek için daha önceki araştırmacılar tarafından kullanılmıştır.

Baran ve Tankut (2011a), ilk olarak tek açıklıklı ve iki katlı tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveye altı farklı çeşit n üretimli beton panelin duvarlara ince bir epoksi katmanı yardımıyla yapıştırılarak test etmişlerdir. Deneyler sonucunda çerçevenin deprem davranışında en önemli iyileşmenin panelin dört tarafından da ereve elemanlarına ankrağı durumunda ortaya çıktığı ve n üretimli panellerin dolgu duvarlardaki kayma deformasyonları da azalttığını belirtmişlerdir.

Baran ve Tankut (2011b), daha sonra sıvalı boşluklu tuğla duvarlı tek açıklıklı iki katlı betonarme ereve yüksek dayanımlı n üretimli beton panellerle glendirmiştir. Deney sonuçlarına göre glendirilen çerçevesinin rijitlikleri ve davranışlarında

önemli gelişmeler elde edilmiş ve deneysel sonuçları analitik yaklaşımlar ile karşılaştırmışlardır.

Baran ve arkadaşları (2014), yapıda var olan sıvanmış tuğla dolgu duvarları şerit beton/betonarme panellerle güçlendirmişlerdir. Deneysel sonuçlarına göre beton panel yapıştırma uygulamasının deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitelerini artırdığını ve davranışlarını iyileştirdiğini tespit etmişlerdir.

Topcu ve ark. (2005), bir beton kompozit türü olan ferrocement teknolojisi ile paneller üreterek güçlendirme çalışması yapmışlardır. Sonuç olarak kolay uygulanabilir olması, işçilik ve maliyet bakımından ucuz olmasından dolayı yapılan çalışmanın güçlendirme alanında yararlı olacağını savunmuşlardır.

Araki ve diğ. (2011), tuğla duvarların zayıf olan derz bölgelerine epoksi reçinesi enjeksiyonu uygulamışlardır. Deneyler sonucunda duvarların basınç, kesme ve eğilme dayanımlarını önemli derecede artırdığını, derzlerde kullanılan harcın dayanımının kesme ve eğilme dayanımlarını fazla etkilemediğini belirtmişlerdir.

Bu ve diğ. (2011), tuğlalar arasındaki harç derzlerine epoksi enjekte etmenin, tuğla duvarların sismik davranışlarını iyileştirmek için etkili bir yöntem olduğunu bulmuşlardır.

Duvarlara çelik plakalar ve çelik şeritler sabitlemek, hafif çeliğin çeşitli avantajları nedeniyle dolgu duvarları güçlendirmek için daha önceki araştırmacılar tarafından da ele alınmıştır.

Taghdi ve ark (2000a), ilk olarak duvar ve kiriş ile duvarı çevreleyen temele ankrajlanan çapraz ve dikey şeritlerin, minimum takviye ile tuğla duvarların ve beton duvarların düzlem içi yük-eğilme davranışlarını etkin şekilde geliştirdiğini deneysel olarak göstermişlerdir. Taghdi ve ark. (2000b), daha sonra yaptığı çalışmada diyagonal ve dikey şeritli duvarların kayma mukavemetinin, basit kafes kiriş modelleri ve plastik

göçme mekanizması yaklaşımı yardımıyla tam doğru olarak tahmin edilebileceğini göstermişlerdir.

Farooq ve diğ. (2006), dolgu duvarın tek ve iki yüzüne bulonlar vasıtasıyla bağlanan farklı kalınlık ve aralıklara sahip çelik şeritleri önce dört farklı tuğla panele sadece basınç yükü altında sonra dört farklı paneli de hem aksenal hem de yanal yük altında test etmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda sargılama etkisi sayesinde çelik şeritlerin duvarın her iki yüzüne de yapıştırılmasının duvarın basınç ve kesme dayanımları ve sünekliğini önemli ölçüde artırdığını belirtmişlerdir.

Özbek ve Can (2012), tuğla dolgu duvarları iki yüzüne de NPU40 çelik profilleri 150 mm aralıklarla M6 bulonlarla bağlayarak tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda diyagonal profillerin ve iki yüzünde de köşelerde kullanılan bayrak levhaların sargılama etkisi sayesinde köşelerdeki ezilmenin önlendiğini ve duvarın dayanım ve sünekliğinde önemli artışlar elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Delikli sac levhalar ile tuğla dolgu duvarları güçlendirmek için Seydanlıoğlu (2013), Babayani (2012) ve Özbek (2015) tarafından çalışmalar yapılmıştır.

Seydanlıoğlu (2013), tuğla duvarların güçlendirilmesinde delikli çelik levha kullanımının duvar davranışına ve sünekliğine etkilerini incelemiştir. Bu amaçla, birisi referans, on ikisi güçlendirilmiş olmak üzere on üç deney elemanı tekdüze düşey yükler altında denemiştir. Kalınlığı siva ile birlikte 12,5 cm olan tuğla duvarlar güçlendirilerek delikli sac levhaların kalınlığı ve bu sac levhaları duvara bağlayan bulonların aralığı deney parametreleri olarak belirlemiştir. Buna göre, deney elemanları delikli sac kalınlıklarına göre 4 gruba (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 mm) ayırmış ve her grup arasındaki farkı bulon aralıkları (100, 150, 200 mm) olarak belirlemiştir. Yaptığı deneyler sonucunda bulon sıklığının duvarların dayanım ve süneklikleri üzerindeki etkisinin sac levha kalınlığına oranla daha büyük olduğunu, güçlendirme tekniğinin duvarların elastik bölgedeki rijitlikleri üzerindeki etkisinin duvarların taşıma gücü ve süneklikleri üzerindeki etkileri kadar büyük olmadığını gözlemlemiştir. Bulon sıklığı

artıkça elastik ve elastik olmayan bölgelerde duvarın yük-deformasyon eğrisinde görülen dalgalanmaların daha sınırlı olduğunu ve sac levha kalınlığının artırılmasının duvarın aynı deformasyon değerinde sönümediği enerji miktarını artırdığını belirtmiştir. Ayrıca yaptığı deneylerde, test edilen güçlendirme yönteminin, kullanılan malzemelerin kalitesinden ve duvarların güçlendirilmesi esnasında ortaya çıkabilecek üretim ve işçilik hatalarından önemli derecede etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca kullanılan malzemelerin kalitesinin, üretim ve işçilik hatalarının test edilen güçlendirme yöntemini önemli derecede etkilendiğini vurgulamıştır. Resim 2.1.'de, 1,5 mm kalınlığında sac levhalar kullanılmış ve bu levhalar duvara 20 cm aralıklı bulonlarla sabitlenmiş deney elemanının (S1,5-200) deney sonundaki hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 2.1. Seydanhoğlu'nun (2013) çalışmasında S1.5-200 deney elemanının deney sonundaki hasar durumu

Babayani (2012), biri referans olmak üzere  $\frac{1}{2}$  ölçeğe sahip  $1500 \times 1250$  mm ebadında toplam on üç adet sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvarı, deprem yükünü benzeştirecek tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test etmiştir. Tuğla dolgu duvarların üzerine delikli sac levhalar eklenerek güçlendirmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanları, delikli çelik levhaların dolgu duvara bulonlarla karşılıklı bağlanmasıyla elde edilmiştir. Levha kalınlığı (0,3, 0,5, 1 mm), bulon aralığı (100, 150, 200 mm) ve yetersiz boyuttan

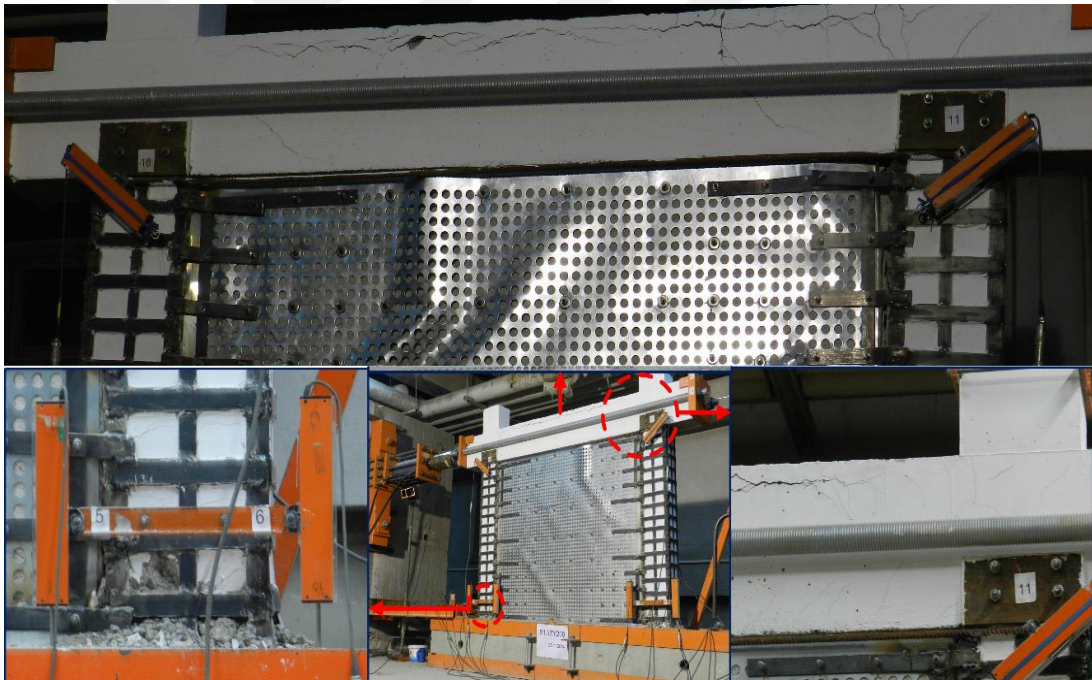
kaynaklanan levhalarda bindirmeli ekin varlığını deney değişkeni olarak belirlemiştir. Ayrıca, dolgu duvarları köşelerde ezilmeye karşı üç değişik teknikle (bulon aralığı sıklaştırma, L şeklinde çelik levha takviyesi, köşe tuğlaların çıkartılıp yerine beton dökümü) önlem almıştır. Deney sonuçlarını analiz ederek dayanım, rijitlik, enerji dönüştürme ve süneklik özelliklerini irdelemiştir. Deney sonuçlarına göre güçlendirilmiş deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasitesini referans elemana oranla 2,3 kat arttırılabildiğini, dayanımda önemli bir kayıp olmadan ulaşılan kat ötelenme oranlarının %10 değerlere ulaşabildiğini, yanal rijitliğin 2 kat, enerji dönüştürme kapasitesinin 10 kat arttırılabildiğini belirtmiştir. Köşelerin ezilmesini geciktirmek için alınan önlemlerin oldukça etkin çalışarak bu bölgelerdeki ezilmeleri sınırlandırdığını böylece genel davranışa önemli katkı sağladığını göstermiştir. Resim 2.2.'de 0,5 mm levha kalınlığına sahip ve köşeleri beton parçalar dökülerek takviye edilmiş deney elemanının (S0,5-CC) hasar durumu gösterilmiştir.



Resim 2.2. Babayani'nin (2012) çalışmasında S0,5-CC deney elemanının deney sonu hasar durumu

Özbek (2015), ikisi referans olmak üzere toplam on dört adet güçlendirilmiş  $\frac{1}{2}$  ölçekli deney elemanını tersinir-tekrarlanır yükleme altında test etmiştir. Kolon, kiriş ve temelden oluşan betonarme çerçevenin içine tuğla duvar örülmesiyle oluşturmuş, üretilen yalın elemanların dolgu duvarlarını ise çeşitli yöntemler kullanılarak delikli

çelik levhalarla takviye etmiştir. Deney sonuçlarına göre betonarme çerçevenin kolon boy demirleri kopmadığı sürece dayanımında önemli bir kayıp olmadan %7,5'den büyük ötelenme oranlarına ulaştığını ve dayanımda önemli bir kayıp olmadığını, betonarme çerçevenin kolonlarında yeterli kesme güvenliğinin bulunması gerektiğini, en yüksek rijitlik değerlerine 1,5 mm levha kalınlığına sahip elemanlarda ulaşıldığını gözlemlemiştir. Ayrıca kolonlara bağlantısı yapılan deney elemanlarında, betonarme çerçeve ile duvar arasındaki ayrışmanın oldukça sınırlı olduğunu ve en iyi davranışın kesmeye karşı güçlendirilmiş kolonlara, 1,5 mm kalınlığındaki delikli çelik levhalarla takviye edilen dolgu duvarın bağlanmasıyla elde edilebildiğini belirtmiştir. Resim 2.3.'de 1,0 mm levha kalınlığı, 200 mm bulon aralığına sahip ve güçlendirilmiş duvarın kolonlara 25×3 mm kesitli lamalarla bağlantısının yapıldığı deney elemanının (S1ZY200) göçme modu gösterilmiştir.



Resim 2.3. Özbeğin (2015) çalışmasında S1ZY200 deney elemanının göçme modu

Dolgu duvarları güçlendirmek için delikli sac levhalarla yapılan çalışmalarda, olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak delikli sac levhaların kullanılmasında özellikle güçlendirme sonrası mimari ve görsel açıdan meydana gelen sorunların oluşması ve sıva ile aderansının olmayışı uygulamadaki dezavantajları arasında yer almıştır. Ayrıca daha uygun geometrik şekle sahip, çok daha hafif levhalar ile tuğla dolgu

duvarları güçlendirme arayışı, maliyeti daha düşük ve seri uygulanabilen güçlendirmeye ihtiyaç duyulması yeni malzeme arayışı ve araştırmalara yönelmesini gerekli kılmıştır.

## 2.2. Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirme

Geçmişte yapılan çalışmalarda, güçlendirilmiş tuğla duvarlarda önemli süneklik problemlerinin ortaya çıkması, uygulamasının zor olması, nitelikli iş gücünün gerekliliği, binaların boşaltılmasının gerekmesi, güçlendirme süresinin uzunluğu, maliyetinin yüksek olması gibi olumsuzluklar nedeniyle yaygınlık kazanamamıştır. Bu amaçla tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi için yapılan çalışmalar dışında ilk defa genişletilmiş çelik levhalar ile tuğla dolgu duvarlar güçlendirilmiştir. Mevcut deneysel çalışma, Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Uygulanan yöntem, mevcut tuğla duvarların iki yüzüne genişletilmiş çelik levhaların eklenmesi, bu levhaların birbirlerine çeşitli aralıklardaki bulonlarla bağlanması, farklı levha kalınlığı ve uygulama yüzeyi ile tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesidir. Böylece mevcut duvar üzerinde üç eksenli sayılabilecek bir sargılama basıncı oluşmuş ve duvar dayanımı artmıştır. Genişletilmiş çelik levhalar, kendi düzlemleri içinde duvar dayanımına katkı sağladığı gibi membran etkisi ile de tuğla duvar yüzeyine uygulayacağı ilave sargılama basıncı artmıştır. Bu durum, temel gerilme bağıntısında yer alan, yükün uygulandığı yüzey alanının membran etkisi sonucunda artması ile yüzeye gelen gerilme miktarının düşmesi ile açıklanabilir. Ayrıca 1,5 mm genişletilmiş çelik levhanın birim ağırlığı delikli sac levhanın birim ağırlığından yaklaşık %55 daha hafif, 2,0mm levha kalınlığında ise yaklaşık %32 daha hafiftir. Genişletilmiş çelik levhanın delikli sac levhadan daha hafif olması, güçlendirme sonrasında yapı üzerinde daha az ağırlık olmasını ve maliyetinin de düşük olmasını sağlar.

Önerilen bu yöntem tüm duvarlara uygulanabilmekte ve binanın boşaltılmasını gerektirmemektedir. Binaların depreme karşı ucuz ve pratik bir şekilde güçlendirilmesi konusunda yapılacak olan araştırmalara da önemli veriler sağlayacaktır. Genişletilmiş çelik levhalar ile dolgu duvarların güçlendirmesi birçok

avantajları ön plana çıkarmaktadır. Bu avantajlar arasında genişletilmiş çelik levhaların sünek davranışı, uygulama kolaylığı, malzeme yapısı itibariyle hafif ve sıva tutma özelliğinin olması, malzemelerin ve işçiliğın düşük maliyetli olması yer almaktadır. Bu bağlamda genişletilmiş çelik levhalar ile tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesi ile önceki yapılan çalışmalarda yer alan olumsuzlukların giderileceği ve bu yöntemin yaygın hale getirileceği öngörülmüştür. Bu çalışmada, genişletilmiş çelik levhalar ile tuğla dolgu duvarların güçlendirilmesinin diğer güçlendirme yöntemlerine göre sağladığı üstünlük ve özellikler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- a. Genişletilmiş çelik levhalar, oldukça sünek bir malzeme olan düşük karbonlu çelikten imal edilmiştir. Diğer güçlendirme malzemelerine göre daha sünek bir malzemedir. Çeliğın sünek yapısının ve genişletilmiş çelik levhalarda bulunan boşlukların, güçlendirme levhasının deformasyon kapasitesini arttırarak, duvar sünekliğine katkıda bulunması amaçlanmıştır.
- b. Genişletilmiş çelik levhaların kolay bulunan ve ucuz bir malzeme olması, güçlendirme işleminin ekonomik ve daha uygulanabilir bir yöntem olmasını sağlamaktadır.
- c. Genişletilmiş çelik levhaların duvara sabitlenmesinde yalnızca bulonlar kullanılmaktadır. Sabitleme işleminde epoksi yapıştırıcılara ihtiyaç duyulmaması, güçlendirme işlemini ve ihtiyaç duyulduğunda levhaların duvardan sökülmesini kolaylaştırmaktadır. Bu durum, özellikle birçok duvarın güçlendirilmesinin gerekli olduğu büyük yapılarda güçlendirme işleminin daha pratik ve hızlı bir şekilde ve yapı içerisinde bulunanları asgari düzeyde etkileyerek gerçekleşmesini sağlayacaktır.
- d. Genişletilmiş çelik levhalar sadece diyagonal çekme çatlaklarının oluşumundan sonra duvardaki çekme gerilmelerine karşı koymaz, aynı zamanda duvara kısıtlama koyarak tuğlanın kendi basınç dayanımını da arttırır.
- e. Genişletilmiş çelik levha üzerindeki boşluklar, duvarda bulon delikleri açılmasını kolaylaştırarak güçlendirme işlemini hızlandırmaktadır. Ayrıca genişletilmiş çelik levhaların kurulumu sırasında, eğer tesisat yerleri duvarda işaretlenirse bulon delikleri duvarda herhangi bir su ve sıhhi tesisatta hasara



neden olmadan açılabilir. Bu işaretler, genişletilmiş çelik levhaların büyük açıklıkları sayesinde uygulama sırasında görünürler.

- f. Genişletilmiş çelik levhalar sıva ile kaplanarak, mimari ve görsel açıdan istenmeyen durumların önüne geçilebilmektedir.
- g. Genişletilmiş çelik levhalar, ilk yangın dayanımı yüksek, geri dönüştürülebilir ve kanserojen olmayan bir malzemedir. Ayrıca bu yöntemde yangın dayanımı düşük ve kanserojen olan epoksi yapıştırıcıların kullanılmaması da yöntemin önemli avantajlarından biridir.



## BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 3.1. Deney Programı

Deney elemanlarının laboratuvarında kolayca üretilebilmesi, rijit çelik çerçeve ve deney sistemine konulabilir olması ve deney ölçüm aletlerinin kapasiteleri yeterli olabilmesi için, deney elemanları 1000 × 1000 mm boyutlarında birim panel olmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada deney elemanları yapılarda taşıyıcı olmayan ve bölme duvar olarak kullanılan piyasada 8,5'lük olarak bilinen 85 × 190 × 190 mm ebatlarındaki yatay delikli tuğlalar kullanılmıştır. Tuğla boşlukları yatay olarak hizalanan bir bağ sırasına göre dizilerek oluşturulan referans ve güçlendirilmiş duvar numuneleri tekdüze diyagonal yük altında test edilmiştir. Güçlendirme yapılmayan referans elemanları "R" harfi ile gösterilmiştir. Deney elemanlarının özellikleri Tablo 3.1.'de verilmiştir. Bu çalışmada, üç deney parametresi kabul edilmiştir:

- a. Genişletilmiş çelik levhaların kalınlığı
- b. Levhaları duvara bağlayan bulonların aralıkları
- c. Güçlendirilmiş duvar üzerinde levhanın konumu (duvar üzerine, kaba sıva üzerine ve bitmiş ince sıva üzerine)

Deney elemanlarına verilen indislerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

- a. B; Tuğla duvar üzerine güçlendirme uygulanan deney elemanları
- b. RP; Kaba sıva üzerine güçlendirme uygulanan deney elemanları
- c. RP; Bitmiş ince sıva üzerine güçlendirme uygulanan deney elemanları
- d. 1,5-100; 1,5 mm kalınlığındaki çelik levhaların 100 mm ara ile bağlanması
- e. 1,5-100; 2,0 mm kalınlığındaki çelik levhaların 150 mm ara ile bağlanması
- f. 1,5-100; 3,0 mm kalınlığındaki çelik levhaların 200 mm ara ile bağlanması

Tablo 3.1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman Grubu	Eleman	Levhaların Konumu	Levha Kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	M6 Bulon Sayısı	
	R1	-	-	-	-	
	R2	-	-	-	-	
1	B1,5-100	duvar üzerine	1,5	100	100	
	B1,5-150	duvar üzerine	1,5	150	49	
	B1,5-200	duvar üzerine	1,5	200	25	
	B1,5-500	duvar üzerine	1,5	500	9	
	B2,0-100	duvar üzerine	2,0	100	100	
	B2,0-150	duvar üzerine	2,0	150	49	
	B2,0-200	duvar üzerine	2,0	200	25	
	B3,0-100	duvar üzerine	3,0	100	100	
	B3,0-150	duvar üzerine	3,0	150	49	
	B3,0-200	duvar üzerine	3,0	200	25	
	2	RP1,5-100	kaba sıva üzerine	1,5	100	100
		RP1,5-150	kaba sıva üzerine	1,5	150	49
RP1,5-200		kaba sıva üzerine	1,5	200	25	
RP2,0-100		kaba sıva üzerine	2,0	100	100	
RP2,0-150		kaba sıva üzerine	2,0	150	49	
RP2,0-200		kaba sıva üzerine	2,0	200	25	
RP3,0-100		kaba sıva üzerine	3,0	100	100	
RP3,0-150		kaba sıva üzerine	3,0	150	49	
RP3,0-200		kaba sıva üzerine	3,0	200	25	
3		FP1,5-100	ince sıva üzerine	1,5	100	100
		FP1,5-150	ince sıva üzerine	1,5	150	49
		FP1,5-200	ince sıva üzerine	1,5	200	25
	FP2,0-100	ince sıva üzerine	2,0	100	100	
	FP2,0-150	ince sıva üzerine	2,0	150	49	
	FP2,0-200	ince sıva üzerine	2,0	200	25	
	FP3,0-100	ince sıva üzerine	3,0	100	100	
	FP3,0-150	ince sıva üzerine	3,0	150	49	
	FP3,0-200	ince sıva üzerine	3,0	200	25	

Bu güçlendirme yönteminin etkisini bulon sayısı az iken değerlendirmek için numune B1,5-500, deney matrisi içine dahil edilmiştir. 500 mm bulon aralığına sahip bu numunede, genişletilmiş levhaları duvara sabitlemek için sadece 9 adet bulon kullanılmıştır.

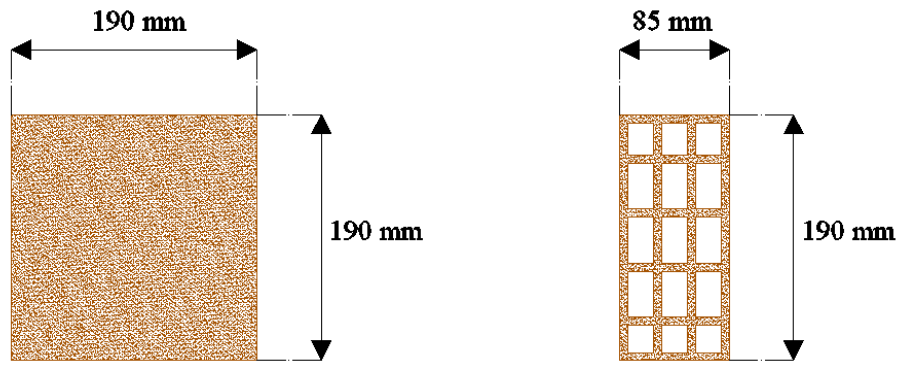
### 3.2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deney sonuçlarının daha gerçekçi olabilmesi için deney elemanlarının üretilmesinde kullanılan malzemelerin hepsi aynı yerden ve tek seferde alınmıştır. Ayrıca önerilen tekniğin daha ekonomik olabilmesi için deneylerde herhangi bir özel üretimli malzeme

kullanılmamıştır. Kullanılan malzemelerin tamamı piyasada rahatça bulunabilmektedir. Kullanılan malzeme özellikleri aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

### 3.2.1. Tuğla

Piyasada 8,5'lik yatay delikli blok tuğla ( $85 \times 190 \times 190$  mm) olarak bilinen tuğla lar kullanılmıştır. Tuğlaların tamamı aynı yerden ve bir seferde alınmıştır (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. Yatay delikli tuğla anma boyutları

Kullanılan tuğlaların özellikleri, 20 adet tuğla üzerinde yapılan ölçümler sonucunda belirlenmiştir. Buna göre, genişlikleri ortalama 85 mm ve standart sapma değeri 0, uzunlukları ortalama 184,7 mm ve standart sapma değeri 0,6, yükseklikleri 183,9 mm ve standart sapma değeri 1,3 ve ağırlıkları da 2,0 kg olarak bulunmuştur. Ayrıca toplamda 60 tuğla numunesi TS EN 771-1'e uygun olarak saf sıkıştırma altında test edilmiştir. Bu testler, tuğlaların deliklere paralel 6,3 MPa, deliklere dik uzun doğrultuda 3,2 MPa ve deliklere dik kısa doğrultuda 3,1 MPa ortalama basınç dayanımına sahip olduklarını göstermiştir. Kullanılan tuğlaların basınç dayanımları Tablo 3.2.-3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Yatay delikli tuğlanın deliklere dik uzun doğrultudaki basınç dayanımı test sonuçları

Numune No	Yükleme alanı (mm <sup>2</sup> )	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
1	33855	97,8	2,8
2	32940	116,8	3,5
3	33855	125,3	3,7
4	33855	112,0	3,3
5	34225	120,4	3,5
6	34040	113,0	3,3
7	34040	115,7	3,3
8	33672	113,0	3,3
9	33672	118,3	3,5
10	34040	82,2	2,4
11	33488	106,6	3,1
12	34225	96,2	2,8
13	34040	101,0	2,9
14	34225	109,0	3,1
15	34225	104,0	3,0
16	34040	137,1	4,0
17	34040	105,0	3,0
18	34225	113,6	3,3
19	34225	97,1	2,8
20	34225	97,9	2,8
Ortalama			3,2
Std. Sapma			0,4

Tablo 3.3. Yatay delikli tuğlanın deliklere paralel doğrultudaki basınç dayanımı test sonuçları

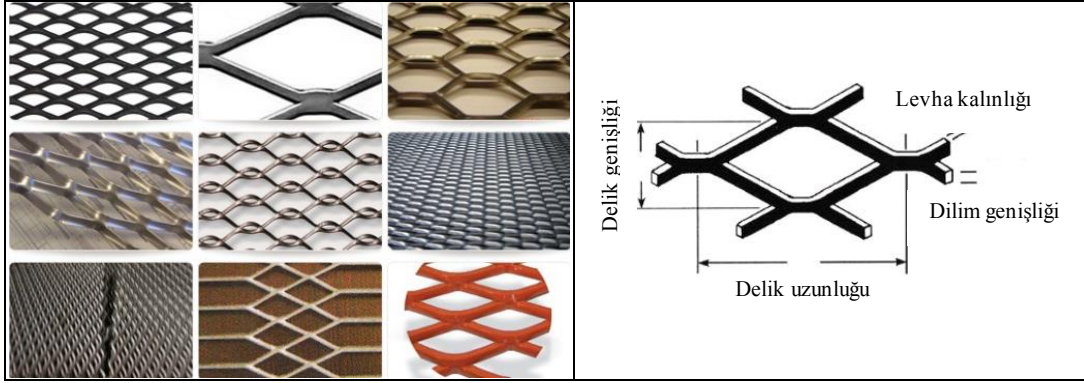
Numune No	Yükleme alanı (mm <sup>2</sup> )	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
1	15725	84,2	5,3
2	15725	88,3	5,6
3	15725	97,3	6,1
4	15725	121,2	7,7
5	15725	109,6	6,9
6	15725	70,4	4,4
7	15725	81,0	5,1
8	15725	96,0	6,1
9	15725	102,9	6,5
10	15725	92,0	5,8
11	15725	193,2	12,2
12	15725	101,0	6,4
13	15725	83,4	5,3
14	15725	105,3	6,6
15	15725	107,7	6,8
16	15725	83,0	5,2
17	15725	81,8	5,2
18	15725	86,1	5,4
19	15725	107,2	6,8
20	15725	102,6	6,5
Ortalama			6,3
Std. Sapma			1,6

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

Numune No	Yükleme alanı (mm <sup>2</sup> )	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)
1	15725	26,2	1,6
2	15725	43,3	2,7
3	15725	32,9	2,0
4	15725	57,3	3,6
5	15725	73,4	4,6
6	15725	49,9	3,1
7	15725	61,6	3,9
8	15725	40,3	2,5
9	15725	52,0	3,3
10	15725	35,3	2,2
11	15725	41,7	2,6
12	15725	37,7	2,3
13	15725	52,6	3,3
14	15725	52,0	3,3
15	15725	43,3	2,7
16	15725	68,9	4,3
17	15725	53,3	3,3
18	15725	56,5	3,5
19	15725	70,4	4,4
20	15725	55,3	3,5
		Ortalama	3,1
		Std Sapma	0,8

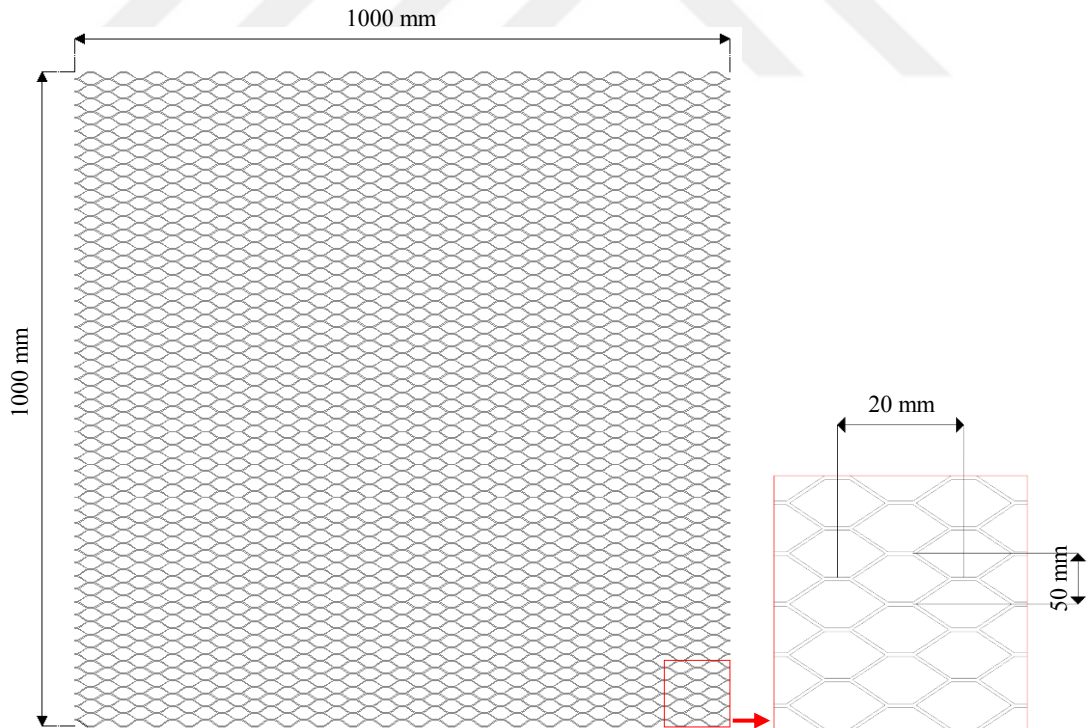
### 3.2.2. Genişletilmiş çelik levha

Bu çalışmada, yerli üretim, ucuz, nitelikli iş gücüne duyulan ihtiyacı azaltan, sünek malzeme özelliklerine sahip, yangın direnci lifli polimer malzemelere göre daha yüksek, kanserojen olmayan ve tamamen geri dönüştürülebilir genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak dolgu duvarların güçlendirilmesi yöntemi araştırılmıştır. Genişletilmiş çelik levhaların sahip oldukları bu üstünlükleri sebebiyle yapısal deprem güçlendirmesi uygulamalarında yaygınlık kazanacağı düşünülmektedir. Genişletilmiş çelik levhalar, 280 MPa ortalama ölçülen akma dayanımına sahiptirler. Genişletilmiş çelik levhalar, kesme ve genişletme uygulamaları sayesinde bir ağ ya da kesikli yapı haline getirilmiş, boşluklu bir yapıya sahip levhalardır. Levha açıklıkları sırasıyla 50 ve 20 mm uzunluk ve genişliğe sahiptir. Genişletilmiş çelik levhalar, hiçbir şekilde montajlama ya da kaynaklama yöntemi ile bir araya getirilmemekte ve tek bir parça metalden imal edilmektedir. Bu levhaların istenilen en ve boylarda üretimi yapılabilmektedir (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Genişletilmiş çelik levha çeşitleri

Bu levhaların, fabrika bölmelerinde, cephe kaplama sistemlerinde, her türlü kafes imalatında, ısıtma ve soğutma sistemlerinin muhafazasında, güneş kırıcı sistemlerinde, asma tavan sistemlerinde, yürüme platformlarında, saha beton içlerinde, duvar sıvalarının altlarında, dekoratif bahçe çitlerinde, ızgara kapaklarında, her çeşit filtre üretiminde, otomotiv sanayisi gibi çok geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Genişletilmiş çelik levha geometrisi Şekil 3.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Genişletilmiş çelik levha geometrisi

### 3.2.3. Sıva ve harç

Tuğla duvarlar, karışım oranı Tablo 3.5.'de verilen çimento-kireç-kum karışımı ile olabildiğince sıradan bir işçilikle hazırlanmıştır. Kullanılan malzemelerin ölçümü kilogram olarak hesaplanmıştır. Karışımdaki kullanılan malzemelerin oranı da aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 3.5. Sıva ve harçta kullanılan malzemelerin ağırlıkça oranları

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

Sıva karışımı, sıvanın duvarın yüzlerine uygulanmasını kolaylaştırmak için harç karışımına oranla daha fazla su içermektedir. TS EN 206/1 e uygun olarak harç ve sıva karışımlarının her birinden 3, toplamda 30 silindir numune ve deneyler esnasında kırılarak harç ve sıva basınç dayanımları elde edilmiştir. Silindir testlerine dayanarak, harç ve sıvanın sırasıyla 12,3 ve 9,8 MPa ortalama basınç dayanımı değerleri ve 2,3 ve 2,5 MPa standart sapma göstermiştir.

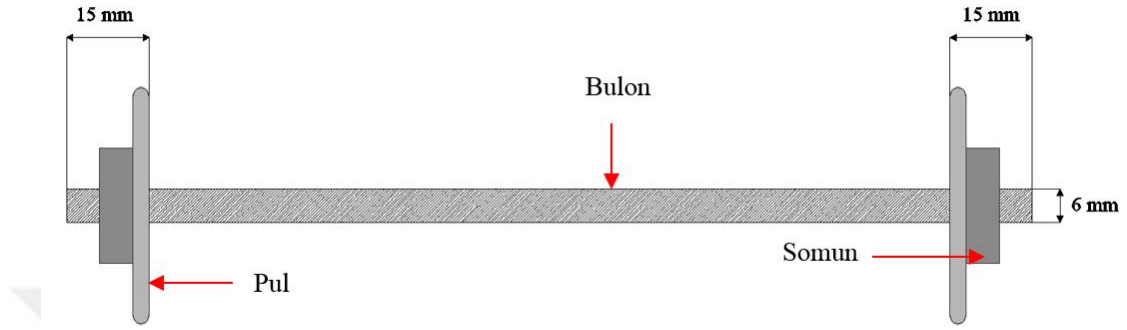
### 3.2.4. Bulon, pul ve somun

Genişletilmiş çelik levhayı duvara sabitlemek için deneylerde bulon kullanılmıştır. Deneylerde kullanılacak bulonlar bir metrelik uzunluğunda ve çeşitli çaplarla piyasada bulunmaktadır. Bu çalışmada metrik 6'lık (M6) St37 kalitesinde bulonlar kullanılmıştır.

Deneye hazırlanan tuğla duvarın her iki yüzeyine genişletilmiş çelik levha konularak bulonların geçirilmesi gereken yerler işaretlenmiştir. Genişletilmiş çelik levhalar duvara ve birbirlerine 3 Nm'lik bir tork ile sonradan germeli M6 bulonlar yardımıyla tutturulmuştur. Bu tork değeri, bir bulonun eksenel yük kapasitesinin yaklaşık %60'ına karşılık gelen sonradan ardgerme kuvveti oluşturmaktadır. Bulonlar,



diyagonal yük altındaki duvarların yanal genişleme sırasında kırılmasına karşı korumak için aksenal kapasitelerinin sonuna kadar sıkılmamışlardır. Güçlendirilmiş deney elemanlarında kullanılan M6 bulonu, pul ve somun geometrisi Şekil 3.4.'de verilmiştir.



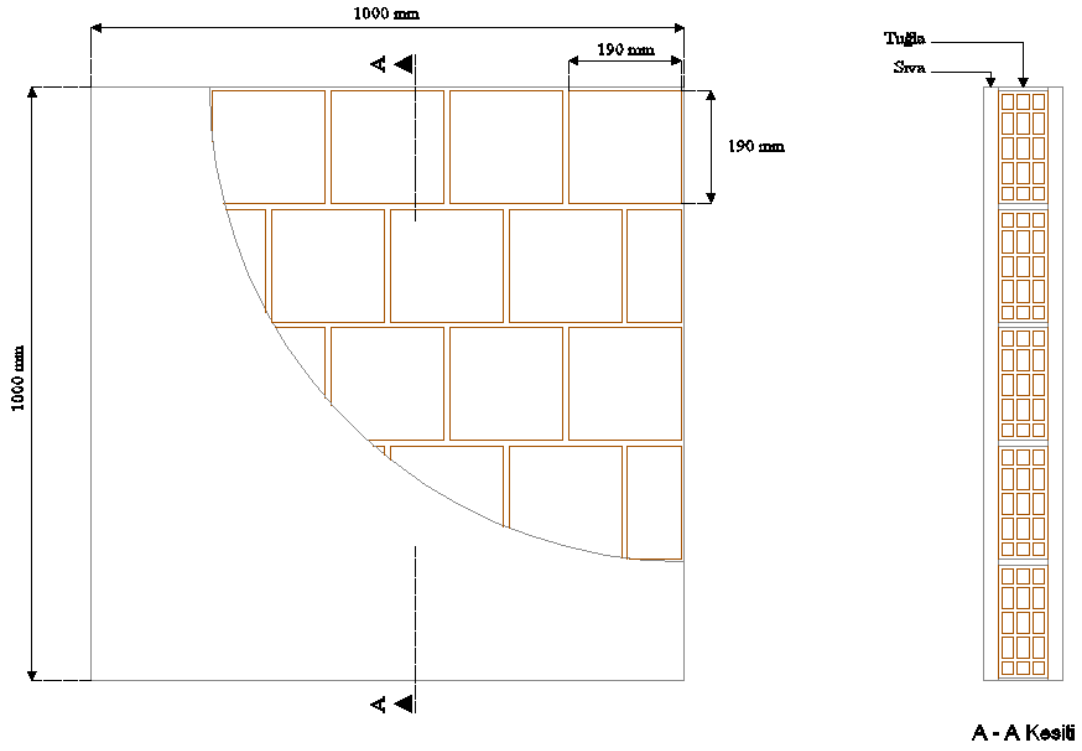
Şekil 3.4. Güçlendirilmiş deney elemanlarında kullanılan bulon, pul ve somun geometrisi

### 3.3. Deney Elemanları

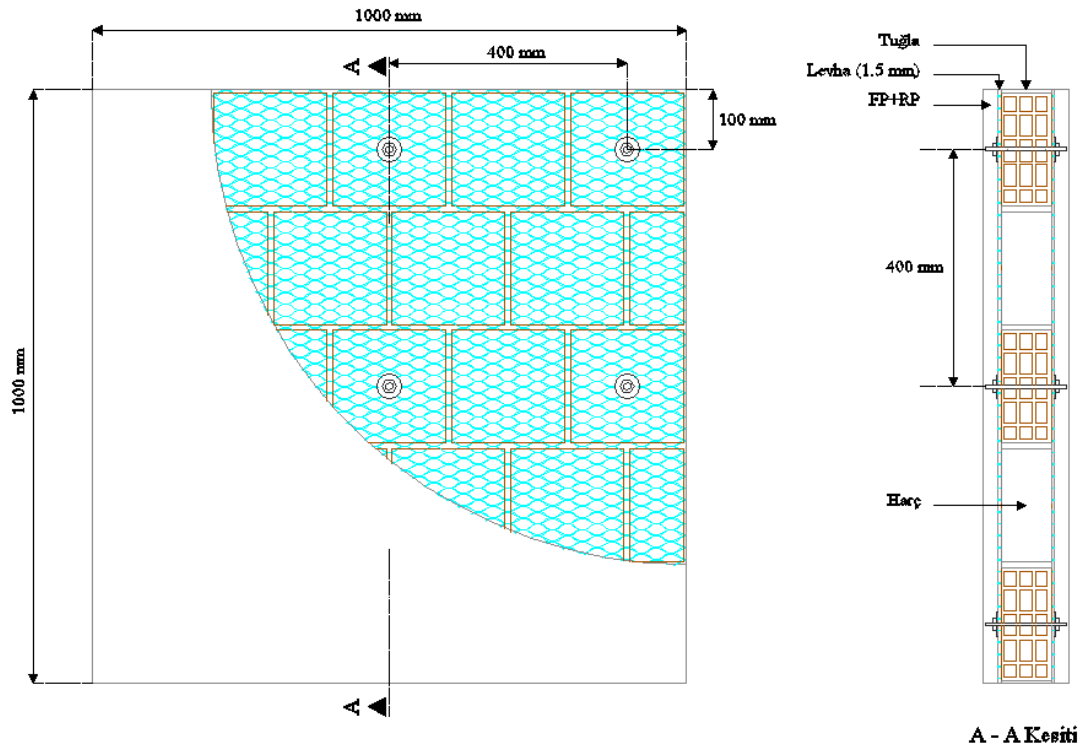
İkisi referans olmak üzere toplam 30 adet güçlendirilmiş deney elemanı hazırlanmış ve diyagonal yükler altında test edilmişlerdir. Deney elemanları 1/1 ölçeğe sahip olacak şekilde ve  $1000 \times 1000$  mm ebadında hazırlanmıştır. Deney elemanlarının boyutları ve güçlendirme detayları Şekil 3.5.-3.33.'te, deney elemanlarının yapım aşamaları Resim 3.1.-3.6.'da verilmiştir.

Deney elemanlarında uygulanan sıva kalınlıkları aşağıda verilmiştir.

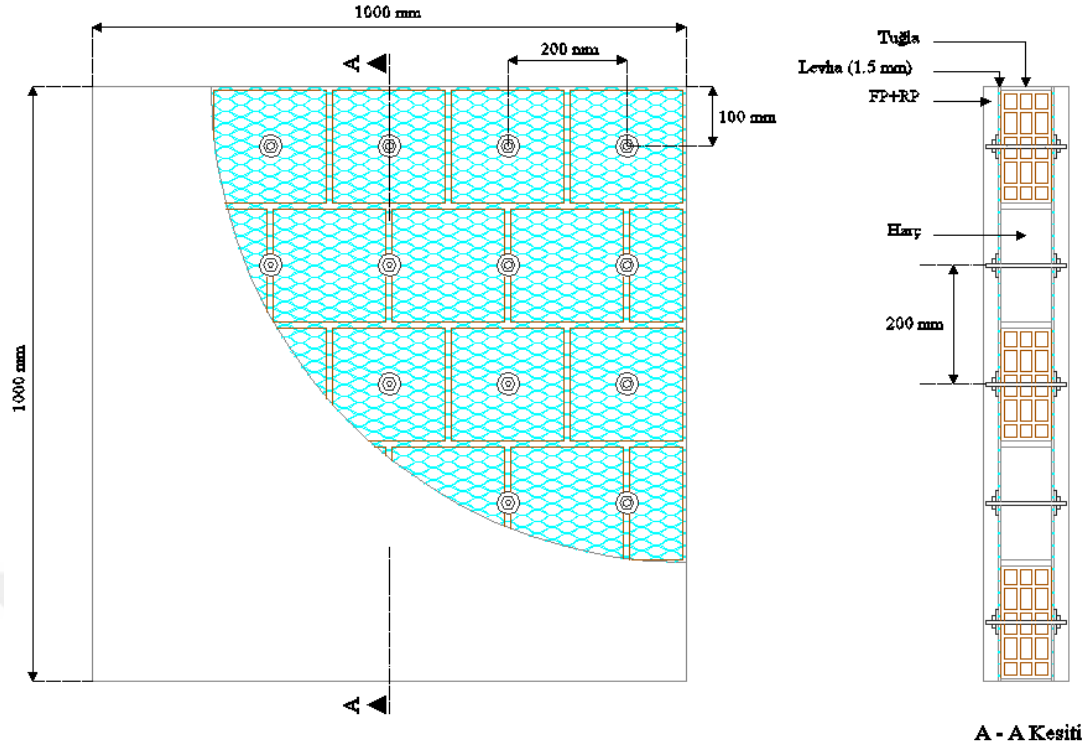
- Referans elemanın (R) dış sıva kalınlığı 25 mm
- Kaba sıva kalınlığı (RP) 10 mm
- Bitmiş ince sıva kalınlığı (FP) 15 mm



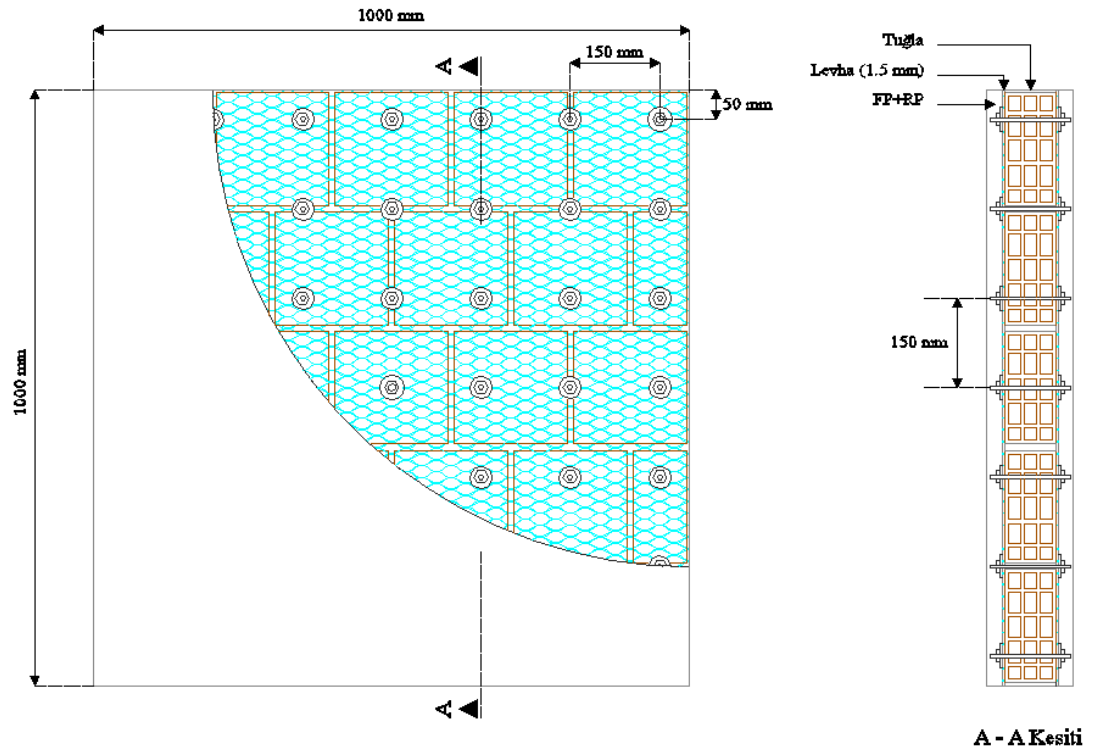
Şekil 3.5. R1 ve R2 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



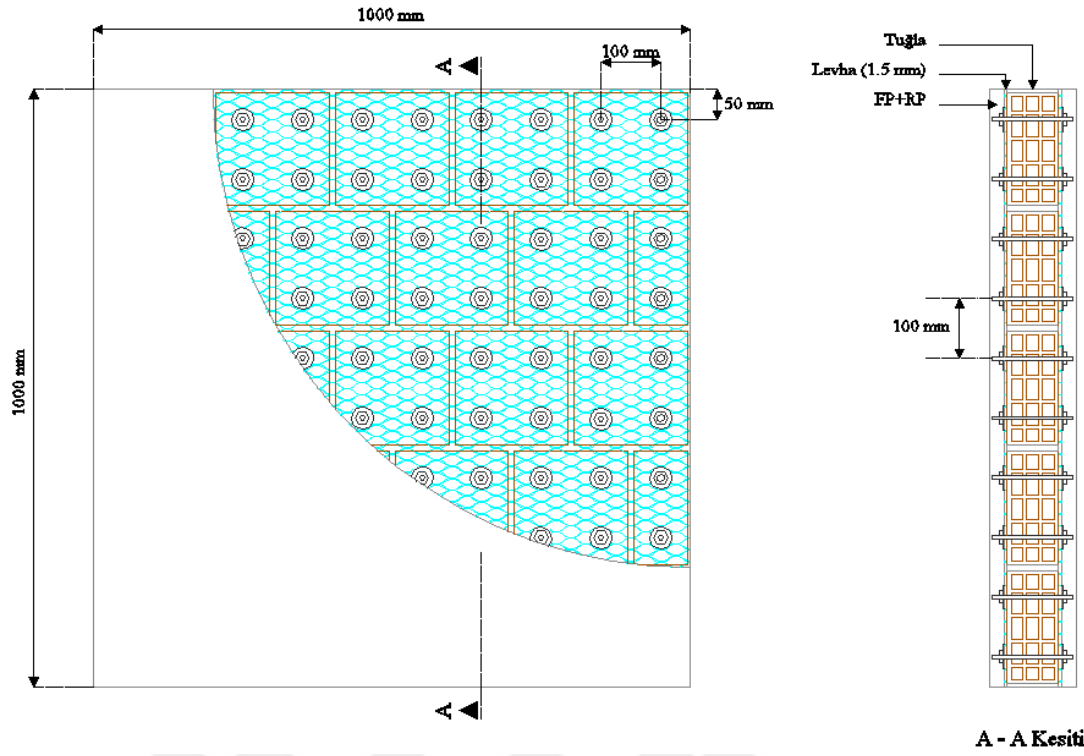
Şekil 3.6. B1,5-500 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



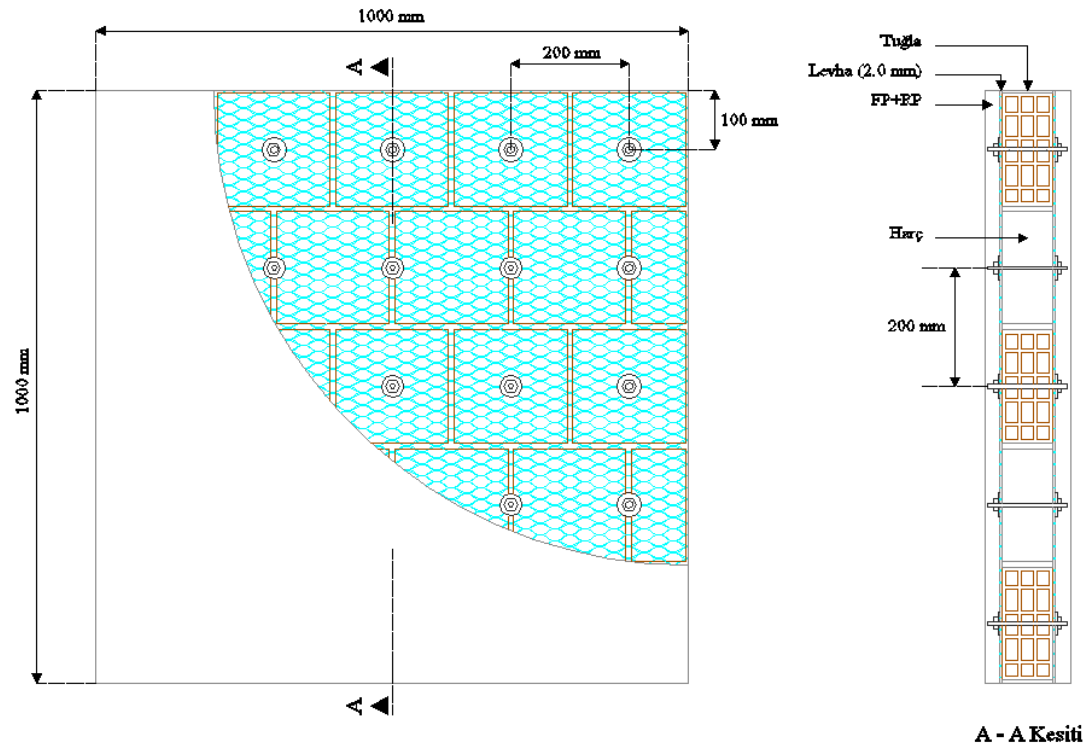
Şekil 3.7. B1,5-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



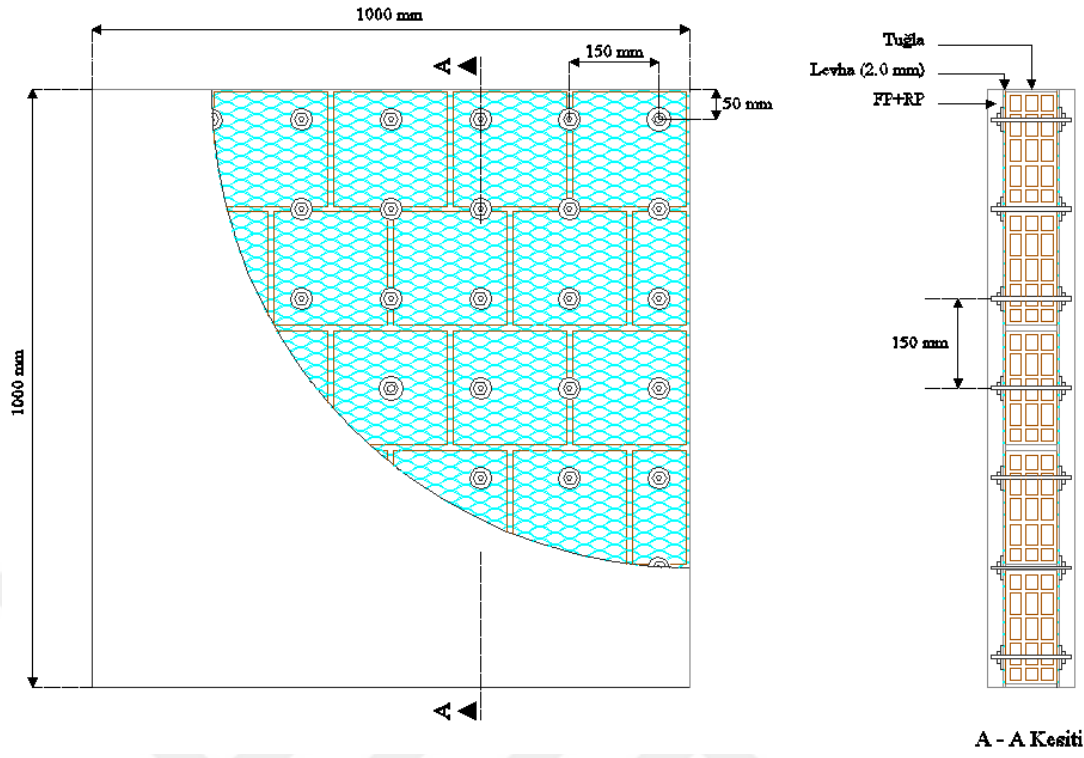
Şekil 3.8. B1,5-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



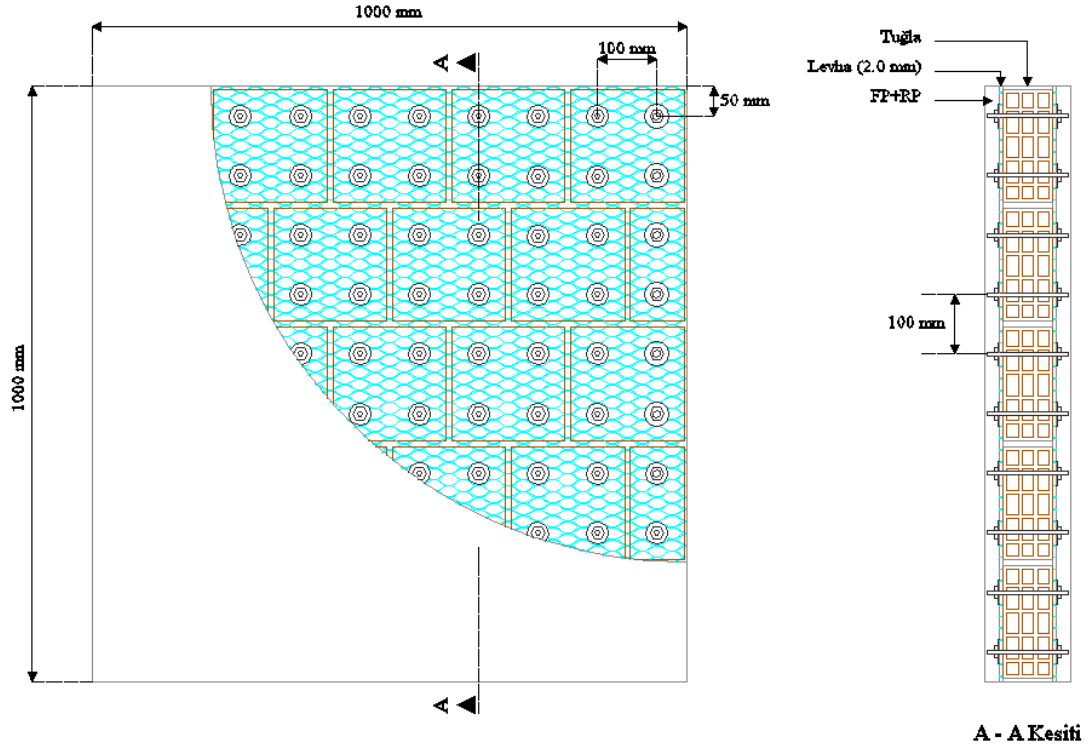
Şekil 3.9. B1,5-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



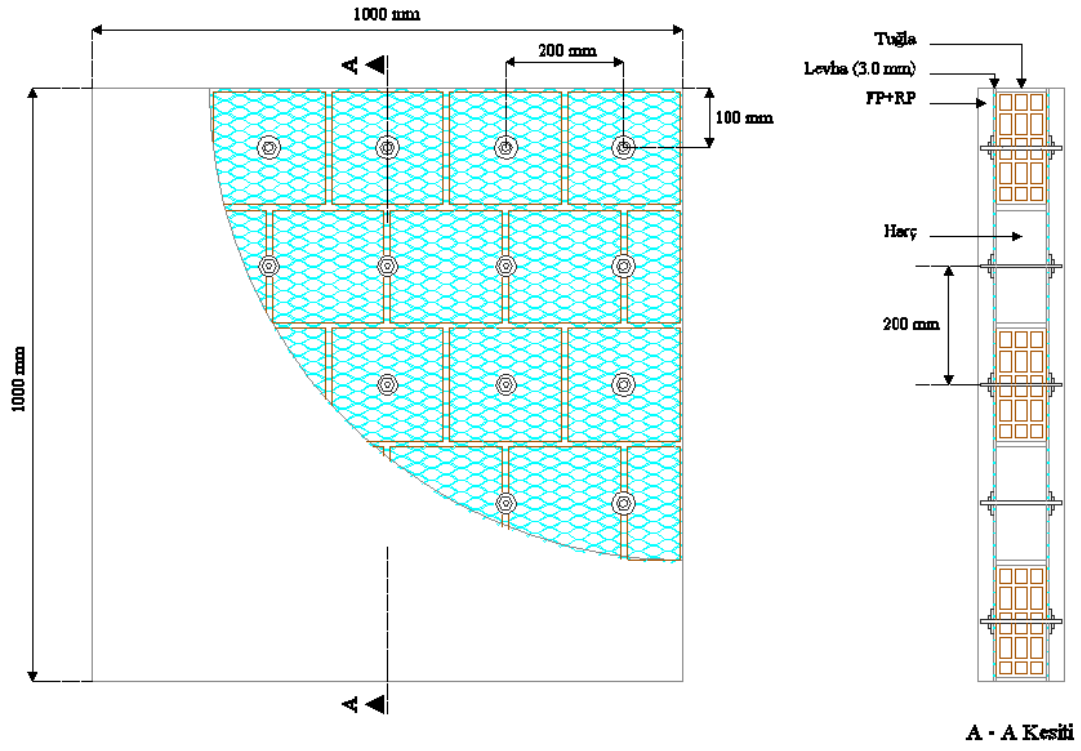
Şekil 3.10. B2,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



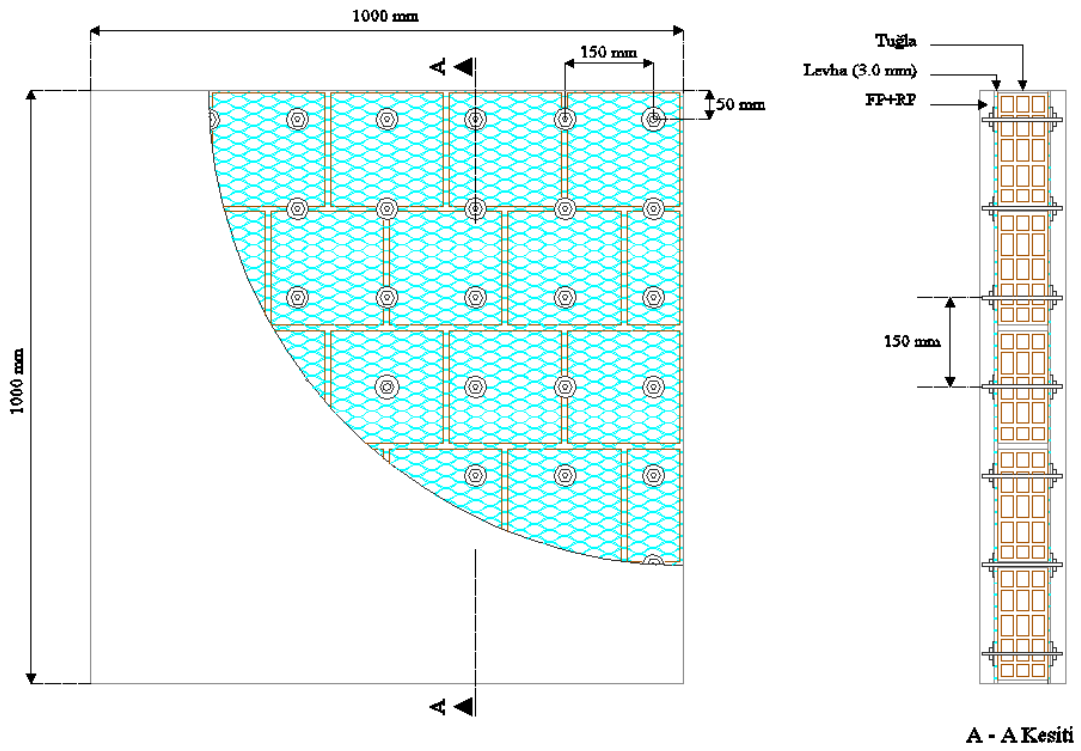
Şekil 3.11. B2,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



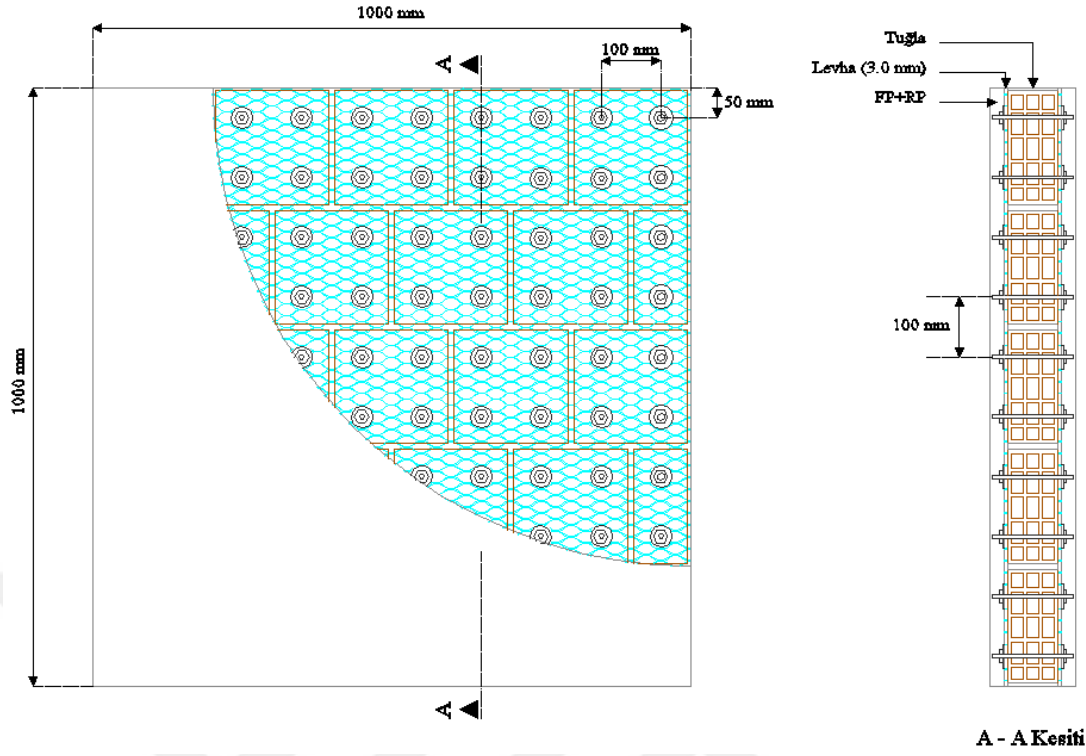
Şekil 3.12. B2,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



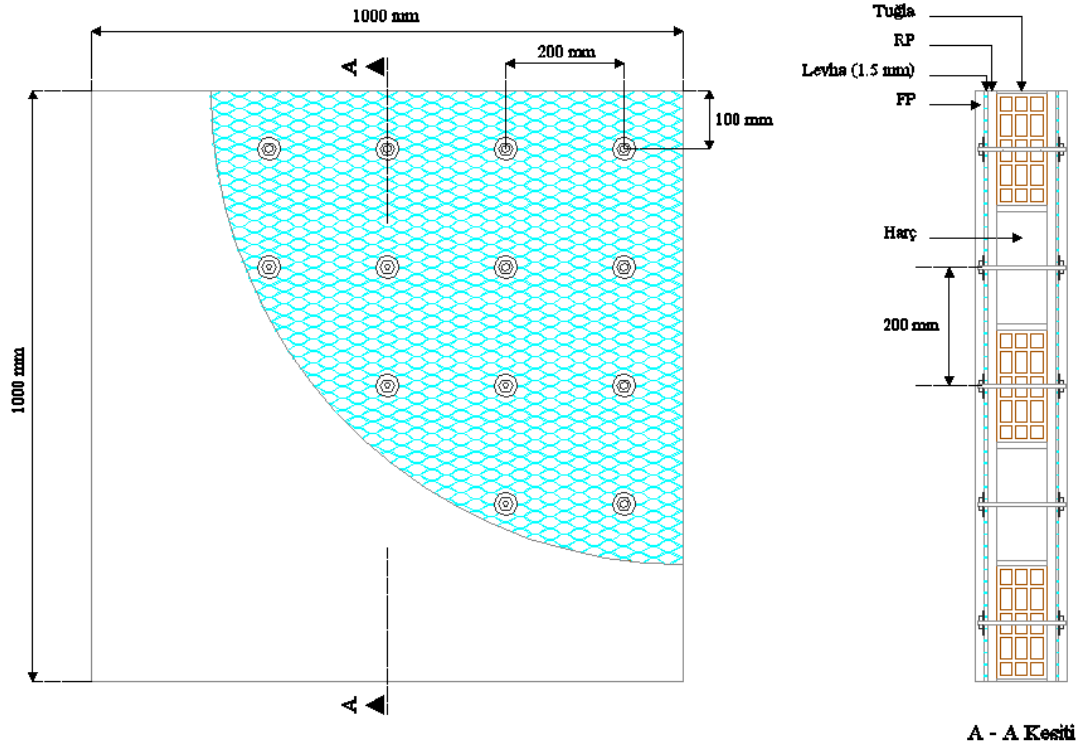
Şekil 3.13. B3,0-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



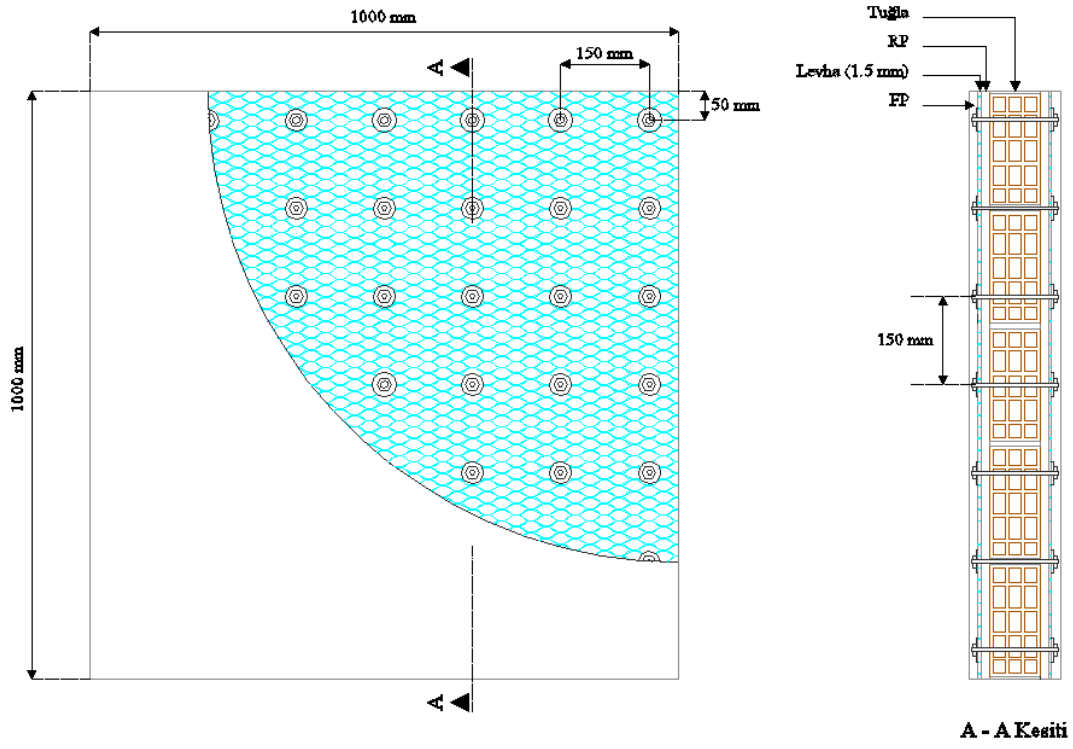
Şekil 3.14. B3,0-150 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



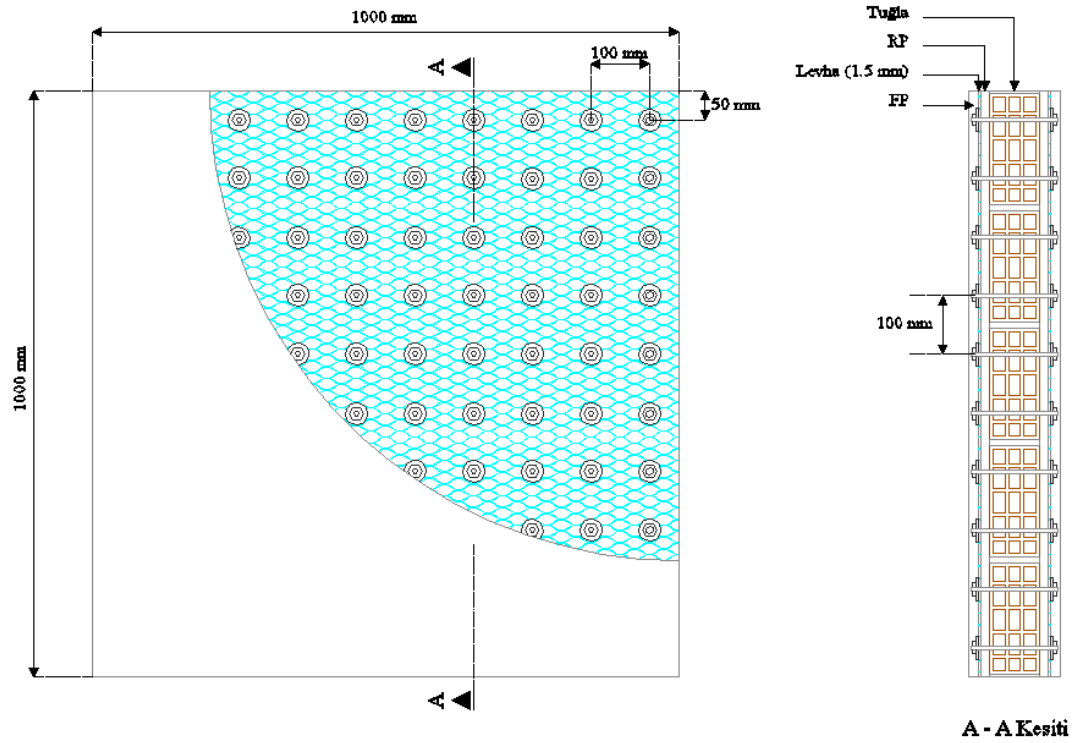
Şekil 3.15. B3,0-100 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları



Şekil 3.16. RP1,5-200 deney elemanının boyutları ve güçlendirme detayları

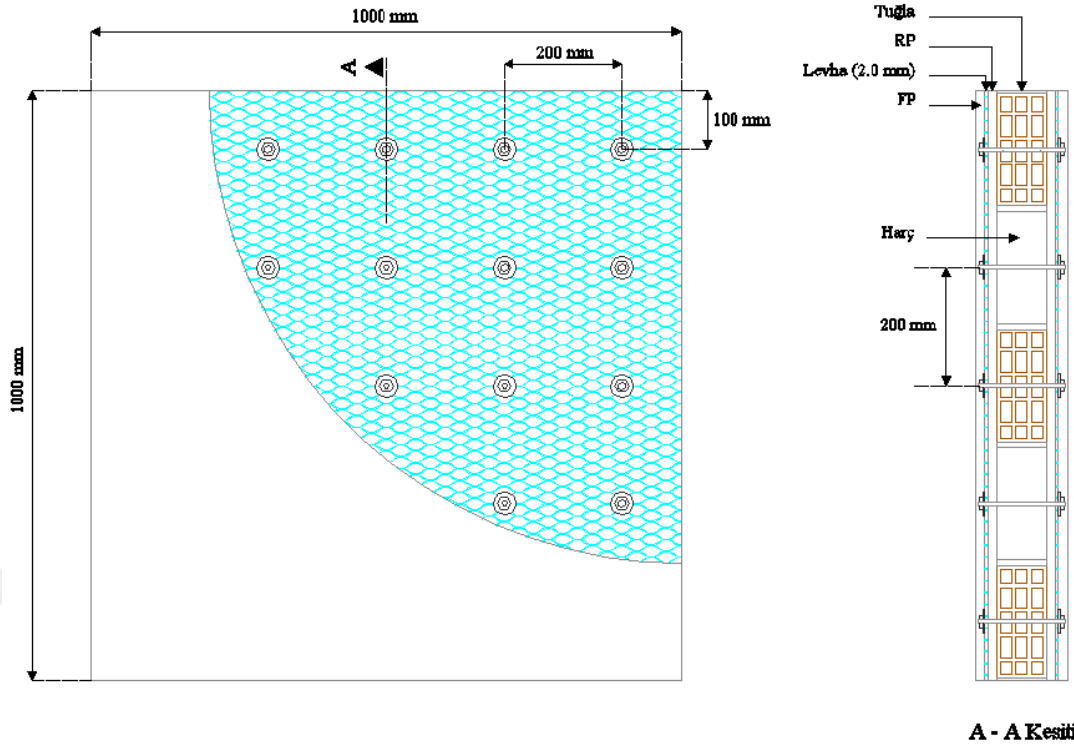


Şekil 3.17. RP1,5-150 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları

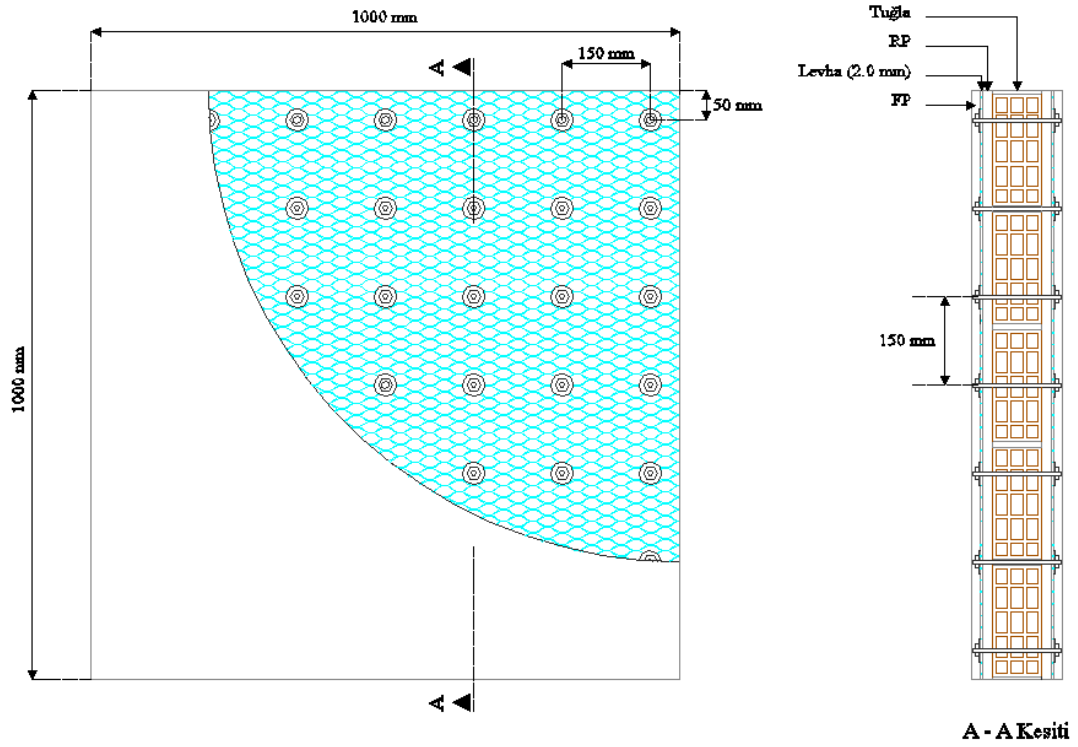


Şekil 3.18. RP1,5-100 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları

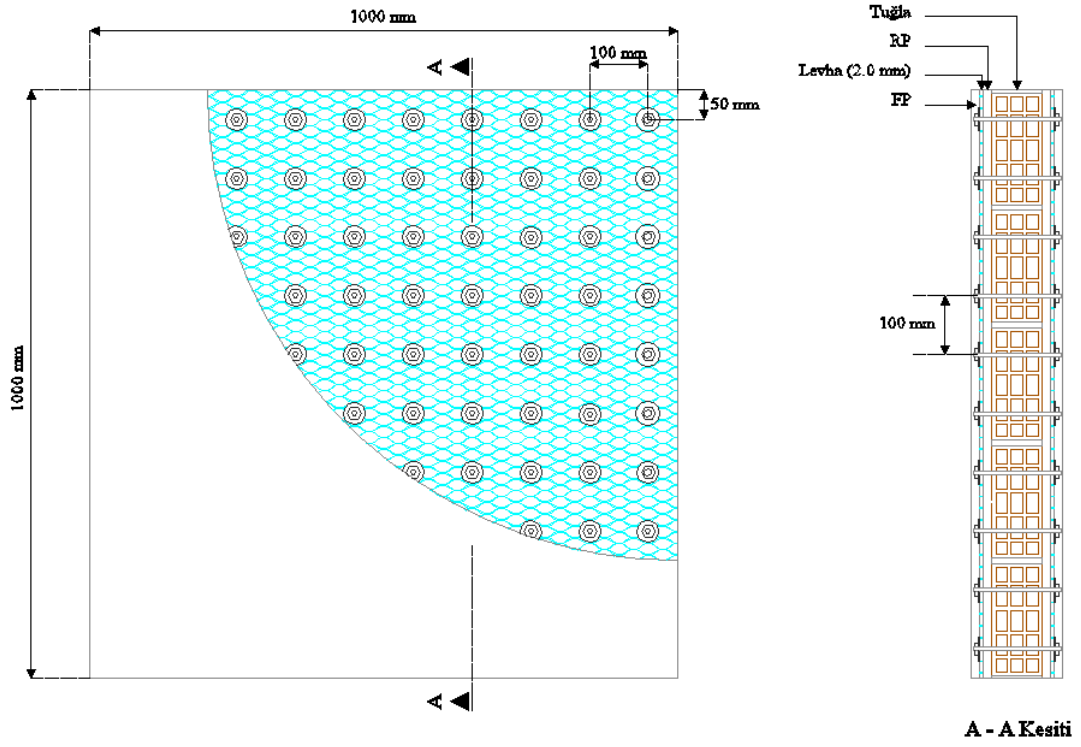




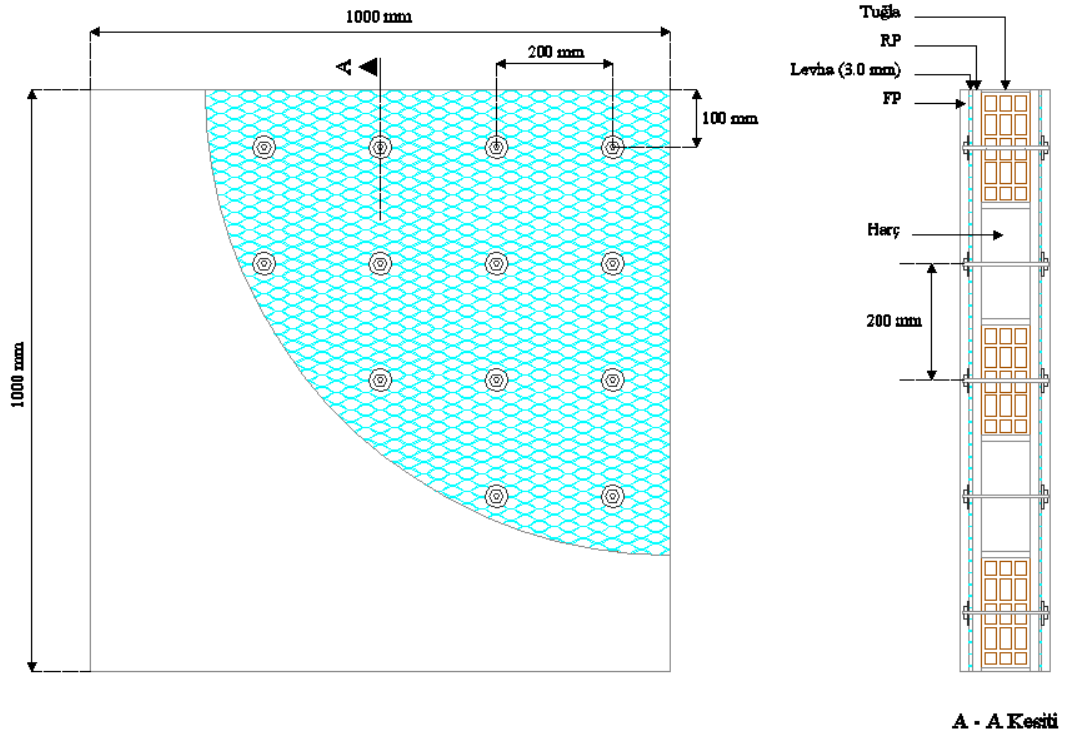
Şekil 3.19. RP2,0-200 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



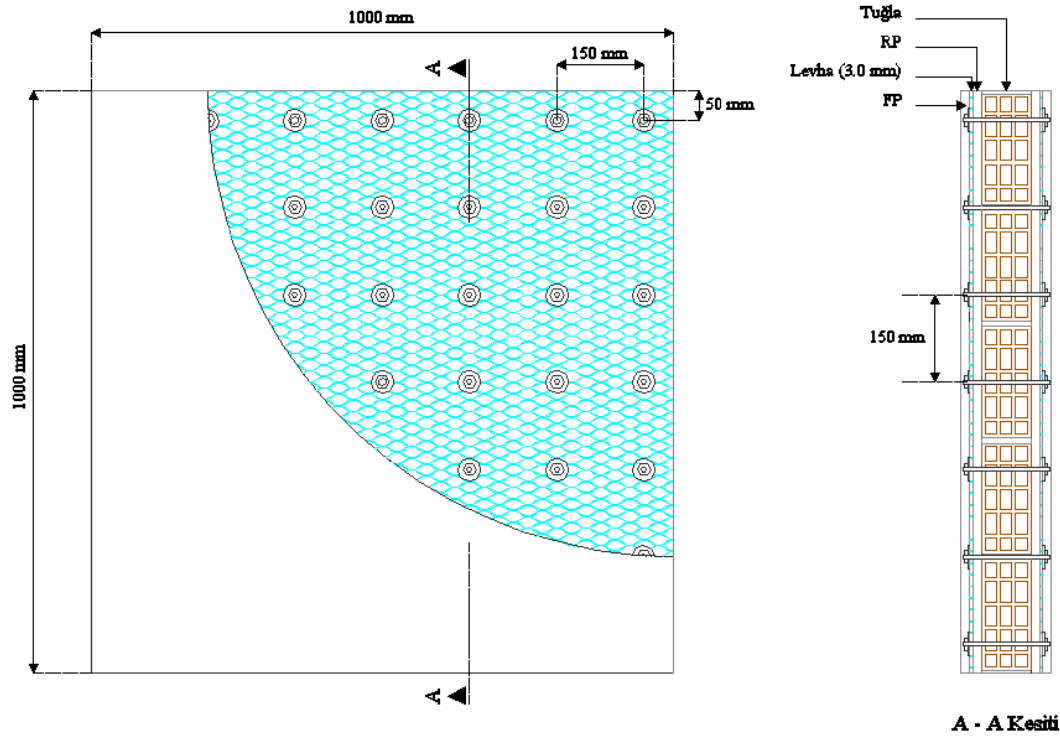
Şekil 3.20. RP2,0-150 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



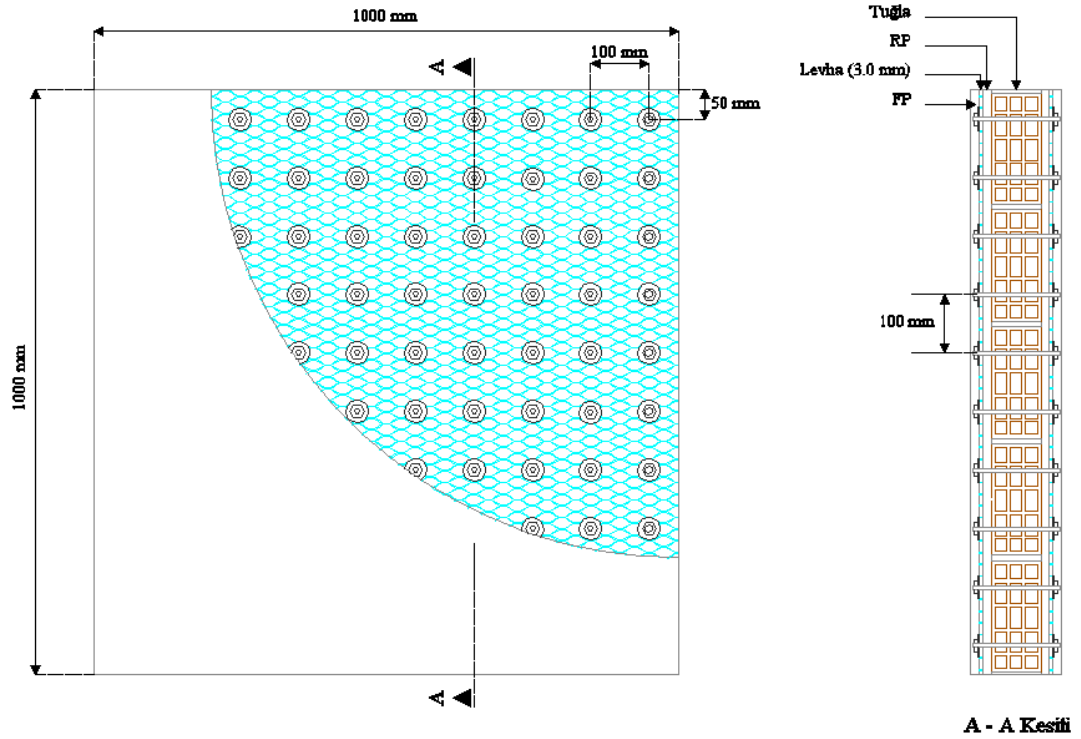
Şekil 3.21. RP2,0-100 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



Şekil 3.22. RP3,0-200 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları

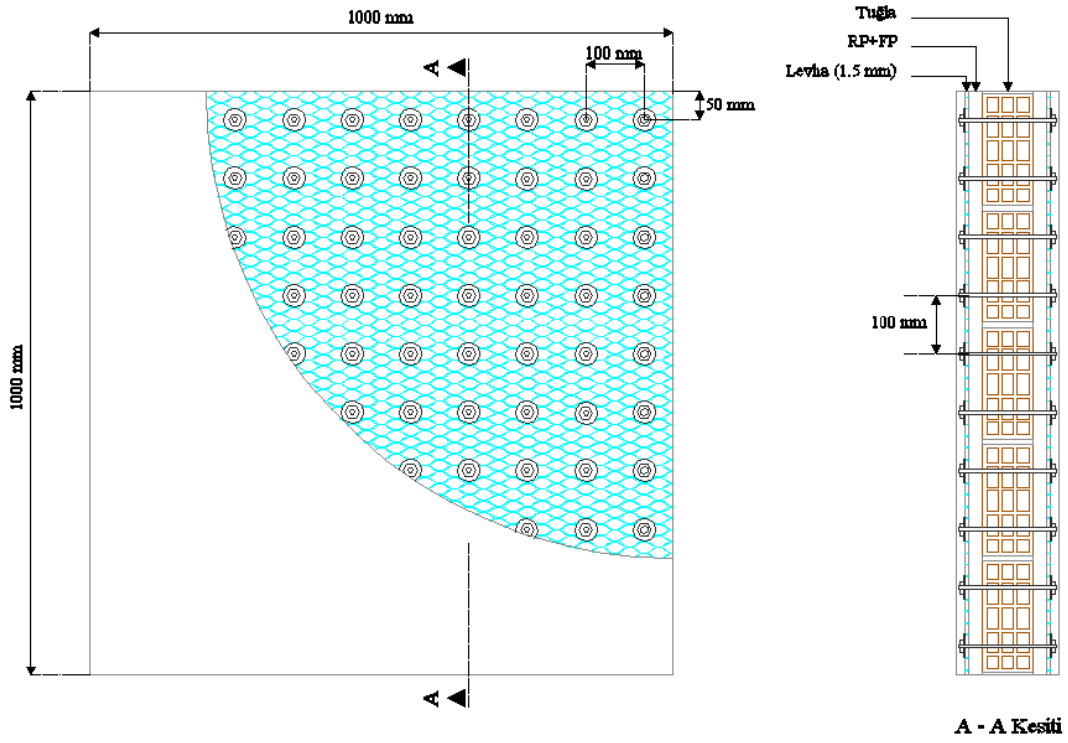


Şekil 3.23. RP3,0-150 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları

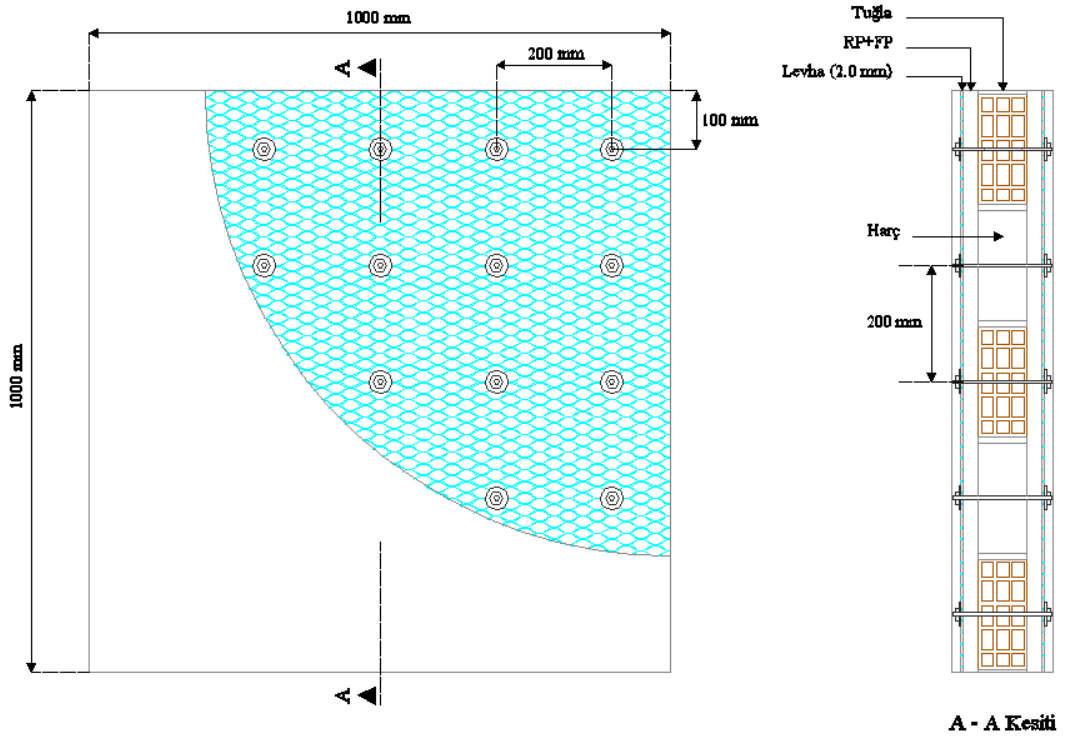


Şekil 3.24. RP3,0-100 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları

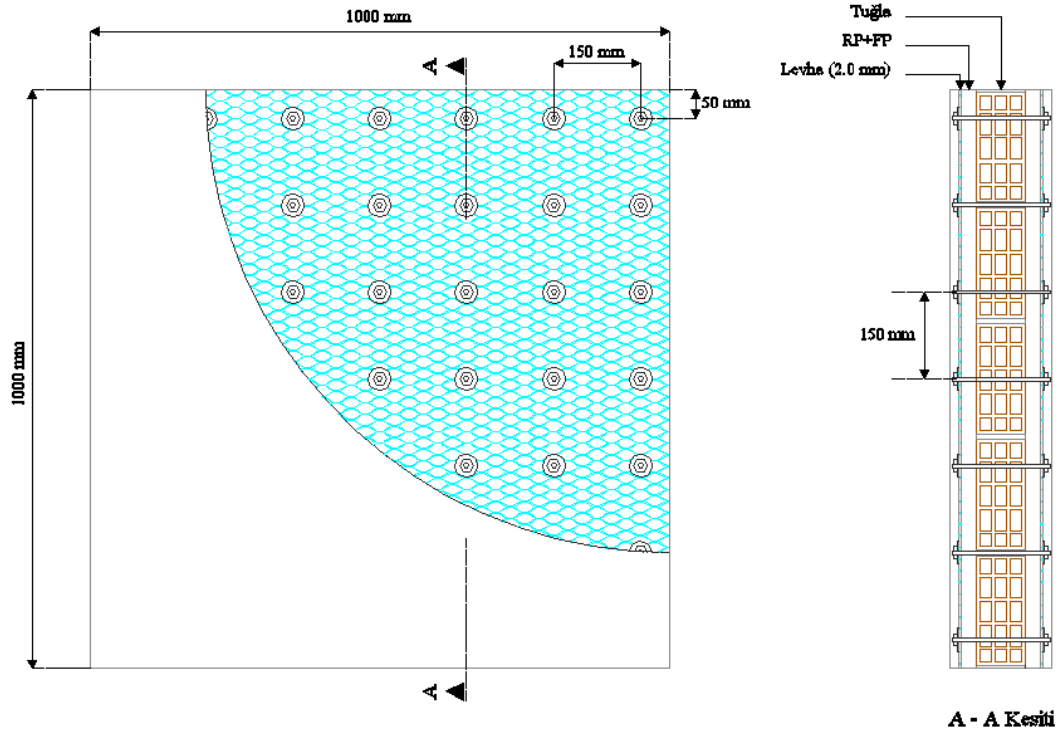




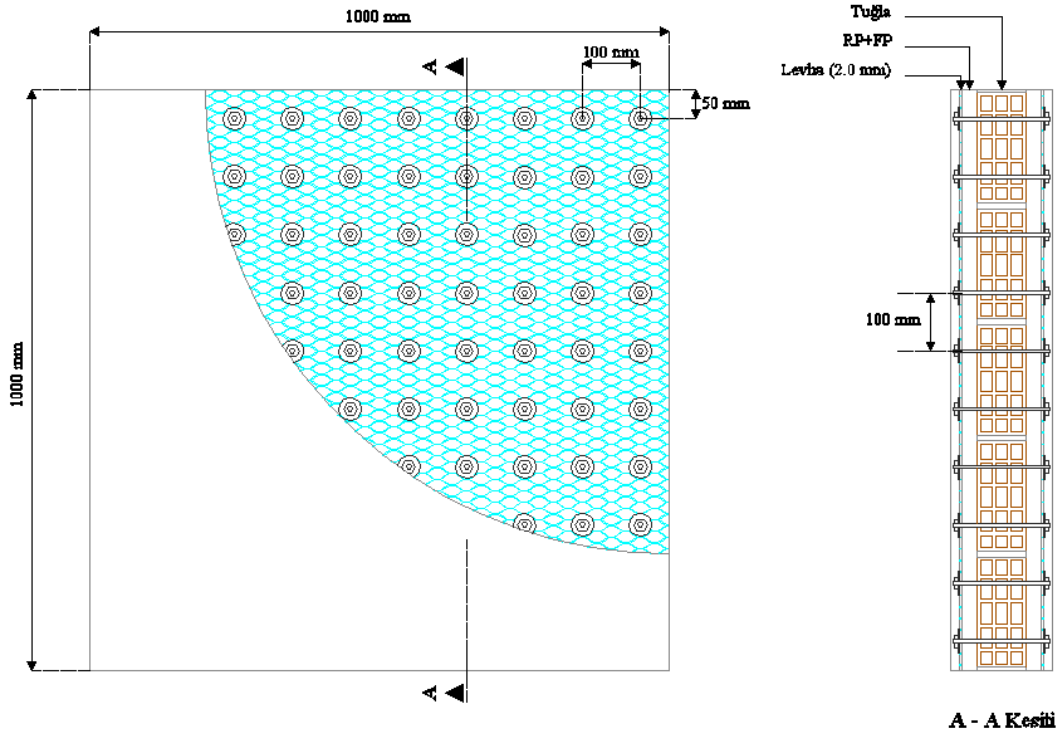
Şekil 3.27. FP1,5-100 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



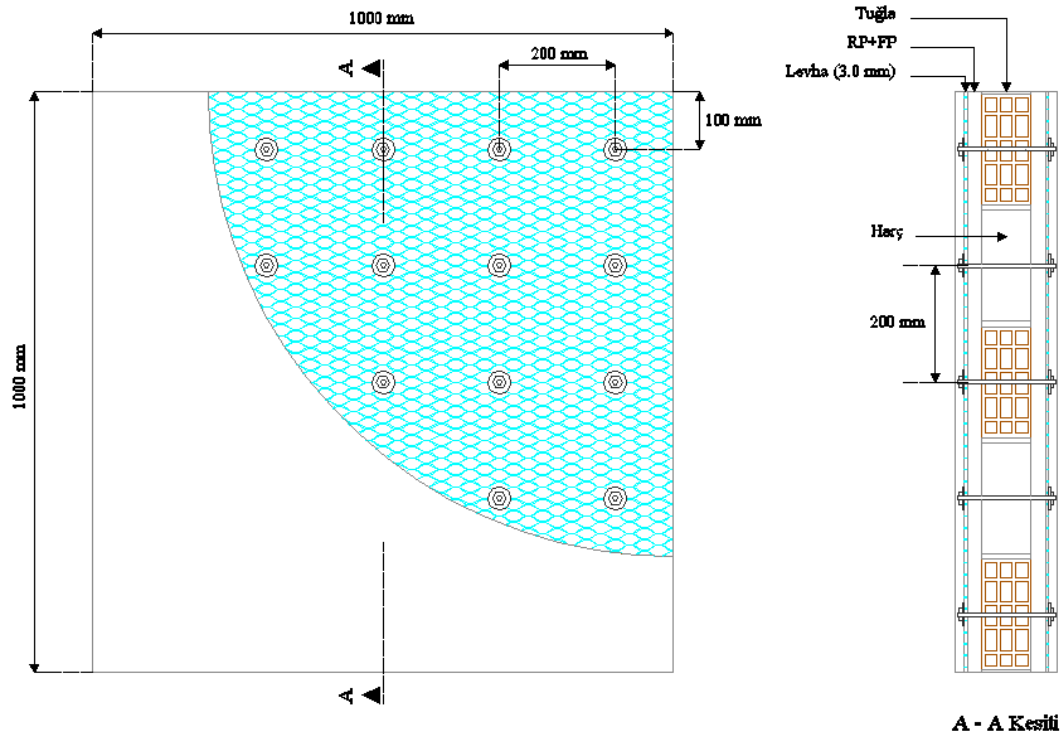
Şekil 3.28. FP2,0-200 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



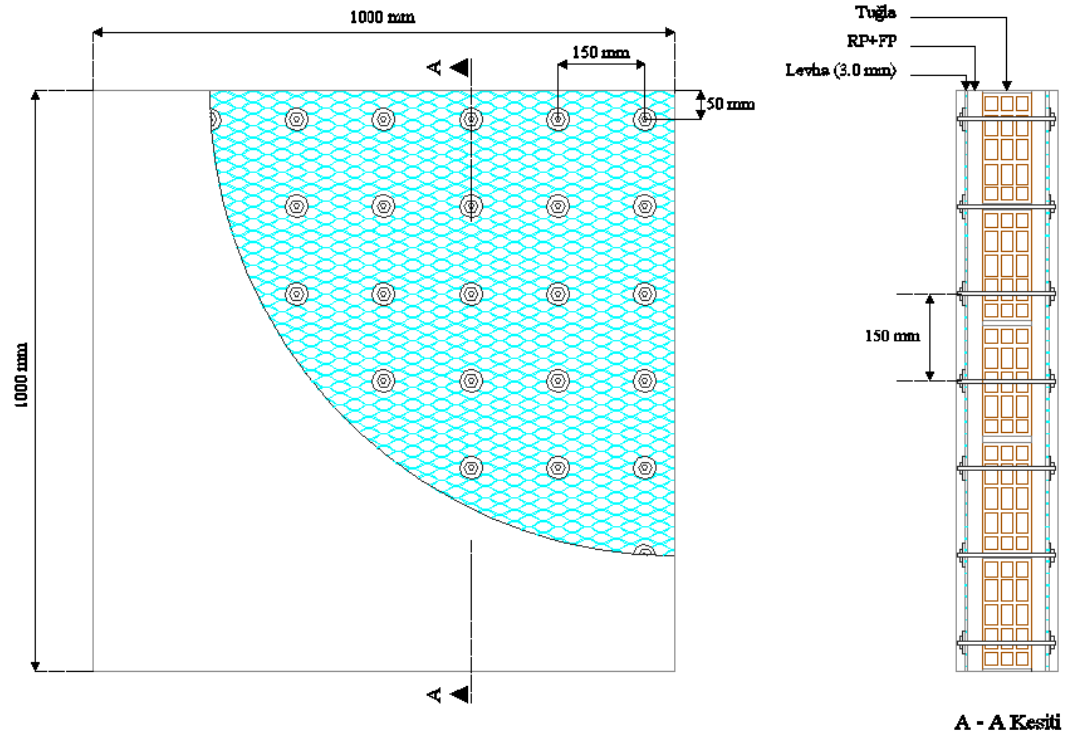
Şekil 3.29. FP2,0-150 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



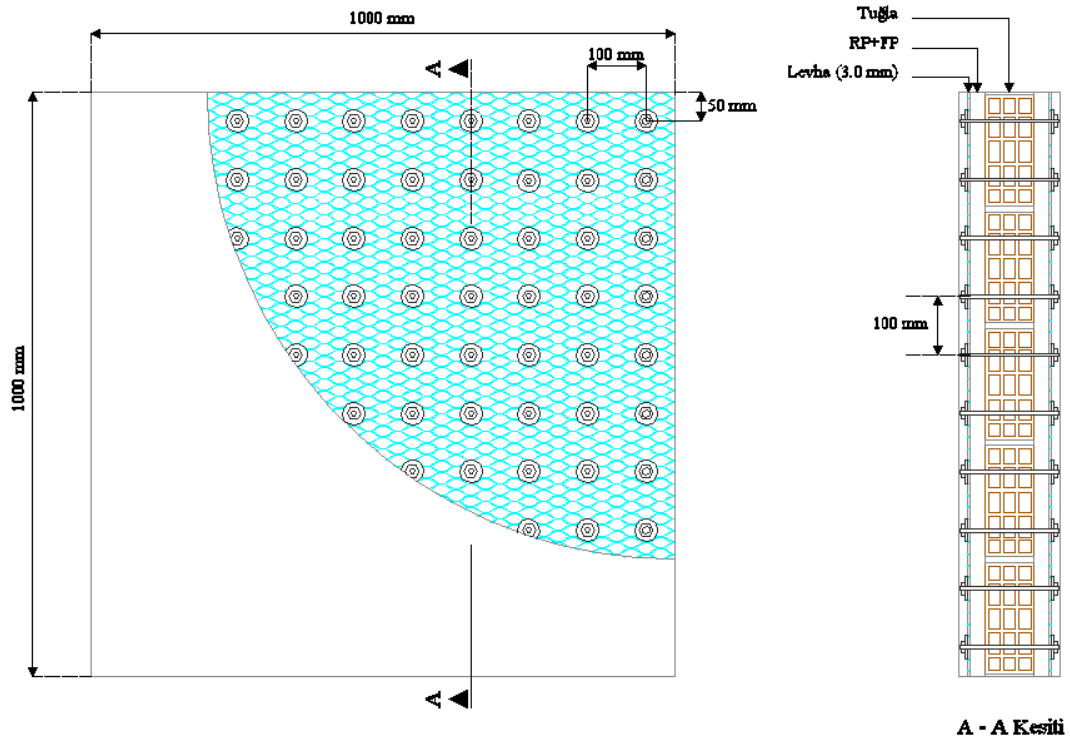
Şekil 3.30. FP2,0-100 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



Şekil 3.31. FP3,0-200 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



Şekil 3.32. FP3,0-150 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



Şekil 3.33. FP3,0-100 deney elemanın boyutları ve güçlendirme detayları



Resim 3.1. Deney elemanlarının yapım aşamasında tuğla duvar örülmesi





Resim 3.2. Deney elemanlarının yapım aşamasında bulon deliklerinin açılması



Resim 3.3. Deney elemanlarının yapım aşamasında bulon montajlarının yapılması



Resim 3.4. Deney elemanlarının yapım aşamasında sıvanması



Resim 3.5. Deney elemanlarının yapım aşamasında alçı çekilmesi



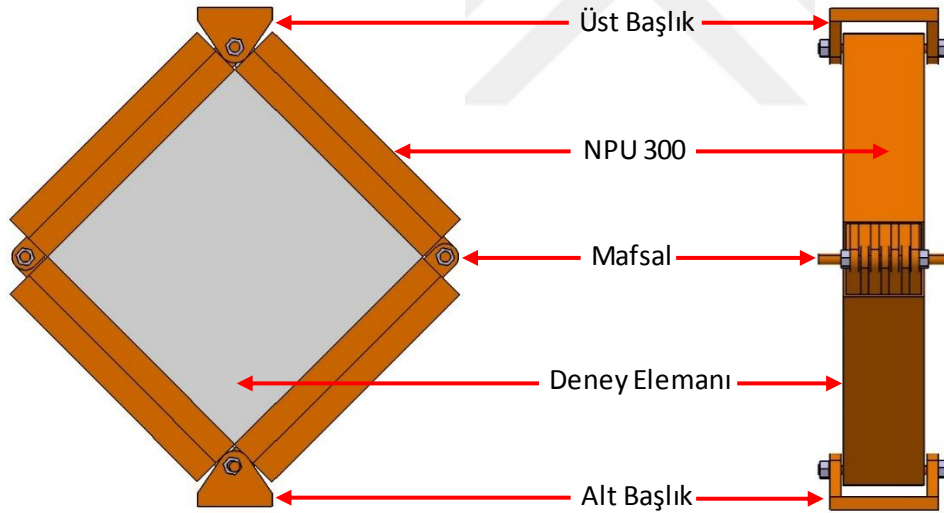
Resim 3.6. Deney elemanlarının yapım aşamasında çerçeveye yerleştirilmesi

### 3.4. Deney Düzeni

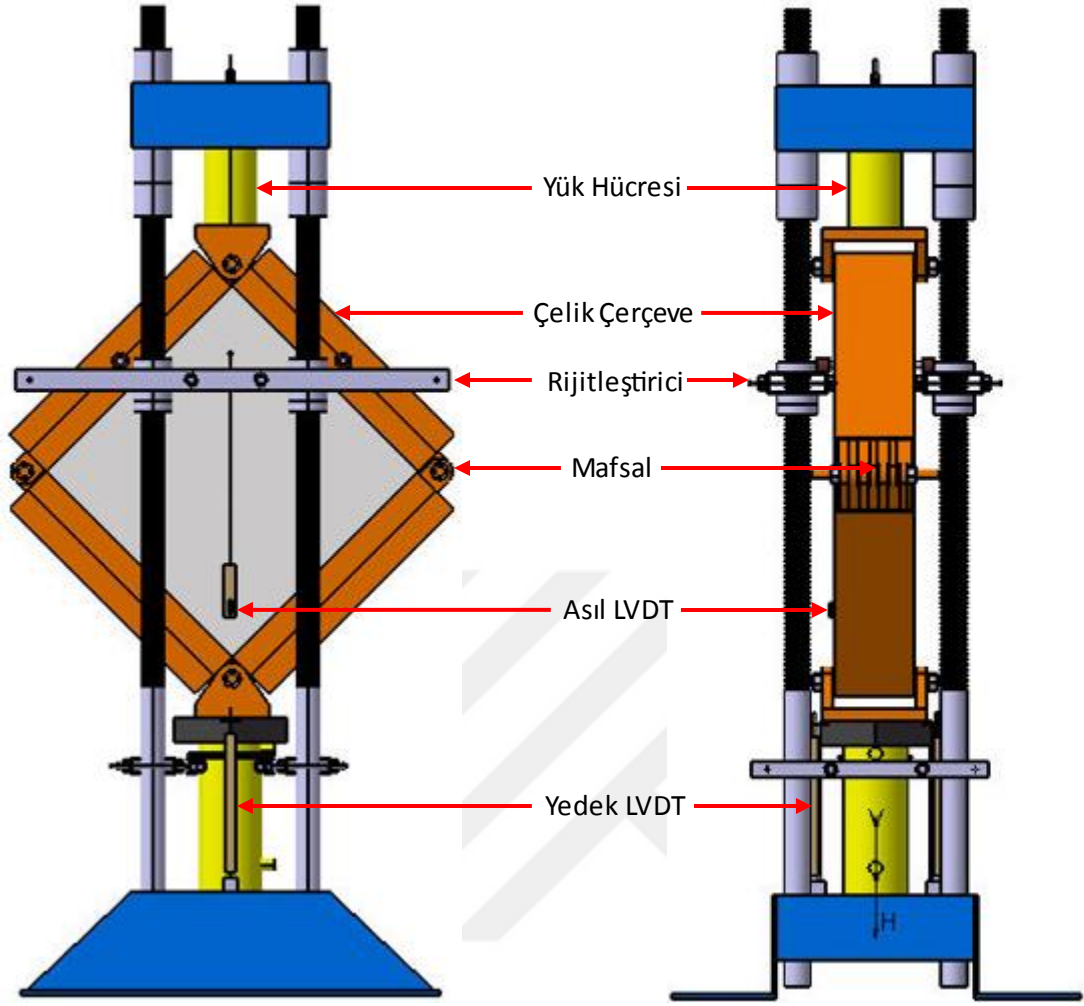
#### 3.4.1. Deney platformu ve deney çerçevesi

Dolgu duvarların, betonarme çerçevenin yatay deprem kuvvetleri altında diyagonal basınç çubukları gibi davranacağı varsayılır. Bu nedenle, dolgu duvarlar genellikle diyagonal basınç yüklemesi altında test edilirler. Duvar üretim ve yapımındaki diyagonal yüklemeye testleri genellikle ASTM E519 (ASTM 2010) 'da verilen test prosedürüne uygun olarak gerçekleştirilir. Bu prosedürde yük, deney elemanının üst ve alt köşelerini sınırlandırarak yüklemeye başlıkları yardımı ile iletilir. Montajın diyagonal eksenine, dikey yönde konumlandırılmıştır. Yine de, bu test prosedürü, bir betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki gerçek sınır durumlarını benzeştirmekten uzaktır. Gerçek betonarme çerçevelerde, betonarme çerçeve ile dolgu duvar arasındaki temas yüzeyi, deprem sırasında deformasyonlara bağlı olarak artar. Bununla birlikte ASTM E519 (ASTM 2010) prosedüründe uygulanan yükün numuneye iletiildiği yüzey test boyunca sabit kalır.

Diyagonal basınç yükünü deney elemanına aktarmak için dört köşesi mafsallı kare şeklinde ama elemanları rijit sayılabilecek, çelik bir çerçeve üretilmiştir (Şekil 3.34.). Çelik çerçevenin dört kenarı iki adet U300 profilin birleştirilmesiyle yüzey boyunca rijit bir düzlem elde edilmiştir. Çelik çerçevenin dört köşesinde oluşturulan mafsallar da uygulanan diyagonal yükü doğrudan deney elemanına aktarılmasını sağlamıştır. Yapılan tüm deneylerde, deney boyunca çelik çerçeve, duvara uygulanan diyagonal yüke karşı direnç göstermemiştir. Deney elemanı ve çelik çerçeve arasındaki temas yüzeyi, gerçek sınır koşullarına benzer şekilde duvarın artan deformasyonlarıyla birlikte artmıştır. Aykaç ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan deneylerde, bu yöntemde çelik çerçeve ve deney elemanı arasındaki temas yüzeyinin çerçevenin yan uzunluğunun %20'den %40'lara çıkabileceğini göstermiştir. ASTM yaklaşımında ise bu yüzey tüm test boyunca yan uzunluğun %12'si olarak sabit kalmaktadır. Bu çalışmada, Şekil 3.35.'te gösterilen deney sistemi kullanılmıştır. Bu mekanizmanın gerçek koşulları ASTM prosedüründen daha iyi benzeştirebileceği görülmüştür.



Şekil 3.34. Dört köşesi mafsallı yüzeyleri çelik rijit çerçeve



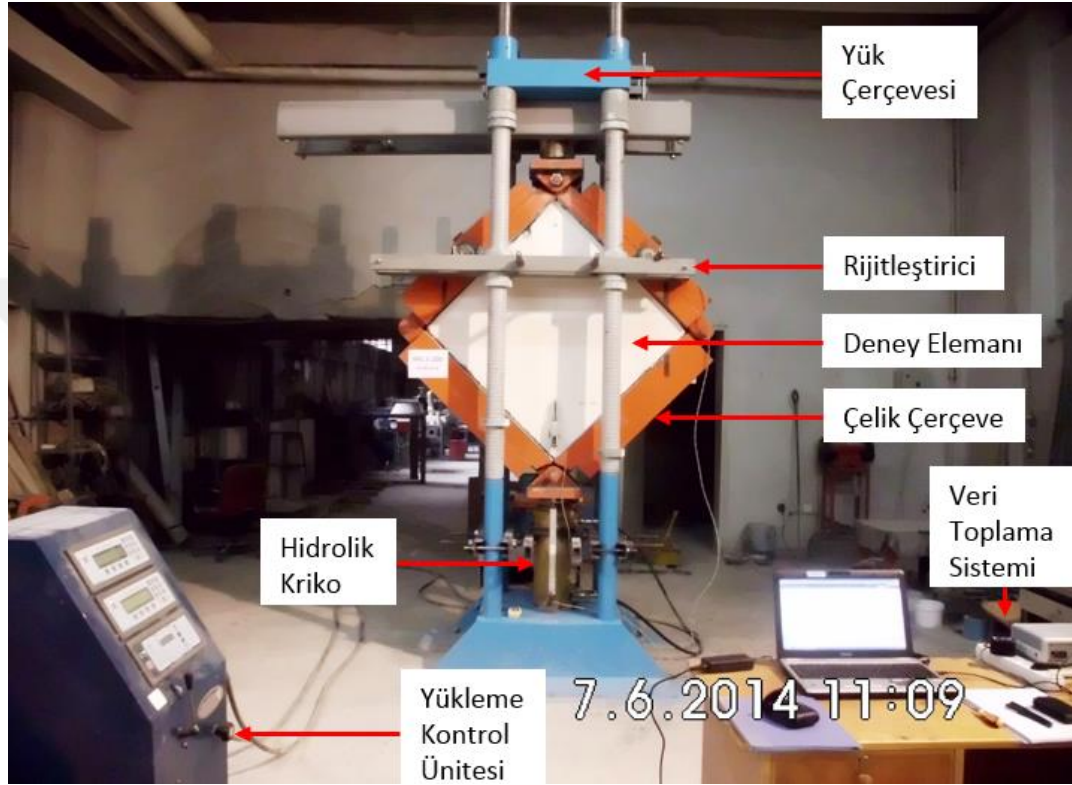
Şekil 3.35. Deney sistemi

### 3.4.2. Yükleme düzeni

Deney elemanlarına yük, çelik çerçevenin altında bulunan 1000 kN kapasiteli, basma tipi, hareketli, çift etkili hidrolik bir krikon ile yüklenmiştir. Uygulanan yük, çelik çerçevenin üzerinde bulunan 1000 kN kapasiteli bir yük hücresi yardımıyla ölçülmüştür (Resim 3.7.).

Hazırlanan her deney elemanı, çelik çerçeveye yerleştirilmiş ve daha sonra çelik çerçeve deney düzeneği içerisine yerleştirilmiştir. Çelik çerçeve düzleminin, diyagonal eksenden uygulanan yük ile çakışmasını sağlamak için yük hücresinin altından ve hidrolik pistonun üzerinden merkezlenmiştir. Yanal takviye sistemi (rijitleştiriciler) deney esnasında çerçevenin düzlem dışı yer değiştirmelerini

engellemiştir. Yükleme, duvarın nihai yüküne kadar yük kontrollü, sonrasında ise deplasman kontrollü olarak yapılmıştır. Yükleme, farklı yük seviyelerinde deney elemanının hasar derecesini gözlemek ve işaretlemek için zaman zaman sabit tutulmuştur.



Resim 3.7. Yükleme düzeni

### 3.4.3. Yükleme programı

Yükleme hızı başlangıçta 20 mm deformasyona kadar 10 birim, her 10 mm'lik deformasyon artışında 5 birim kontrollü artırılarak yapılmıştır. Deneysel elemanlarının deplasmana bağlı yükleme hızları, Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Deneysel elemanlarına deplasmana bağlı uygulanan yükleme hızları

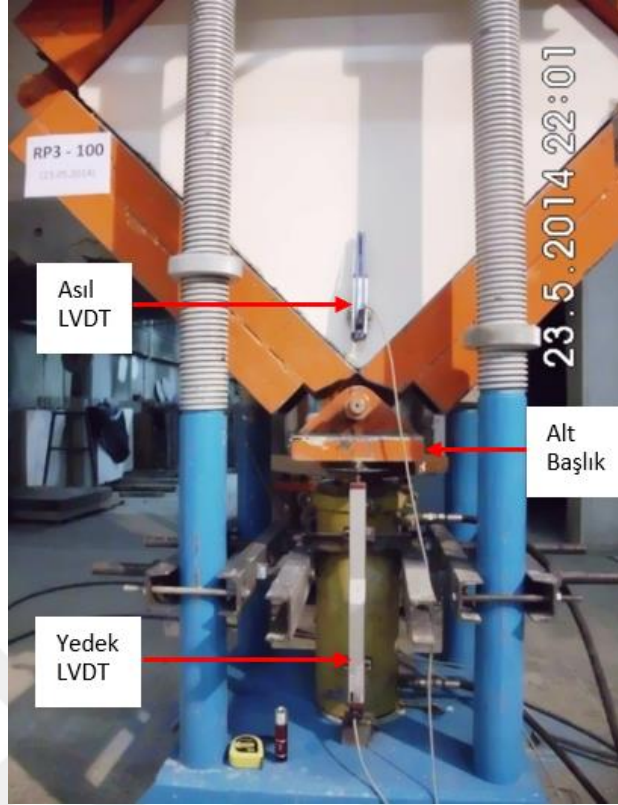
Deplasmanlar (mm)	Deneysel Yükleme Hızı (Otomatik)
0-20	10
20-30	15
30-40	20
40-50	25

Tablo 3.6. (Devamı)

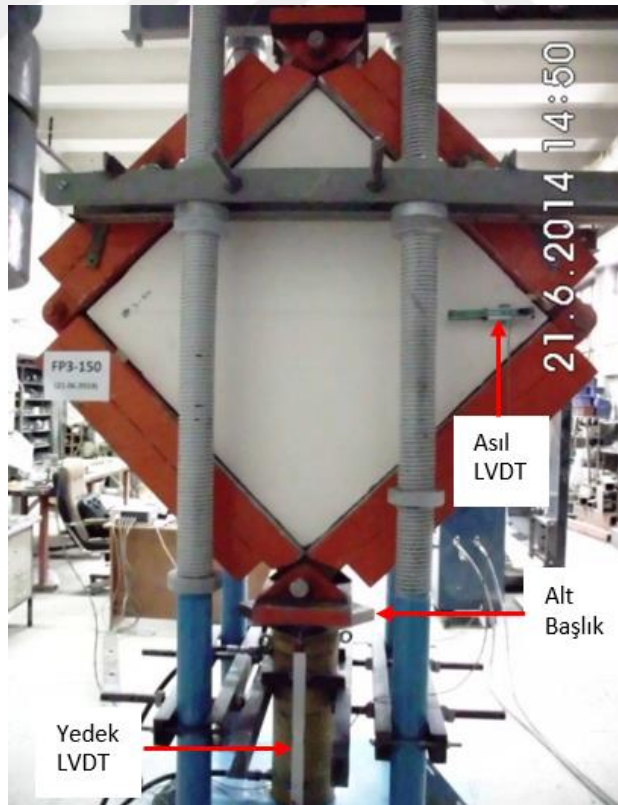
50-60	30
60-70	35
70-80	40
80-90	45
90-100	50
$\geq 100$	50

#### 3.4.4. Ölçüm düzeni

Deney sisteminde uygulanan düşey diyagonal yükleme ile deney elemanlarındaki yük doğrultusundaki kışalmayı ve dik yöndeki uzamayı ölçmek için her biri 0,01 mm hassasiyetinde toplam 4 adet LVDT kullanılmıştır. Her deneyden önce LVDT'lerin kalibrasyonları kontrol edilmiştir. Diyagonal deformasyonları ölçmek için duvarın ön ve arka yüzüne 50 mm ölçüm yapabilen LVDT bağlanmıştır. Bu LVDT'ler, sıva çatlamaya başladıktan sonra yanlış deformasyon değerleri vermeye başladıkları ya da ölçüm almak için sıkça durdurulduğu için deneyin sonuna kadar devamlı olarak deformasyon değerlerini ölçememişlerdir. Bu nedenle, çelik çerçevenin taban levhasına bağlanan iki tane 400 mm ölçüm yapabilen LVDT kullanılmıştır (Resim 3.8.-3.9.). Bu LVDT'ler duvarlardaki hasardan etkilenmemişler ve çöküşe kadar doğru ölçümler vermeye devam etmişlerdir. Bu iki LVDT'den okunan verilerin ortalaması, yükleme sonucu diyagonal boyunca meydana gelen kışalmayı vermiştir. Bu verilerin ortalaması aynı zamanda duvarın ön yüzündeki LVDT'den alınan verilerin ortalaması ile karşılaştırılmıştır.



Resim 3.8. Ön yüz ölçüm düzeni



Resim 3.9. Arka yüz ölçüm düzeni



Deney sırasında bilgisayarda yük-deplasman eğrileri çizdirilmiş ve tüm veriler bilgisayara kaydedilmiştir. Bu veriler, 16 bit çözünürlüğüne sahip bir hassasiyetle ve kanal başına saniyede 8 okuma yapabilen veri toplama sistemi ile bilgisayara aktarılmıştır. Veri toplama sisteminin temel fonksiyonu, sensörlerden gelen, yavaş değişen (statik/yarı-statik) sinyallerin dijital veriye çevrilerek bilgisayar ortamına aktarılmasıdır.

LVDT'ler, çeşitli kapasitelerdeki olmakla birlikte deney esnasında okunan deplasman verilerini elektrik sinyallerine dönüştürerek verilerin zamana bağlı olarak bilgisayara aktarılmasını sağlar.

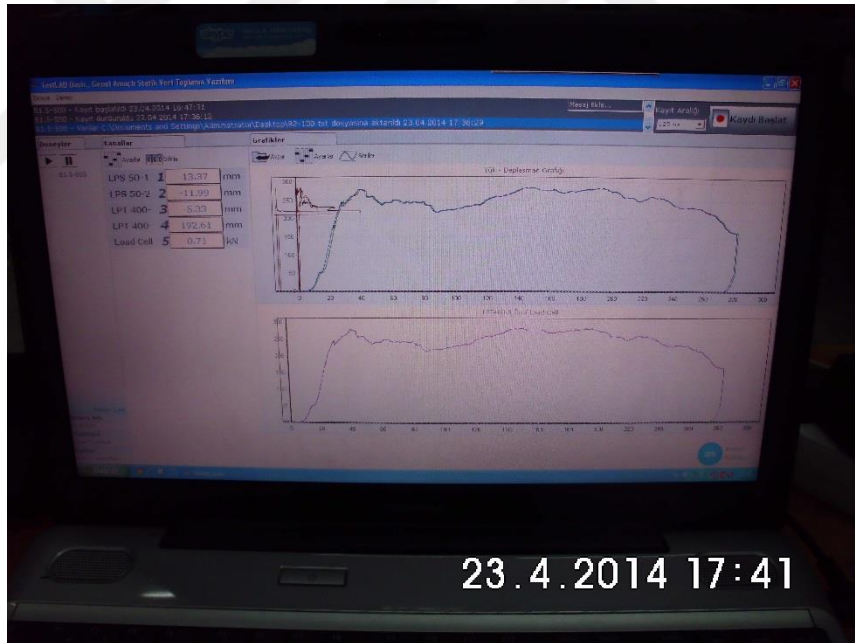
Deneylerde kullanılan LVDT'ler;

- a. LVDT 50 Ön; Deney elemanının ön yüzünde, düşey köşegendeki yüke bağlı deformasyonu (kısalma) ölçmek için alt köşesine montajı yapılan 50 mm ölçüm yapabilen elektronik deplasman ölçer
- b. LVDT 50 Arka; Deney elemanının arka yüzünde, yatay köşegendeki yüke bağlı deformasyonu (uzama) ölçmek için sağ köşesine montajı yapılan 50 mm ölçüm yapabilen elektronik deplasman ölçer
- c. LVDT 400 Ön; Rijit çerçevenin ön yüzündeki alt mafsalda, düşey köşegendeki yüke bağlı deformasyonu (kısalma) ölçmek için piston üst tablasına montajı yapılan 400 mm ölçüm elektronik deplasman ölçer
- d. LVDT 400 Arka; Rijit çerçevenin arka yüzündeki alt mafsalda, düşey köşegendeki yüke bağlı deformasyonu (kısalma) ölçmek için piston üst tablasına montajı yapılan 400 mm ölçüm yapabilen elektronik deplasman ölçer

Deneye hazır sistem ile yapılan tüm deneyler için video çekimi yapılarak deneylerdeki veri ve grafikler de kayıt altına alınmıştır (Resim 3.10-3.11.).



Resim 3.10. Deneylerde uygulanan video kaydı



Resim 3.11. Deneylerde elde edilen veri ve grafik kaydı

## **BÖLÜM 4. DENEYSEL SÜREÇ**

Bu bölümde, ikisi güçlendirilmemiş referans olmak üzere toplam 30 adet tam ölçekli deney elemanının köşegen boyunca uygulanan tekdüze basınç yükleri altındaki yapılan deneyleri incelenmiştir. Referans deney elemanları (R), tuğla duvar üzerine güçlendirme uygulanan deney elemanları (B), kaba sıva üzerine güçlendirme uygulanan deney elemanları (RP), bitmiş ince sıva üzerine güçlendirme uygulanan deney elemanları (FP) ve iç ölçümlü deney elemanlarının deney öncesi durumları, yük-deplasman grafikleri, deney sonu durumları, deneysel gözlem sonuçları beş bölüm halinde verilmiştir.

### **4.1. Referans Eleman Deneyleri**

Referans elemanlar (R1 ve R2), diyagonal çekme çatlaklarının ortaya çıkmasına kadar doğrusal elastik bir davranış göstermiş ve köşelerde meydana gelen ezilmelerin etkisiyle sınırlı bir süneklik göstererek göçmeye ulaşmıştır. Bu elemanlar, tuğla parçalanmalarının etkisiyle ani yük kaybına uğramış ve deney sonuna kadar bütünlüğünü muhafaza edememiştir.

Referans deney elemanlarının deneyden önceki durumları ve deney sonu hasar durumları Resim 4.1.-4.4.'de, yük-deplasman eğrileri ise Şekil 4.1.-4.2.'de verilmiştir.

#### 4.1.1. R1 deneyi

Genişletilmiş elik levha : Yok



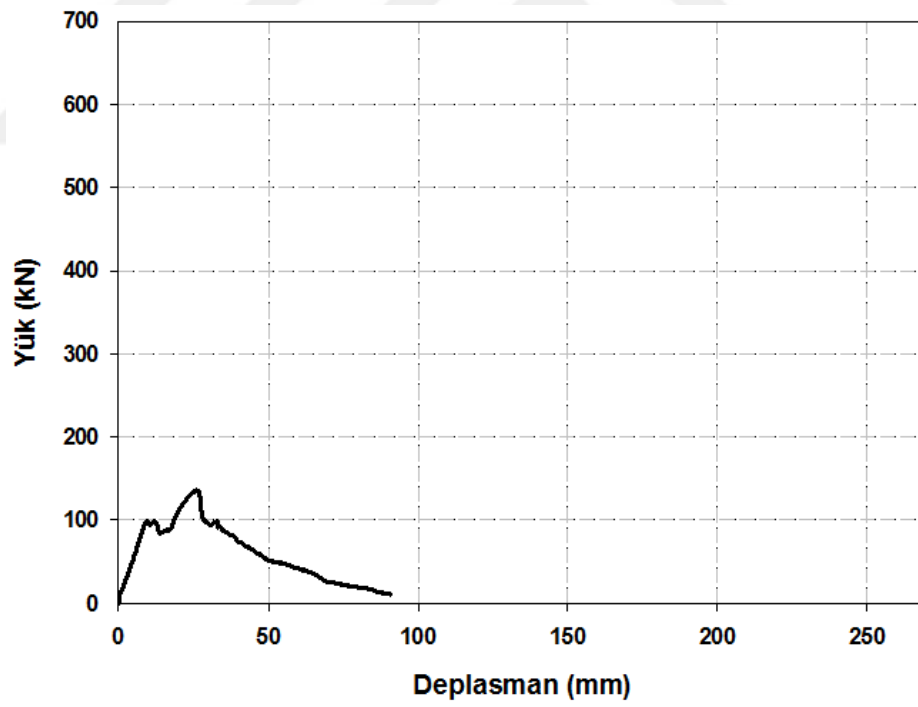
Resim 4.1. R1 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney başladıktan sonra 34 kN yük ve 3,00 mm deplasman değerinde, yük doğrultusundaki köşelerde çok hafif dökülmeler gözlemlenmiştir.
- 87,5 kN yük ve 16 mm deplasmanda, düşeyde oluşan çatlak 5,0 mm ye ulaşmıştır. Köşelere doğru yaklaştıkça sargılama ekisinden dolayı ezilmelerin sıfırlandığı belirlenmiştir.
- Yük 117 kN ve 21,1 mm deplasmanda, temas yüzeyinin hızla artmasından dolayı düşey ana çatlakta azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 135 kN yük ve 26,5 mm deplasman değerinde, düşey doğrultuda ikinci büyük çatlak oluşarak tuğlalardan sesler geldiği belirlenmiştir. Ayrıca yükte hızlı bir düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 45 kN yük ve 56,0 mm deplasmanda, üst köşede sıva dökülerek tuğlaların parçalandığı orta bölgede ise duvarın ağır hasar aldığı gözlemlenmiştir.
- Ani yük kaybına uğrayarak bütünlüğünü kaybeden referans eleman 12 kN yük ve 90 mm deplasmana ulaşınca deney durdurulmuştur.



Resim 4.2. R1 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.1. R1 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.1.2. R2 deneyi

Genişletilmiş elik levha : Yok



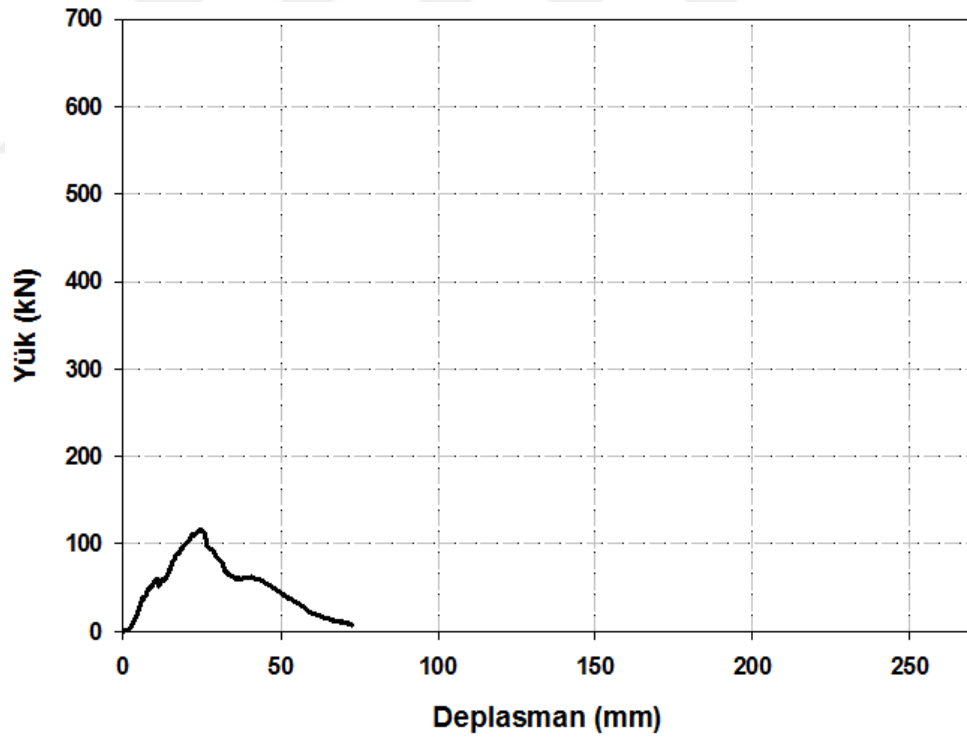
Resim 4.3. R2 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney başladıktan sonra 52 kN yük ve 13,7 mm deplasman değerinde, arka yüzde düşey yük doğrultusunda köşegen boyunca ilk çatlak oluşmuştur.
- 60 kN yük ve 14,6 mm deplasmanda, elemanın ön yüzünde yaklaşık 1,0 mm'lik düşey doğrultuda çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Yük 55 kN ve 15,6 mm deplasmanda, yükte bir miktar düşüş ile birlikte ön ve arka yüzdeki köşegenel boyunca devam eden çatlak büyümüştür.
- 101 kN yük ve 24,2 mm deplasman değerinde, alt ve üst köşede ezilmeye bağlı kabarma ve dökülmeler başlamıştır.
- 69 kN yük ve 36,2 mm deplasmanda, yük düşüşe geçerken ön yüzde ana çatlağın yanında 2 büyük çatlak oluştuğu arka yüzdeki sıva ise tamamıyla yüzeyden ayrıldığı görülmüştür. Ani yük kaybına uğrayarak bütünlüğünü kaybeden ikinci referans elemanda hızla düşen yük 10,5 kN yük ve 73 mm deplasmana ulaştığı anda deneye son verilmiştir.



Resim 4.4. R2 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.2. R2 elemanın yük-deplasman eğrisi

## 4.2. Tuğla Duvar Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirilmiş Duvar (B) Deneyleri

Bu bölümde, tuğla duvar üzerine uygulanan genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının deneyden önceki ve deney sonu hasar durumları, yük-deplasman eğrileri verilmiştir. Ayrıca deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar incelenmiştir.

Bu bölümdeki deney elemanları, 3 gruba ayrılmıştır.

1. grupta; 1.5 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (B1.5-100, B1.5-150, B1.5-200 ve B1.5-500) yer almıştır. Bu elemanların tümünde diyagonal çekme çatlakları, köşelerde ezilmeler ve levha buruşmaları meydana gelmiş, ancak bulonlarda sıyrılmalar oluşmamıştır (Resim 4.5.-4.12).

2. grupta; 2.0 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (B2.0-100, B2.0-150 ve B2.0-200) yer almıştır. Bu elemanlarda bulon sıklığı arttıkça taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinin arttığı görülmüştür (Resim 4.13.-4.18.).

3. grupta; 3.0 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (B3.0-100, B3.0-150 ve B3.0-200) yer almıştır. Bu elemanlarda bulon sıklığı arttıkça taşıma gücünün ve enerji tüketme kapasitesinin arttığı, sünekliğin azaldığı ve B3.0-150 elemanı haricinde rijitliğin genelde arttığı belirlenmiştir (Resim 4.19.-4.24.).

Bu 3 gruptaki tüm elemanlar, deney sonuna kadar bütünlüklerini muhafaza ederek, ileri yük artışlarında dahi taşıma güçlerinde önemli kayıplar olmadan deformasyon yapmaya devam etmişlerdir (Şekil 4.3.-4.12.).



#### 4.2.1. B1,5-100 deneyi

Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 100 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



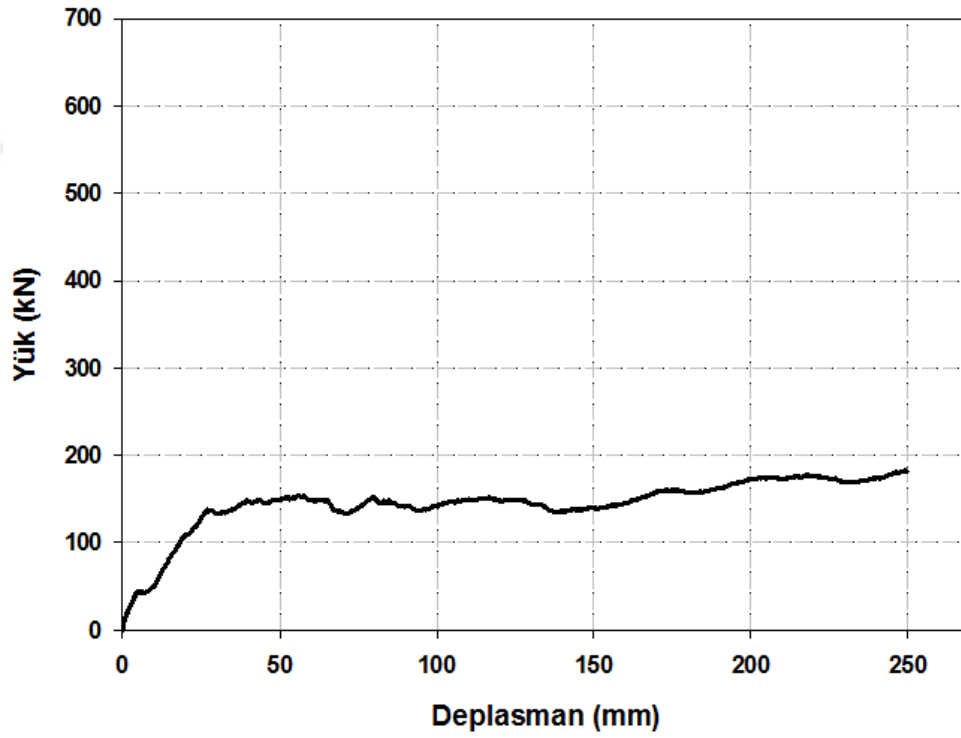
Resim 4.5. B1,5-100 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 63,5 kN yük ve 12 mm deplasmanda elemanın n yüzünde düşey doğrultuda ilk küçük çatlak, st köşede ise ezilme oluşmuştur.
- 110 kN yük ve 20,9 mm deplasmanda, bulon sıklığının fazla olmasından dolayı çatlak gelişiminin çok daha yavaş olduğu gözlemlenmiştir.
- 136,5 kN yük ve 34,5 mm deplasmanda, elemanın elemanın alt köşedeki 10 cm'lik sıva tabakası ayrılarak alttaki sa levhanın buruştuğu grlmştir.
- 151 kN yük ve 58,3 mm deplasmanda, temas yüzeyi %50 olmuştur.
- 210 kN yük ve 280 mm deplasmanda, st ve alt köşelerde ezilmeler çok olmasına rağmen ve elemanın taşıma gücü devam etse de stroke boyu sınırlı olduğundan deneye son verilmiştir.



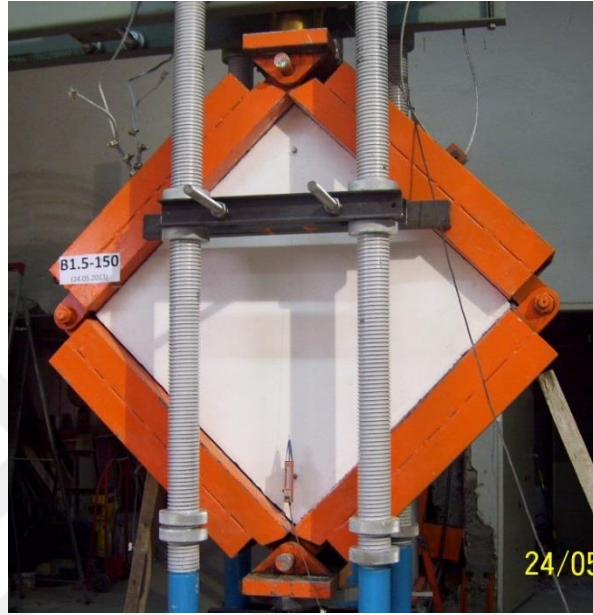
Resim 4.6. B1,5-100 elemanının deney sonu hasar durumu



Şekil 4.3. B1,5-100 elemanının yük-deplasman eğrisi

#### 4.2.2. B1,5-150 deneyi

Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



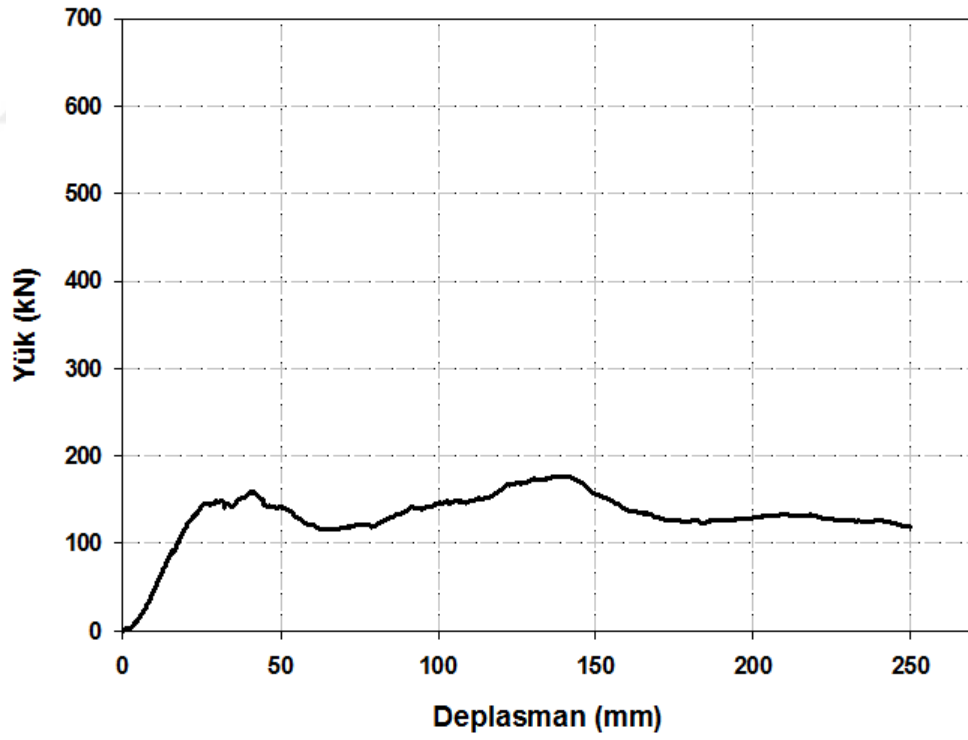
Resim 4.7. B1,5-150 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney 90 kN yük ve 15,8 mm deplasmana kadar duvar gövdesinde hasar oluşmadığı, st bölgede ise hafif kabarmaların olduğu gözlemlenmiştir.
- 99 kN yük ve 17,2 mm deplasman değerinde, düşey doğrultuda ilk çatlağın oluştuğu, alt ve st köşelerde ise hafif ezilmelerin olduğu belirlenmiştir.
- 141 kN yük ve 32 mm deplasmanda, temas yüzeyi %35 ile sınırlı ve duvar ile ereve arasındaki kamadan dolayı lokal yk düşüşleri gözlemlenmiştir.
- 138 kN yük ve 52 mm deplasmanda, st ve alt köşelerde ezilmeler ve sıvada dökülmeler olduğu tespit edilmiştir.
- 125 kN yük ve 240 mm deplasmanda, duvarın gövde yüzünde hasar son derece sınırlı, temas yüzeyi tüm yüzeylerde %50 olduğu gözlemlenmiştir.
- 158 kN yük ve 280 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği tespit edilerek deneye son verilmiştir.



Resim 4.8. B1,5-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.4. B1,5-150 elemanın yük-deplasman eğrisi

### 4.2.3. B1,5-200 deneyi

Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



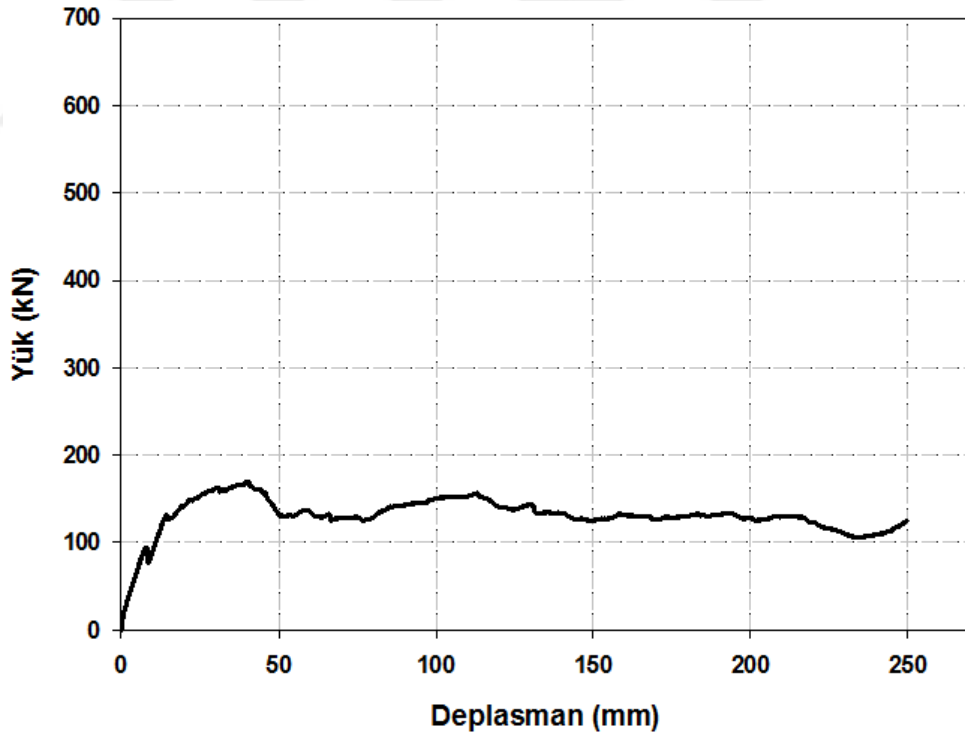
Resim 4.9. B1,5-200 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deneyin başlangıcından 100 kN yük ve 10,8 mm deplasmana ulaştığı ana kadar, düşey doğrultuda sadece kk kılcal çatlakların oluştuğu görülmüştür.
- 130 kN yük ve 14,1 mm deplasman seviyesinde, alt ve st köşede ihmal edilebilecek düzeyde sıvada ezilme olduğu tespit edilmiştir.
- 144,5 kN yük ve 93,5 mm deplasmanda, elemanın i bölgesinde hasar oluşmadığı, 4 kenarın temas yüzeyi de %50 (50 cm) olduğu gözlemlenmiştir.
- 125 kN yük ve 192 mm deplasman seviyesinde alt köşede dönme ekseni oluştuğu ancak dayanımda belirgin bir düşme olmadığı tespit edilmiştir.
- 150 kN yük ve 280 mm deplasmanda, duvar iç bölgeleri temiz ve taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediği için deney son verilmiştir.



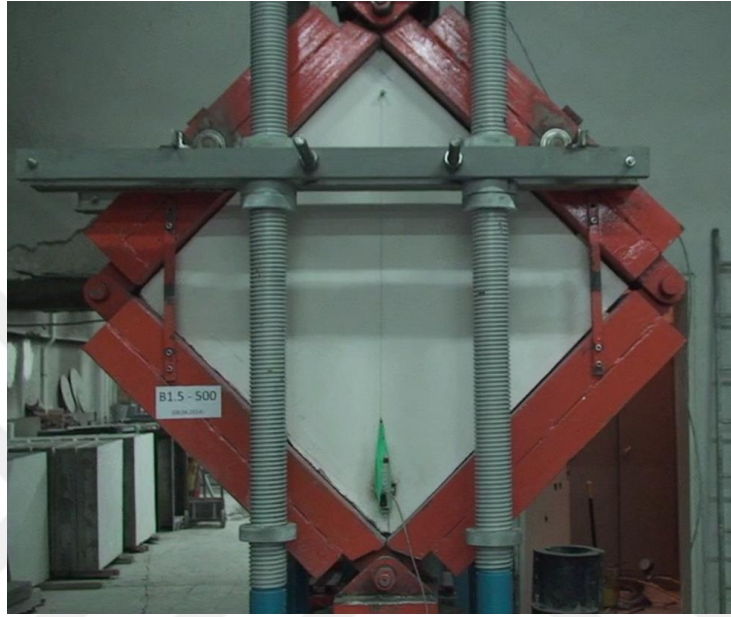
Resim 4.10. B1,5-200 elemanının deney sonu hasar durumu



Şekil 4.5. B1,5-200 elemanının yük-deplasman eğrisi

#### 4.2.4. B1,5-500 deneyi

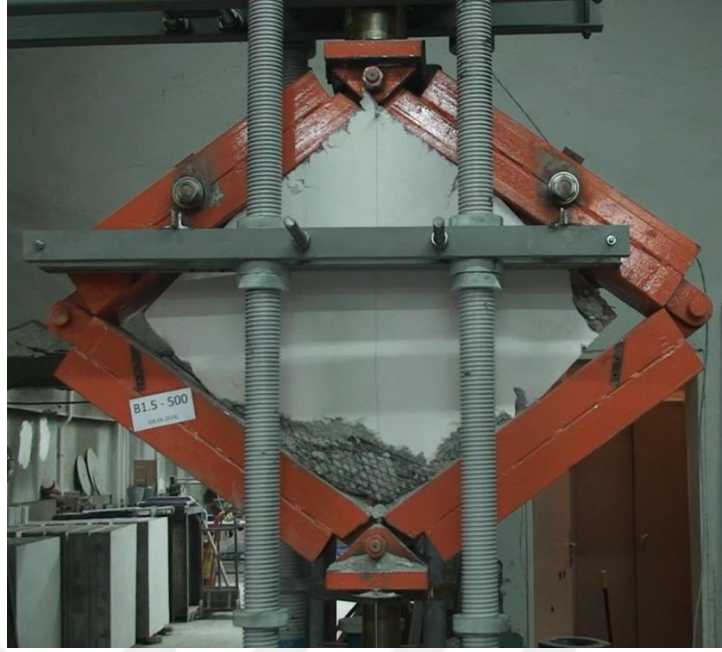
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 500 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



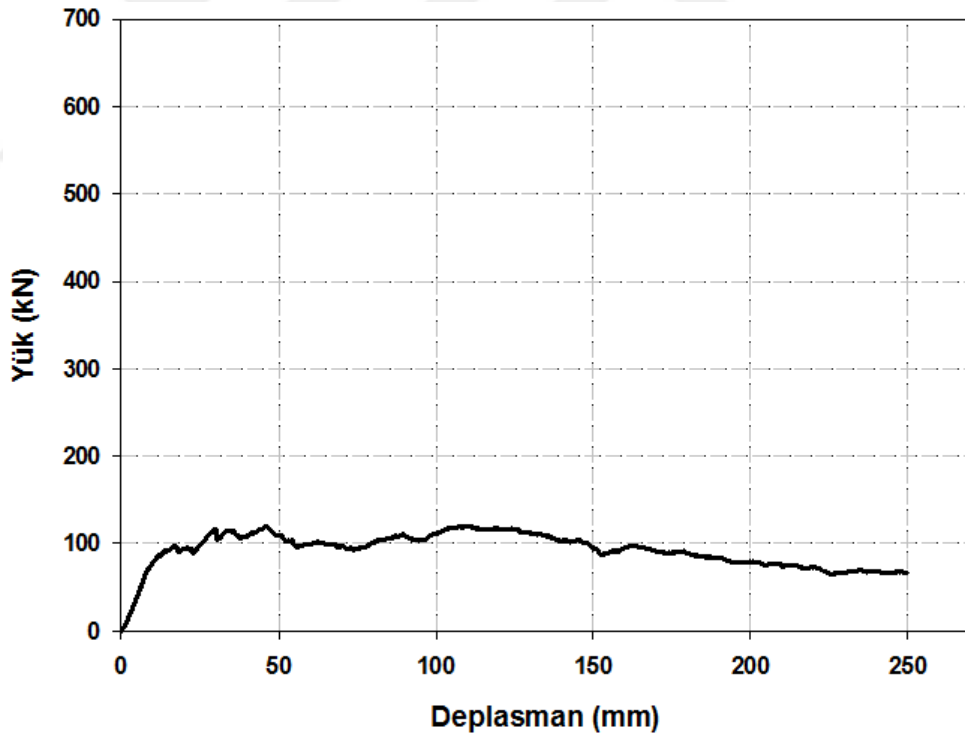
Resim 4.11. B1,5-500 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 90,0 kN yük ve 13,1 mm deplasmanda elemanın arka yüzünde düşey doğrultu boyunca ilk çatlak meydana gelmiştir.
- 101 kN yük ve 25,7 mm deplasmanda, temas yüzeyi alt ve st köşede yaklaşık % 30 (30cm) olduğu ve kk çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir.
- 85 kN yük ve 200 mm deplasmanda, köşelerdeki ezilmeler artarak sıvanın altında sac levhalar grlmştir.
- 73 kN yük ve 209 mm deplasmanda, alt köşede sıva tamamen dklmştir. Bulon sıklığı az olduğu için sargılama etkisi minimum düzeyde kalmıştır. Elemanda düşey eksenden dışarıya doğru hafif dönme meydana gelmiştir.
- 135 kN yük ve 293 mm deplasmanda, elemanın alt köşesinde ezilmeler çok olmasına rağmen elemanın taşıma gücü devam etmiştir. Ancak pistonun kapasitesi bittiğinden deney tamamlanmıştır.



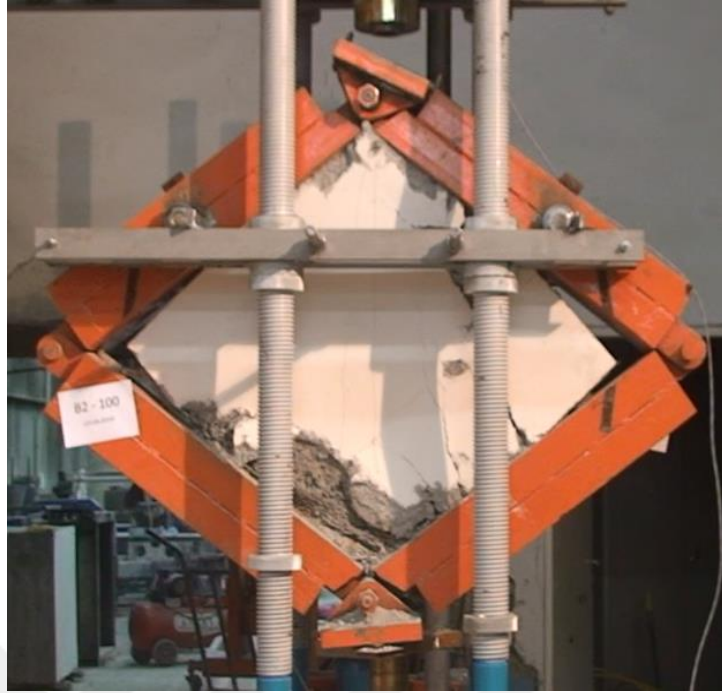
Resim 4.12. B1,5-500 elemanının deney sonu hasar durumu



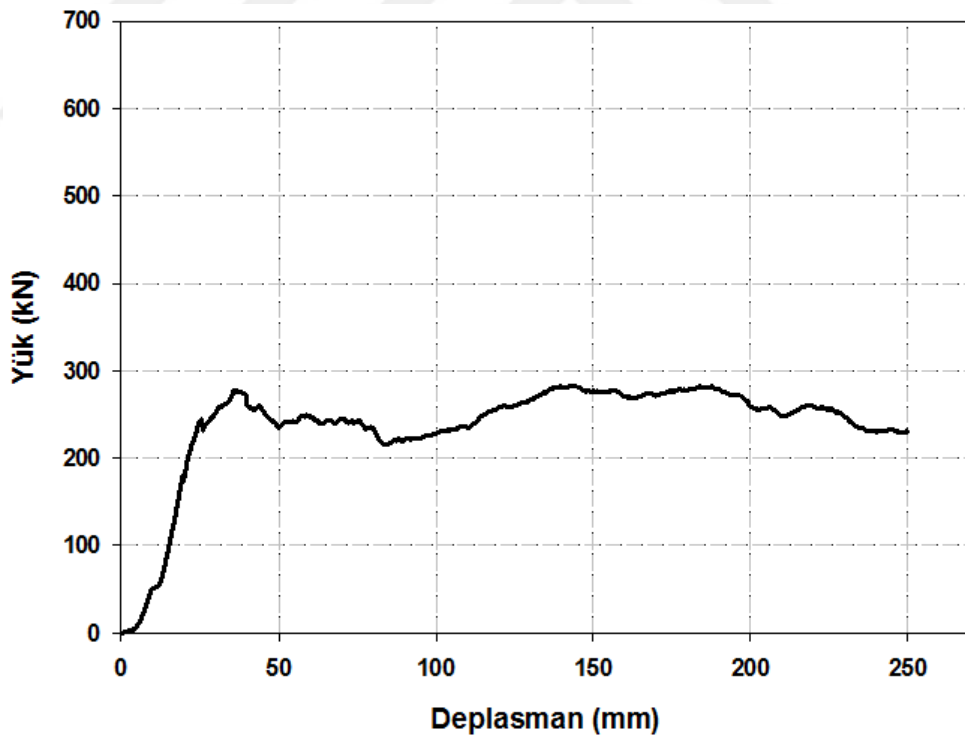
Şekil 4.6. B1,5-500 elemanının yük-deplasman eğrisi







Resim 4.14. B2,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.7. B2,0-100 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.2.6. B2,0-150 deneyi

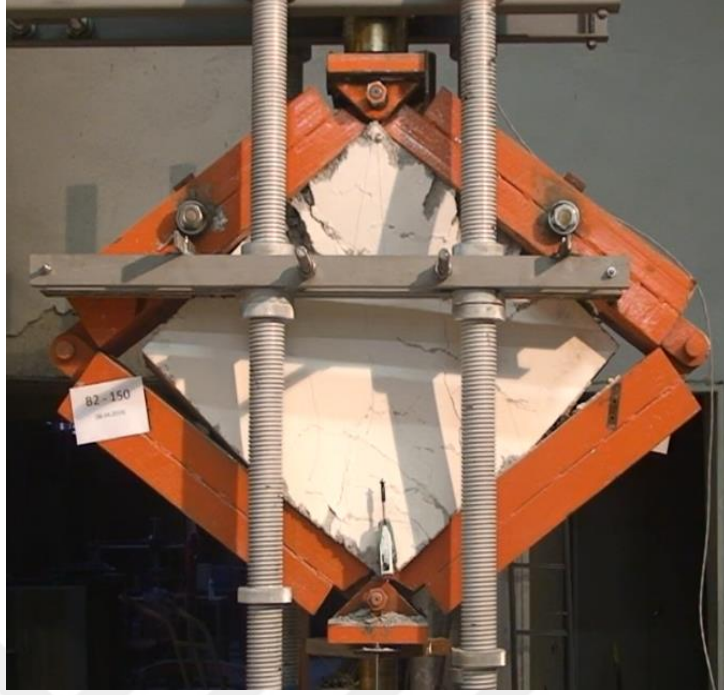
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



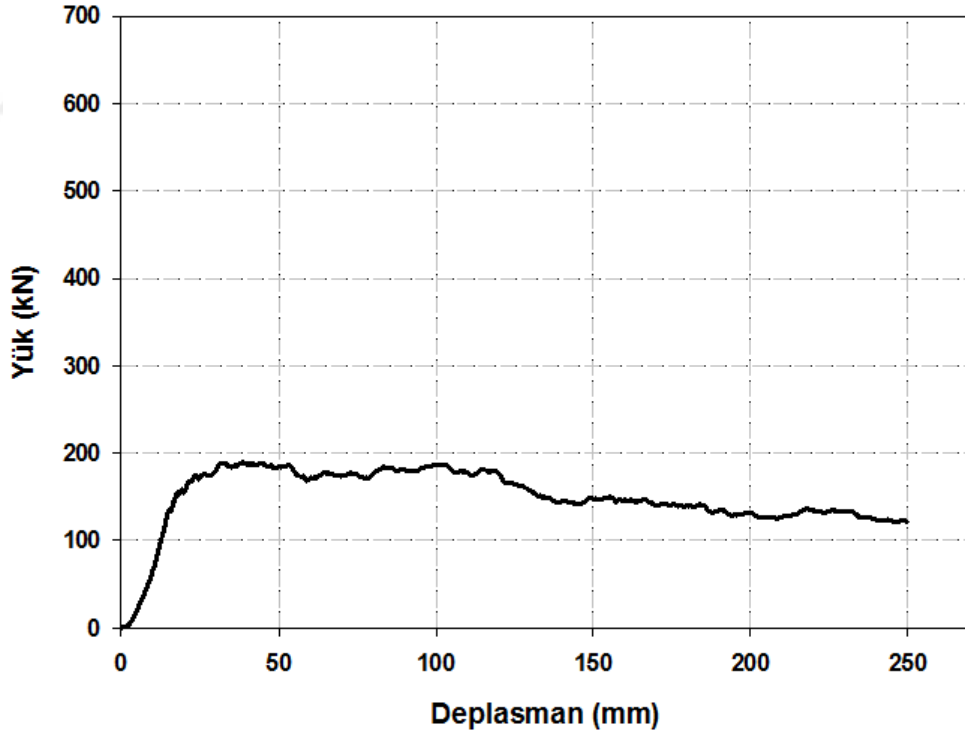
Resim 4.15. B2,0-150 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney 162 kN yük ve 21,8 mm deplasmana kadar duvar gövdesinde hasar oluşmadığı, n yüzde kk çatlaklar oluştuğu gözlemlenmiştir.
- 183 kN yük ve 96 mm deplasmanda, st ve alt ezilme bölgesinde ezilmeler olduğu tespit edilmiştir.
- 145 kN yük ve 163 mm deplasmanda, st ve alt ezilme bölgesinde sıvada dökülmeler olduğu tespit edilmiştir.
- 129 kN yük ve 196 mm deplasmanda, duvarın gövdesinde çatlakların oluştuğu ve temas yüzeyinin st ve alt bölgelerde %50 olduğu gözlemlenmiştir.
- 100 kN yük ve 277 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.16. B2,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.8. B2,0-150 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.2.7. B2,0-200 deneyi

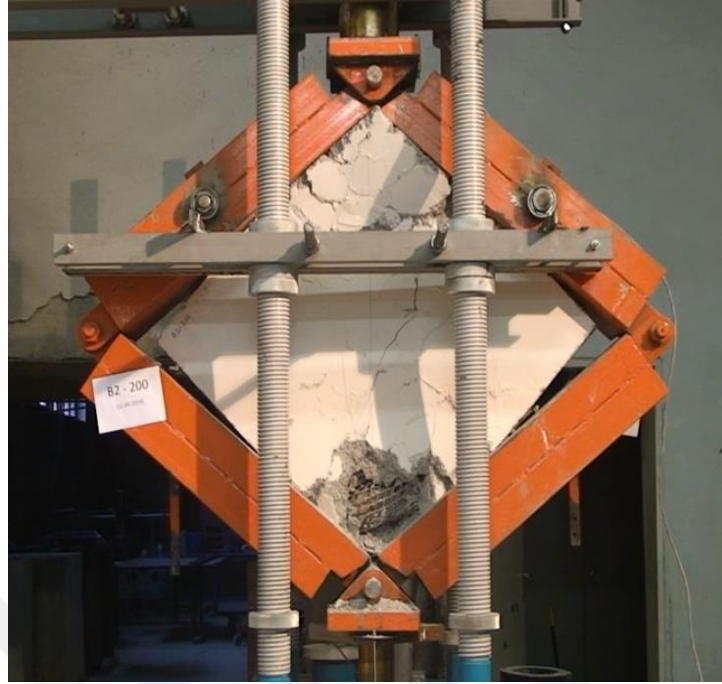
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



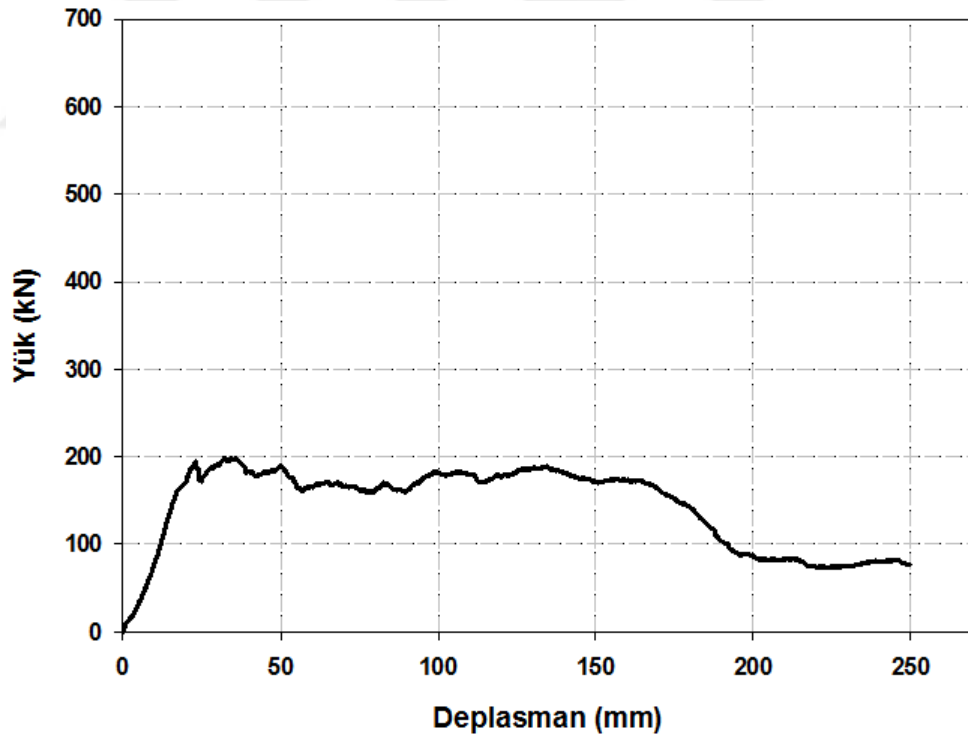
Resim 4.17. B2,0-200 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deneyin başlangıcından 151 kN yük ve 16 mm deplasmana ulaştığı ana kadar, düşey doğrultuda sadece kk kılcal çatlakların oluştuğu görülmüştür.
- 176 kN yük ve 73,5 mm deplasman seviyesinde, alt ve st köşede ihmal edilebilecek düzeyde sıvada ezilme olduğu tespit edilmiştir.
- 170 kN yük ve 150 mm deplasmanda, elemanın i bölgesinde hasar oluşmadığı, 4 kenarın temas yüzeyinin de %50 (50 cm) olduğu gözlemlenmiştir.
- 75 kN yük ve 220 mm deplasman seviyesinde st ve alt köşede büyük sıva bloklarının koptuğu, levhaların buruştuğu gözlemlenmiştir.
- 69 kN yük ve 282 mm deplasmanda, duvar iç bölgeleri temiz ve taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.18. B2,0-200 elemanının deney sonu hasar durumu



Şekil 4.9. B2,0-200 elemanının yük-deplasman eğrisi

#### 4.2.8. B3,0-100 deneyi

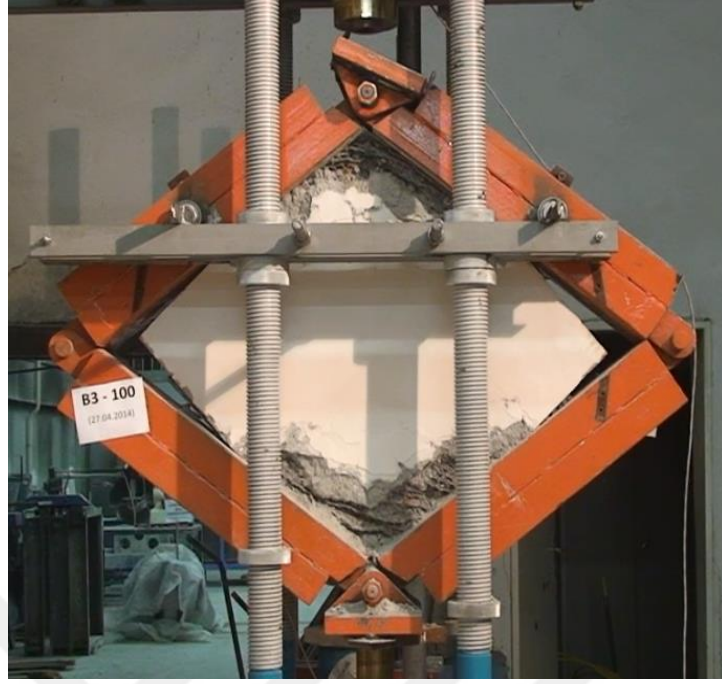
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 100 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



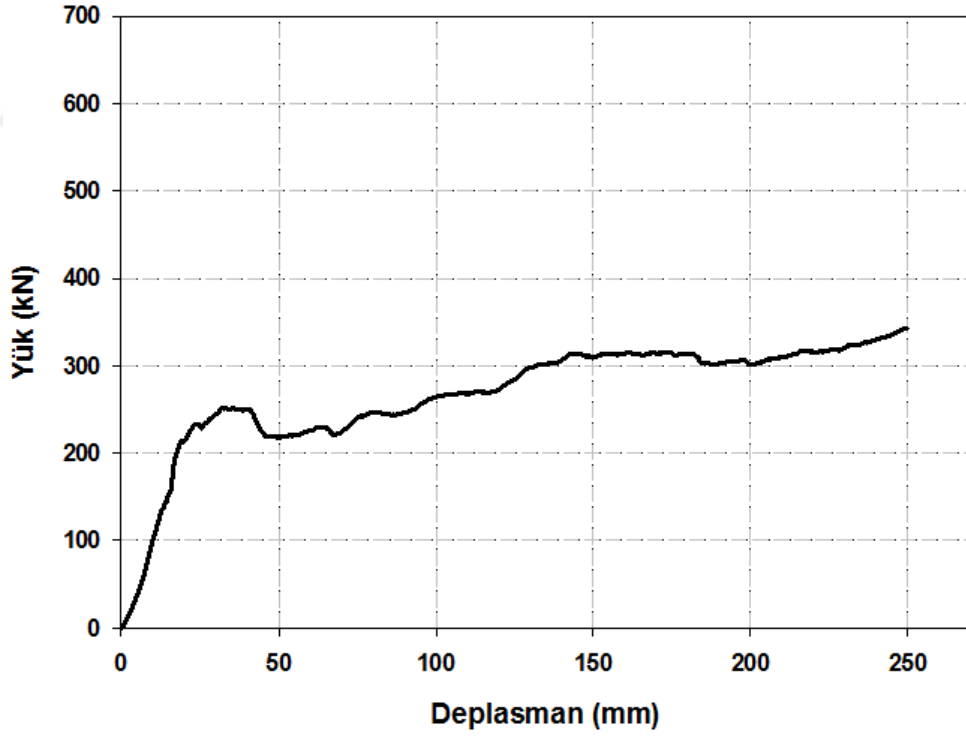
Resim 4.19. B3,0-100 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 194 kN yük ve 26 mm deplasmanda elemanın n yüzünde düşey doğrultuda çatlak, st ve alt köşede ise ezilmeler olmuştur.
- 224 kN yük ve 83 mm deplasmanda, st ve alt köşelerde sıvaların dökülmeye başladığı gözlemlenmiştir.
- 285 kN yük ve 139 mm deplasmanda, st bölgedeki ezilmelerin daha da arttığı sa levhanın buruştuğu grlmştir.
- 145 kN yük ve 200 mm deplasmanda, temas yüzeyi %50 olmuştur.
- 341 kN yük ve 290 mm deplasmanda, st ve alt köşelerde ezilmeler çok olmasına rağmen ve elemanın da taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu sınırlı olduğundan deneye son verilmiştir.



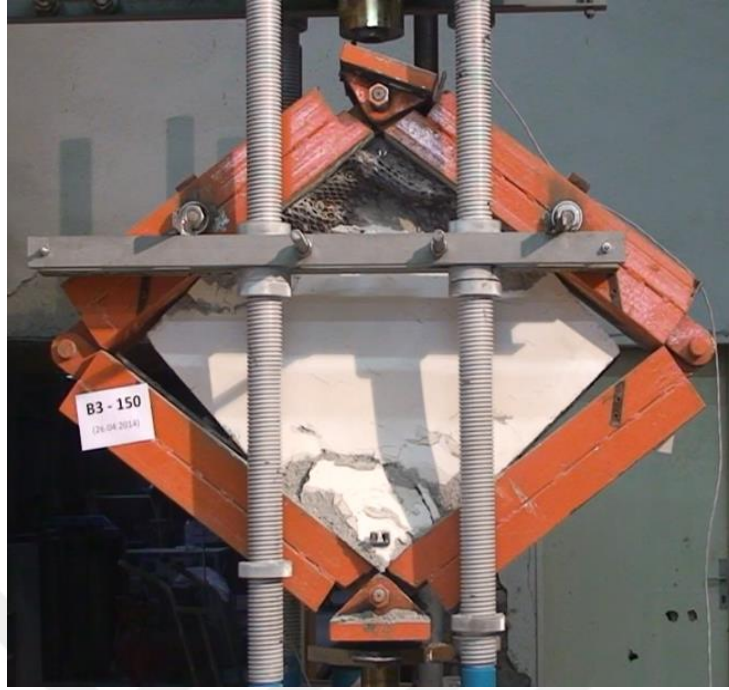
Resim 4.20. B3,0-100 elemanının deney sonu hasar durumu



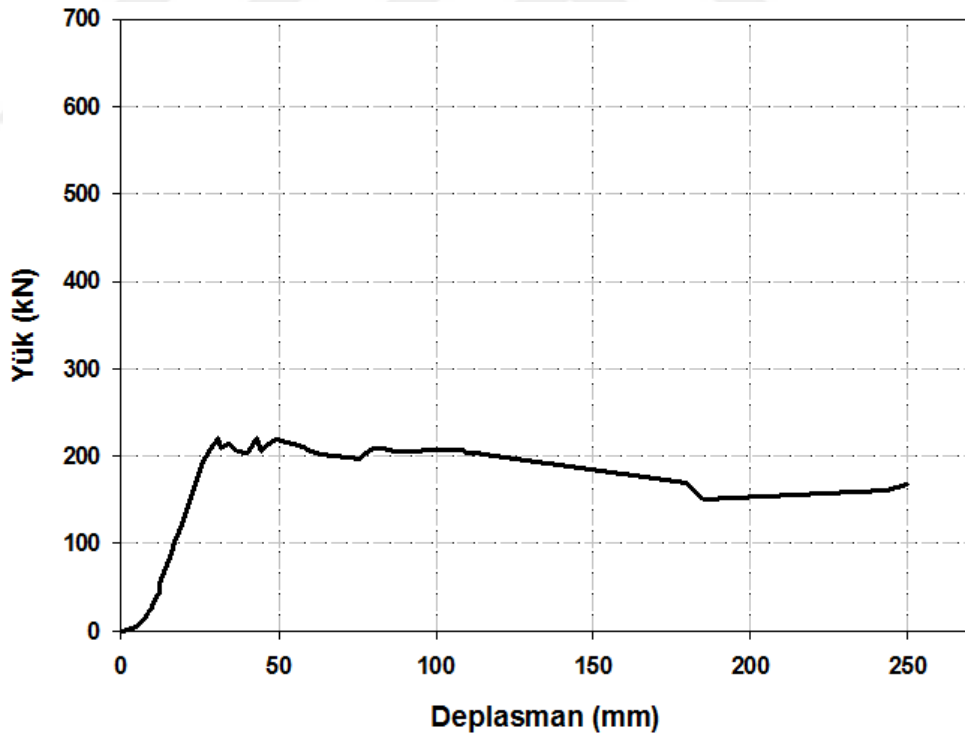
Şekil 4.10. B3,0-100 elemanının yük-deplasman eğrisi







Resim 4.22. B3,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.11. B3,0-150 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.2.10. B3,0-200 deneyi

Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: Tuğla duvar üzerine



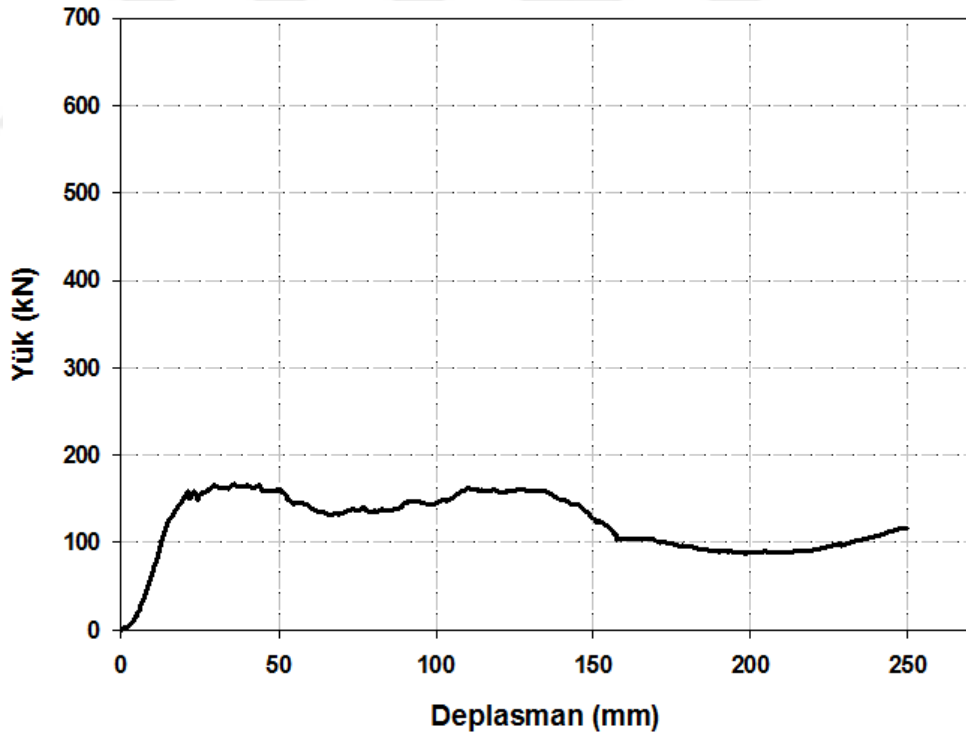
Resim 4.23. B3,0-200 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deneyin başlangıcından 138 kN yük ve 18 mm deplasmana ulaştığı ana kadar, alt köşede ezilme arka yüzeyde ise düşeyde 3 tane paralel şekilde çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.
- 164 kN yük ve 29,4 mm deplasman seviyesinde, n ve arka yüzeyde sıvada kabarmalar olduğu, elemanın i yüzeyinin ise temiz olduğu tespit edilmiştir.
- 160 kN yük ve 112 mm deplasmanda, elemanın i bölgesinde hasar oluşmadığı, st ve alt köşelerde sıvalarda kopmalar olduğu gözlemlenmiştir.
- 125 kN yük ve 192 mm deplasman seviyesinde alt köşede dönme eksenini oluştuğu ancak dayanımda belirgin bir düşme olmadığı tespit edilmiştir.
- 104 kN yük ve 279 mm deplasmanda, duvar iç bölgeleri temiz ve taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.24. B3,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.12. B3,0-200 elemanın yük-deplasman eğrisi

### 4.3. Kaba Sıva Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirilmiş Duvar (RP) Deneyleri

Bu bölümde, kaba sıva üzerine uygulanan genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının deneyden önceki durumları, deney sonu hasar durumları ve yük-deplasman eğrileri verilmiştir. Ayrıca deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar incelenmiştir.

Bu bölümdeki deney elemanları, 3 gruba ayrılmıştır.

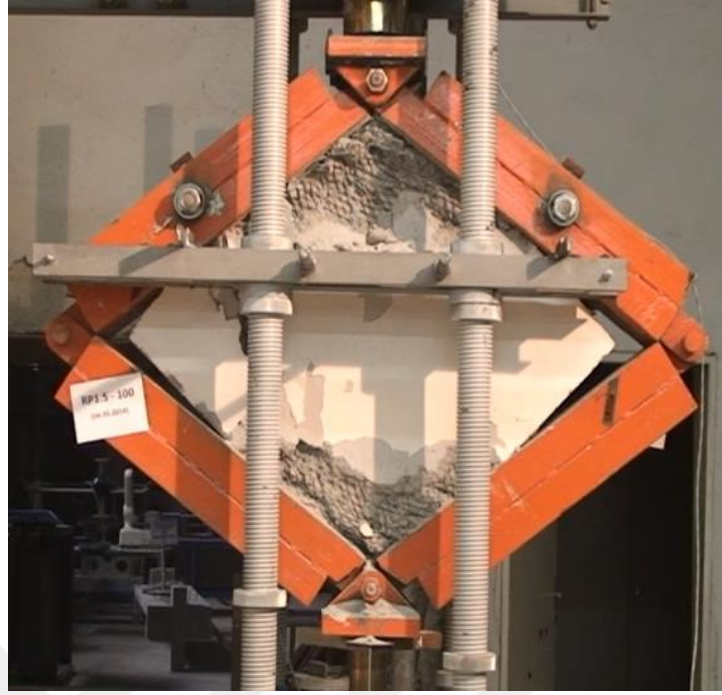
1. grupta; 1.5 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (RP1.5-100, RP1.5-150 ve RP1.5-200) yer almıştır. Bu elemanlarda, bulon sıklığı arttıkça taşıma gücünün arttığı, rijitliğin azaldığı, sünekliğin azaldığı, RP1.5-150 deney elemanının diğer deney elemanlarına göre en az artış gösterdiği, enerji tüketme kapasitelerinin ise arttığı görülmüştür (Resim 4.25.-4.30).

2. grupta; 2.0 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (RP2.0-100, RP2.0-150 ve RP2.0-200) yer almıştır. Bu elemanlarda, bulon sıklığı arttıkça taşıma gücünün arttığı, rijitlik ve sünekliğin genel olarak artsa da RP2.0-150 deney elemanının en az artış gösterdiği, enerji tüketme kapasitelerinin ise arttığı görülmüştür (Resim 4.31.-4.36.).

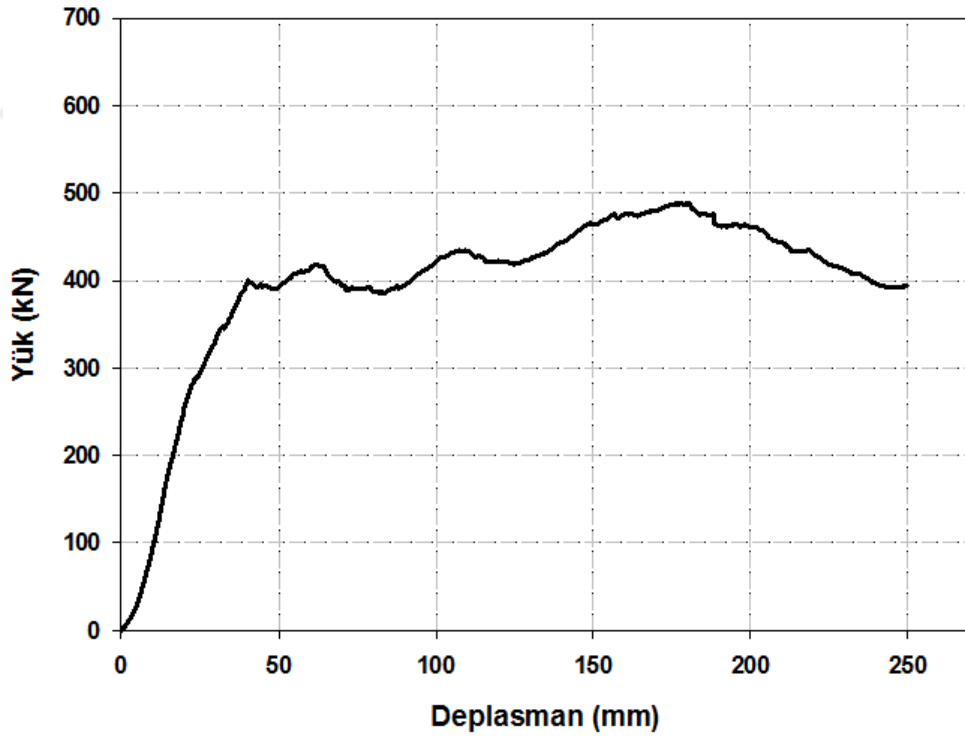
3. grupta; 3.0 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (RP3.0-100, RP3.0-150 ve RP3.0-200) yer almıştır. Bu elemanlarda bulon sıklığı arttıkça taşıma gücünün arttığı, rijitliğin arttığı ve sünekliğin azaldığı ancak bunlar arasında en düşük RP3-150 deney elemanının bile referans elemanlara göre 3 kat artış sağladığı, enerji tüketme kapasitelerinin ise arttığı görülmüştür (Resim 4.37.-4.42.).

Bu 3 gruptaki tüm elemanlar, deney sonuna kadar bütünlüklerini muhafaza ederek, ileri yük artışlarında dahi taşıma güçlerinde önemli kayıplar olmadan deformasyon yapmaya devam etmişlerdir (Şekil 4.13.-4.21.).





Resim 4.26. RP1,5-100 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.13. RP1,5-100 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.3.2. RP1,5-150 deneyi

Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: Kaba sıva üzerine

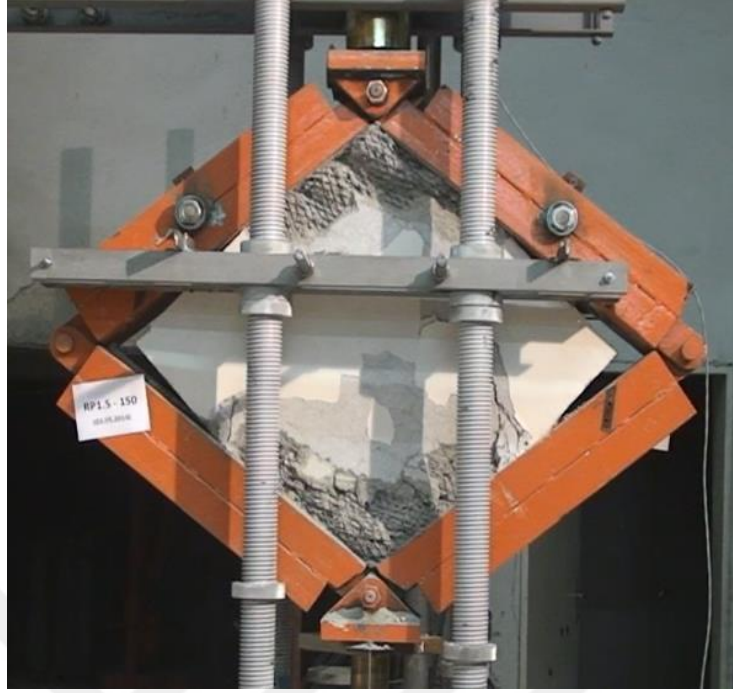


Resim 4.27. RP1,5-150 elemanın deneyden önceki durumu

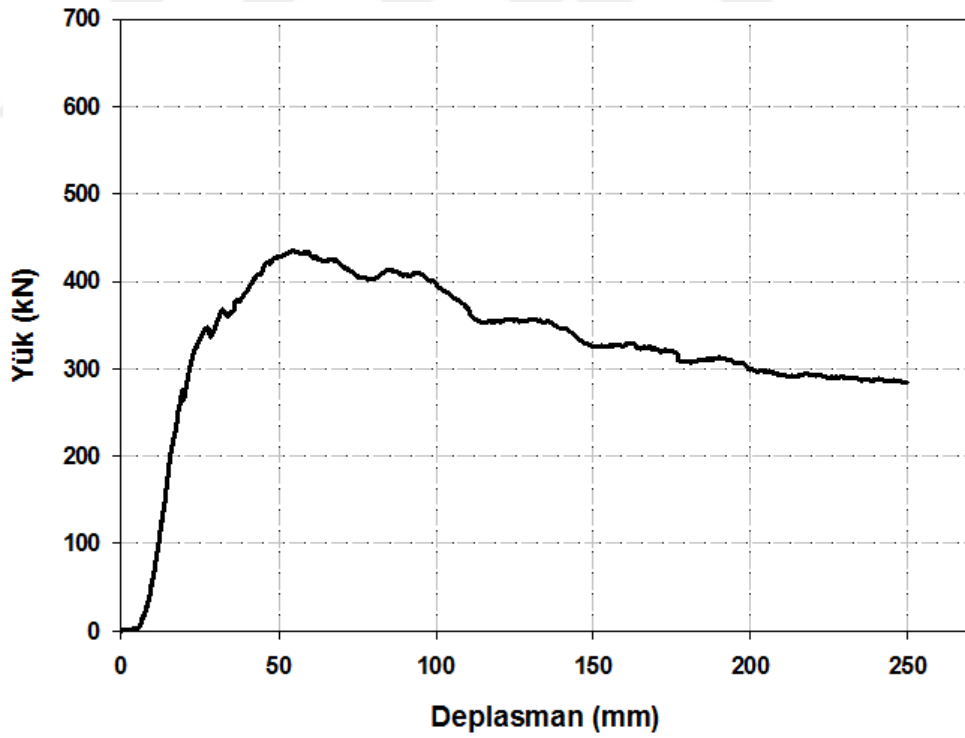
Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney 337 kN yük ve 27 mm deplasmana kadar duvar gövdesinde hasar oluşmadığı, st bölgede ise kk çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir.
- 390 kN yük ve 47,2 mm deplasmanda, duvar iç yüzünde hasar son derece kısıtlı olduğu, al sıvada ise kabarmaların oluştuğu belirlenmiştir.
- 400 kN yük ve 93 mm deplasmanda, n yüz alt bölgede sıvada tlak oluştuğu ancak parçalanmaların oluşmadığı gözlemlenmiştir.
- 138 kN yük ve 52 mm deplasmanda, elemanın n yüzündeki alt ve st köşede sıvada dökülmeler olduğu tespit edilmiştir.
- Deney sonuna yaklaşırken duvarın temas yüzeyi tüm yüzeylerde %50 olduğu gözlemlenmiştir.
- 235 kN yük ve 231 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.





Resim 4.28. RP1,5-150 elemanın deney sonu hasar durumu

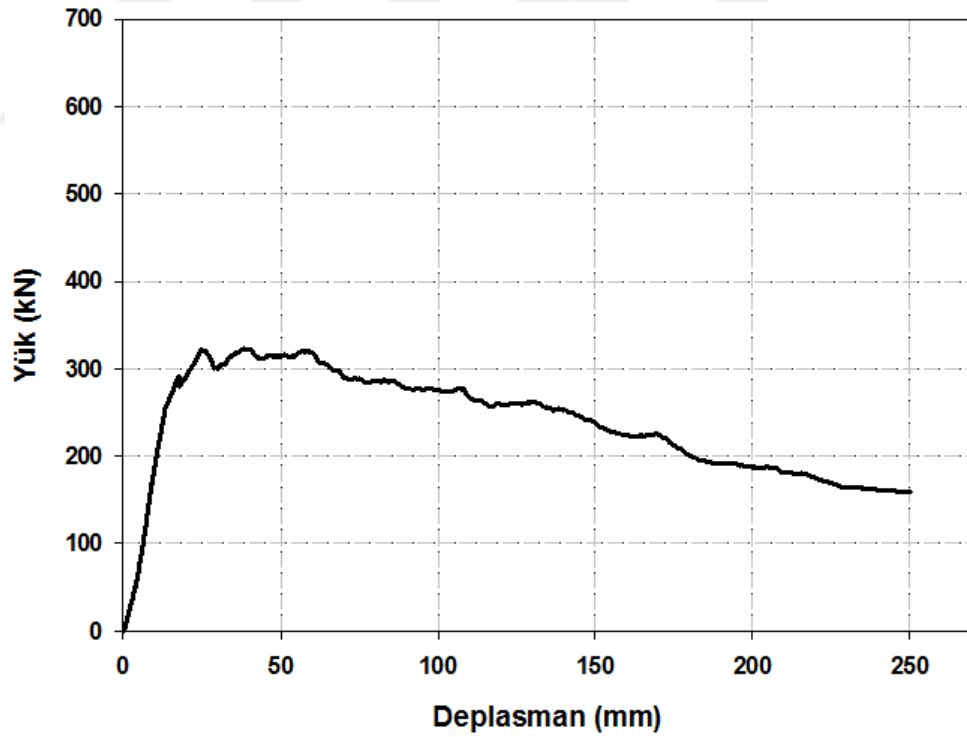


Şekil 4.14. RP1,5-150 elemanın yük-deplasman eğrisi





Resim 4.30. RP1,5-200 elemanın yük-deplasman eğrisi ve deney sonu hasar durumu

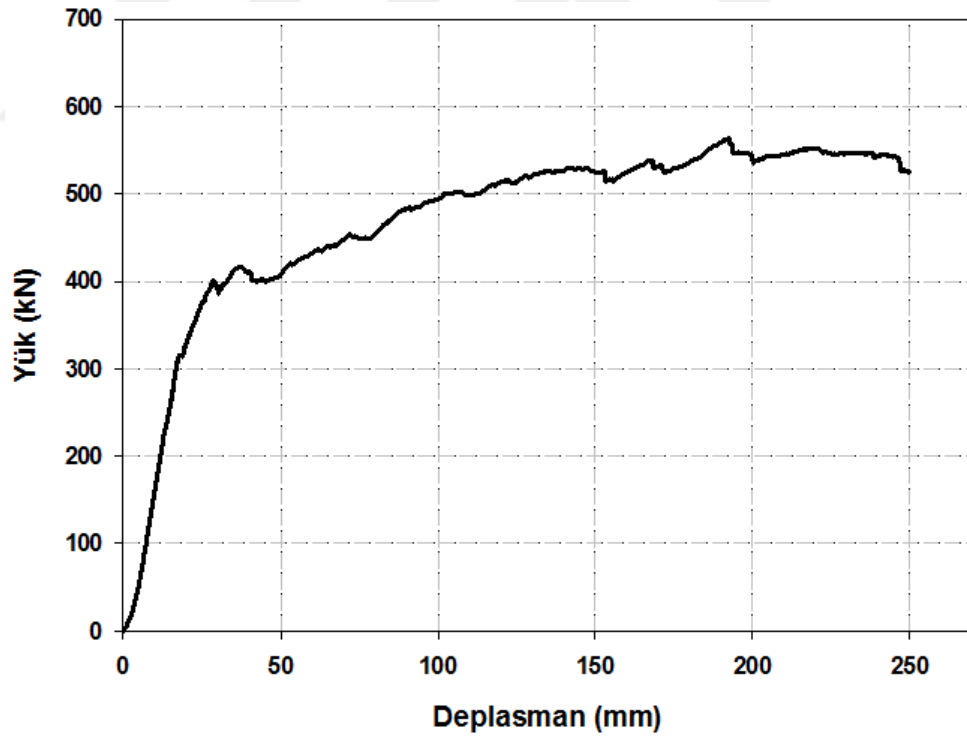


Şekil 4.15. RP1,5-200 elemanın yük-deplasman eğrisi





Resim 4.32. RP2,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.16. RP2,0-100 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.3.5. RP2,0-150 deneyi

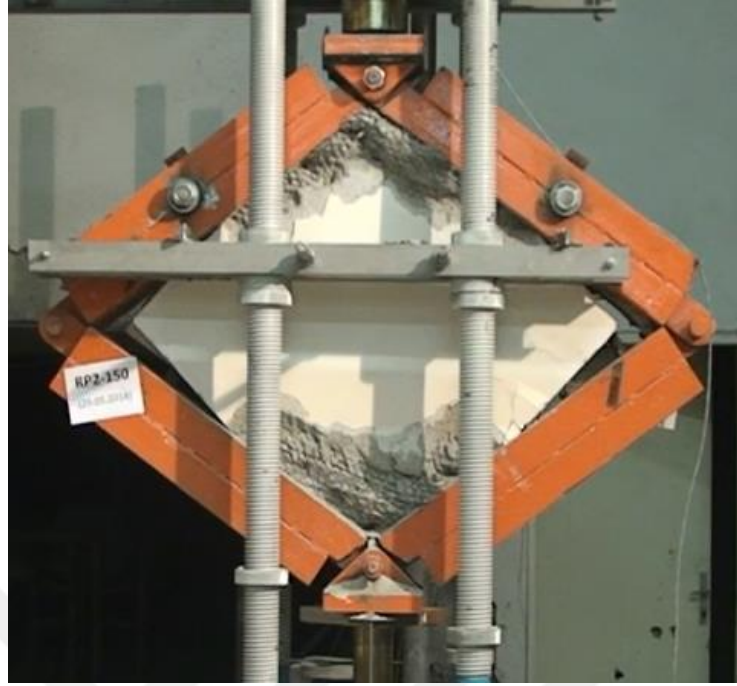
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: Kaba sıva üzerine



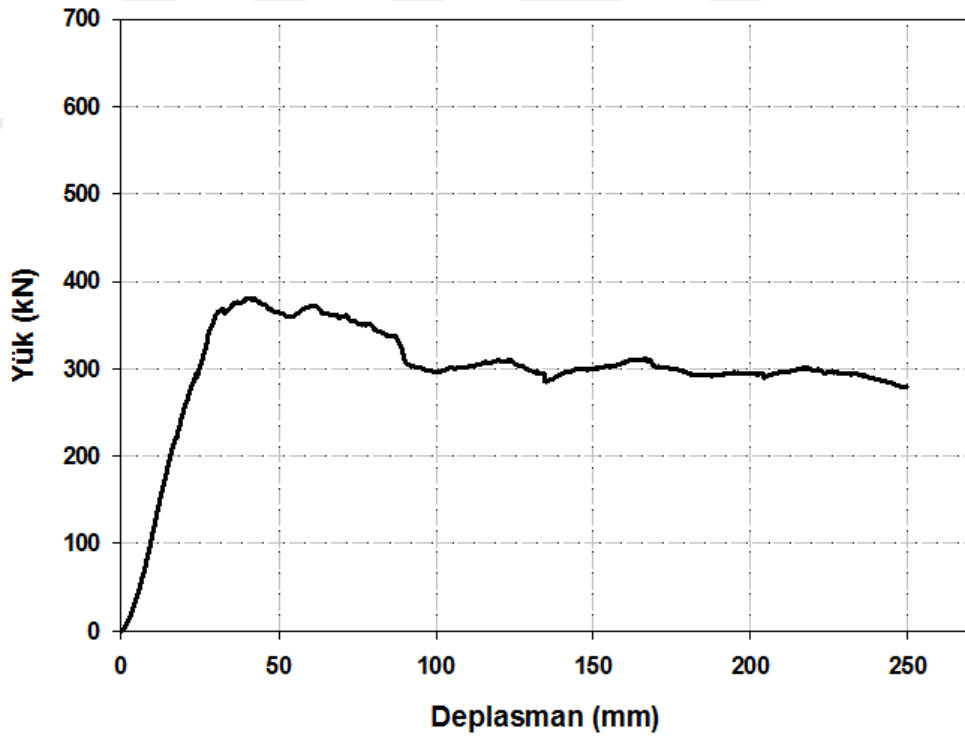
Resim 4.33. RP2,0-150 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney 90 kN yük ve 15,8 mm deplasmana kadar duvar gövdesinde hasar oluşmadığı, st bölgede ise hafif kabarmaların olduğu gözlemlenmiştir.
- 99 kN yük ve 17,2 mm deplasman değerinde, düşey doğrultuda ilk çatlağın oluştuğu, alt ve st köşelerde ise hafif ezilmelerin olduğu belirlenmiştir.
- 141 kN yük ve 32 mm deplasmanda, temas yüzeyi %35 ile sınırlı ve duvar ile ereve arasındaki kamadan dolayı lokal yk dşuşleri gözlemlenmiştir.
- 138 kN yük ve 52 mm deplasmanda, st ve alt ezilme bölgesinde sıvada dökülmeler olduğu tespit edilmiştir.
- 125 kN yük ve 240 mm deplasmanda, duvarın gövde yüzünde hasar son derece sınırlı, temas yüzeyi tüm yüzeylerde %50 olduğu gözlemlenmiştir.
- 158 kN yük ve 280 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.34. RP2,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.17. RP2,0-150 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.3.6. RP2,0-200 deneyi

Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: Kaba sıva üzerine

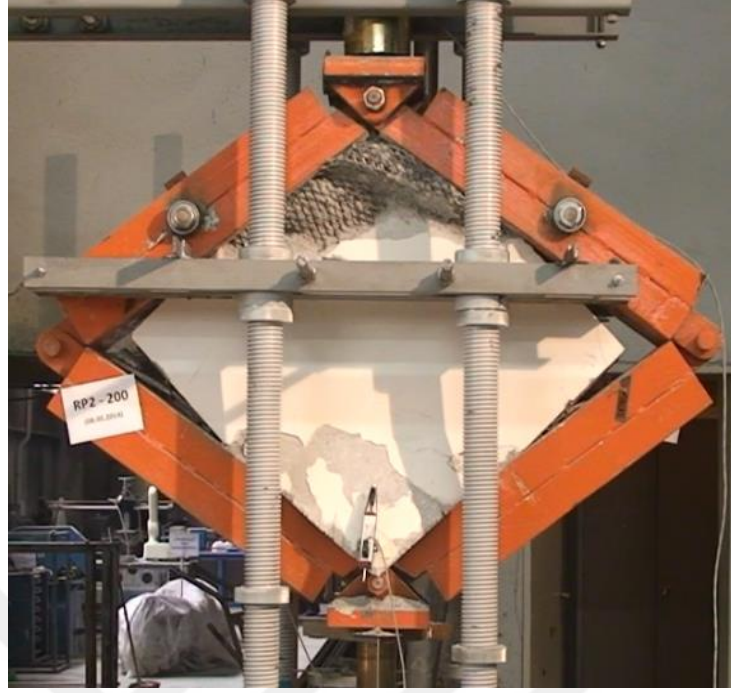


Resim 4.35. RP2,0-200 elemanın deneyden önceki durumu

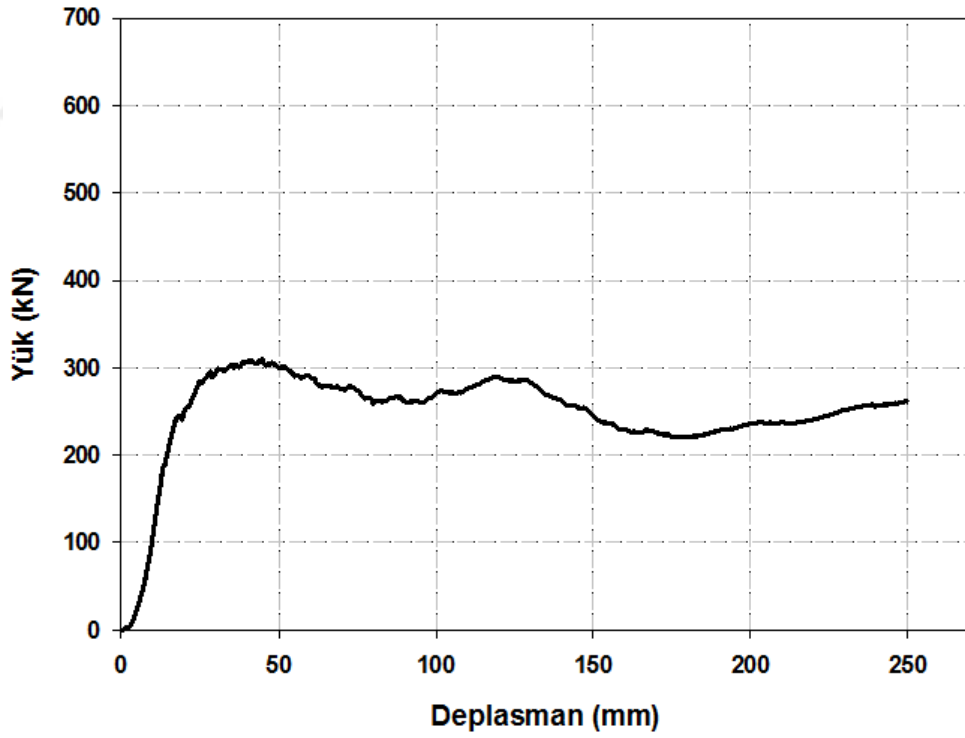
Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney 307 kN yük ve 40 mm deplasmana kadar duvar gövdesinde hasar oluşmadığı, i yüzeyde sadece alçı sıvada çatlak olduğu gözlemlenmiştir.
- 300 kN yük ve 52 mm deplasman değerinde, arka yüz st köşede sıva dökülmesi meydana gelmiştir.
- 266 kN yük ve 72 mm deplasmanda, n yüz st köşe ile arka yüz alt köşede sıva tabakasında kopmalar meydana gelmiştir.
- 225 kN yük ve 164 mm deplasmanda, temas yüzeyi tüm yüzeylerde %50 olduğu belirlenmiştir.
- 241 kN yük ve 296 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyunun yetmediği tespit edilerek deneye son verilmiştir.





Resim 4.36. RP2,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.18. RP2,0-200 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.3.7. RP3,0-100 deneyi

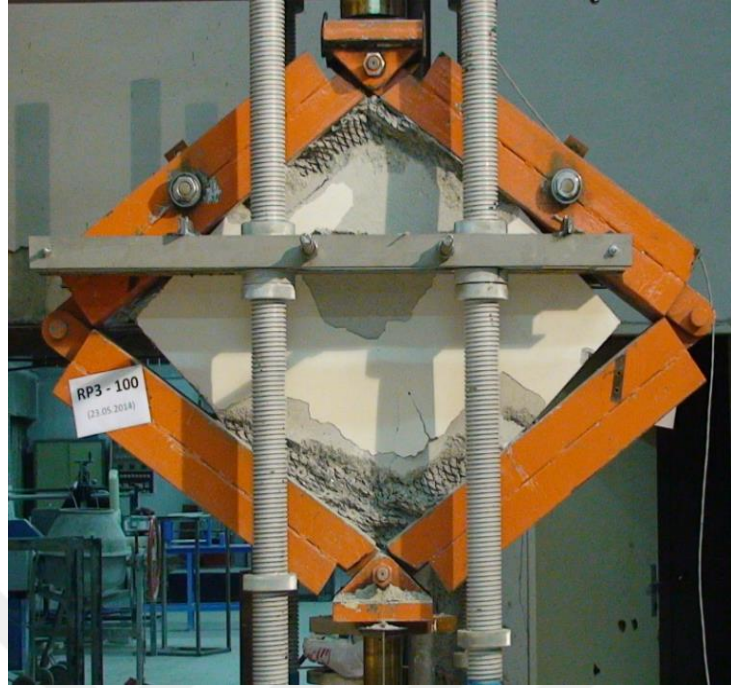
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 100 mm
elik levhaların konumu	: Kaba sıva üzerine



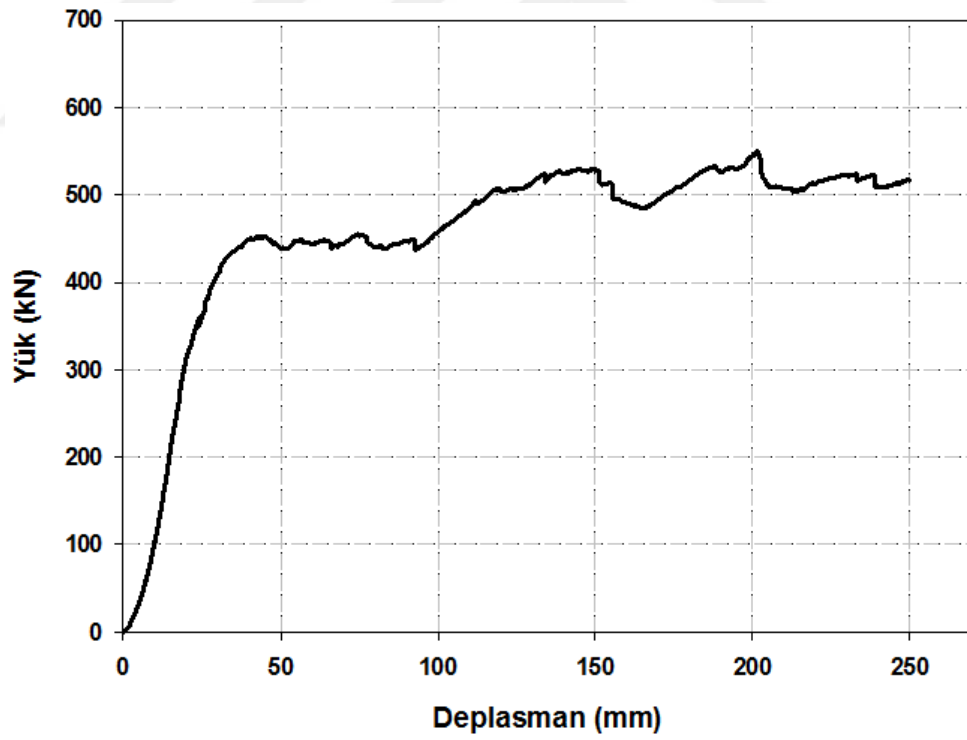
Resim 4.37. RP3,0-100 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 145 kN yük ve 24 mm deplasmanda, elemanın n yüz alt ve st köşesinde alçı sıvada kabarmalar oluşmuştur.
- 440 kN yük ve 68 mm deplasmanda, köşelerde hafif ezilmeler olduğu gözlemlenmiştir.
- 447 kN yük ve 93 mm deplasmanda, deplasman artmasına ragmen yükteki artışım 100 mm bolun sıklığıyla güçlendirilen numunelerde sargılamının da etkisiyle daha fazla olduğu grlmştir.
- 592 kN yük ve 195 mm deplasmanda, tüm yüzeylerde temas yüzeyi %50 olmuştur.
- 534 kN yük ve 286 mm deplasmanda, elemanın taşıma gücü devam etse de stroke boyu sınırlı olduğundan deneye son verilmiştir.



Resim 4.38. RP3,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.19. RP3,0-100 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.3.8. RP3,0-150 deneyi

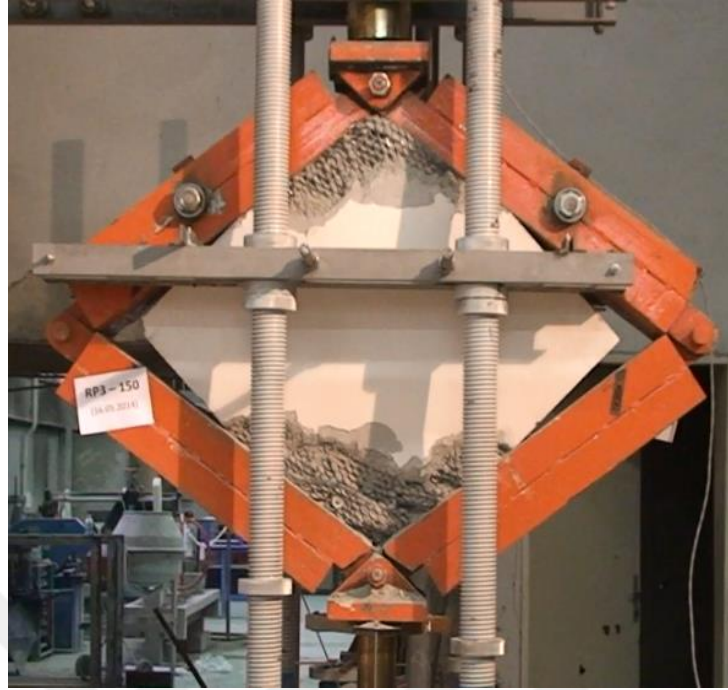
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: Kaba sıva üzerine



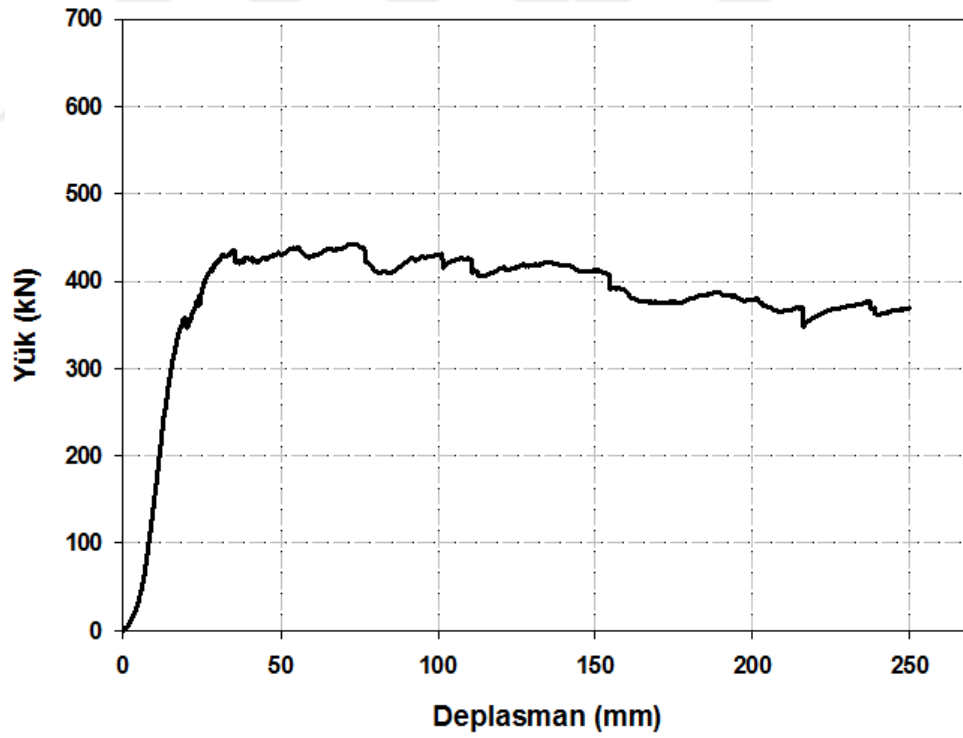
Resim 4.39. RP3,0-150 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 425 kN yük ve 47 mm deplasmanda duvar yüzeyinde kk çatlaklar oluştuğu, gözlemlenmiştir.
- 431 kN yük ve 63 mm deplasman değerinde, alt ve st köşelerde ise ezilmeler sonucu sıvada kabarmalar oluştuğu grlmştir.
- 410 kN yük ve 87 mm deplasmanda, n yüz alt köşede sıva tabakasında kopma meydana gelmiştir.
- 410 kN yük ve 155 mm deplasmanda, n yüz st köşede de sıva tabakasında kopma meydana gelmiştir.
- 391 kN yük ve 270 mm deplasmanda, elemanın köşelerinde hasarın ilerlediği ve temas yüzeyinin %50 olduğu gözlemlenmiştir.
- 417 kN yük ve 297 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.40. RP3,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.20. RP3,0-150 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.3.9. RP3,0-200 deneyi

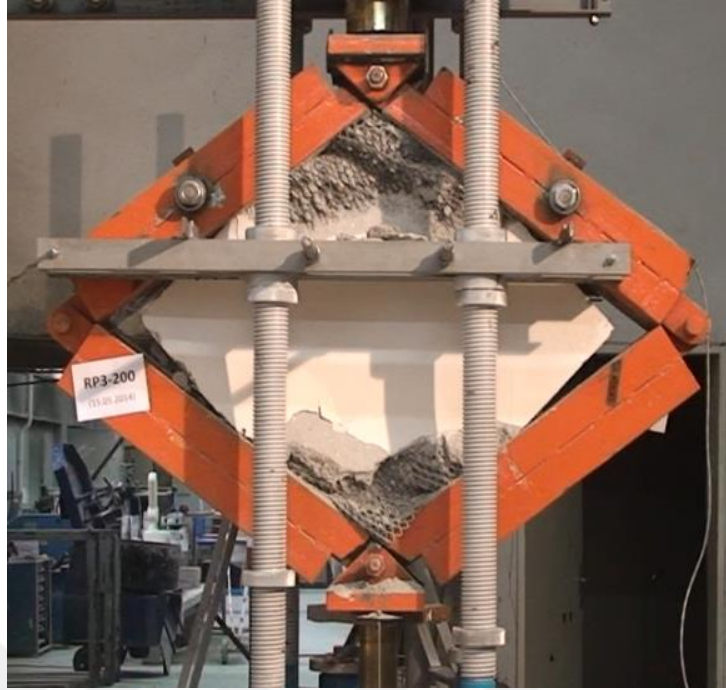
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: Kaba sıva üzerine



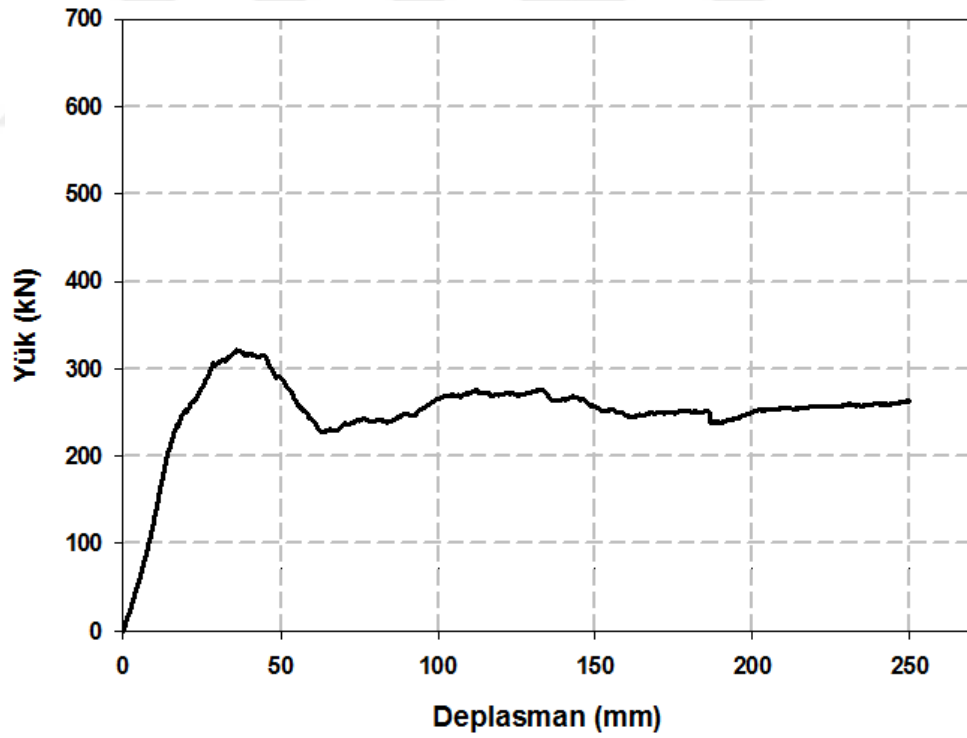
Resim 4.41. RP3,0-200 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deneyin başlangıcından 270 kN yük ve 24 mm deplasmana ulaştığı ana kadar, düşey doğrultuda sadece kk çatlakların oluştuğu elemanda genel olarak hasar meydana gelmediği görülmüştür.
- 254 kN yük ve 95 mm deplasman seviyesinde, alt ve st köşede hafif ezilmeler ve sıvada kabarmalar olduğu tespit edilmiştir.
- 250 kN yük ve 200 mm deplasmanda, elemanın i bölgesinde hasar oluşmadığı, alt ve st köşelerde sıvalarda kopmalar görülmüştür. Ayrıca levhaların buruştuğu ve elemanın temas yüzeyinin de %50 (50 cm) olduğu gözlemlenmiştir.
- 270 kN yük ve 297 mm deplasmanda, duvar iç bölgelerin temiz olduğu ve elemanın taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.42. RP3,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.21. RP3,0-200 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.4. İnce Sıva Üzerine Uygulanan Genişletilmiş Çelik Levhalar İle Güçlendirilmiş Duvar (FP) Deneyleri

Bu bölümde, ince sıva üzerine uygulanan genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının deneyden önceki durumları, deney sonu hasar durumları ve yük-deplasman eğrileri verilmiştir. Ayrıca deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar incelenmiştir.

Bu bölümdeki deney elemanları, 3 gruba ayrılmıştır.

1. grupta; 1.5 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (FP1.5-100, FP1.5-150 ve FP1.5-200) yer almıştır. Bu elemanlarda, bulon sıklığı arttıkça taşıma gücünün arttığı, rijitlik ve sünekliğin arttığı ancak FP1.5-150 deney elemanda biraz düştüğü, enerji tüketme kapasitelerinin arttığı görülmüştür (Resim 4.43.-4.48.).

2. grupta; 2.0 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (FP2.0-100, FP2.0-150 ve FP2.0-200) yer almıştır. Bu elemanlarda, bulon sıklığı arttıkça taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinin de arttığı görülmüştür (Resim 4.49-4.54.).

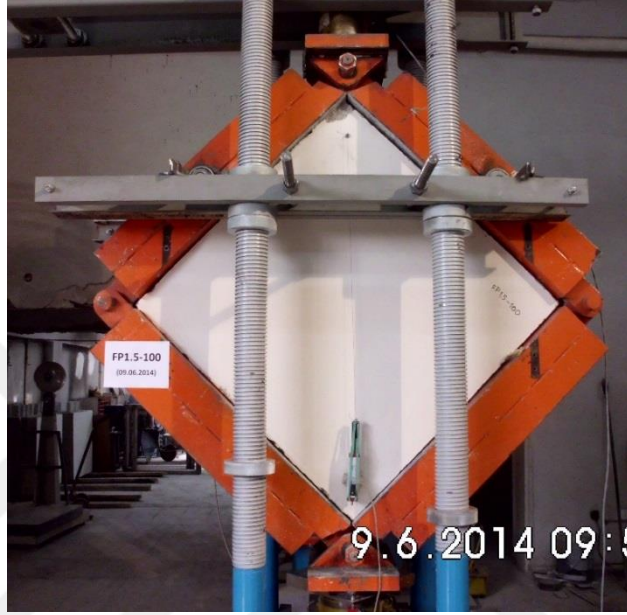
3. grupta; 3.0 mm levha kalınlığı, 100 mm, 150 mm ve 200 mm bulon aralığına sahip güçlendirilmiş elemanlar (FP3.0-100, FP3.0-150 ve FP3.0-200) yer almıştır. Bu elemanlarda bulon sıklığı arttıkça taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji tüketme kapasitelerinin de arttığı görülmüştür (Resim 4.55.-4.60.).

Bu 3 gruptaki tüm elemanlar, deney sonuna kadar bütünlüklerini muhafaza ederek, ileri yük artışlarında dahi taşıma güçlerinde önemli kayıplar olmadan deformasyon yapmaya devam etmişlerdir (Şekil 4.22.-4.30.).



#### 4.4.1. FP1,5-100 deneyi

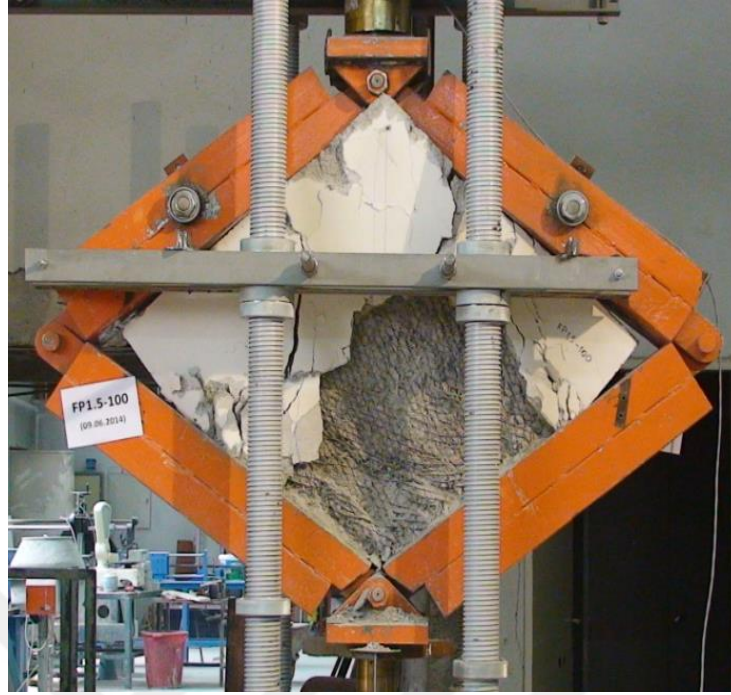
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 100 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



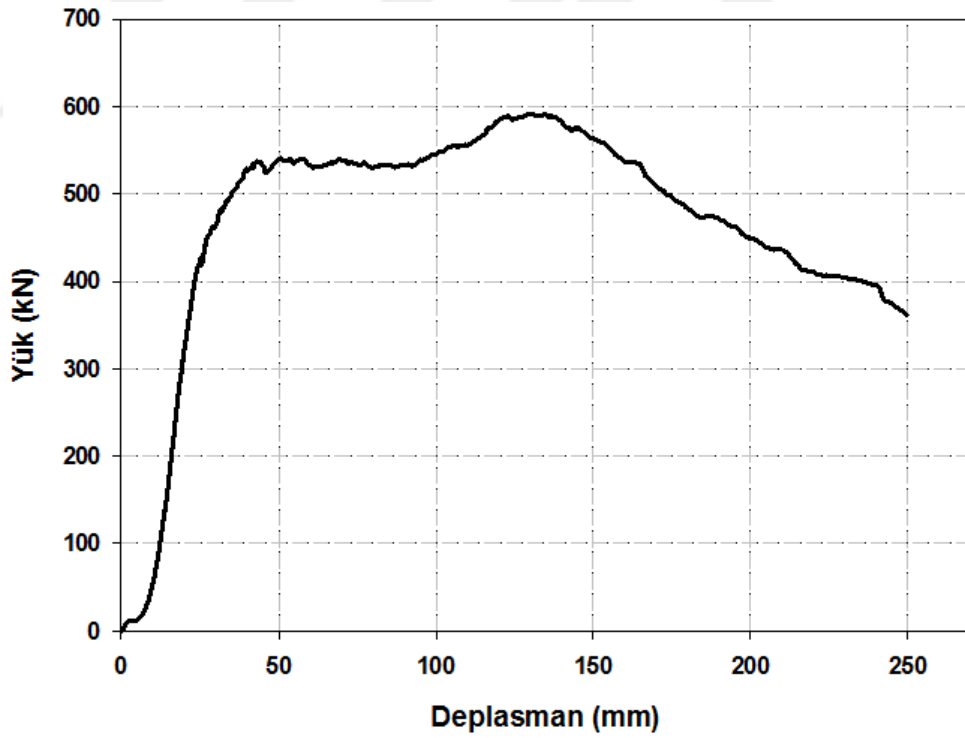
Resim 4.43. FP1,5-100 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 445 kN yük ve 30 mm deplasmanda elemanın n yüz st bölgesinde al sıva tabakasında çatlaklar oluşmuş ve n yüzde düşey doğrultuda da çatlaklar meydana gelmiştir.
- 575 kN yük ve 120 mm deplasmanda, n yüzünde st ve alt köşelerde ezilmelerin olduğu gözlemlenmiştir.
- 372 kN yük ve 250 mm deplasmanda, temas yüzdesi %50'yi aştığı belirlenmiştir.
- 302 kN yük ve 300 mm deplasmanda, st ve alt köşelerde ezilmeler çok olmasına rağmen ve elemanın taşıma gücü devam etmiştir. Ancak stroke boyu sınırlı olduğundan deneye son verilmiştir.



Resim 4.44. FP1,5-100 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.22. FP1,5-100 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.4.2. FP1,5-150 deneyi

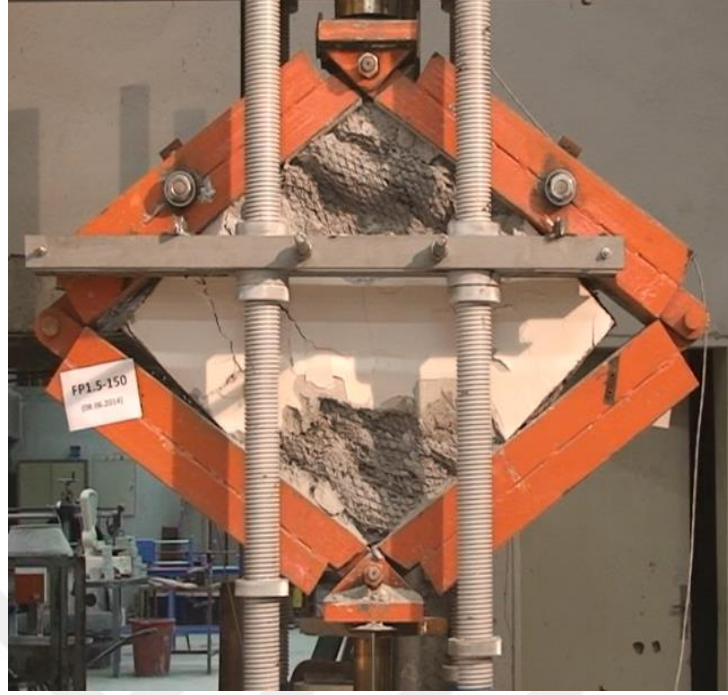
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



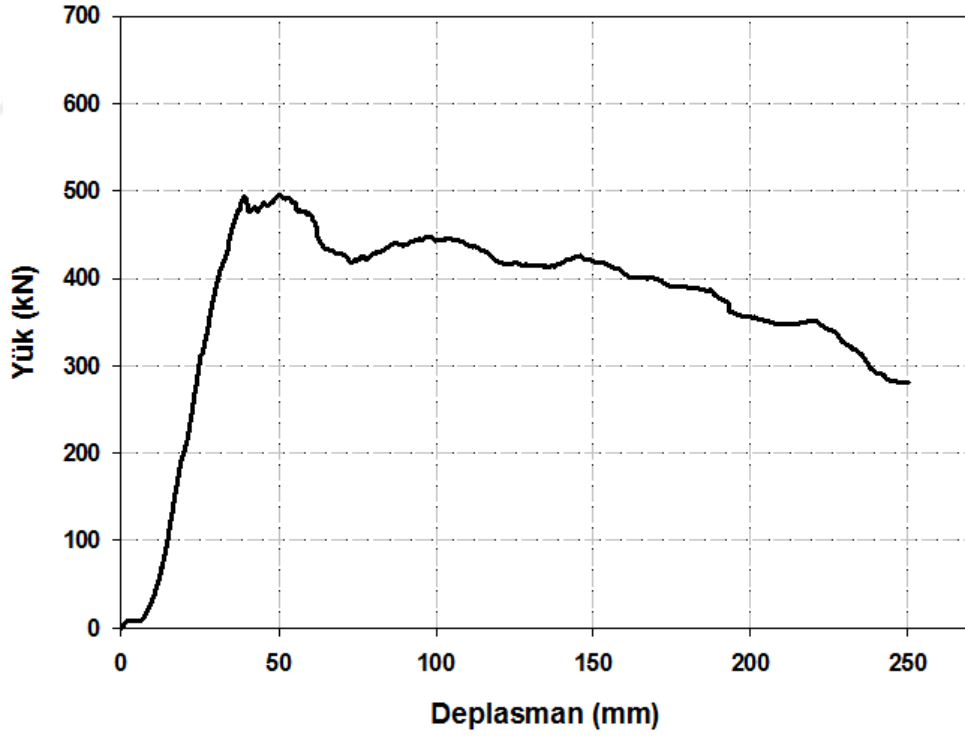
Resim 4.45. FP1,5-150 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 330 kN yük ve 29 mm deplasmana kadar duvar gövdesinde hasar oluşmadığı, sadece ön yüzde küçük çatlaklar meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 425 kN yük ve 74 mm deplasmanda, elemanın alt ve üst köşesinde ezilmelerin başladığı görülmüştür.
- 432 kN yük ve 106 mm deplasmanda, ön yüz üst bölgede sıvada çatlak oluştuğu ancak parçalanmaların oluşmadığı gözlemlenmiştir.
- 402 kN yük ve 166 mm deplasmanda, arka yüzdeki alt bölgede sıvada dökülmeler meydana gelerek levhada buruşma olduğu gözlemlenmiştir.
- 249 kN yük ve 213 mm deplasmanda temas yüzeyi tüm yüzeylerde %50 olduğu belirlenmiştir.
- 245 kN yük ve 301 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



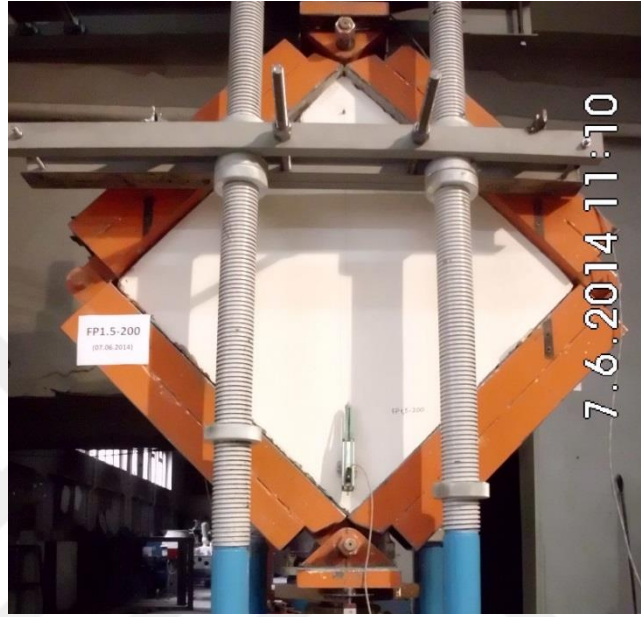
Resim 4.46. FP1,5-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.23. FP1,5-150 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.4.3. FP1,5-200 deneyi

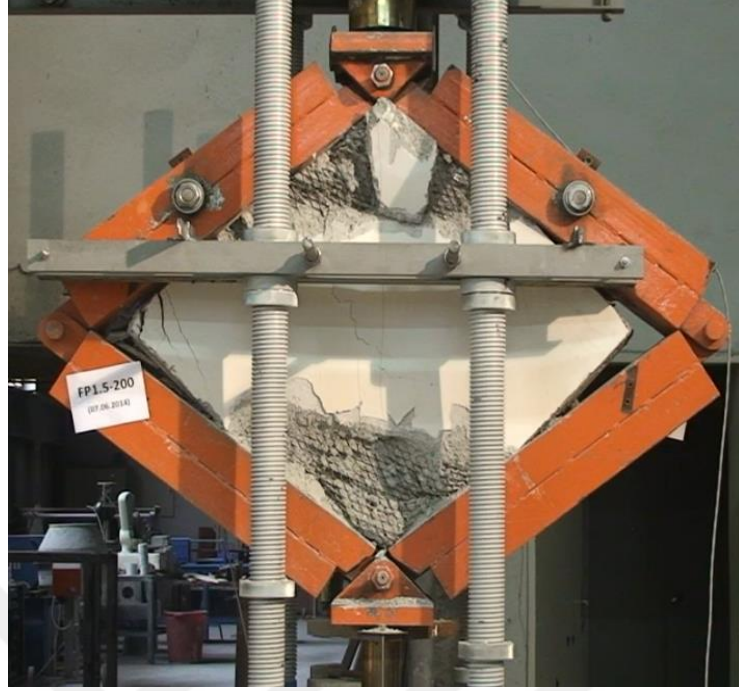
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 1,5 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



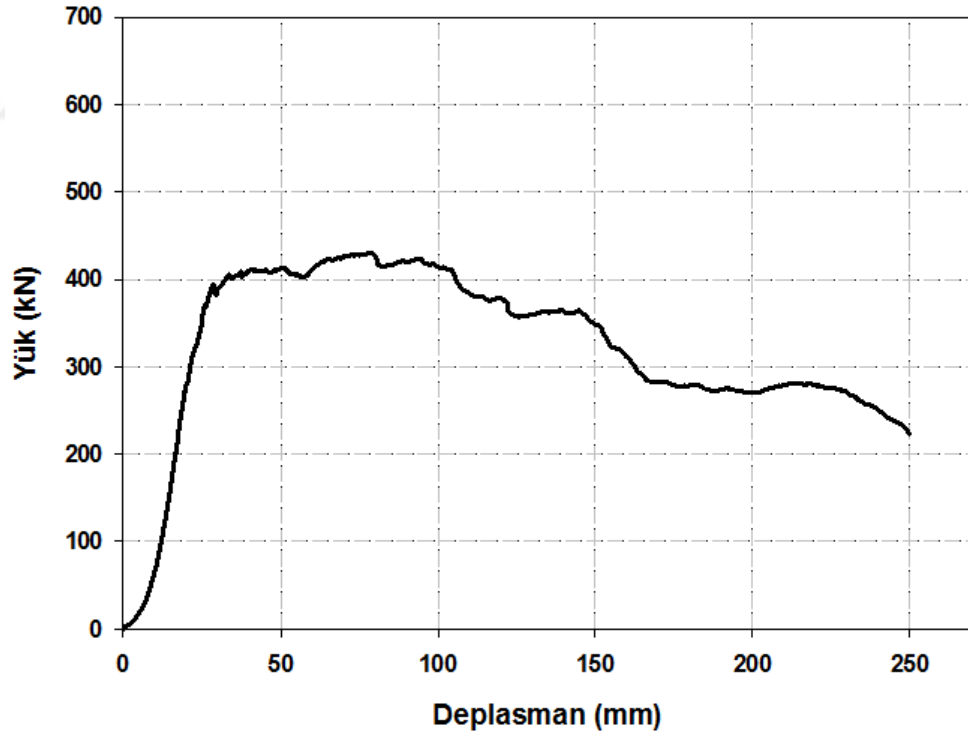
Resim 4.47. FP1,5-200 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deneyin başlangıcından 317 kN yük ve 25,3 mm deplasmana ulaştığı ana kadar, ön yüzeyde sadece alçı sıvada çatlakların olduğu görülmüştür.
- 427 kN yük ve 74 mm deplasman seviyesinde, ön yüzde üst ve alt bölgede sıvada çatlaklar tespit edilmiştir.
- 278 kN yük ve 182 mm deplasmanda, eleman üst bölgede sıva tabaka halinde koptuğu gözlemlenmiştir.
- 223 kN yük ve 252 mm deplasmanda, temas yüzeyinin %50'yi aştığı gözlemlenmiştir.
- 176 kN yük ve 298 mm deplasmanda, duvar iç bölgeleri temiz ve taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.48. FP1,5-200 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.24. FP1,5-200 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.4.4. FP2,0-100 deneyi

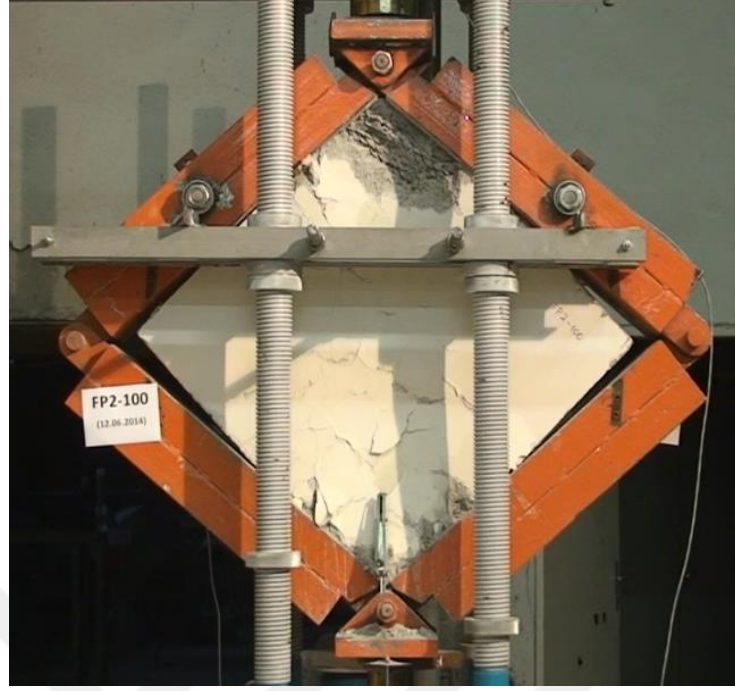
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 100 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



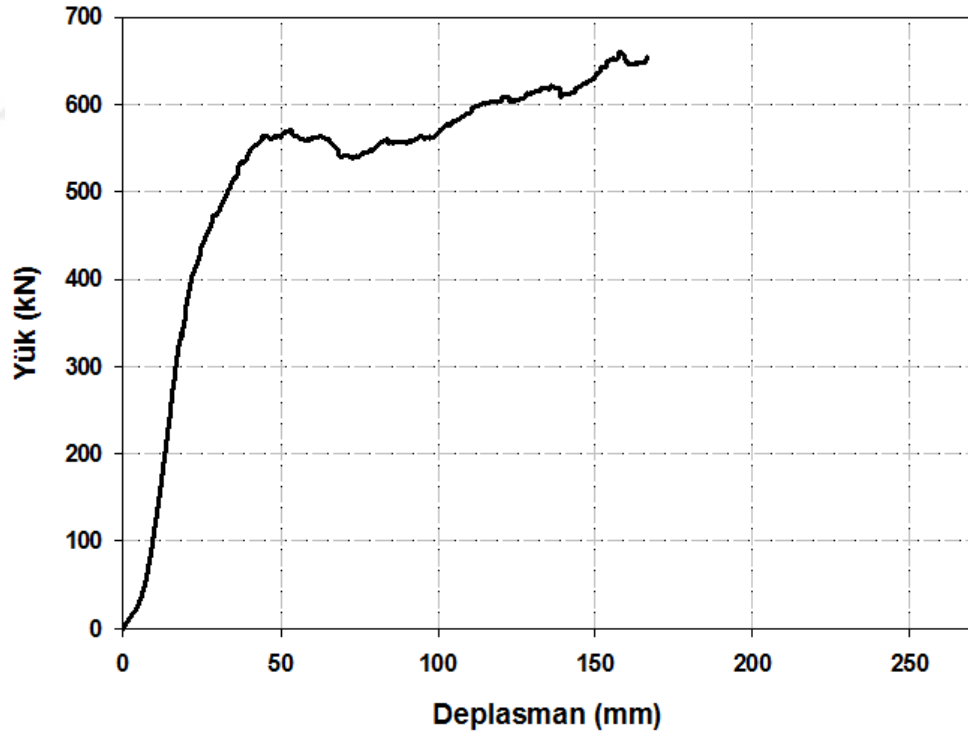
Resim 4.49. FP2,0-100 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 452 kN yük ve 32 mm deplasmanda elemanın ön yüzünde alçı sıva çatlağı olduğu görülmüştür.
- 570 kN yük ve 58 mm deplasmanda, elemanın temiz olduğu sadece alt köşede sıvada kabarmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 573 kN yük ve 107 mm deplasmana ulaştığı anda bile elemanın taşıma gücünde ani düşme olmamış, sadece üst bölgede sıvada büyük çatlakların olduğu görülmüştür.
- Güçlendirilmiş diğer elemanlarda olduğu gibi köşerlerde meydana gelen çatlaklar ile sıvalarda kopmalar levhada ise buruşmalar meydana gelmiştir.
- 654 kN yük ve 166 mm deplasmanda, elemanın taşıma gücü devam etse de deney cihazında meydana gelen mekanik arıza sebebiyle deneye son verilmiştir.



Resim 4.50. FP2,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.25. FP2,0-100 elemanın yük-deplasman eğrisi



#### 4.4.5. FP2,0-150 deneyi

Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



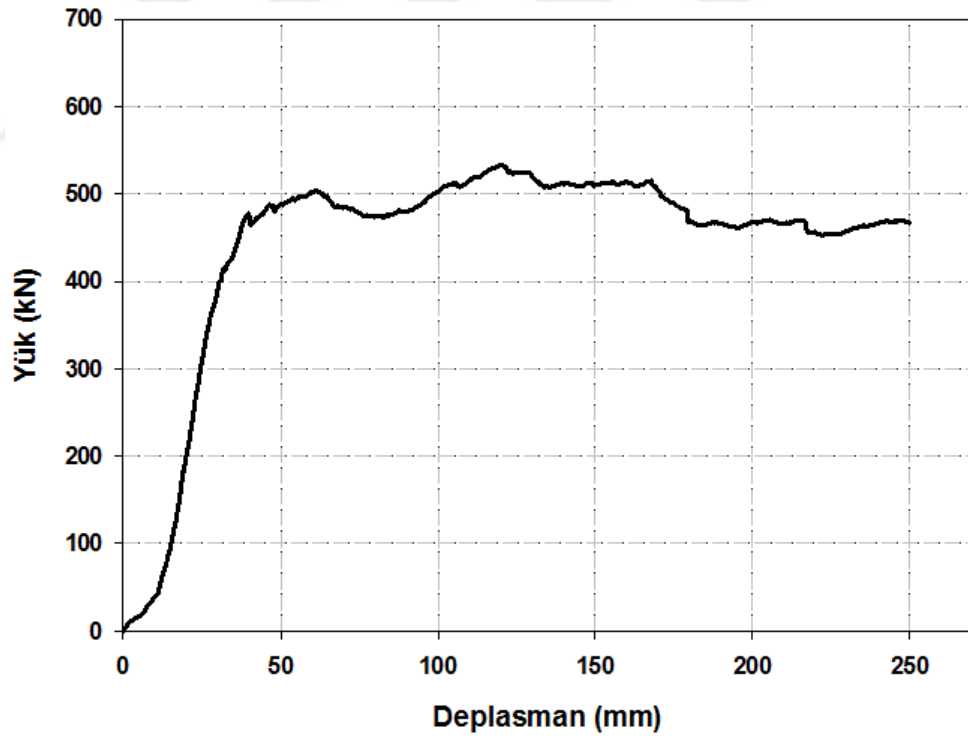
Resim 4.51. FP2,0-150 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deney 260 kN yük ve 26 mm deplasmanda elemanın n yüzünde ince çatlaklar meydana gelmiştir.
- 497 kN yük ve 60 mm deplasman değerinde, alt ve st köşelerde hafif ezilmelerin olduğu belirlenmiştir.
- 526 kN yük ve 78 mm deplasmanda, elemanın st ve alt köşesinde ezilme sonucu sıvada dökülmeler olduğu tespit edilmiştir.
- 461 kN yük ve 200 mm deplasmanda, temas yüzeyi %50'ye ulaştığı belirlenmiştir.
- 285 kN yük ve 302 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği tespit edilerek deneye son verilmiştir.



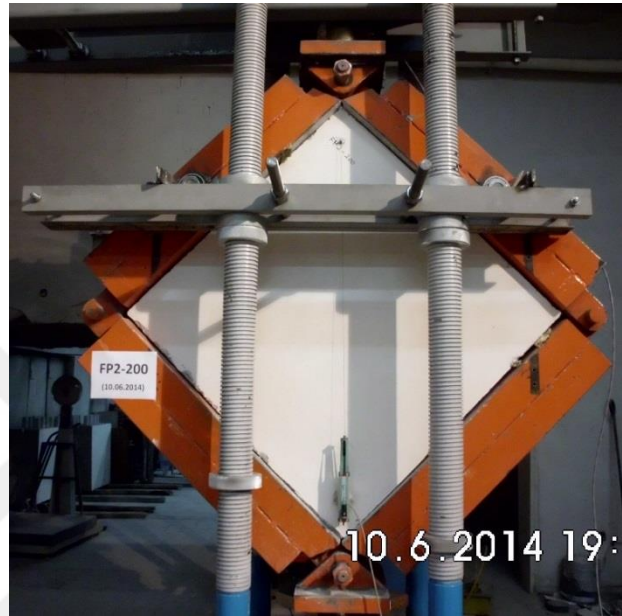
Resim 4.52. FP2,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.26. FP2,0-150 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.4.6. FP2,0-200 deneyi

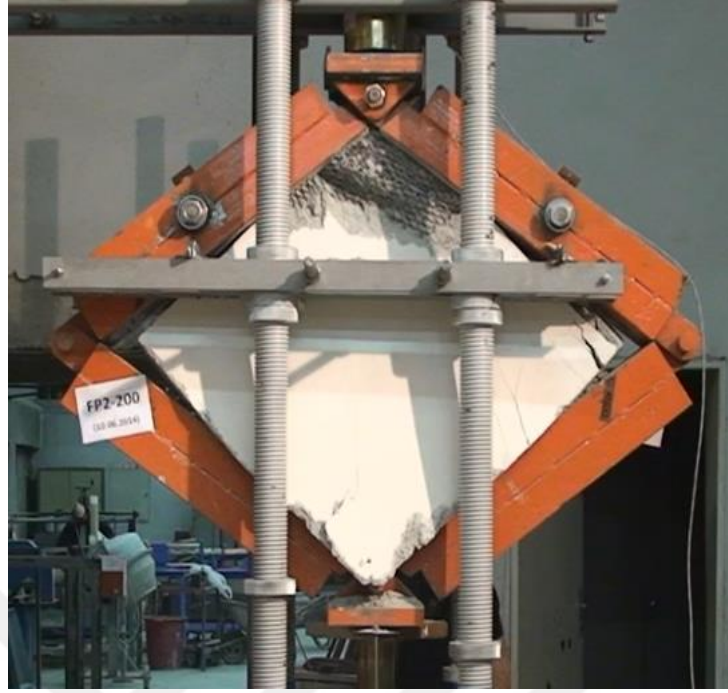
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 2,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



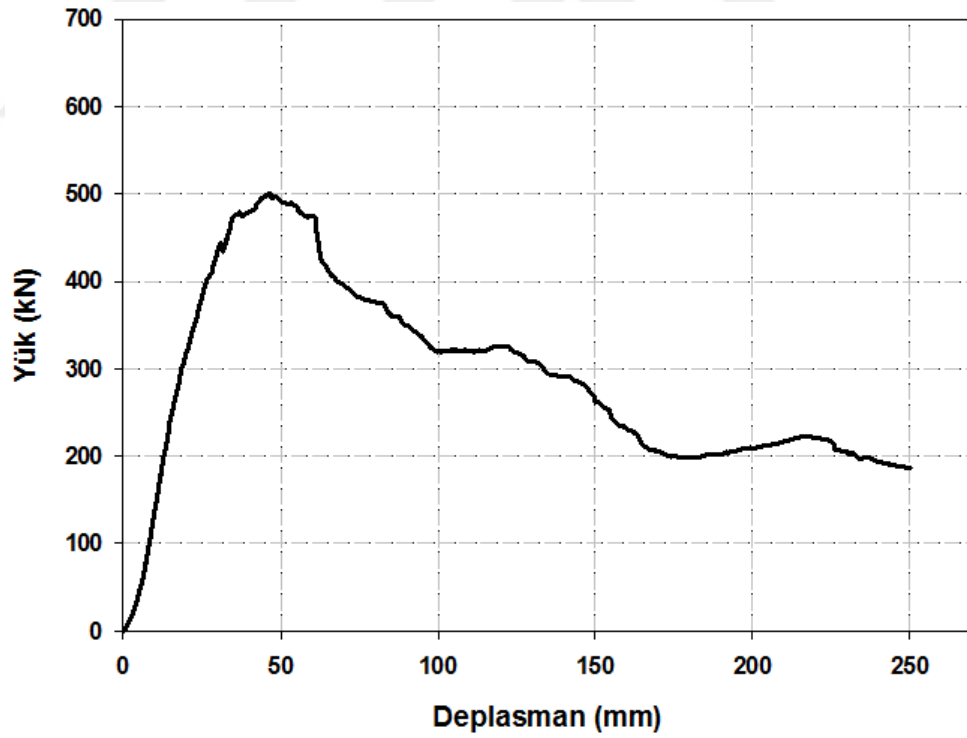
Resim 4.53. FP2,0-200 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 235 kN yük ve 15,8 mm deplasmanda, elemanın ön yüzdeki düşey doğrultuda açlı sıvada küçük kılcak çatlakların oluştuğu görülmüştür.
- 350 kN yük ve 91 mm deplasman seviyesinde, alt ve üst köşedelerde ezilmeler sonucu sıvada kabarmalar olduğu gözlemlenmiştir.
- 280 kN yük ve 147 mm deplasmanda, elemanın ön yüzünde üst bölgede sıva blok halinde koparak levhaların buruştuğu gözlemlenmiştir.
- 215 kN yük ve 210 mm deplasman seviyesinde elemanın ön yüzünde alt köşesindeki tabaka dış yüze taşarak hasar almıştır.
- 169 kN yük ve 300 mm deplasmanda, duvar iç bölgeleri temiz ve taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



Resim 4.54. FP2,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.27. FP2,0-200 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.4.7. FP3,0-100 deneyi

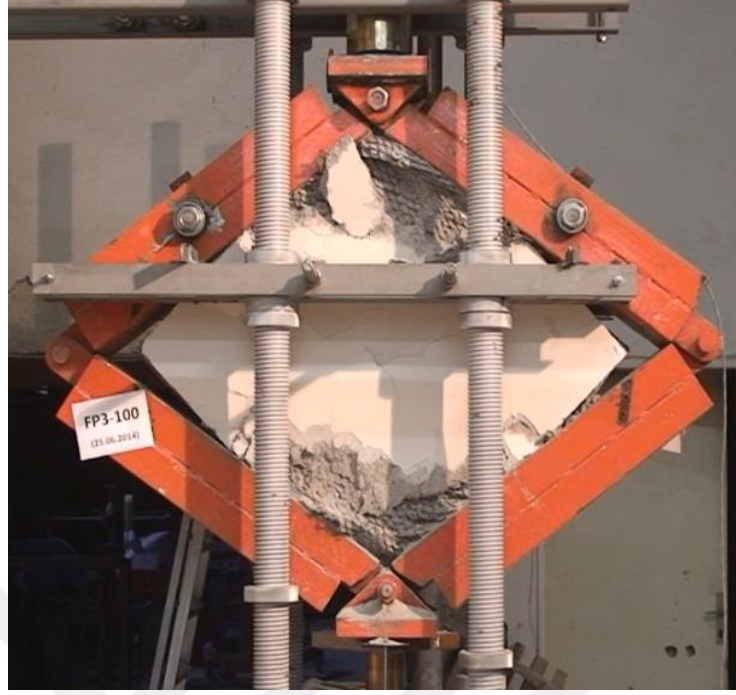
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 100 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



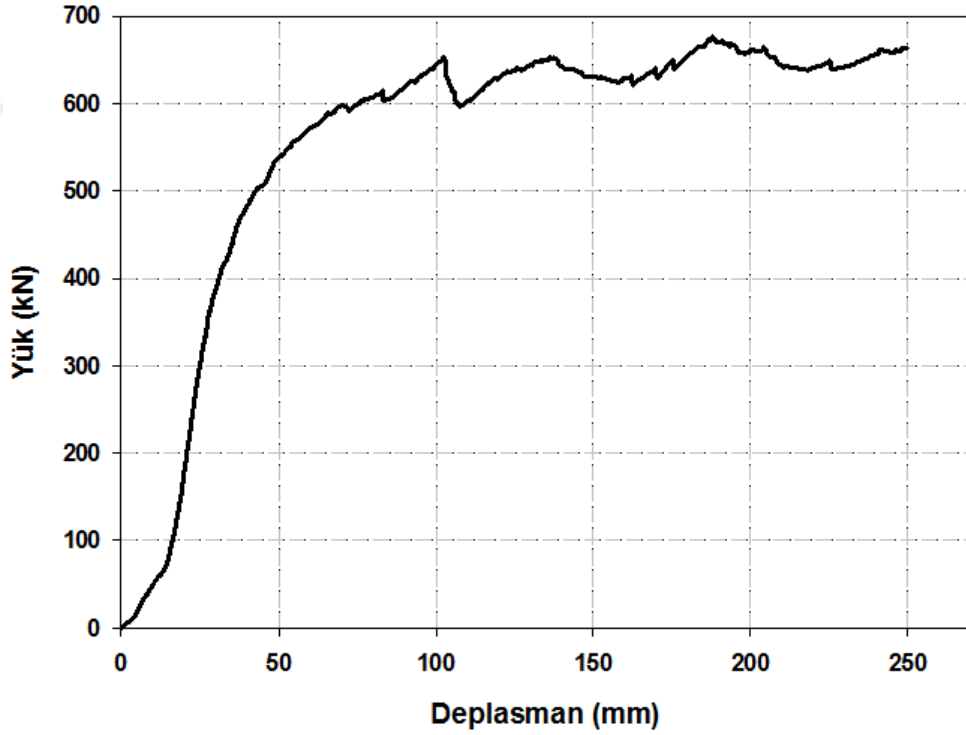
Resim 4.55. FP3,0-100 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 205 kN yük ve 26 mm deplasmanda elemanın n yüzünde alçı sıvada çatlaklar oluşmuştur.
- 623 kN yük ve 93 mm deplasmanda, köşelerde ezilmelerin olduğu ve sıvada çatlakların olduğu belirlenmiştir.
- 665 kN yük ve 183 mm deplasmanda, st ve alt köşedeki sıvada kopmalar meydana gelerek levhaların buruştuğu belirlenmiştir.
- 660 kN yük ve 246 mm deplasmanda, temas yüzeyi %50 olmuştur.
- 571 kN yük ve 309 mm deplasmanda, elemanın taşıma gücü devam etse de stroke boyu sınırlı olduğundan deneye son verilmiştir.



Resim 4.56. FP3,0-100 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.28. FP3,0-100 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.4.8. FP3,0-150 deneyi

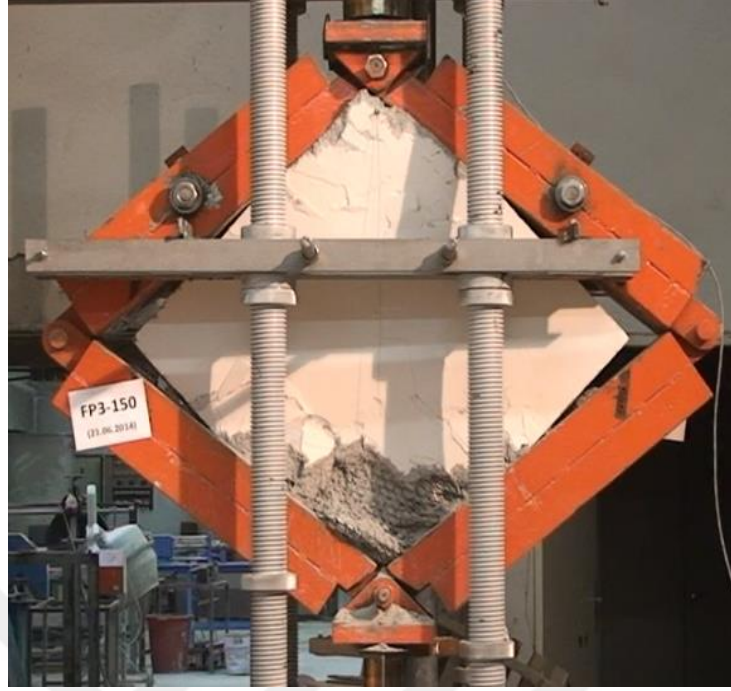
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 150 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



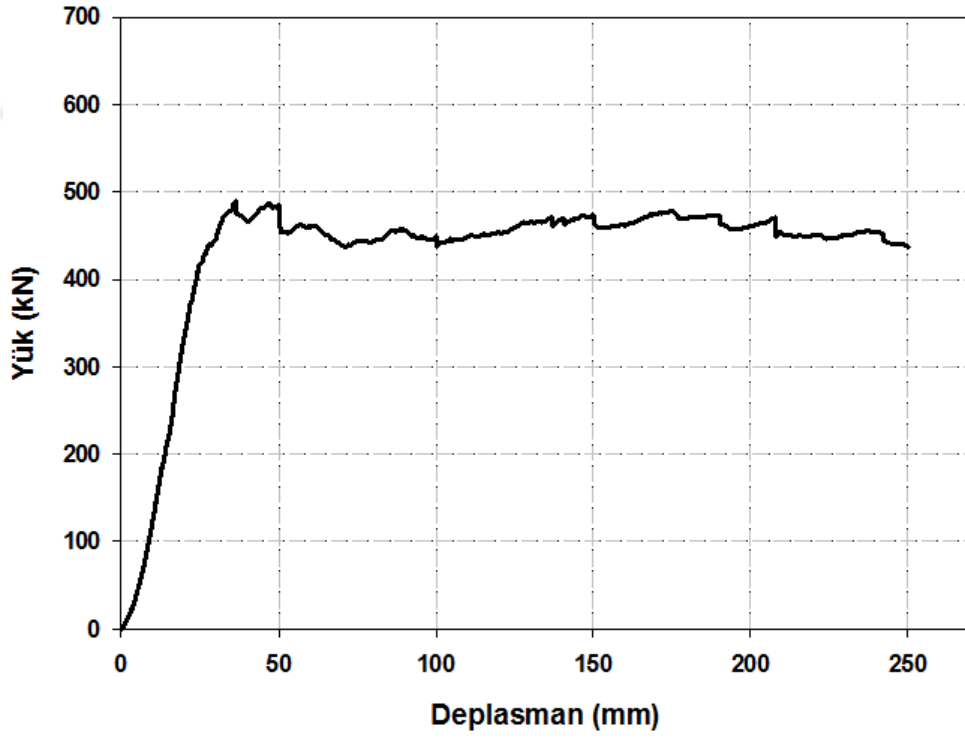
Resim 4.57. FP3,0-150 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- 200 kN yük ve 14,7 mm deplasmanda elemanın n yüzünde alçı sıva tabakasında hafif kabarmalar olduğu gözlemlenmişti.
- 446 kN yük ve 70 mm deplasmanda, elemanın n yüzeyinde alt köşesinde sıva tabakasında büyük bir çatlak meydana gelmiştir.
- 448 kN yük ve 105 mm deplasmanda, elemanın n yüz alt köşesinde çatlaklar artmakta st bölgede ise ezilmeler meydana gelmiştir.
- 479 kN yük ve 177 mm deplasmanda, elemanın köşelerinde hasarın ilerlediği ve temas yüzeyinin %50 olduğu gözlemlenmiştir.
- 366 kN yük ve 303 mm deplasman seviyesinde, yükün artmaya devam ettiği görülmüş ancak stroke boyu yetmediği tespit edilerek deneye son verilmiştir.



Resim 4.58. FP3,0-150 elemanın deney sonu hasar durumu



Şekil 4.29. FP3,0-150 elemanın yük-deplasman eğrisi



#### 4.4.9. FP3,0-200 deneyi

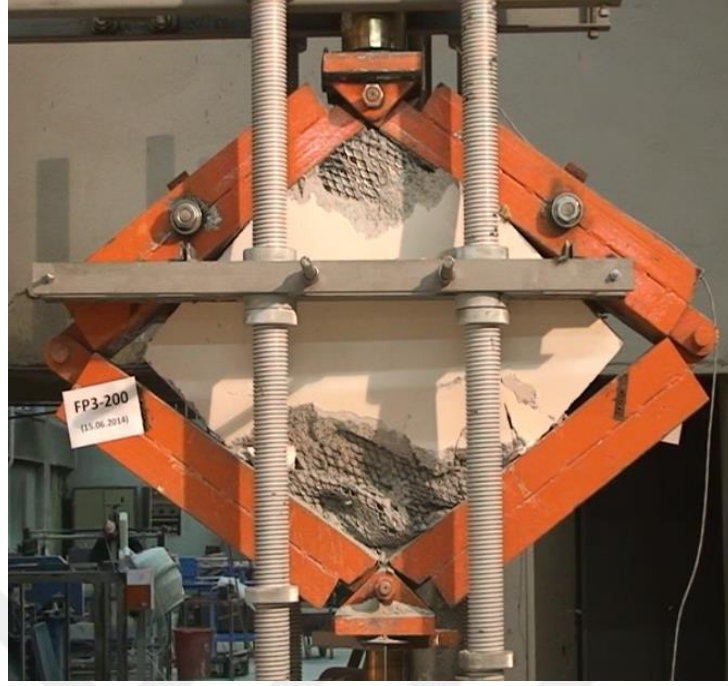
Genişletilmiş elik levha kalınlığı	: 3,0 mm
Bulon aralığı	: 200 mm
elik levhaların konumu	: İnce sıva üzerine



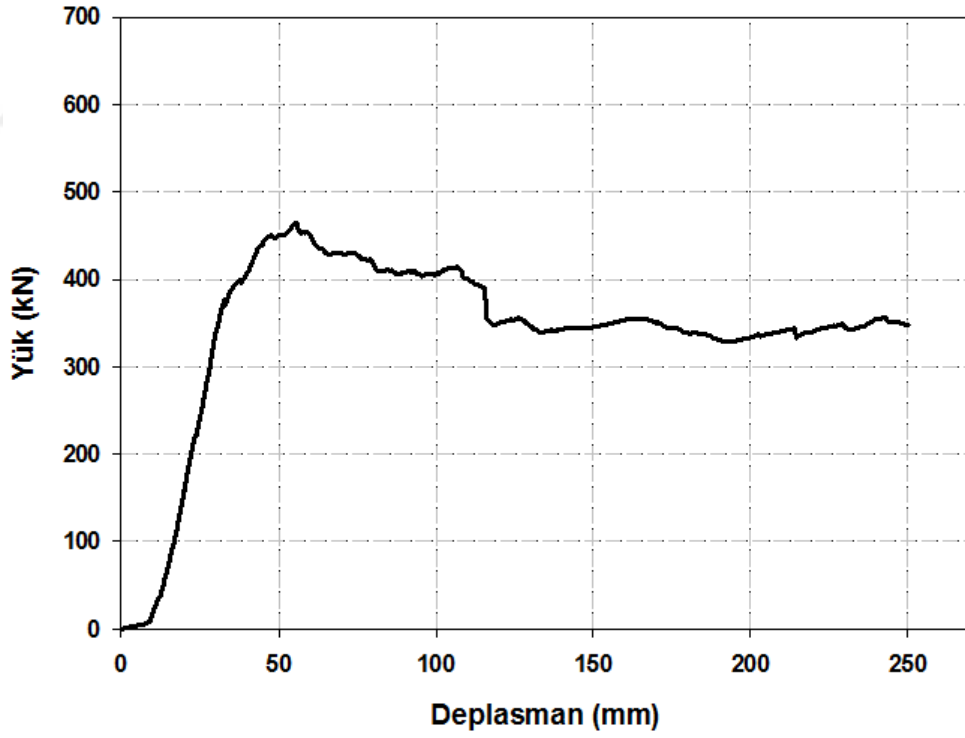
Resim 4.59. FP3,0-200 elemanın deneyden önceki durumu

Deney esnasında gözlemlenen önemli olaylar:

- Deneyin başlangıcından 455 kN yük ve 60 mm deplasmana ulaştığı ana kadar, düşey doğrultuda sadece kk çatlakların oluştuğu elemanda genel olarak hasar meydana gelmediği görülmüştür.
- 351 kN yük ve 123 mm deplasman seviyesinde, elemanın alt ve st köşesinde sıvada kabarmaları meydana gelmiştir.
- 352 kN yük ve 262 mm deplasmanda, elemanın i bölgesinde hasar oluşmadığı, alt ve st köşelerde sıvalarda kopmalar görülmüştür. Ayrıca levhaların buruştuğu ve elemanın temas yüzeyinin de %50 (50 cm) olduğu gözlemlenmiştir.
- 296 kN yük ve 302 mm deplasmanda, elemanın i bölgelerinin temiz ve taşıma gücü devam etmesine rağmen stroke boyu yetmediği için deneye son verilmiştir.



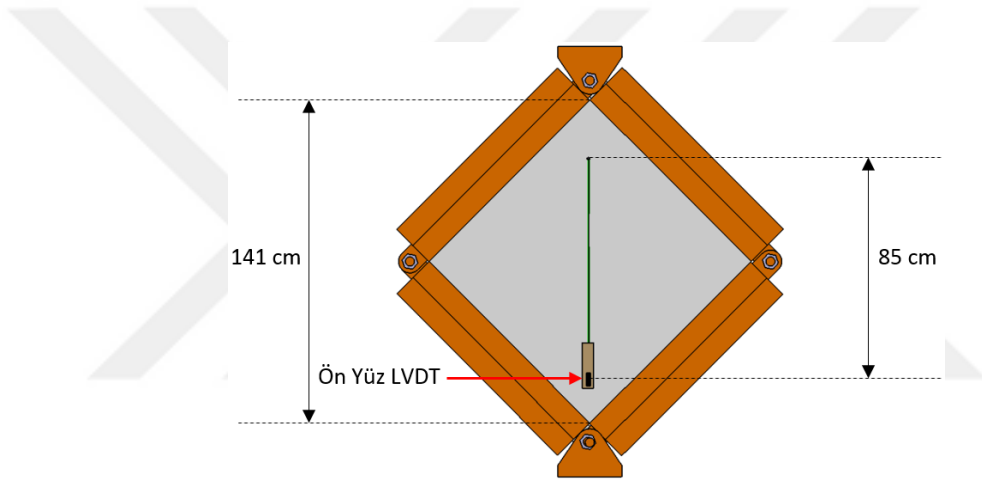
Resim 4.60. FP3,0-200 elemanın deney sonu hasar durumu



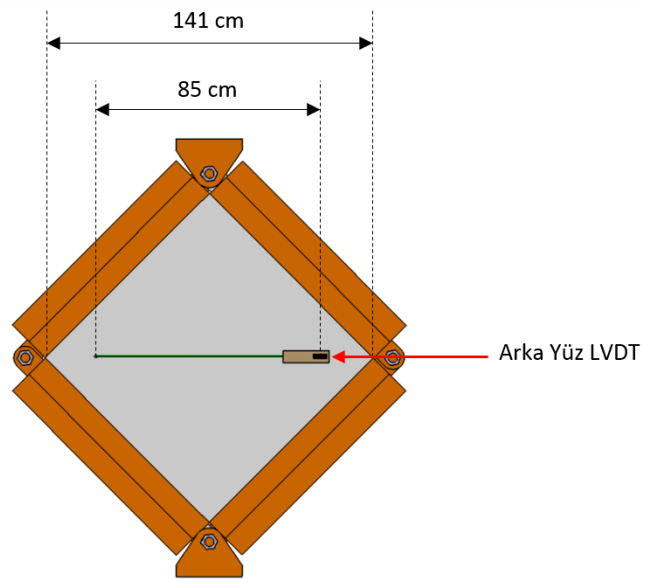
Şekil 4.30. FP3,0-200 elemanın yük-deplasman eğrisi

#### 4.5. Deney Elemanlarının Ön ve Arka Yüzündeki Deformasyonların Belirlenmesi

Bu bölümde, ikisi referans olmak üzere toplam 30 adet güçlendirilmiş deney elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyonlar belirlenmiştir. Deney elemanlarının ön ve arka yüzündeki deformasyonların belirlenebilmesi için 50 mm ölçüm yapabilen 0,01 mm hassasiyetinde 2 adet LVDT kullanılmıştır. Deney elemanlarının ön yüzündeki LVDT'nin konumu ve ölçüm uzunlukları (85 cm) Şekil 4.31.'de, arka yüzündeki LVDT'nin konumu ve ölçüm uzunlukları (85 cm) ise Şekil 4.32.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.31. Deney elemanlarının ön yüzündeki LVDT'nin konumu ve ölçüm uzunluğu



Şekil 4.32. Deney elemanlarının arka yüzündeki LVDT'nin konumu ve ölçüm uzunluğu

Uzunluğu  $L_0$  (mm) olan deney elemanları gittikçe artan bir  $P$  (kN) kuvveti ile tekdüze basınca tabi tutulduğunda herhangi bir anda kesitte meydana gelen kısalmaya  $\Delta L$  ile gösterilirse, şekil değiştirme ( $\varepsilon$ ) aşağıda verilen Denklem 4.1. ile yazılabilir.

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

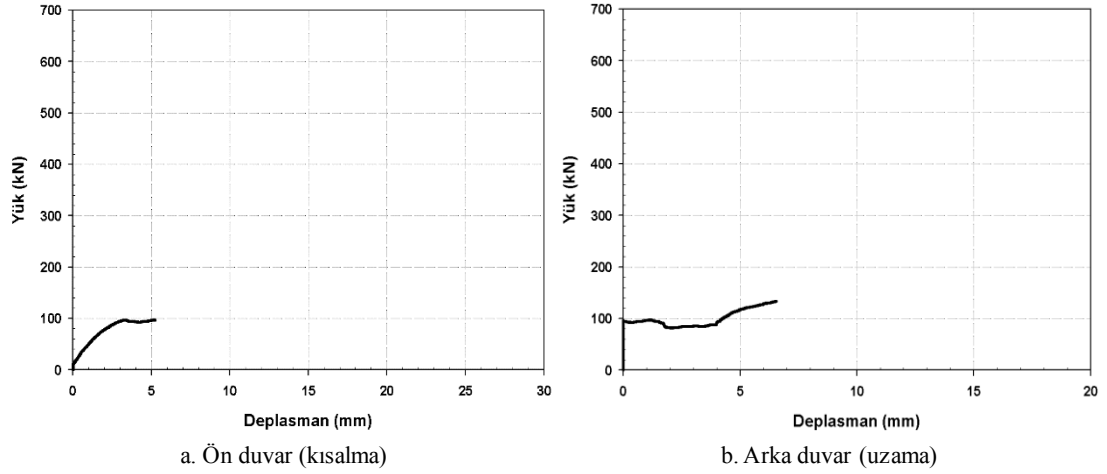
Tekdüze basınca maruz bırakılan deney elemanlarının akma birim kısalmaya  $\Delta L_y$  uzunluğu  $L_0$  olan ilk boya oranlanırsa, akmaya başladığı ilk andaki birim kısalmaya oranı  $\varepsilon_y$ , aşağıda verilen Denklem 4.2. ile bulunabilir.

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

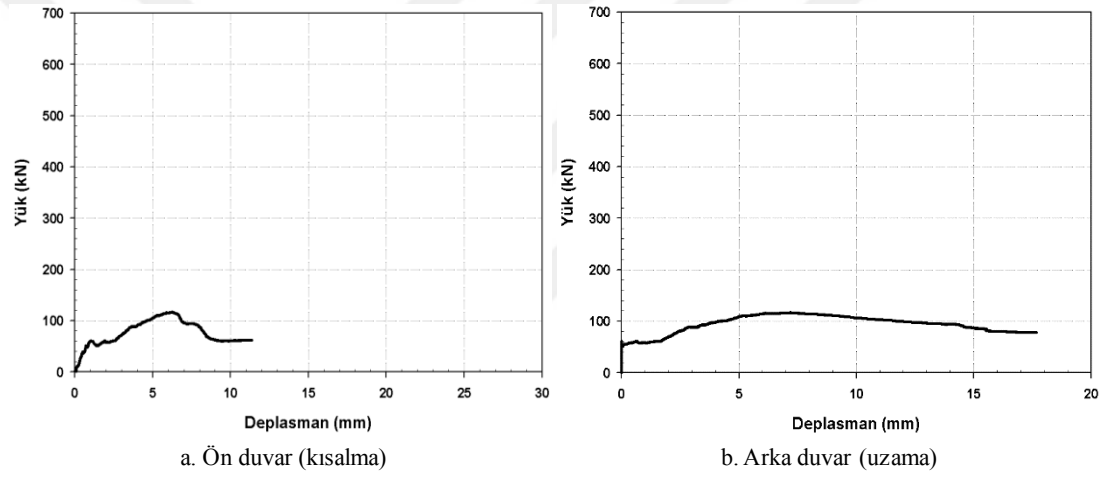
Deney elemanlarının akma ve kopma anında ön yüzünde uzama birim boy değişimleri, arka yüzünde ise kısalmaya birim boy değişimlerinin bulunması amaçlanmıştır. Ancak deneyler sırasında deplasmana bağlı artan diyagonal tekdüze yükler ile deney elemanlarının köşelerinde ezilmeler ve parçalanmalar meydana gelmiştir. Bu sebeple deney elemanlarının ön ve arka yüzündeki LVDT'ler ile deney sonuna kadar ölçüm yapılamamıştır.

Deney elemanlarının ön yüzünde, akma anında ve biraz ötesi için (plastik deformasyonlar) birim deformasyonlar belirlenebilmiştir. Deney elemanlarının arka yüzünde ise deformasyonlar çok kısıtlı kalmış veya hiç oluşmamış olduğundan belirlenememiştir. Ancak arka yüzde yapılan ölçümler ile güçlendirilmiş elemanların referans elemanlara göre oldukça yüksek yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra uzama deformasyonlarının başladığı görülmüştür (Şekil 4.33.-4.62.). Bu sebeple deney elemanlarının iç ölçümle belirlenen arka yüzündeki deformasyona başladığı andaki yük değerleri bulunarak referans elemanlar ile karşılaştırılmıştır.

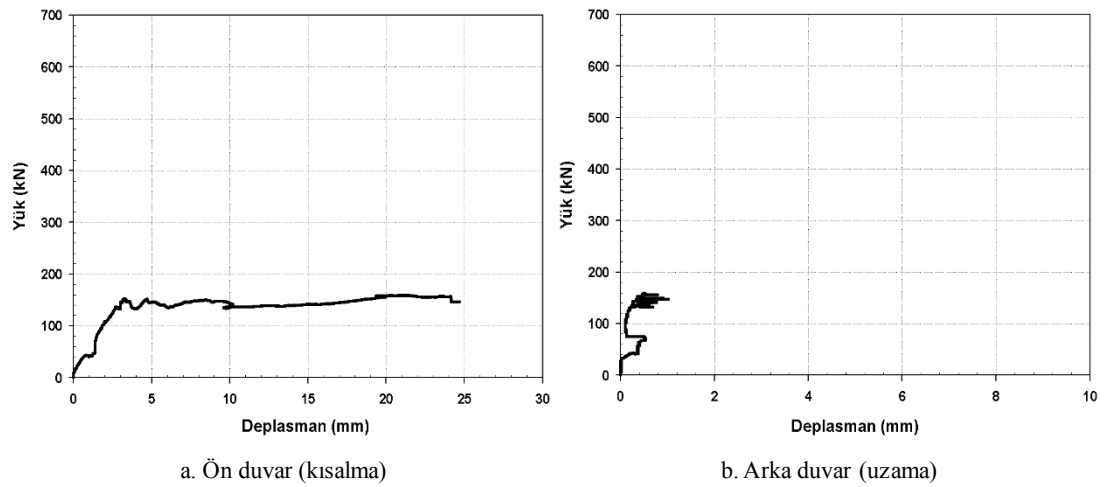
Deney elemanlarının iç ölçümler ile belirlenen ön yüzündeki deformasyonlara bağlı birim boy değişimleri (akma birim kısalmaya oranları) Tablo 4.1.'de, arka yüzündeki deformasyonların başladığı andaki yük değerleri de Tablo 4.2.'de verilmiştir.



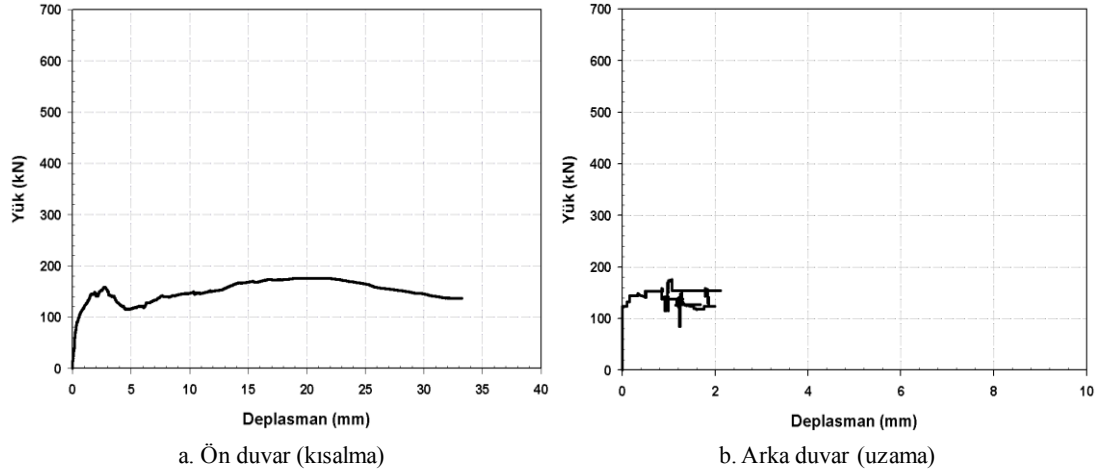
Şekil 4.33. R1 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



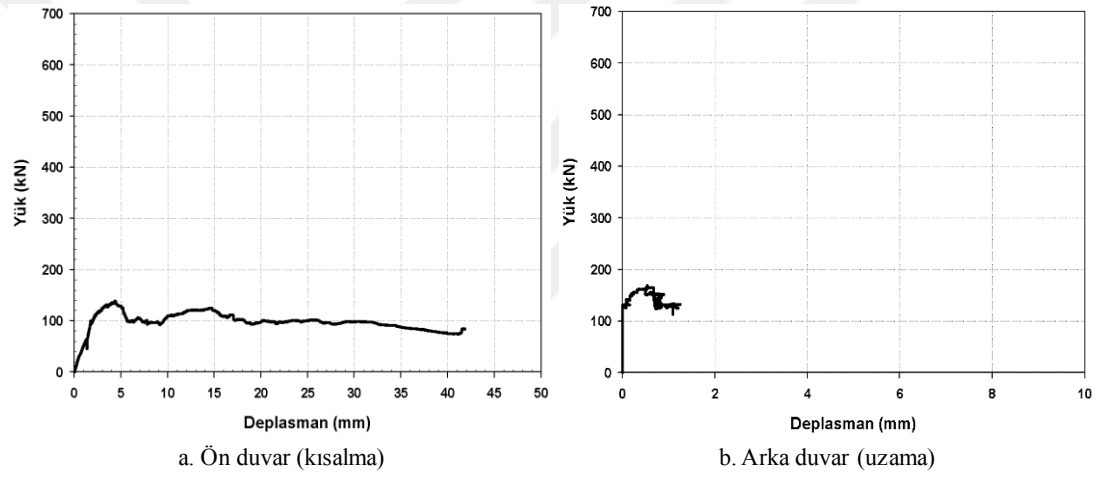
Şekil 4.34. R2 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



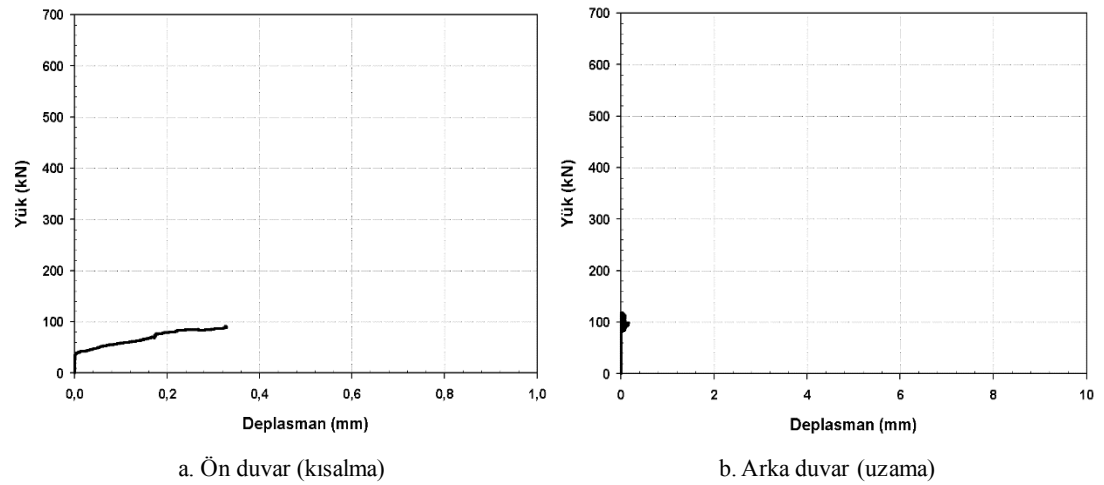
Şekil 4.35. B1,5-100 elemanının ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



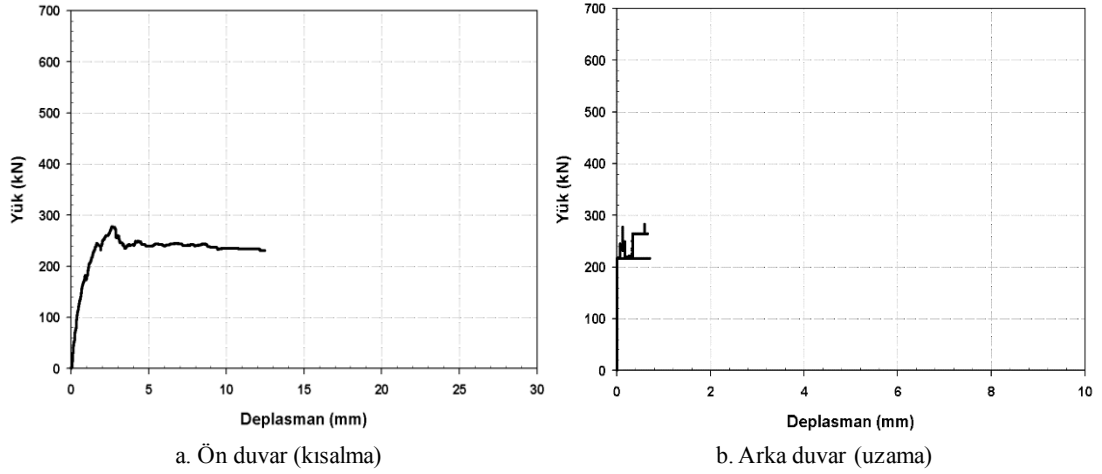
Şekil 4.36. B1,5-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



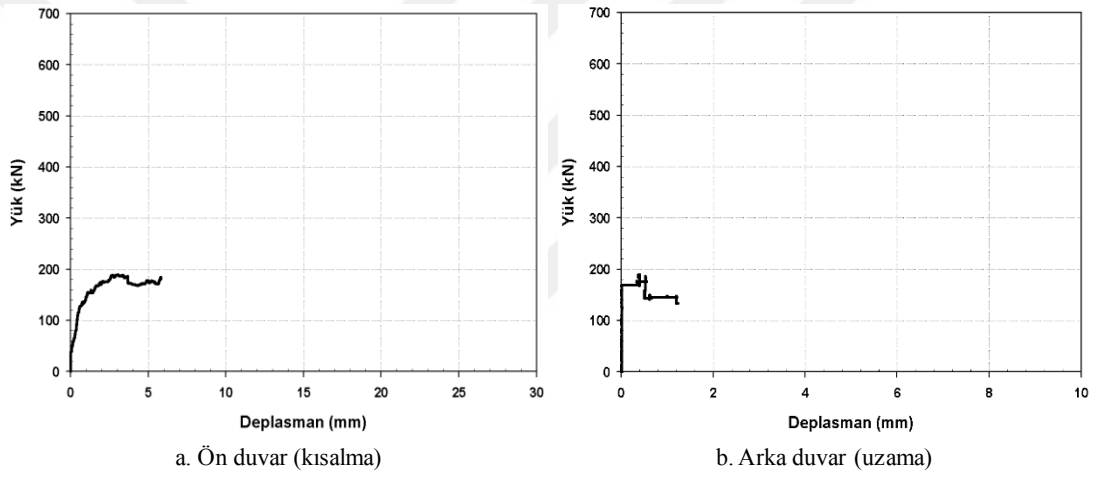
Şekil 4.37. B1,5-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



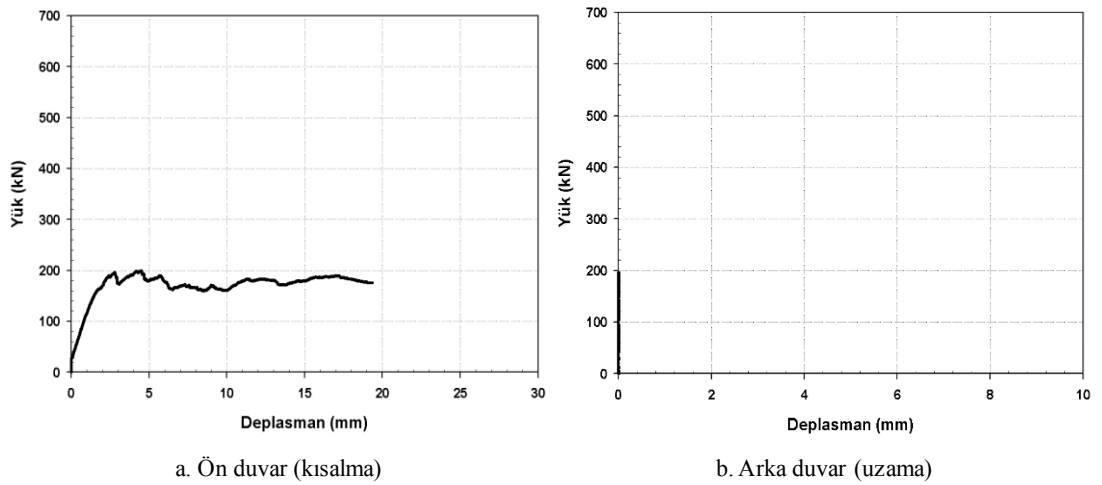
Şekil 4.38. B1,5-500 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



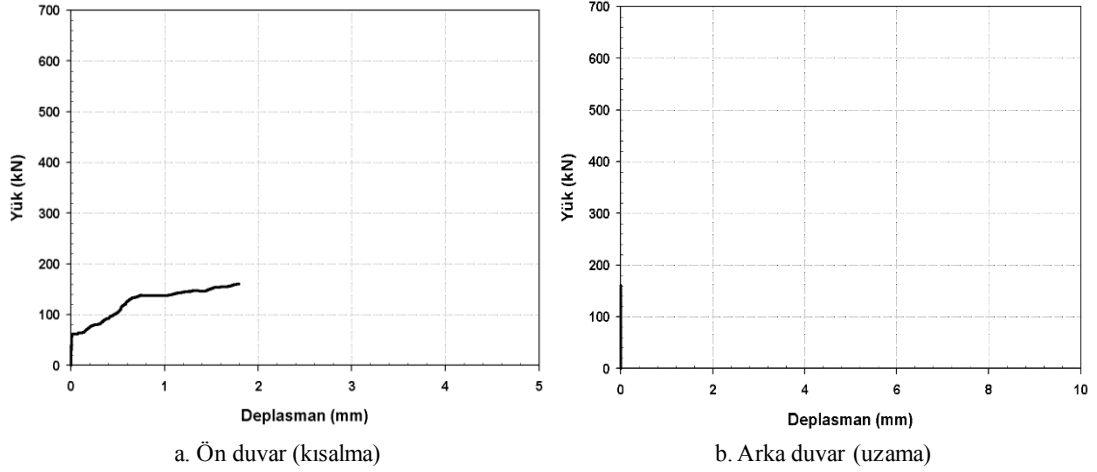
Şekil 4.39. B2,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



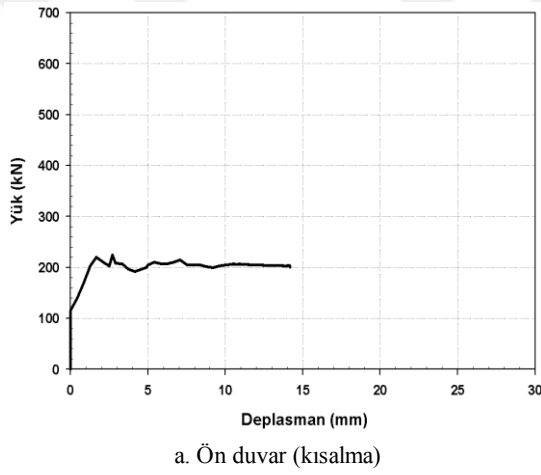
Şekil 4.40. B2,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



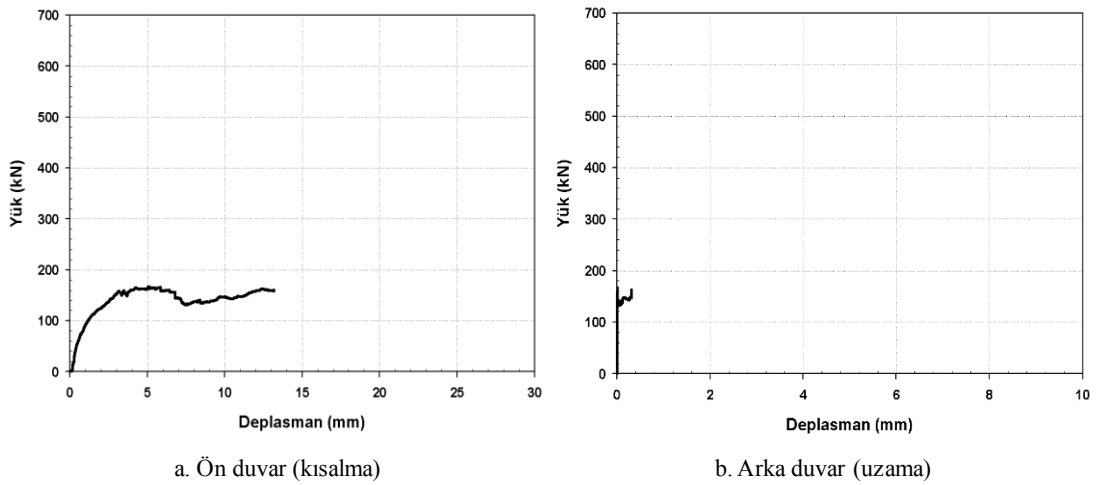
Şekil 4.41. B2,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.42. B3,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi

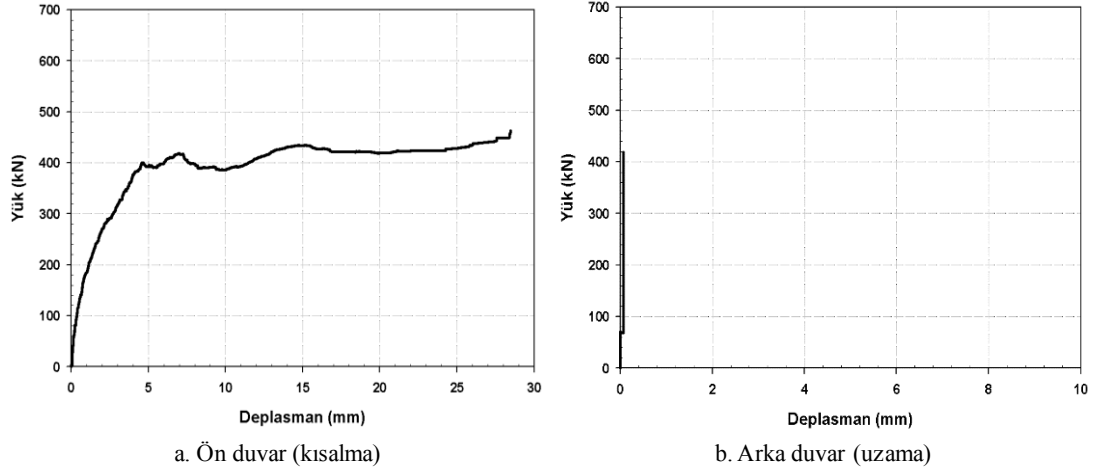


Şekil 4.43. B3,0-150 elemanın ön yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi

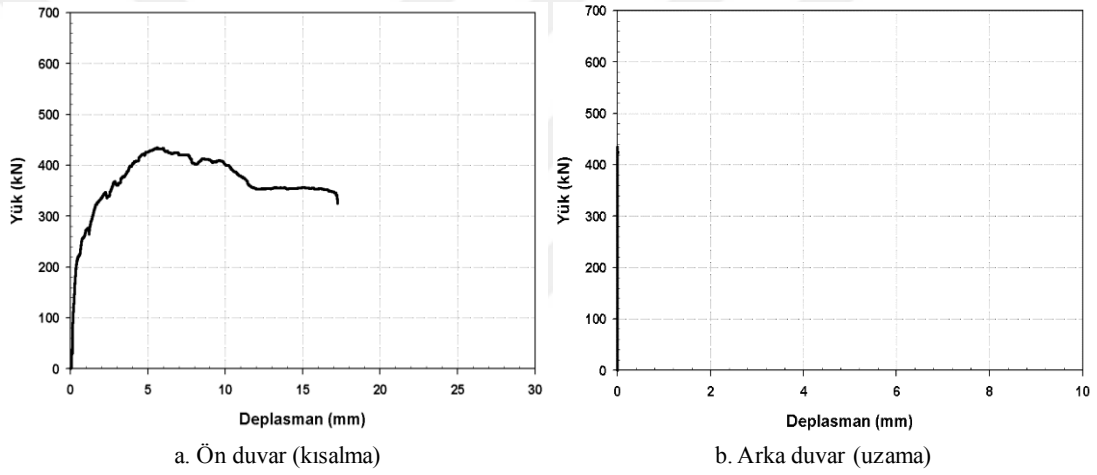


Şekil 4.44. B3,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi

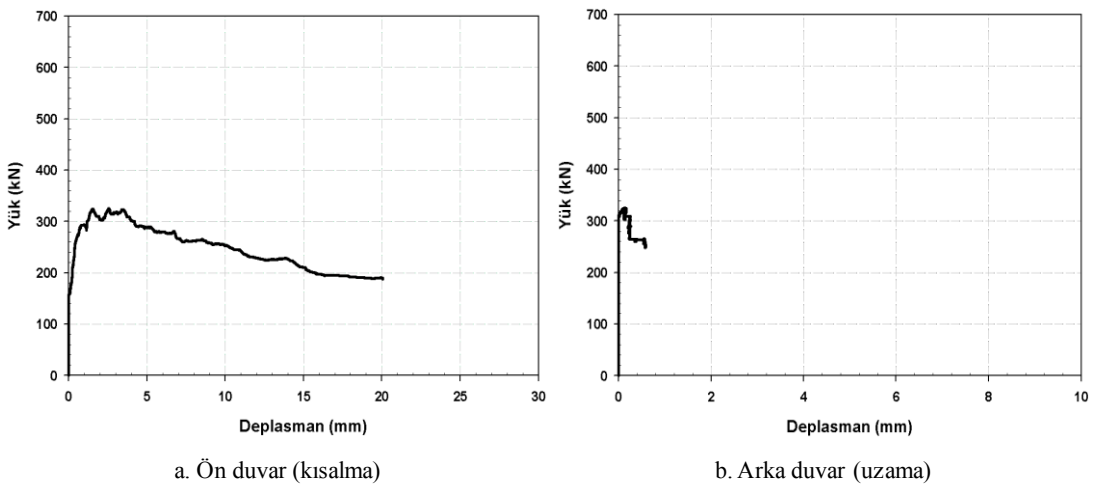




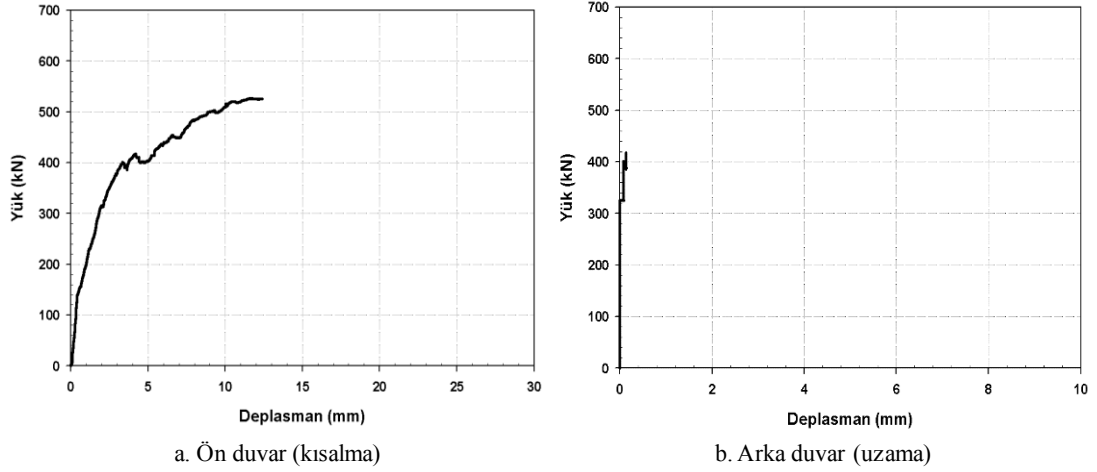
Şekil 4.45. RP1,5-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



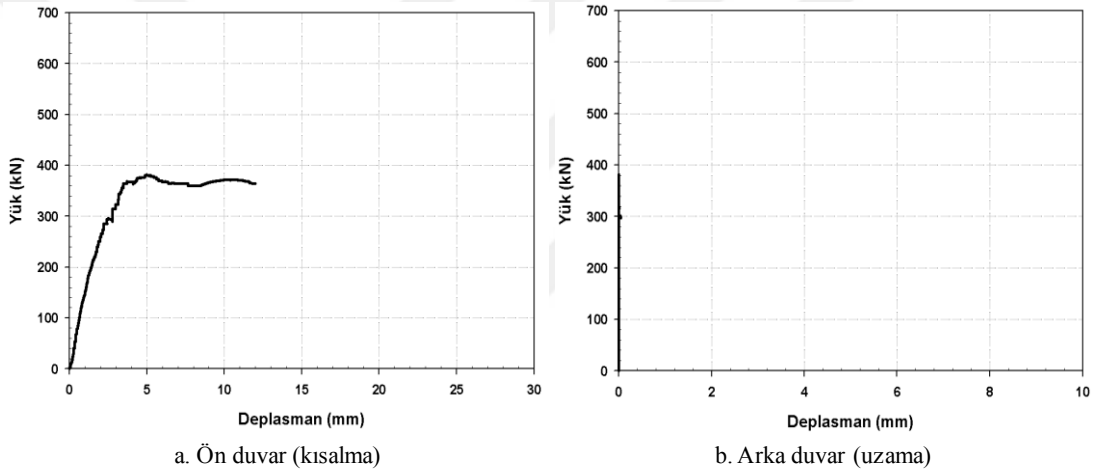
Şekil 4.46. RP1,5-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



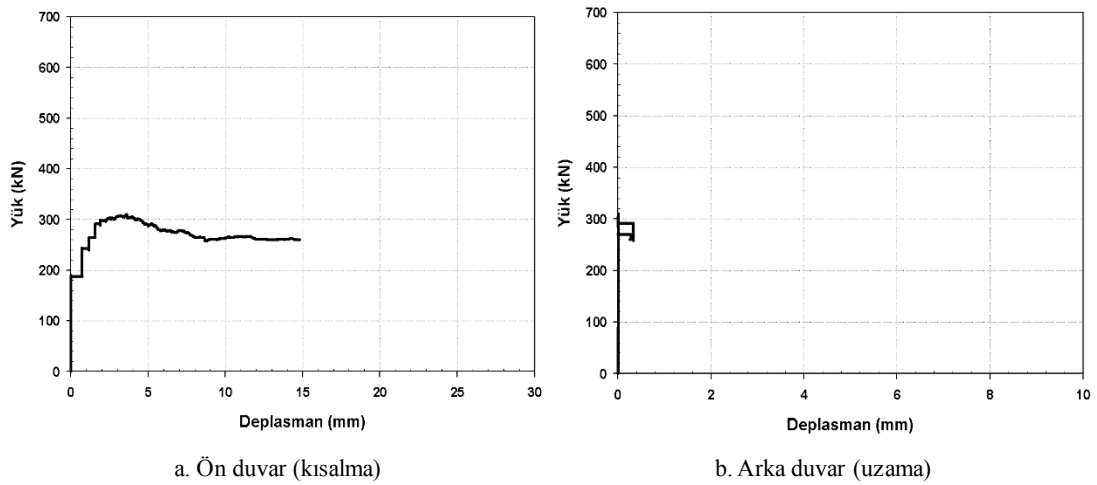
Şekil 4.47. RP1,5-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



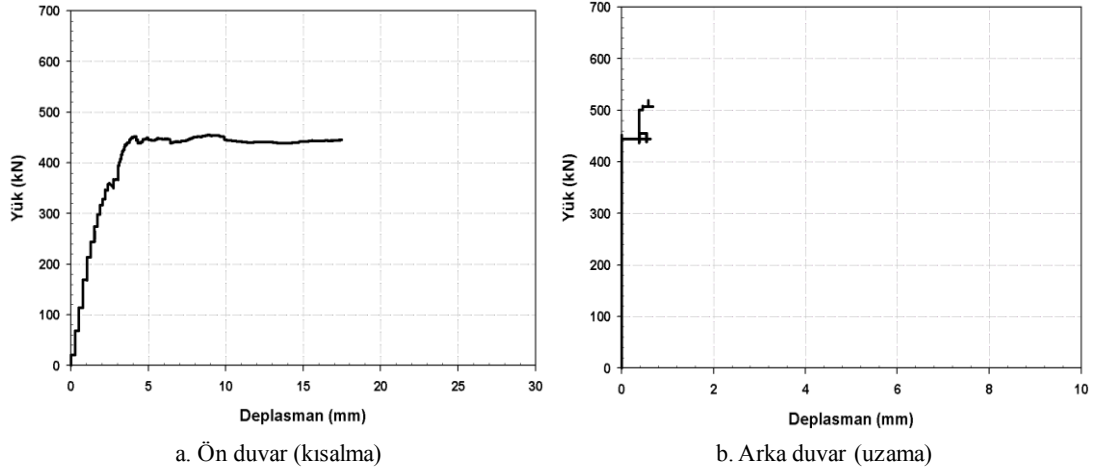
Şekil 4.48. RP2,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



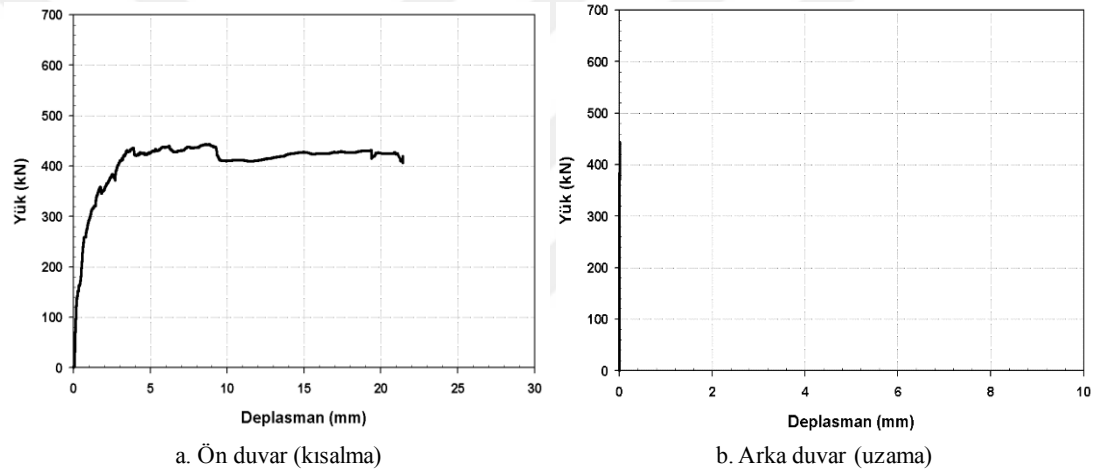
Şekil 4.49. RP2,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



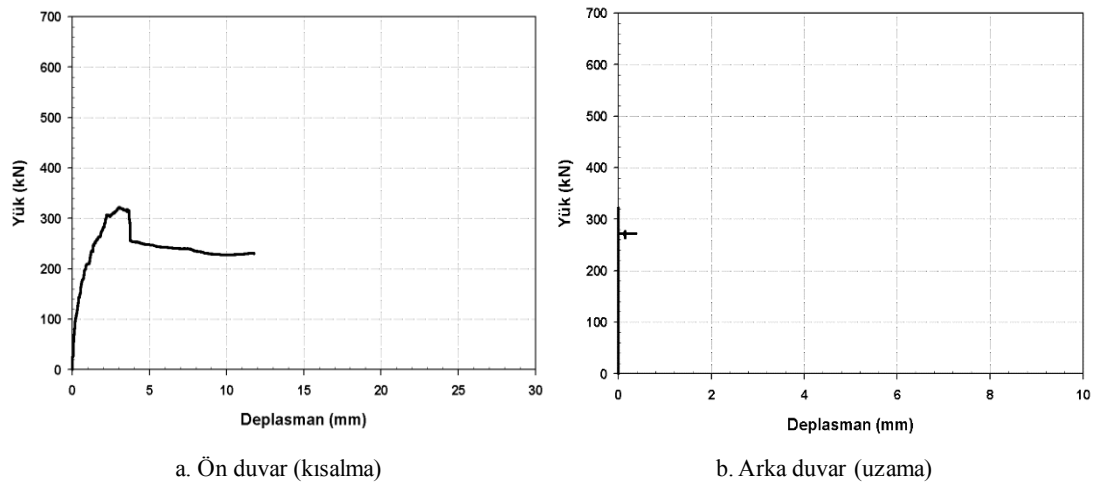
Şekil 4.50. RP2,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



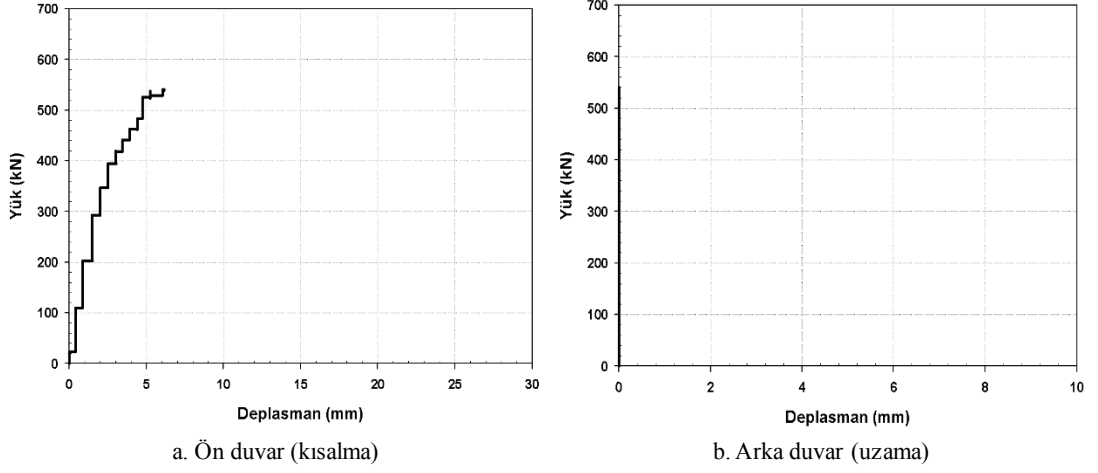
Şekil 4.51. RP3,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



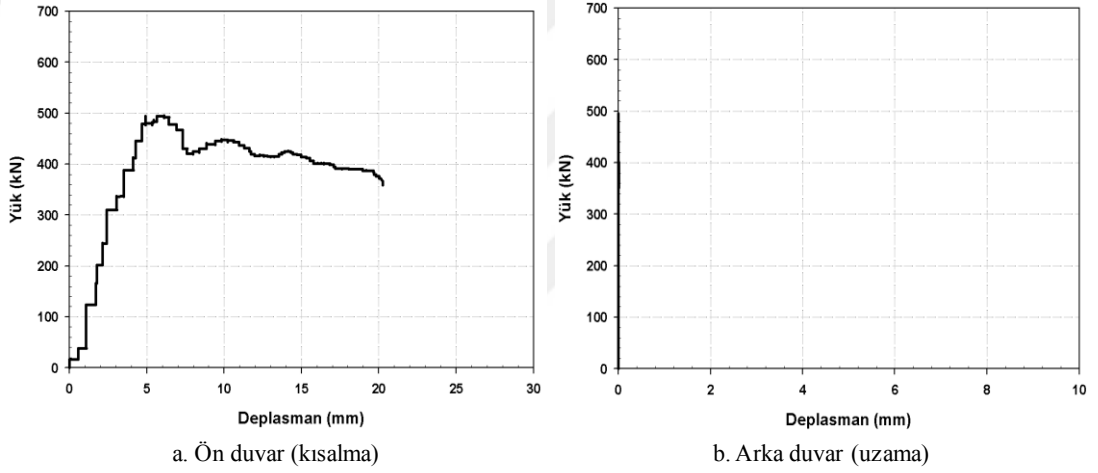
Şekil 4.52. RP3,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



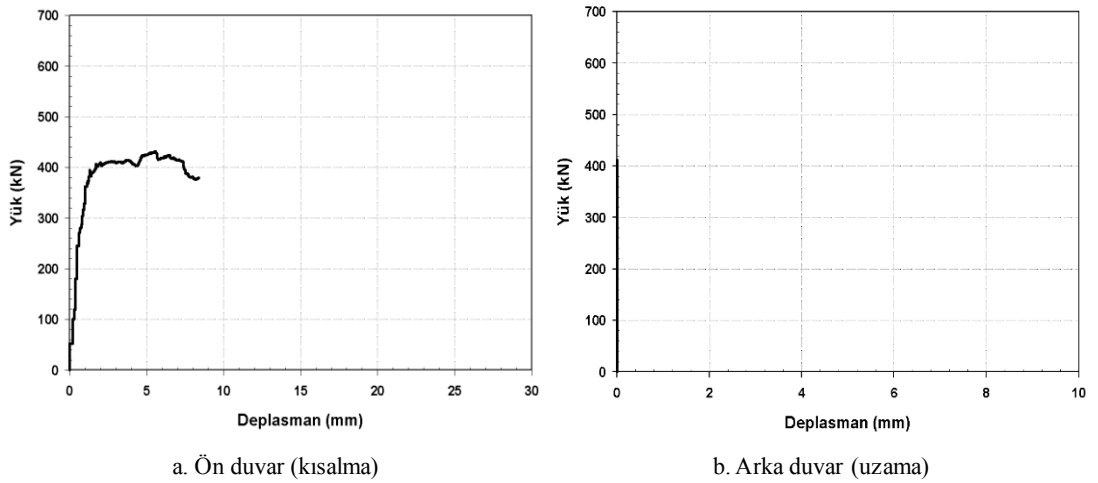
Şekil 4.53. RP3,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



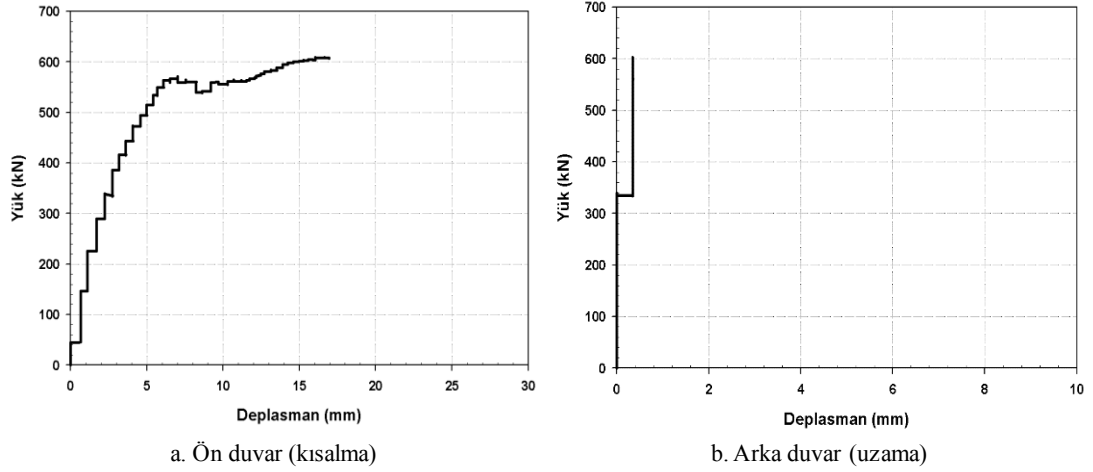
Şekil 4.54. FP1,5-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



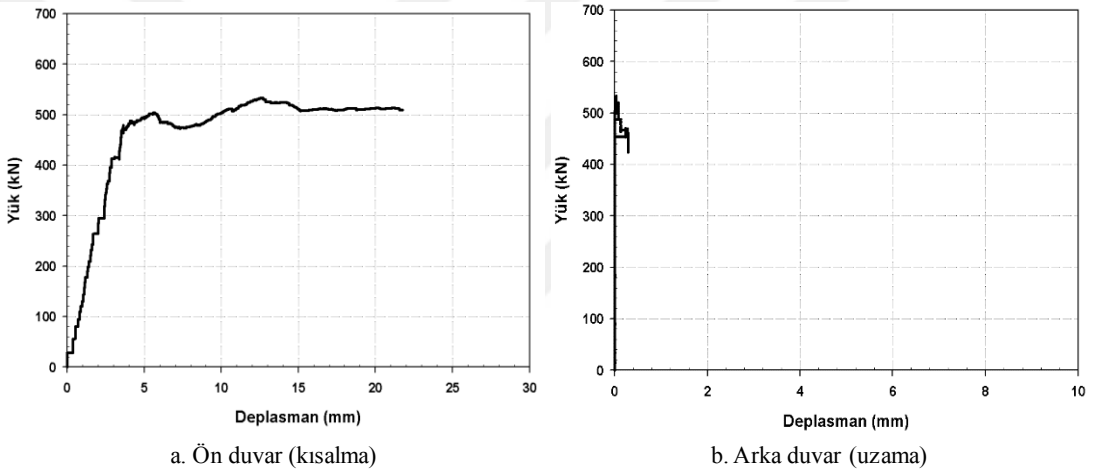
Şekil 4.55. FP1,5-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



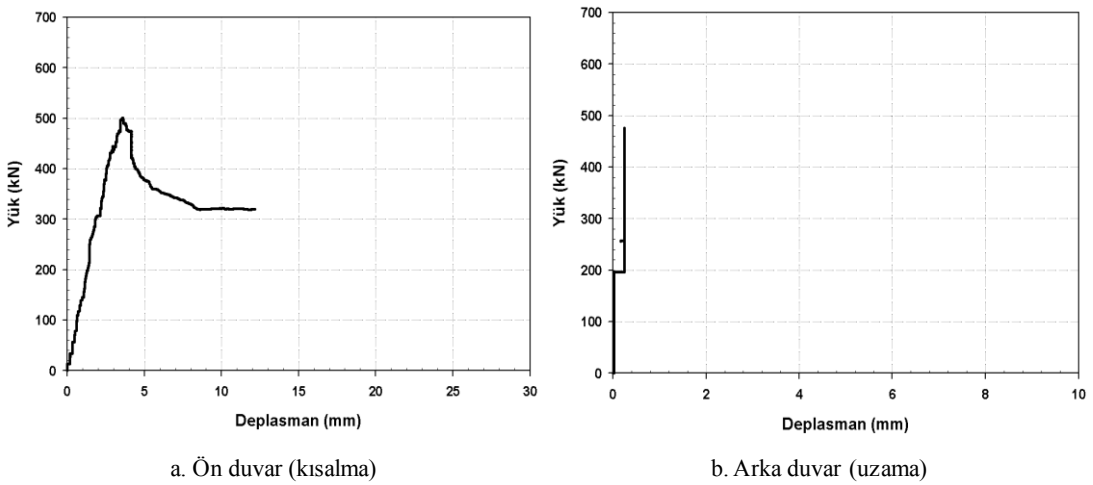
Şekil 4.56. FP1,5-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



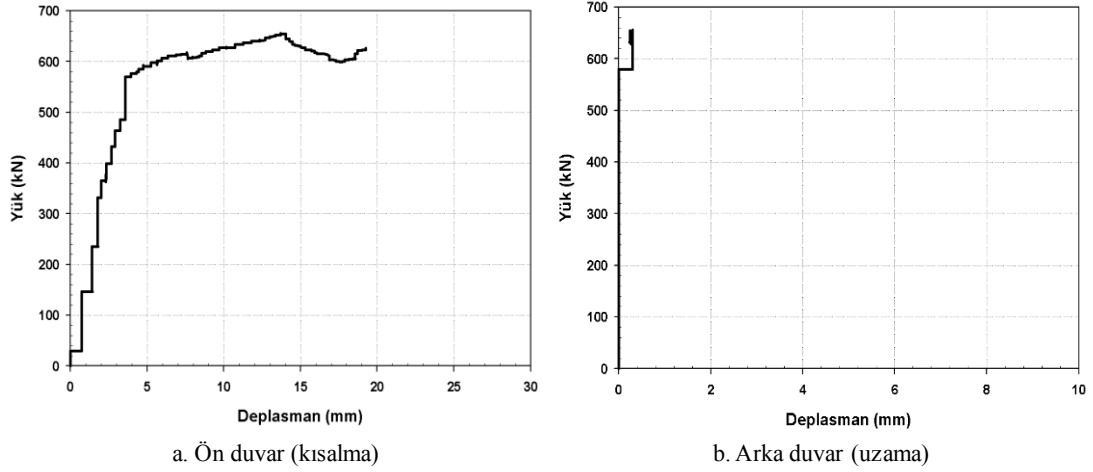
Şekil 4.57. FP2,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



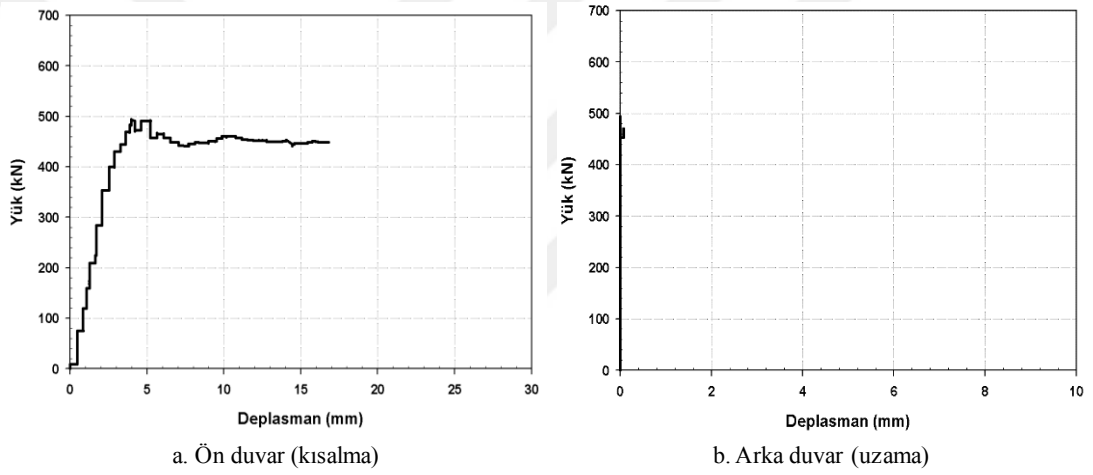
Şekil 4.58. FP2,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



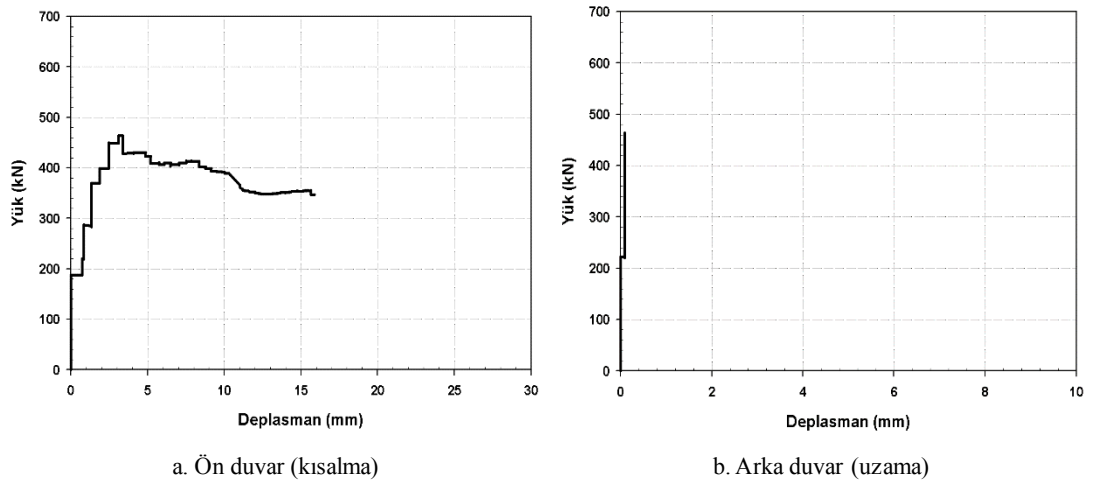
Şekil 4.59. FP2,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.60. FP3,0-100 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.61. FP3,0-150 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.62. FP3,0-200 elemanın ön ve arka yüzündeki deformasyona bağlı yük-deplasman eğrisi

Tablo 4.1. Deney elemanlarının ön yüzündeki deformasyonlara bağlı birim boy değişimleri

Eleman Grubu	Eleman	İlk boy $L_0$ (mm)	Kısalma Miktarı $\Delta L$ (mm)	Akma birim kısalma oranı $\varepsilon_y (\times 10^{-3})$	
1	R1	850	1,6	1,9	
	R2	850	1,2	1,4	
	B1,5-100	850	3,2	3,8	
	B1,5-150	850	2,0	2,4	
	B1,5-200	850	2,0	2,4	
	B1,5-500	850	-	-	
	B2,0-100	850	2,0	2,4	
	B2,0-150	850	2,0	2,4	
	B2,0-200	850	2,0	2,4	
	B3,0-100	850	>2,0	>2,4	
	B3,0-150	850	2,2	2,6	
	B3,0-200	850	2,0	2,4	
	2	RP1,5-100	850	4,3	5,1
		RP1,5-150	850	3,8	4,5
RP1,5-200		850	1,4	1,7	
RP2,0-100		850	3,8	4,5	
RP2,0-150		850	3,7	4,4	
RP2,0-200		850	2,5	2,9	
RP3,0-100		850	3,6	4,2	
RP3,0-150		850	3,2	3,8	
RP3,0-200		850	2,4	2,8	
3		FP1,5-100	850	4,7	5,5
	FP1,5-150	850	4,2	4,9	
	FP1,5-200	850	2,0	2,4	
	FP2,0-100	850	5,0	5,9	
	FP2,0-150	850	3,8	4,5	
	FP2,0-200	850	3,4	4,0	
	FP3,0-100	850	3,6	4,2	
	FP3,0-150	850	3,4	4,0	
	FP3,0-200	850	2,8	3,3	

Tablo 4.1.' e göre güçlendirilmiş deney elemanlarının referans elemanlara göre akma birim kısalma oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. Referans elemanların akma birim kısalma oranı  $1,9 \times 10^{-3}$  ve  $1,4 \times 10^{-3}$  olarak belirlenmiştir. 1. grupta yer alan güçlendirilmiş elemanlarda birim kısalma oranlarının  $3,8 \times 10^{-3}$ , 2. grupta  $5,1 \times 10^{-3}$ , 3. grupta  $5,9 \times 10^{-3}$  e kadar arttığı görülmektedir. B1,5-500 deney elemanı için LVDT ile yeterli ölçüm yapılamamış ve akma birim kısalma oranı belirlenememiştir. B3,0-100 deney elemanı için de yaklaşık 2,0 mm deplasmana kadar okuma alınabilmiş ve bu deney elemanı akmaya ulaşmadan sonlandırılmıştır.

Tablo 4.2. Deney elemanlarının arka yüzündeki deformasyonların başladığı andaki yük değerleri

Eleman Grubu	Eleman	İlk boy $L_0$ (mm)	Deformasyona başladığı andaki yük değeri (kN)	
1	R1	850	95	
	R2	850	60	
	B1,5-100	850	-	
	B1,5-150	850	130	
	B1,5-200	850	130	
	B1,5-500	850	120	
	B2,0-100	850	220	
	B2,0-150	850	170	
	B2,0-200	850	200	
	B3,0-100	850	>160	
	B3,0-150	850	-	
	B3,0-200	850	170	
	2	RP1,5-100	850	>420
		RP1,5-150	850	>430
RP1,5-200		850	320	
RP2,0-100		850	400	
RP2,0-150		850	>380	
RP2,0-200		850	310	
RP3,0-100		850	450	
RP3,0-150		850	>440	
RP3,0-200		850	320	
3	FP1,5-100	850	>540	
	FP1,5-150	850	>500	
	FP1,5-200	850	>410	
	FP2,0-100	850	>600	
	FP2,0-150	850	535	
	FP2,0-200	850	>480	
	FP3,0-100	850	>660	
	FP3,0-150	850	>495	
	FP3,0-200	850	>465	

Tablo 4.2.' de verilen sonuçlar incelendiğinde, güçlendirilmiş elemanların referans elemanlara göre arka yüzdeki deformasyona başladığı andaki yük değerlerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Referans elemanların deformasyona başladığı andaki yük değerleri 60 kN ve 95 kN olduğu görülmüştür. 1. grupta yer alan güçlendirilmiş elemanlarda ise deformasyona başladığı yük değeri 220 kN, 2. grupta 450 kN, 3. grupta ise 660 kN'a kadar arttığı belirlenmiştir.



## BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1. Genel Değerlendirme

Referans numunelerinde (R1 ve R2) tuğla dolgu duvarda ana diyagonal gerilme çatlakları oluştuğundan hemen sonra duvar aniden çökmüştür (Resim 5.1.). Resim 5.1a.'da açıkça görüldüğü üzere, bu çatlak duvarın kayma açısından zayıf bölgeleri olan tuğlalar arasındaki harç birleşimleri boyunca yayılmıştır. Referans duvarları oldukça sınırlı sünek davranış sergilemiş ve deneyin sonuna kadar sağlam kalamamıştır (Resim 5.1b.). R1 ve R2'nin, yüklenen diyagonal boyunca kısılması, çöküşte 100 mm'nin altında kalmıştır.



a. R1 deney elemanı

b. R2 deney elemanı

Resim 5.1. Referans deney elemanlarının deney sonu hasar durumu

Referans numunelerinin ani ve kırılğan çöküşlerinin aksine, güçlendirilmiş duvarlar sünek bir davranış sergilemiş ve nihai eğilme noktasına kadar parçalanmamışlardır (Resim 5.2a.). Diyagonal tekdüze yüklerin genişletilmiş çelik levhalarla

güçlendirilmiş duvarların davranışları üzerinde üç farklı etkisi vardır. İlk olarak, bilindiği üzere duvara iletilen diyagonal yüklere dik doğrultuda duvarda çekme gerilmeleri oluşur. Genişletilmiş çelik levhalar bu çekme gerilmelerini karşılayarak tuğla duvarın hasar almasını azaltır. İkinci olarak, güçlendirilmiş çelik levhalar tuğla dolgu duvarda sargılama etkisi yaparak duvarın mekanik özelliklerini iyileştirir. Üçüncü olarak, genişletilmiş çelik levhalar sıva ile mükemmel aderans sağlayarak gevrek davranış gösteren tuğla dolgu duvarların sünek davranış göstermelerini sağlar.

Güçlendirilmiş duvarda, tekdüze yükleme sonucunda diyagonal doğrultuya dik doğrultuda meydana gelen çekme gerilmesi nedeniyle elemanda hasar meydana gelmemiştir. Duvarların uygulanan yük doğrultusundaki köşelerinde ezilmeler, levhada ise buruşmalar meydana gelmiş ancak duvar bütünlüğünü koruyarak yük taşıma kapasitesi devam etmiştir (Resim 5.2b.).



a. Genel hasar durumu

b. Köşe hasar durumu

Resim 5.2. Güçlendirilmiş deney elemanlarının deney sonu hasar durumu

Duvarda meydana gelen diyagonal gerilme çatlaklarının genişliği ve uzunluğu, genişletilmiş çelik levhalar ile sınırlanmıştır.

## 5.2. Temel Ölçütlere Göre Değerlendirmeler

Bu bölümde, 3. Bölümde anlatılan deney sistemi ve yöntemi ile 4. Bölümde anlatılan deneyler sonucunda elde edilen bilgiler değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; deney elemanlarının taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesi değerleri ve göreceli oranları karşılaştırmalı olarak tablo ve grafiklerle desteklenerek sunulmuştur.

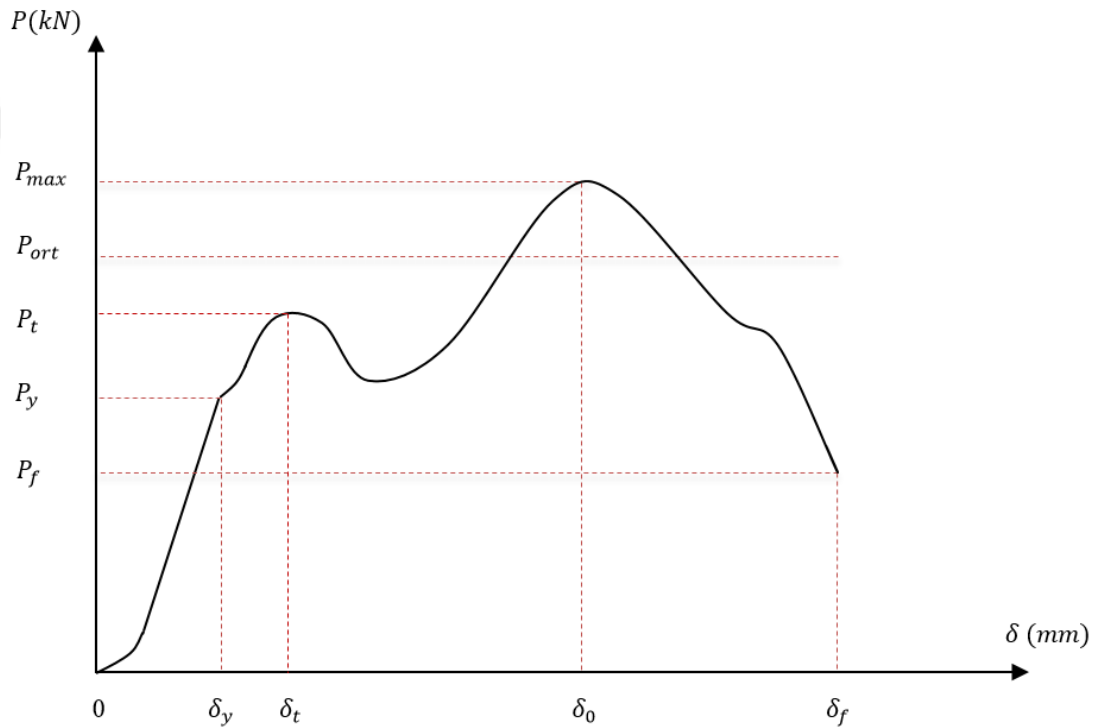
### 5.2.1. Taşıma gücü

Bu çalışma kapsamında uygulanan güçlendirme yöntemi, tuğla dolgu duvarların taşıma gücüne üç farklı katkı yapmıştır.

- a. Genişletilmiş çelik levhalar, tuğla dolgu duvarda yanal yükler altında ortaya çıkan diyagonal yöndeki çekme gerilmelerini karşılayarak duvarın çatlamasından sonra dahi taşıdığı yükün artmasını sağlamıştır.
- b. 6 mm çapında bulonlar ile ankrajlanan genişletilmiş çelik levhalar üzerinden verilen 3 N.m burulma momentinin oluşturduğu yanal basıncın da duvar üzerindeki sargılama etkisi nedeniyle duvarın basınç dayanımını ve bu sayede taşıma gücünü artırmıştır.
- c. Geometrik yapısı sebebiyle bulonlar ile ankrajlanan genişletilmiş çelik levhaların yüzeyine uygulanan sıva, tuğla duvar ile aderansını mükemmel şekilde sağlayarak kompozit malzeme gibi davranmasını ve bu sayede güçlendirilmiş duvarın mekanik özelliklerinin artmasını sağlamıştır.

Deney düzeneğinde 250 mm deplasman değeri dikkate alınarak akmanın başladığı andaki deplasman değeri ( $\delta_y$ ) ile maksimum deplasman değeri ( $\delta_f$ ) arasındaki deplasmanlara karşılık gelen taşıma yüklerinin aritmetik ortalaması ( $P_{ort}$ ) güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü olarak kabul edilmiştir. Referans elemanların (R1 ve R2) taşıma gücü olarak maksimum taşıma gücü ( $P_{max}$ ) alınmıştır.

Deney elemanlarının taşıma gücü bulunurken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi Şekil 5.1.'de verilmiştir. Şekil 5.1.'de ayrıca akma anındaki taşıma gücü ( $P_y$ ), deneyin ilk tepe noktasına ait taşıma gücü ( $P_t$ ), maksimum taşıma gücü ( $P_{max}$ ), ortalama taşıma gücü ( $P_{ort}$ ), deneyin son deplasman anındaki taşıma gücü ( $P_f$ ), akmanın başladığı andaki deplasman değeri ( $\delta_y$ ), deneyin ilk tepe noktasındaki yüke ait deplasman değeri ( $\delta_t$ ), maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri ( $\delta_0$ ), maksimum deplasman değeri ( $\delta_f$ ) gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma gücü bulunurken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

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

Tablo 5.1. Deney elemanlarının deneysel taşıma güçleri ve göreceli taşıma gücü oranları

Deney Elemanları	$P_y$ (kN)	$P_t$ (kN)	$P_{max}$ (kN)	$P_f$ (kN)	Taşıma Gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı
R1	87	98	136	9	136	-
R2	110	117	117	6	117	-
B1,5-100	135	155	183	182	148	1,2
B1,5-150	141	160	176	119	141	1,1
B1,5-200	130	170	170	124	141	1,1
B1,5-500	90	97	120	67	120	0,9
B2,0-100	240	280	283	230	252	2,0
B2,0-150	153	190	189	122	165	1,3
B2,0-200	170	200	199	77	164	1,3
B3,0-100	214	250	343	343	268	2,1
B3,0-150	207	220	220	168	205	1,6
B3,0-200	148	167	167	116	139	1,1
RP1,5-100	373	420	488	394	421	3,3
RP1,5-150	373	435	435	284	372	2,9
RP1,5-200	290	323	323	158	276	2,2
RP2,0-100	377	420	563	526	489	3,9
RP2,0-150	368	381	381	280	332	2,6
RP2,0-200	278	310	310	262	271	2,1
RP3,0-100	425	450	550	517	487	3,8
RP3,0-150	420	435	443	369	410	3,2
RP3,0-200	300	321	321	263	271	2,1
FP1,5-100	445	540	591	361	526	4,2
FP1,5-150	493	495	495	280	418	3,3
FP1,5-200	392	410	431	222	367	2,9
FP2,0-100	408	560	661	654	570	4,5
FP2,0-150	460	505	533	466	488	3,9
FP2,0-200	471	501	501	186	366	2,9
FP3,0-100	418	600	676	664	516	4,1
FP3,0-150	423	490	490	437	459	3,6
FP3,0-200	375	464	464	348	396	3,1

Tablo 5.1.'deki göreceli taşıma gücü oranları, güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü değerlerinin, R1 ve R2'nin ortalama taşıma gücü oranına karşılık gelmektedir. Örneğin, RP2,0-100 deney elemanının göreceli taşıma gücü oranı, Denklem 5.1'de hesaplanmıştır.

$$RP2,0 - 100_{G.T.G.O.} = \left[ 489 / \left( (136 + 117) / 2 \right) \right] = 3,87 \cong 3,9 \quad (5.1)$$

Tablo 5.1.'de, B1,5-500 elemanı dışında güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü, referans elemanların ortalama taşıma gücünün 1,1-4,5 katına ulaştığını göstermektedir. Güçlendirilmiş diğer numunelere kıyasla çok daha az bulona sahip (9 adet) olan B1,5-500, referans elemanların ortalama taşıma gücünün yaklaşık %90'ı kadar bir taşıma gücü değerine ulaşmıştır. Tablo 5.1.'deki deney elemanlarının taşıma gücü değerleri, genişletilmiş çelik levhaları duvara bağlayan bulonların sayısının taşıma gücü kapasitesine önemli bir katkısı olduğunu göstermektedir. Eşdeğer levha kalınlığı ve levha konumu için, bulon aralığı 100 mm olan güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü değerleri, bulon aralığı 200 mm olan deney elemanlarından yaklaşık %5 - %93 arasında daha yüksektir. Benzer şekilde, 150 mm bulon aralıklı elemanların taşıma gücü değerleri, 200 mm bulon aralığı olan elemanlardan yaklaşık %52'ye kadar daha fazladır.

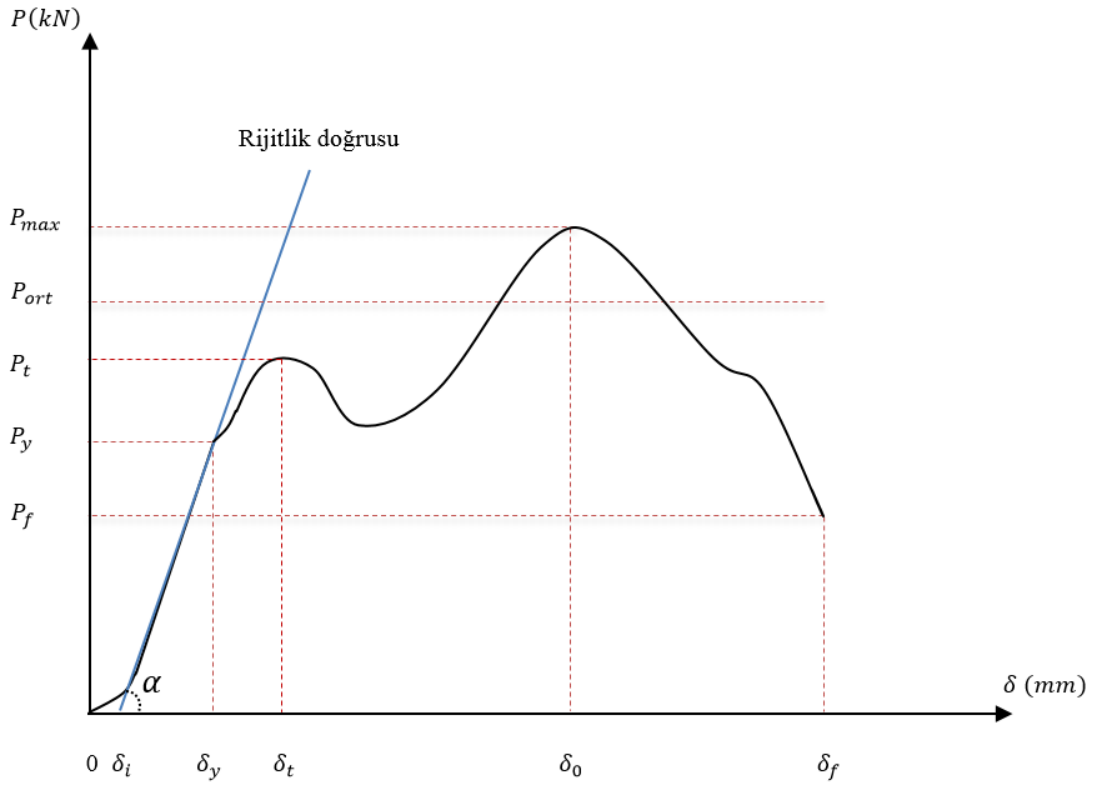
Genel olarak, artan bulon aralıkları ile birlikte yük kapasitesindeki azalma, daha kalın güçlendirme levhaları (2 mm ve 3 mm levhalar) kullanılan deney elemanlarında daha da dikkat çekicidir. Bulon aralığı 100 mm den 200 mm ye arttığında; taşıma gücü değeri 1,5 mm levha kalınlığında yaklaşık %35, 2,0 mm levha kalınlığında yaklaşık %45 ve 3,0 mm levha kalınlığında ise yaklaşık %48'lere varan taşıma gücü kaybı meydana gelmiştir. Bu durum, bir duvar daha kalın levhalar ile güçlendirildiğinde levhalar ve duvar arasındaki bileşik eylemin daha zorlaşacağı gerçeğine bağlanabilir.

### 5.2.2. Rijitlik

Güçlendirme işlemleri aynı zamanda dolgu duvarların rijitliklerini artırmayı da hedefler, böylece yapının toplam yanal rijitliği de artmış olur. Bu artış, farklı yapısal deprem yönetmelikleri tarafından da istenildiği gibi bir yapının yanal ötelenme değerlerini azaltacaktır.

Deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri bulunurken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi Şekil 5.2.'de verilmiştir. Bu şekilde başlangıç rijitliği ( $\alpha$ ), akma anındaki taşıma gücü ( $P_y$ ), deneyin ilk tepe noktaya ait taşıma gücü ( $P_t$ ), maksimum taşıma gücü ( $P_{max}$ ), ortalama taşıma gücü ( $P_{ort}$ ), deneyin son deplasman anındaki

taşıma gücü ( $P_f$ ), rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değeri ( $\delta_i$ ), akmanın başladığı andaki deplasman değeri ( $\delta_y$ ), deneyin ilk tepe noktasındaki yükse ait deplasman değeri ( $\delta_t$ ), maksimum taşıma gücüne ulaştığı andaki deplasman değeri ( $\delta_0$ ) ve maksimum deplasman değeri ( $\delta_f$ ) verilmiştir.



Şekil 5.2. Deney elemanlarının rijitlik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

Bu çalışmada deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri, akma yükünün, akma yükü anındaki diyagonal boyunca meydana gelen kısalmaya oranından hesaplanmıştır. Akma yükü, yük-eğilme eğrisinin başlangıç elastik doğrusunun sonlandığı yük değerine karşılık gelir ve levhalardaki akma başlangıcına bağlı olarak yükte aniden hafif bir azalma gerçekleşir. Referans elemanlarda ise akma meydana gelmediğinden bu numunelerin başlangıç rijitlik değerleri yük-eğilme eğrisinin başlangıç doğrusal eğiminden hesaplanmıştır. Tablo 5.2.'de verilen akma deformasyonu ( $\overline{\delta}_y$ ) Denklem 5.2 ile başlangıç rijitliği Denklem 5.3 ile hesaplanmıştır.

$$\overline{\delta}_y = \delta_y - \delta_i \quad (5.2)$$

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

Deney numunelerinin akma yükü değerleri ( $P_y$ ) kN cinsinden, akmanın başladığı andaki deplasman değerleri ( $\delta_y$ ) mm cinsinden, rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değerleri ( $\delta_i$ ) mm cinsinden, akma deformasyon değerleri ( $\overline{\delta}_y$ ) mm cinsinden, başlangıç rijitlikleri kN/mm cinsinden ve göreceli rijitlik oranları Tablo 5.2.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Deney elemanlarının başlangıç rijitlik ve göreceli rijitlik oranları

Deney Elemanı	$P_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_i$ (mm)	$\overline{\delta}_y$ (mm)	Rijitlik (kN/mm)	Göreceli Rijitlik Oranı
R1	-	-	-	-	9,7	-
R2	-	-	-	-	5,0	-
B1,5-100	135	23	1	22	6,1	0,8
B1,5-150	141	23	3	20	7,1	1,0
B1,5-200	130	14	2	12	10,8	1,5
B1,5-500	90	11	1	10	9,0	1,2
B2,0-100	240	25	10	15	16,0	2,2
B2,0-150	153	18	6	12	12,8	1,7
B2,0-200	170	18	4	14	12,1	1,6
B3,0-100	214	20	3	17	12,6	1,7
B3,0-150	207	28	8	20	10,4	1,4
B3,0-200	148	17	4	13	11,4	1,6
RP1,5-100	373	32	4	28	13,3	1,8
RP1,5-150	373	29	8	21	17,8	2,4
RP1,5-200	290	16	2	14	20,7	2,8
RP2,0-100	377	22	3	19	19,8	2,7
RP2,0-150	368	25	3	22	16,7	2,3
RP2,0-200	278	21	5	16	17,4	2,4
RP3,0-100	425	29	6	23	18,5	2,5
RP3,0-150	420	26	5	21	20,0	2,7
RP3,0-200	300	25	2	23	13,0	1,8
FP1,5-100	445	25	10	15	29,7	4,0
FP1,5-150	493	40	9	31	15,9	2,2
FP1,5-200	392	29	9	20	19,6	2,7
FP2,0-100	408	23	6	17	24,0	3,3
FP2,0-150	460	35	11	24	19,2	2,6
FP2,0-200	471	35	4	31	15,2	2,1
FP3,0-100	418	32	13	19	22,0	3,0
FP3,0-150	423	26	4	22	19,2	2,6
FP3,0-200	375	33	11	22	17,0	2,3



Tablo 5.2.'deki göreceli rijitlik oranları, güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlik değerlerinin, R1 ve R2'nin ortalama rijitlik oranına karşılık gelmektedir. Örneğin, B2,0-150 deney elemanının göreceli rijitlik oranı, Denklem 5.4'te hesaplanmıştır.

$$B2,0 - 150_{G.R.O.} = [12,8 / ((9,7 + 5) / 2)] = 1,74 \cong 1,7 \quad (5.4)$$

Tablo 5.2.'de, B1,5-100 ve B1,5-150 elemanı dışında güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlik değerleri, referans elemanların ortalama rijitlik değerlerinin 1,2-4,0 katına ulaştığını göstermektedir. Bu elemanlar arasında FP1,5-100 elemanının maksimum rijitliğe ulaştığı görülmektedir. B1,5-100 ve B1,5-150 elemanı, referans elemanların ortalama rijitlik değerinin sırasıyla %80 ve %100'ü kadar bir rijitlik değerine ulaşmıştır.

Tablo 5.2.'deki özellikle levhaların konumunun güçlendirilmiş deney elemanlarının rijitlik değerleri üzerinde önemli bir katkısı olduğunu göstermektedir. Levha kalınlığı ve bulon aralığının güçlendirilmiş deney elemanları üzerinde katkısı daha sınırlı olmuştur.

Eşdeğer levha kalınlığı ve bulon aralığı için levhaların kaba sıva üzerine uygulanarak güçlendirilen elemanlar (RP), levha konumu tuğla duvar üzerine uygulanarak güçlendirilen elemanlardan (B), yaklaşık %14 - %150 arasında daha yüksektir. Benzer şekilde levhaların bitmiş ince sıva üzerine uygulanarak güçlendirilen elemanlar (FP), levha konumu tuğla duvar üzerine uygulanarak güçlendirilen elemanlardan (B) tutarlı artış sağlamasa da yaklaşık %123'e kadar daha fazladır.

### 5.2.3. Süneklik

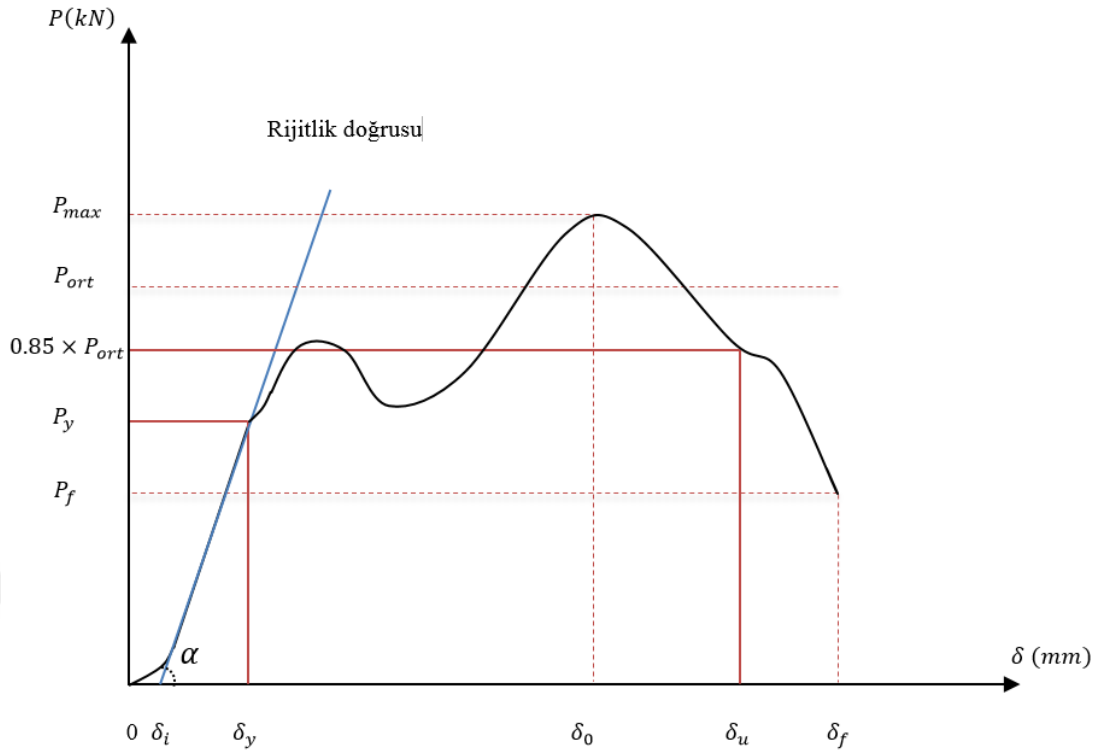
Yapı ve elemanlarının deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin büyük bir bölümünü, mukavemetinde önemli kayıplarla, kararsız denge hali olmaksızın büyük şekil değiştirme ve elastik olmayan davranışla yutma yeteneğine süneklik denir (DBYBHY, 2007). Süneklik oranı ise elemanın dayanımının %15 değer kaybettiği andaki deformasyon değerinin akmanın başladığı andaki deformasyon değerine oranıdır.

Yapıların deprem gibi büyük dinamik etkiler altında yeterli düzeyde sünek davranabilmeleri ve yapıların aniden yıkılmasını önleyerek yapıları boşaltılabilmesi için yeterli zamanın olması oldukça önemlidir. Bu amaçla, yapıların güçlendirme çalışmalarında amaçlanan dayanımın yanı sıra istenilen düzeyde sünek davranmalarının da sağlanması gereklidir.

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

Aykaç ve ark. (2014), yük-deplasman eğrisinin sonundaki nihai yükün %85'indeki deplasmanın, Eurocode 8 (CEN 2003) tanımına göre delikli sac levhaların akma başlangıçlarındaki deplasmana oranından güçlendirilmiş dolgu duvarların süneklik oranlarını hesaplamışlardır. Bununla birlikte, numunelerin çoğunda uygulanan yük, hidrolik krikonun strok sınırları (250 mm) içinde eğrinin azalan kolundaki nihai yükün %85'ine düşmediğinden bu tanım bu güçlendirme çalışmasında kullanılamazdı. Bu nedenle, deney elemanlarının süneklik değerleri, ortalama yükün ( $P_{ort}$ ) %85'indeki deplasmanlarından genişletilmiş çelik levhaların akmalarındaki deplasmana kadar hesaplanmıştır. ( $P_{ort}$ ), akma başlangıcındaki deplasmandan itibaren son deplasmana (250 mm) kadar yüklenme boyunca olan yük değerlerinin aritmetik ortalamasına karşılık gelmektedir.

Deney elemanlarının süneklik oranı ve göreceli süneklik değerleri bulunurken kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi Şekil 5.3.'te verilmiştir. Bu şekilde akma anındaki ortalama taşıma gücünün ( $P_{ort}$ ) %85'indeki yük değeri ( $0,85 \times P_{ort}$ ), rijitlik doğrusunun başlangıç deplasman değeri ( $\delta_i$ ), ortalama taşıma gücünün ( $P_{ort}$ ) %85'indeki deplasman değeri ( $\delta_u$ ), akmanın başladığı andaki deplasman değeri ( $\delta_y$ ) gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Deney elemanlarının süneklik hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

Süneklik hesabında kullanılan ortalama taşıma gücünün ( $P_{ort}$ ) %85'indeki mutlak deplasman değeri ( $\overline{\delta_u}$ ) Denklem 5.5.'de, akmanın başladığı andaki mutlak deplasman değeri ( $\overline{\delta_y}$ ) Denklem 5.6.'da ve süneklik oranı Denklem 5.7.'de hesaplanmıştır.

$$\overline{\delta_u} = \delta_u - \delta_i \quad (5.5)$$

$$\overline{\delta_y} = \delta_y - \delta_i \quad (5.6)$$

$$\text{Süneklik oranı} = \overline{\delta_u} / \overline{\delta_y} \quad (5.7)$$

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

Tablo 5.3. Deneysel elemanların  $0,85 \times P_{ort}$  değerine göre süneklik ve göreceli süneklik oranları

Deneysel Elemanı	$0,85 \times P_{ort}$	$\delta_i$	$\delta_u$	$\delta_y$	$\bar{\delta}_u$	$\bar{\delta}_y$	Süneklik Oranı ( $\bar{\delta}_u/\bar{\delta}_y$ )	Göreceli Süneklik Oranı
R1	78	0	28	9	28	9	3,1	-
R2	48	0	27	22	27	22	1,2	-
B1,5-100	182	1	250	23	249	22	11,3	5,2
B1,5-150	120	3	247	23	244	20	12,2	5,6
B1,5-200	124	2	250	14	248	12	20,7	9,5
B1,5-500	84	1	186	11	185	10	18,5	8,5
B2,0-100	214	10	228	25	218	15	14,5	6,7
B2,0-150	165	6	185	18	179	12	14,9	6,9
B2,0-200	139	4	181	18	177	14	12,6	5,8
B3,0-100	343	3	250	20	247	17	14,5	6,7
B3,0-150	168	8	250	28	240	20	12,1	5,6
B3,0-200	118	4	154	17	150	13	11,5	5,3
RP1,5-100	394	4	250	32	246	28	8,8	4,1
RP1,5-150	372	8	177	29	169	21	8,1	3,7
RP1,5-200	234	2	151	16	149	14	10,6	4,9
RP2,0-100	526	3	250	22	247	19	13,0	6,0
RP2,0-150	282	3	245	25	242	22	11,0	5,1
RP2,0-200	262	5	250	21	245	16	15,3	7,1
RP3,0-100	517	6	250	29	244	23	10,6	4,9
RP3,0-150	369	5	250	26	245	21	11,7	5,4
RP3,0-200	263	2	250	25	248	23	10,8	5,0
FP1,5-100	447	10	201	25	191	15	12,7	5,9
FP1,5-150	355	9	201	40	192	31	6,2	2,9
FP1,5-200	312	9	160	29	151	20	7,6	3,5
FP2,0-100	>654	6	>166	23	>160	17	9,4	4,3
FP2,0-150	466	11	250	35	239	24	10,0	4,6
FP2,0-200	311	4	128	35	124	31	4,0	1,8
FP3,0-100	664	13	250	32	237	19	12,5	5,7
FP3,0-150	437	4	250	26	246	22	11,2	5,2
FP3,0-200	348	11	250	33	239	22	10,9	5,0

Tablo 5.3.'de verilen göreceli süneklik değerleri, güçlendirilmiş deneysel elemanlarının süneklik oranlarının, R1 ve R2'nin ortalama süneklik oranına karşılık gelmektedir. Örneğin, FP1,5-200 deneysel elemanının göreceli süneklik değeri, Denklem 5.8'de hesaplanmıştır.

$$FP1,5 - 200_{G.S.O.} = [7,6 / ((3,1 + 1,2) / 2)] = 3,53 \cong 3,5 \quad (5.8)$$

Tablo 5.3.'te verilen değerler, güçlendirilmiş deney elemanlarının süneklik oranlarının, referans elemanların ortalama süneklik oranlarının 9,5 katına ulaştığını göstermektedir. B1,5-200 elemanının maksimum sünekliğe ulaştığı ve güçlendirilmiş elemanlarda elastik limitlerin çok ötesinde plastik deformasyonlar meydana geldiği belirlenmiştir. FP2,0-100 güçlendirilmiş deney elemanı, deney sistemine aşırı yüklemekten dolayı mekanik sistemde meydana gelen arıza nedeniyle deney 166 cm deplasman değerinde sonlandırılmıştır. Daha sonraki deneyler için gerekli önlemler alınarak deneyler sonuçlandırılmıştır. Tamamlanamayan FP2,0-100 deney elemanının sünekliği referans elemanların ortalama süneklik değerinden 3,3 kat artış olduğu, deney devam ettirilebilseydi çok daha yüksek süneklik değerine ulaşılacağı anlaşılmaktadır.

B1,5-500 deney elemanından özel olarak bahsedilmelidir. Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarına kıyasla çok daha az bulon (9 adet) ve 1,5 mm genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak hazırlanmıştır. B1,5-500'ü test etmedeki amaç, bu güçlendirme yönteminin çok geniş aralıklı bulonlar ve en ince güçlendirme levhaları olduğunda duvar davranışına katkısını araştırmak olmuştur. Yapılan deney sonucunda, B1,5-500 deney elemanın sünekliği referans elemanların ortalama süneklik değerinden 7,5 kat artış olduğu belirlenmiştir. Bu şekilde, bu yöntemin bir yapının çok sayıda dolgu duvarlarına uygulanması kolaylaştırılabilir ve genel ekonomi büyük ölçüde iyileştirilebilir.

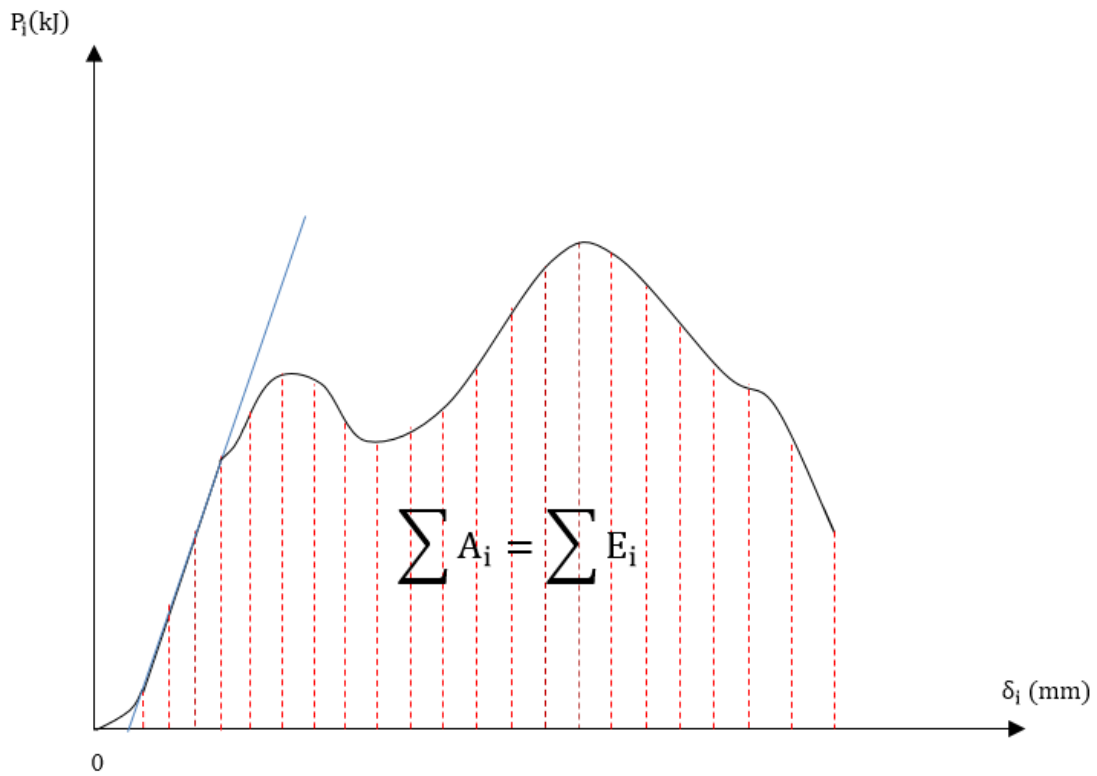
#### **5.2.4. Enerji dönüştürme kapasitesi**

Yapıların depreme karşı dayanıklı olması ve can güvenliğinin sağlanması, deprem esnasında açığa çıkan enerjiyi dönüştürebilme kapasitelerine bağlıdır. Yapıların güçlendirilmesindeki asıl hedeflerden biri ise güçlendirilen yapının kalıcı deformasyonlara uğramadan enerji dönüştürmesinden ziyade göçmeden ayakta kalması ve can güvenliğinin sağlanmasıdır.

Bir elemanın göçene kadar dönüştürebildiği enerjiye “enerji dönüştürme kapasitesi” denir. Farklı kaynaklarda bu kavram “enerji yutma” veya “enerji tüketimi” diye geçse

de fiziğin temel kanunu olan “Enerjinin korunumu yasası” bu kavramın enerji dönüştürme kapasitesi olarak kullanılmasını daha doğru ve gerçekçi kılar. Enerji dönüştürme kapasitesi, elemanın yük-deplasman grafiğinin altında kalan tüm alana eşittir.

Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi Şekil 5.4.’te verilmiştir.



Şekil 5.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesi hesabında kullanılan temsili yük-deplasman eğrisi

$i = 1, 2, 3, \dots, n$  tane deney verisi sırası ve  $E_{i-1} = 0$  olmak üzere, deney sürecindeki her bir veri için yük değeri ( $P_i$ ), her bir veri için deplasman değeri ( $\delta_i$ ), her bir veri için dönüştürülen enerji değeri ( $E_i$ ), her bir veri için yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan ( $A_i$ ) olarak tanımlandığında eğrinin altında kalan toplam alan ( $\sum A_i$ ) toplam dönüştürülen enerjiye ( $\sum E_i$ ) eşittir.

Deney elemanlarının her bir veri için dönüştürülen enerji değeri ( $E_i$ ) Denklem 5.9, toplam dönüştürülen enerji değeri ( $\sum E_i$ ) ise Denklem 5.10 ile hesaplanmıştır.

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

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

Bir yapı elemanı tarafından çökmeye kadar dönüştürülen enerjinin toplam miktarı, bu yapı elemanının yapının bütününün depreme karşı vereceği katkısının bir göstergesidir. Genişletilmiş çelik levha ile güçlendirme işleminin genel yapı performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için deney elemanlarının maksimum deplasman (mm), enerji dönüştürme kapasiteleri (kJ) ve göreceli enerji dönüştürme değerleri Tablo 5.4.'te verilmiştir. Ayrıca deney sistemi 250 mm deplasman yapabilecek kapasiteye göre ayarlandığından bu deplasman değerine kadar deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri hesaplanmıştır. Birinci referans deney elemanı (R1) 91 mm, ikinci referans deney elemanı (R2) 72 mm maksimum deplasman yaparken, güçlendirilmiş hiçbir deney elemanı 250 mm deplasman değerinde ani yük kaybına uğrayarak göçmemiştir. Bu durum güçlendirilmiş deney elemanlarının daha yüksek bir enerji dönüştürme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.4. Deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri

Deney Elemanı	Maksimum Deplasman (mm)	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (kJ)	Göreceli Enerji Dönüştürme
R1	91	5,4	-
R2	72	3,7	-
B1,5-100	250	36,2	7,9
B1,5-150	250	32,9	7,2
B1,5-200	250	32,8	7,2
B1,5-500	250	23,1	5,1
B2,0-100	250	59,4	13,0
B2,0-150	250	37,4	8,2
B2,0-200	250	35,7	7,8
B3,0-100	250	66,8	14,6
B3,0-150	250	43,3	9,5
B3,0-200	250	30,8	6,7
RP1,5-100	250	99,2	21,7
RP1,5-150	250	82,0	17,9
RP1,5-200	250	59,5	13,0
RP2,0-100	250	117,5	25,7
RP2,0-150	250	74,7	16,3

Tablo 5.4. (Devamı)

RP2,0-200	250	62,3	13,6
RP3,0-100	250	113,9	24,9
RP3,0-150	250	95,6	20,9
RP3,0-200	250	62,7	13,7
FP1,5-100	250	117,4	25,7
FP1,5-150	250	93,0	20,4
FP1,5-200	250	80,8	17,7
FP2,0-100	>166	>86,6	>19,0
FP2,0-150	250	111,2	24,3
FP2,0-200	250	72,6	15,9
FP3,0-100	250	139,8	30,6
FP3,0-150	250	107,7	23,6
FP3,0-200	250	85,4	18,7

Tablo 5.4.'te verilen göreceli enerji dönüştürme değerleri, güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitesinin, R1 ve R2'nin ortalama enerji dönüştürme oranına karşılık gelmektedir. Örneğin, RP1,5-100 deney elemanının göreceli enerji dönüştürme kapasitesi, Denklem 5.11' de hesaplanmıştır.

$$B_{1,5-500_{G.E.D.}} = \left[ 23,1 / ((5,4 + 3,7) / 2) \right] = 5,08 \cong 5,1 \quad (5.11)$$

Tablo 5.4.'te, güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri, referans elemanların ortalama enerji dönüştürme kapasite değerlerinin yaklaşık 5-30 katına ulaştığı görülmektedir. Bu durum önerilen güçlendirme tekniğinin güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri üzerinde ne kadar yüksek etkili olduğunu göstermektedir.

FP2-100 güçlendirilmiş deney elemanı, deney sistemine aşırı yükleme ile mekanik sistemde meydana gelen deformasyondan dolayı deney 166 cm deplasman değerinde deney durdurulmuştur. Tamamlanamayan FP2-100 deneyinde bile enerji dönüştürme kapasitesi 86,6 kJ değeri ile referans elemanların ortalama enerji dönüştürme kapasitelerinin 19 katına sahip olmuştur. Deney devam ettirilebilseydi çok daha yüksek enerji dönüştürme kapasitesine ulaşabileceği anlaşılmaktadır.



Tablo 5.4.'e göre, güçlendirilmiş deney elemanlarının bulon aralığı azaldıkça ve genişletilmiş çelik levha kalınlıkları arttıkça enerji dönüştürme kapasitelerinin arttığı, uygulama yüzeyinde ise en iyi enerji dönüştürme kapasitelerine ince sıva üzerine uygulanmış deney elemanlarında ulaşıldığı görülmüştür.

### 5.3. Deney Elemanları Arasında Karşılaştırma

Bu çalışmada deney elemanları için üç deney parametresi kullanılmıştır. Deney elemanlarına ait özellikler Bölüm 3.1.'de ayrıntılı olarak anlatılmıştır (Tablo 3.1.) Bu bölümde deney elemanları levhaları duvara bağlayan bulonların aralıkları, genişletilmiş çelik levha kalınlığı ve güçlendirilmiş duvar üzerinde levhanın konumu parametrelerine göre karşılaştırılacaktır.

Tüm deney elemanlarının taşıma gücü, rijitlik, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitesi değerleri ve göreceli oranları Tablo 5.5.'de verilmiştir. Bu tablodaki göreceli oranlar, güçlendirilmiş deney elemanlarının mutlak değerlerinin R1 ve R2'nin ilgili değerlerinin ortalamasına oranlanmasıyla elde edilmiştir.

Tablo 5.5. Tüm deney sonuçları

Deney Elemanları	Taşıma Gücü (kN)	Göreceli Taşıma Gücü Oranı	Rijitlik (kN/mm)	Göreceli Rijitlik Oranı	Süneklik Oranı	Göreceli Süneklik	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (kJ)	Göreceli Enerji Dönüştürme
R1	136	-	9,7	-	3,1	-	5,4	-
R2	117	-	5,0	-	1,2	-	3,7	-
B1,5-100	148	1,2	6,1	0,8	11,3	5,2	36,2	7,9
B1,5-150	141	1,1	7,1	1,0	12,2	5,6	32,9	7,2
B1,5-200	141	1,1	10,8	1,5	20,7	9,5	32,8	7,2
B1,5-500	120	0,9	9,0	1,2	18,5	8,5	23,1	5,1
B2,0-100	252	2,0	16,0	2,2	14,5	6,7	59,4	13,0
B2,0-150	165	1,3	12,8	1,7	14,9	6,9	37,4	8,2
B2,0-200	164	1,3	12,1	1,6	12,6	5,8	35,7	7,8
B3,0-100	268	2,1	12,6	1,7	14,5	6,7	66,8	14,6
B3,0-150	205	1,6	10,4	1,4	12,1	5,6	43,3	9,5
B3,0-200	139	1,1	11,4	1,6	11,5	5,3	30,8	6,7
RP1,5-100	421	3,3	13,3	1,8	8,8	4,1	99,2	21,7
RP1,5-150	372	2,9	17,8	2,4	8,1	3,7	82,0	17,9
RP1,5-200	276	2,2	20,7	2,8	10,6	4,9	59,5	13,0
RP2,0-100	489	3,9	19,8	2,7	13,0	6,0	117,5	25,7

Tablo 5.5. (Devamı)

RP2,0-150	332	2,6	16,7	2,3	11,0	5,1	74,7	16,3
RP2,0-200	271	2,1	17,4	2,4	15,3	7,1	62,3	13,6
RP3,0-100	487	3,8	18,5	2,5	10,6	4,9	113,9	24,9
RP3,0-150	410	3,2	20,0	2,7	11,7	5,4	95,6	20,9
RP3,0-200	271	2,1	13,0	1,8	10,8	5,0	62,7	13,7
FP1,5-100	526	4,2	29,7	4,0	12,7	5,9	117,4	25,7
FP1,5-150	418	3,3	15,9	2,2	6,2	2,9	93,0	20,4
FP1,5-200	367	2,9	19,6	2,7	7,6	3,5	80,8	17,7
FP2,0-100	570	4,5	24,0	3,3	9,4	4,3	86,6	19,0
FP2,0-150	488	3,9	19,2	2,6	10,0	4,6	111,2	24,3
FP2,0-200	366	2,9	15,2	2,1	4,0	1,8	72,6	15,9
FP3,0-100	516	4,1	22,0	3,0	12,5	5,7	139,8	30,6
FP3,0-150	459	3,6	19,2	2,6	11,2	5,2	107,7	23,6
FP3,0-200	396	3,1	17,0	2,3	10,9	5,0	85,4	18,7

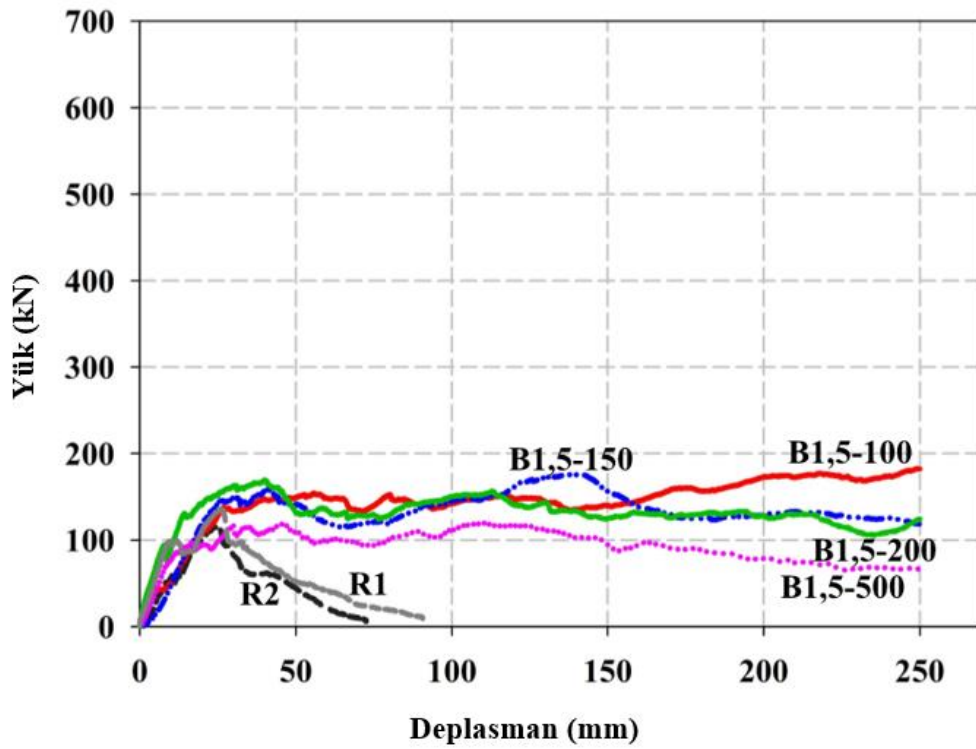
### 5.3.1. Bulon aralığının davranış ve dayanım üzerindeki etkisi

Bulon aralıklarının, levha kalınlığına kıyasla enerji dönüştürme kapasitesi üzerinde daha büyük etkisi vardır. Deneysel sonuçları, bulon aralıklarının 200 mm'den 100 mm'ye düşürülmesinin aynı levha kalınlığı ve levha konumu için enerji dönüştürme kapasite değerinde %20-120 arasında bir artışa neden olduğunu göstermektedir. 100 mm bulon aralıklı numunelerin enerji dönüştürme kapasite değerleri, 150 mm bulon aralıklı numunelerin enerji dönüştürme kapasite değerlerinin 1,5 katına kadar çıkmaktadır. Birbirine yakın aralıklarla dizilen bulonların enerji dönüştürme kapasitesine katkısı, artan levha kalınlığı ile birlikte artmıştır. 3,0 mm kalınlığında levhalar ile güçlendirilen numunelerin enerji dönüştürme kapasiteleri, bulon aralığı azaltıldıkça daha da fazla artmıştır.

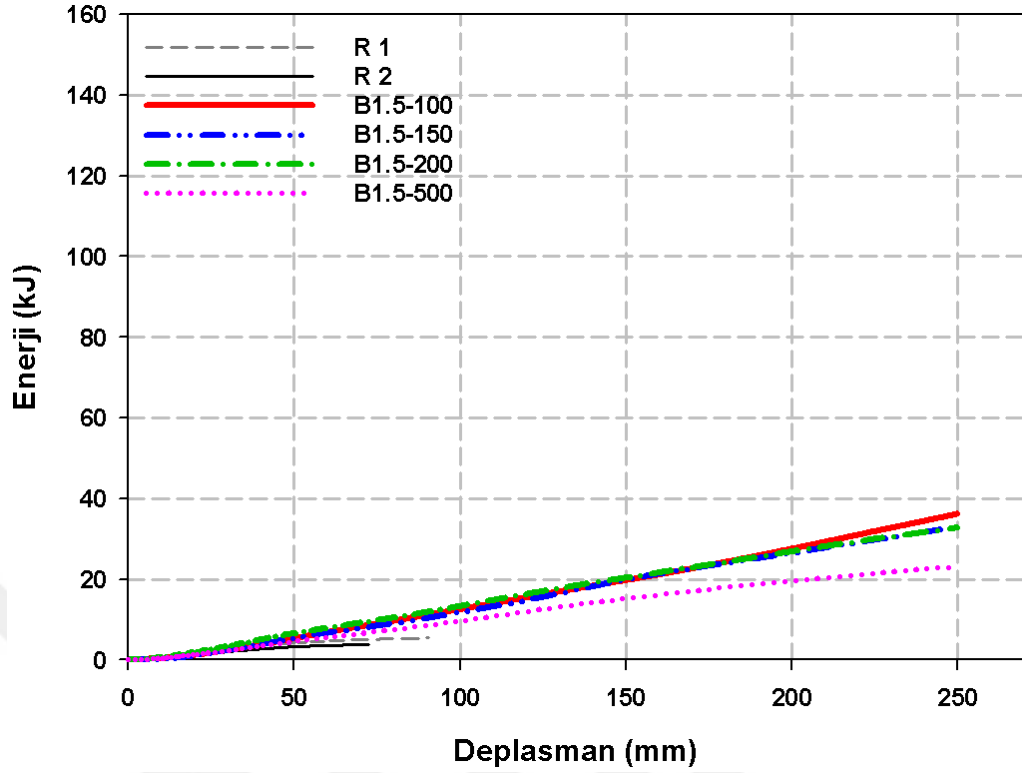
Levha kalınlığı ve bulon aralığının başlangıç rijitliği üzerinde açık bir etkisi yoktur. Bulon aralığının azaltılması ve levha kalınlığını artırılması, bazı numune gruplarında başlangıç rijitlik değerinde artışa neden olurken geri kalan numune gruplarında ilgili değerleri azaltır. Bu nedenle, levhalı tuğla duvarların başlangıç rijitlikleri üzerinde bulon aralığı ve levha kalınlığının etkisi ile ilgili mevcut deneysel verilerinden genel bir sonuç çıkarılamaz. Bununla birlikte, levha kalınlığını artırmanın tuğla duvar (B) üzerine direkt olarak uygulanan deneysel elemanlarının başlangıç rijitlikleri üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bulon aralığını azaltmanın da güçlendirilmiş

duvarın en dış (FP) tabakasında levha bulunan numunelerin daha yüksek başlangıç rijitliğe sahip olmalarına yol açtığı belirlenmiştir.

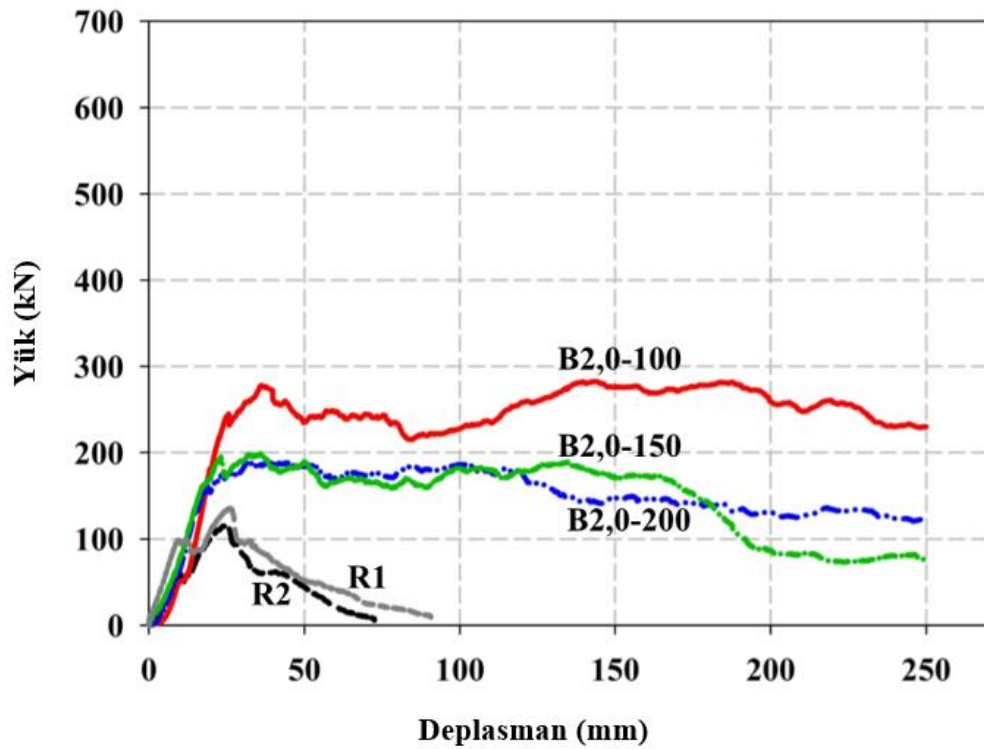
Bulon aralığının davranış ve dayanıma olan etkisinin incelenmesi amacıyla bulon aralığı dışındaki tüm değişkenlerin sabit olduğu deney elemanları için yük-deplasman ve enerji-deplasman eğrileri gruplandırılarak ve referans elemanları (R1 ve R2) ile karşılaştırmalı olarak çizilmiş ve Şekil 5.5.-5.22.'de gösterilmiştir.



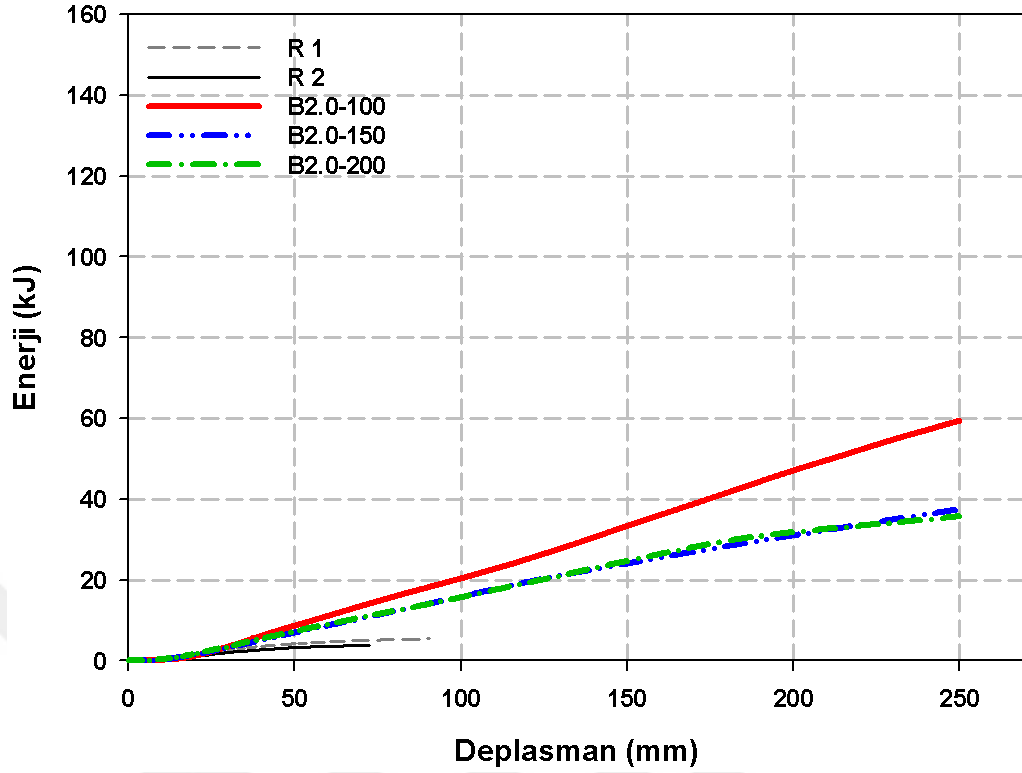
Şekil 5.5. Tuğla duvar üzeri (B) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



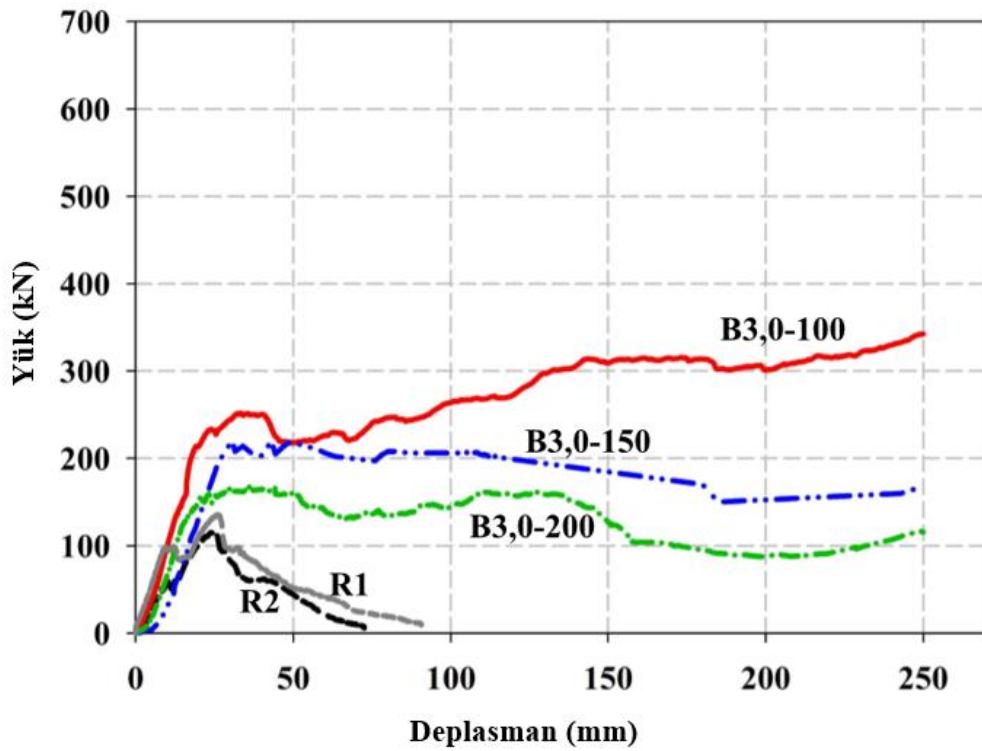
Şekil 5.6. Tuğla duvar üzeri (B) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



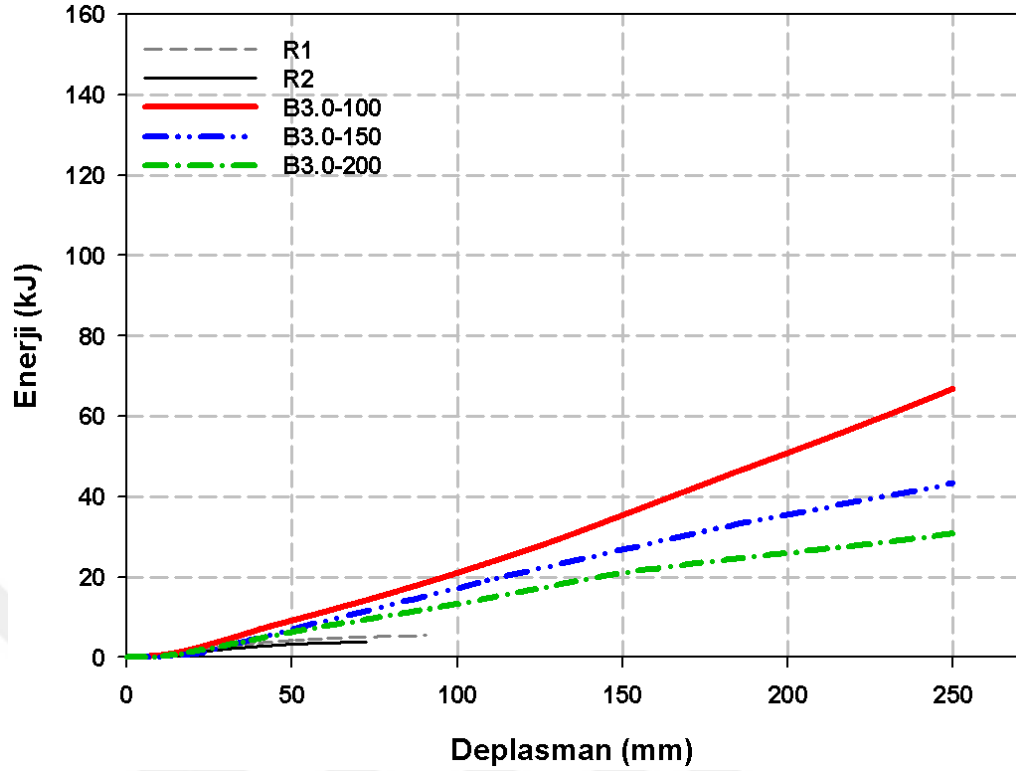
Şekil 5.7. Tuğla duvar üzeri (B) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



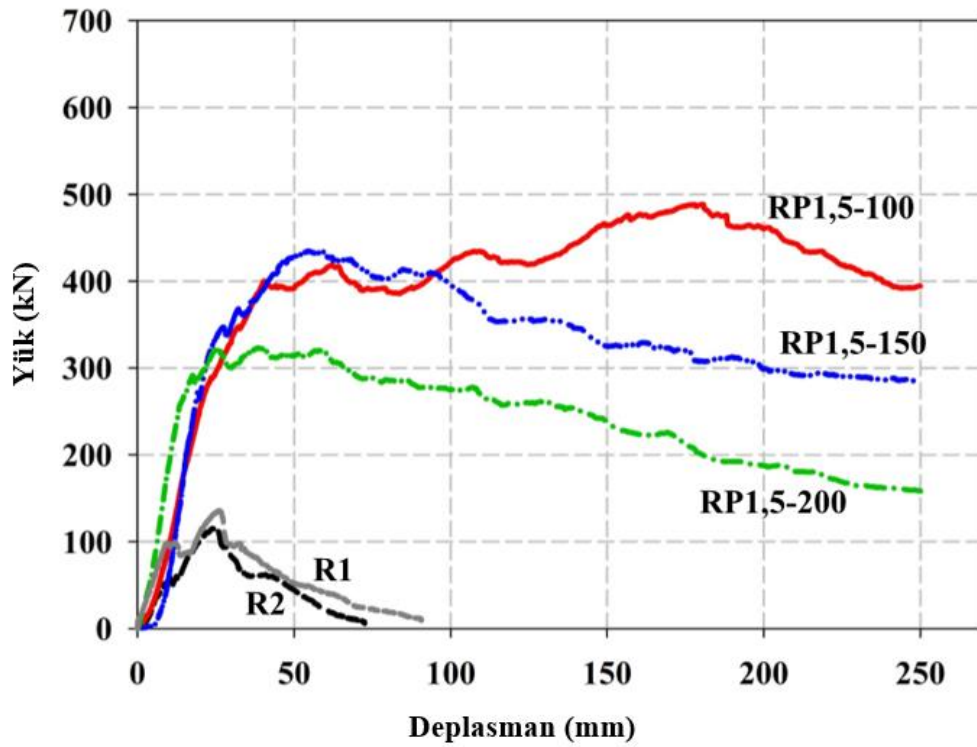
Şekil 5.8. Tuğla duvar üzeri (B) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



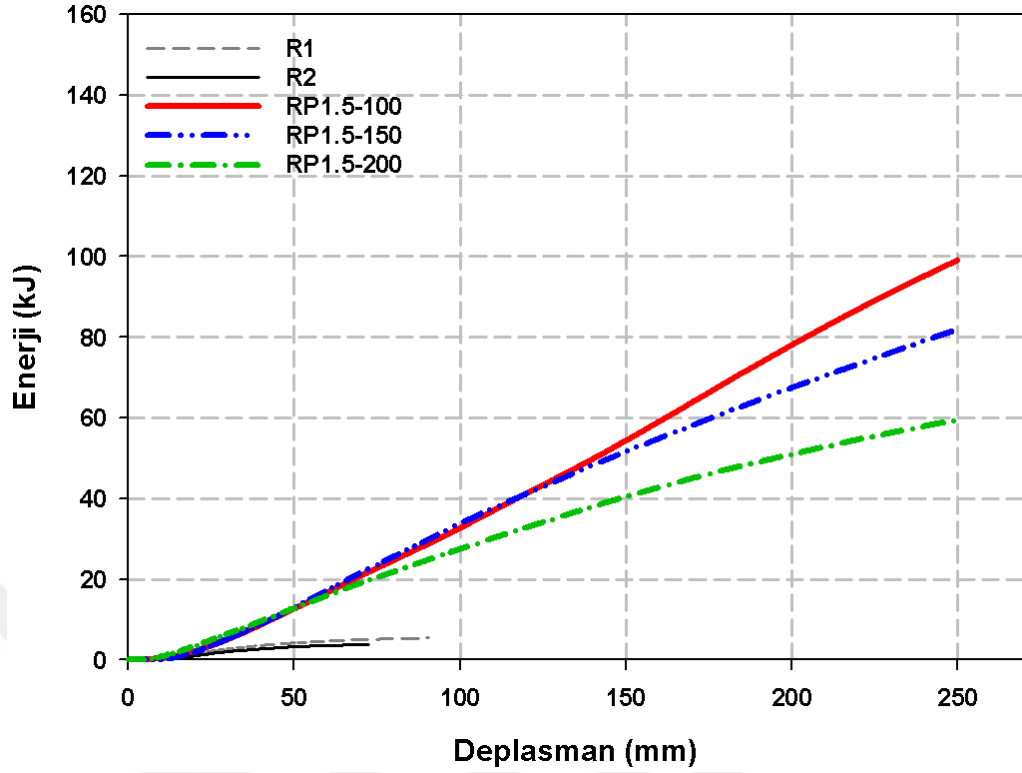
Şekil 5.9. Tuğla duvar üzeri (B) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



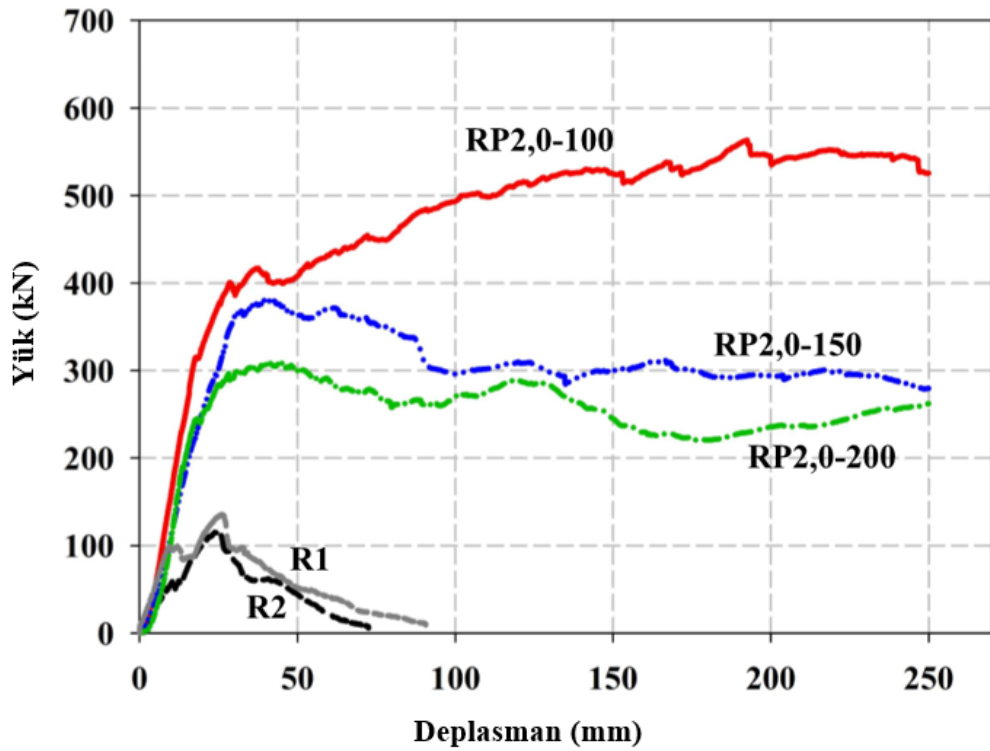
Şekil 5.10. Tuğla duvar üzeri (B) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-sapma eğrileri



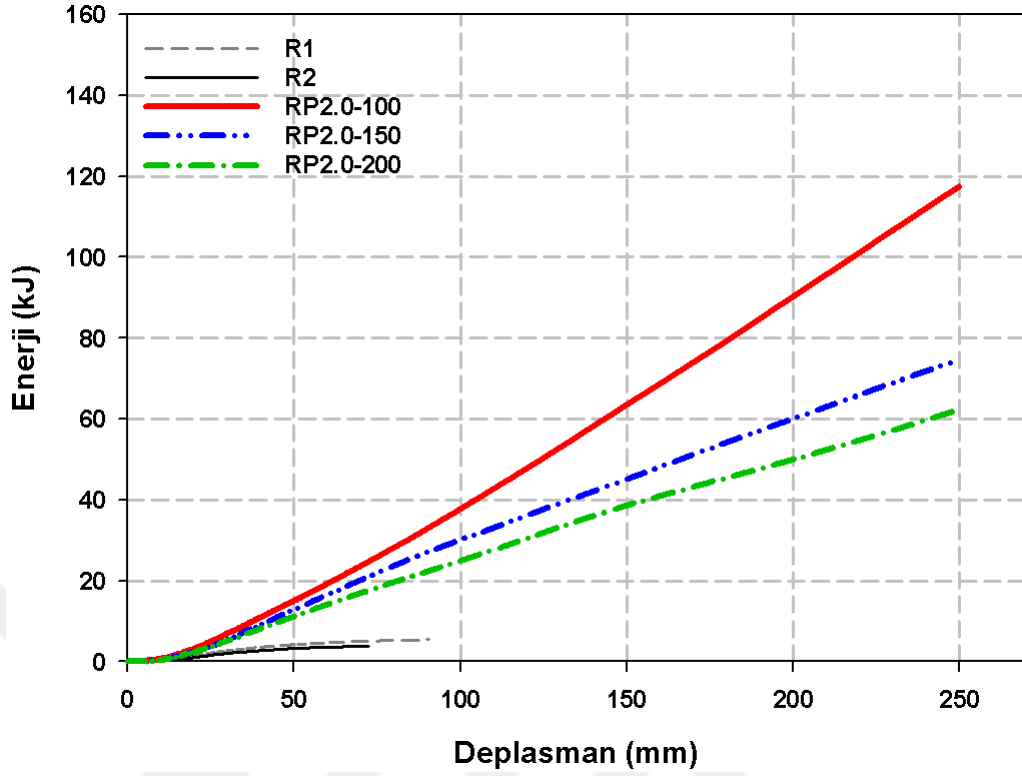
Şekil 5.11. Kaba sıva üzeri (RP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



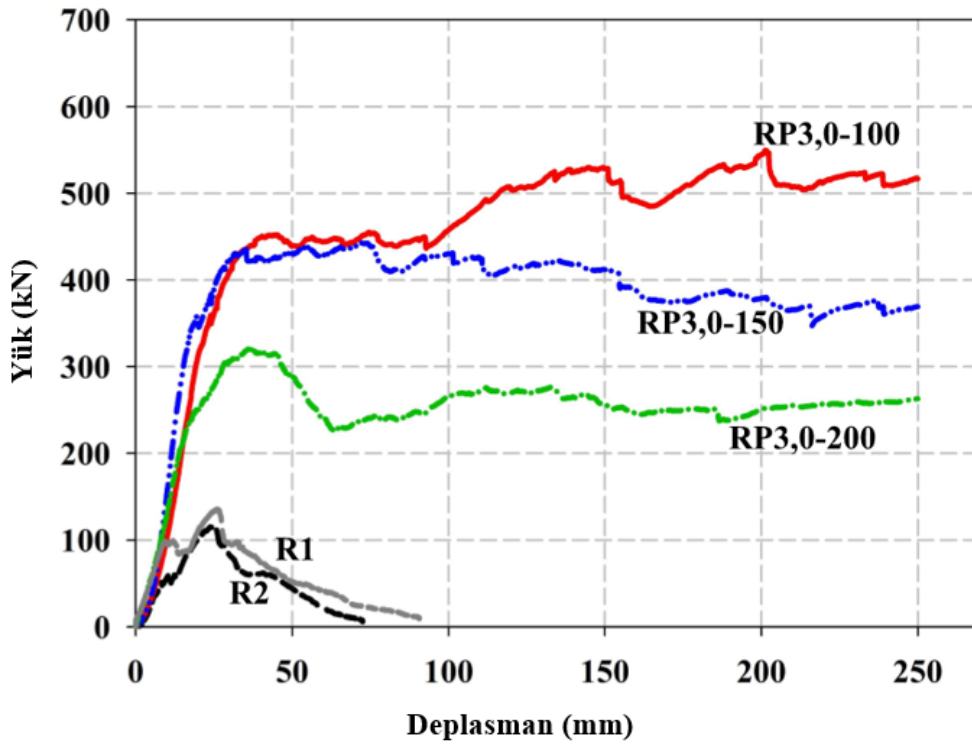
Sekil 5.12. Kaba sıva üzeri (RP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



Sekil 5.13. Kaba sıva üzeri (RP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

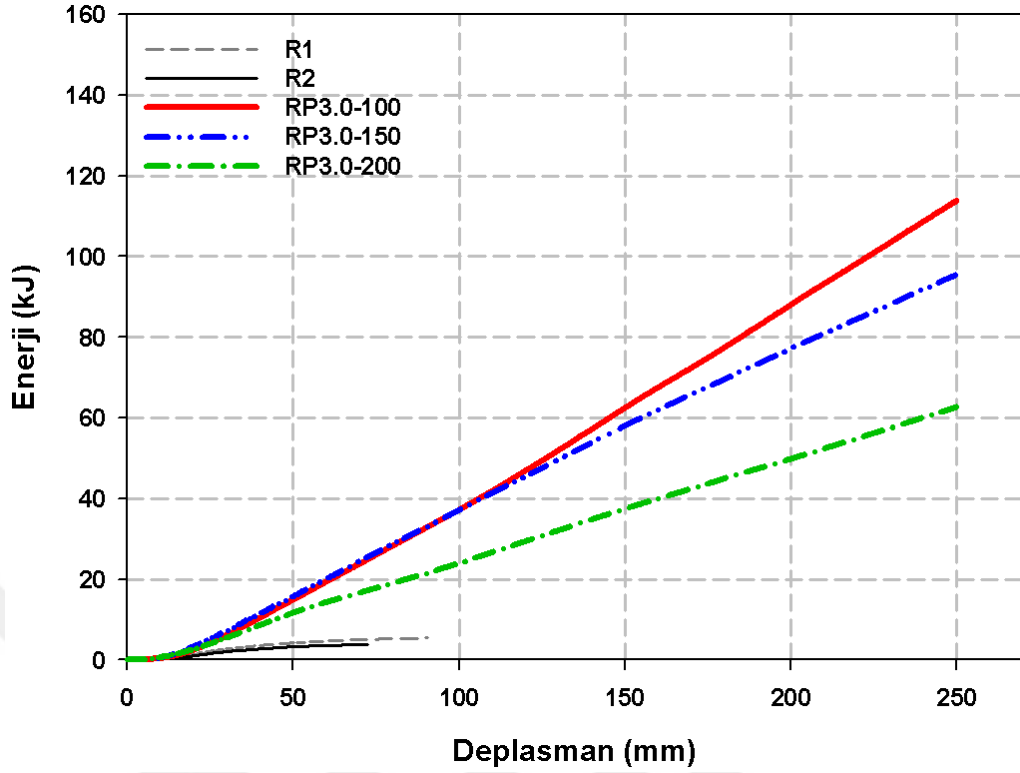


Sekil 5.14. Kaba sıva üzeri (RP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri

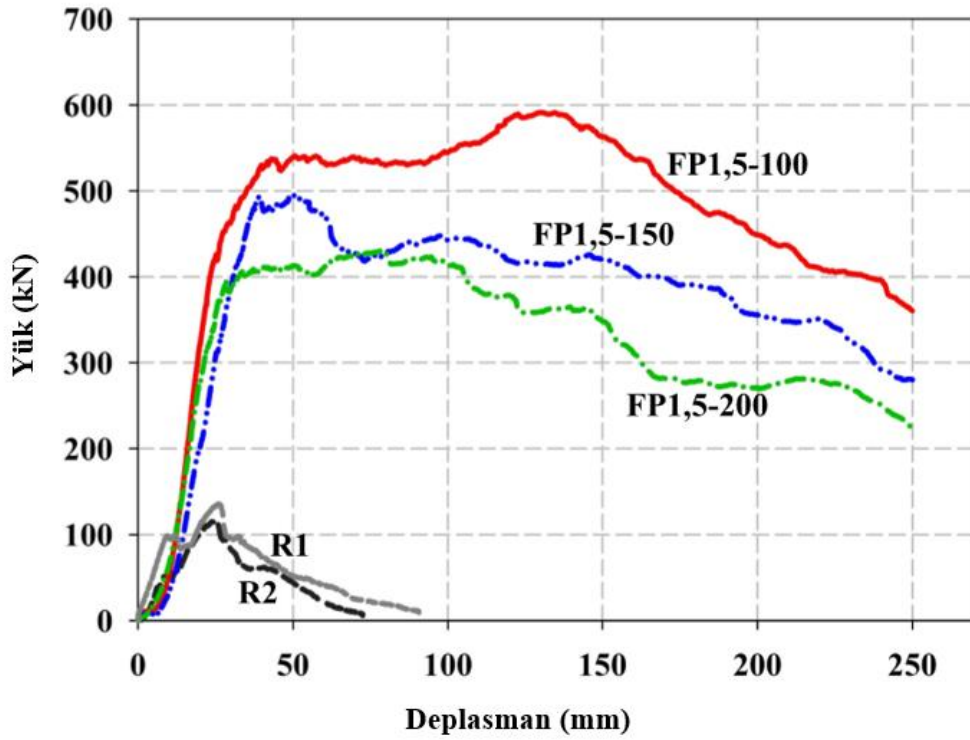


Sekil 5.15. Kaba sıva üzeri (RP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

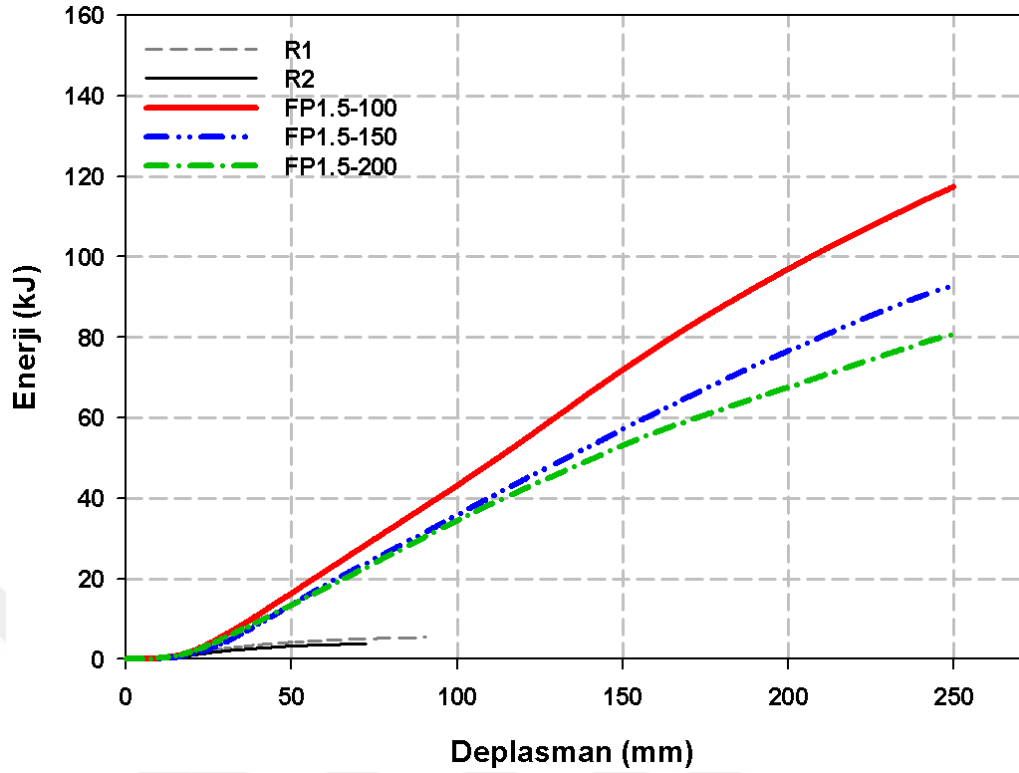




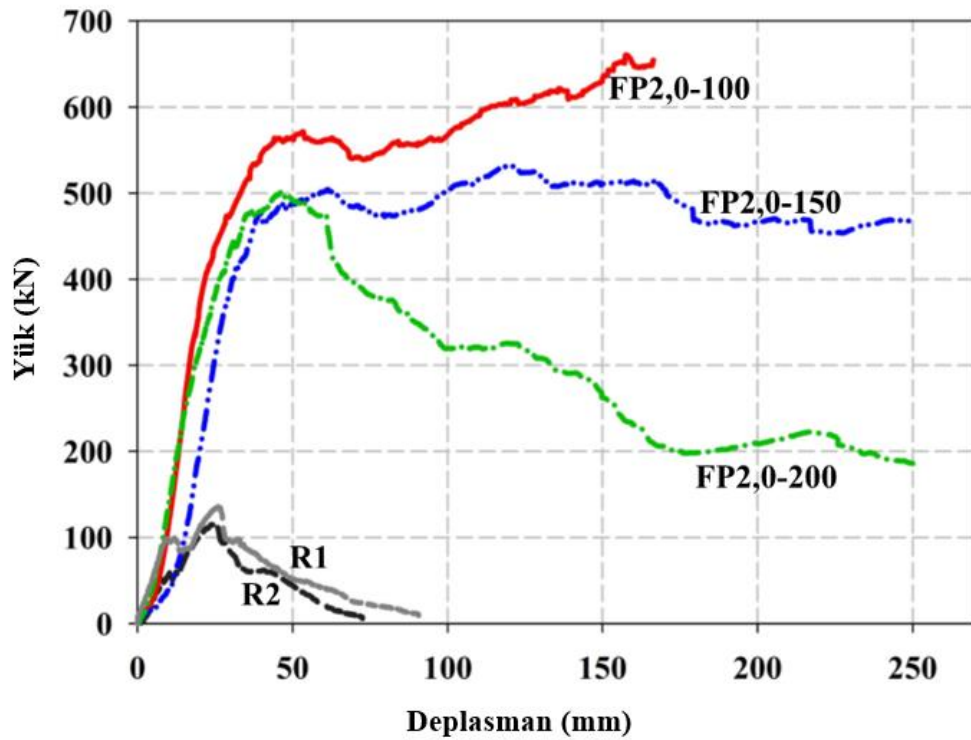
Şekil 5.16. Kaba sıva üzeri (RP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



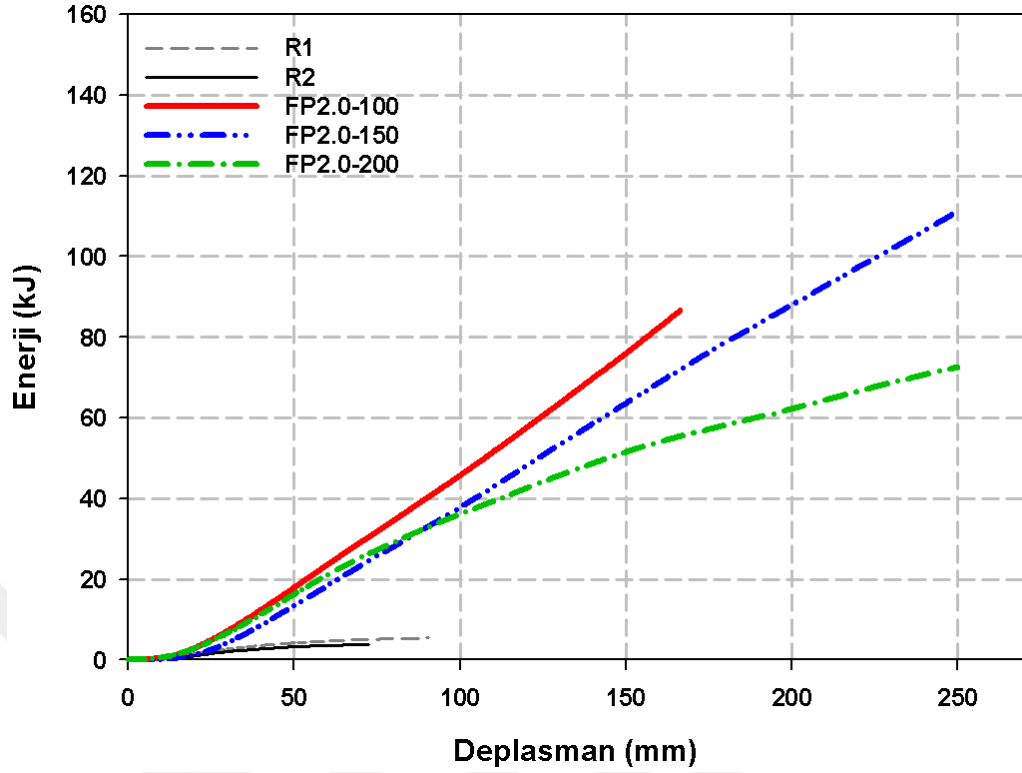
Şekil 5.17. İnce sıva üzeri (FP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



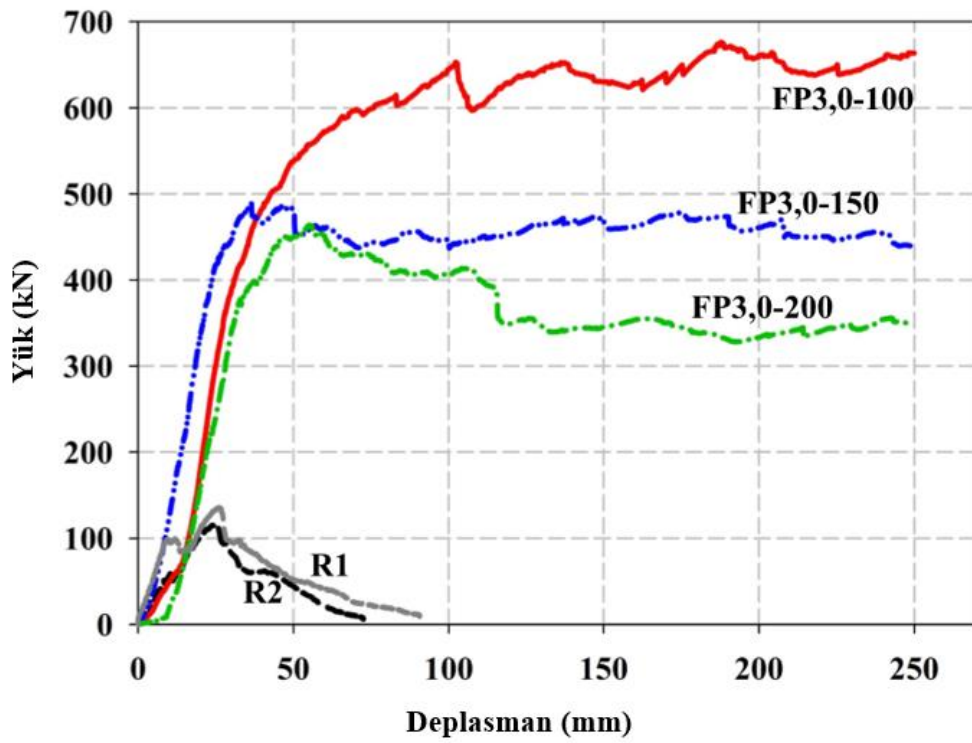
Şekil 5.18. İnce sıva üzeri (FP) ve 1,5 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



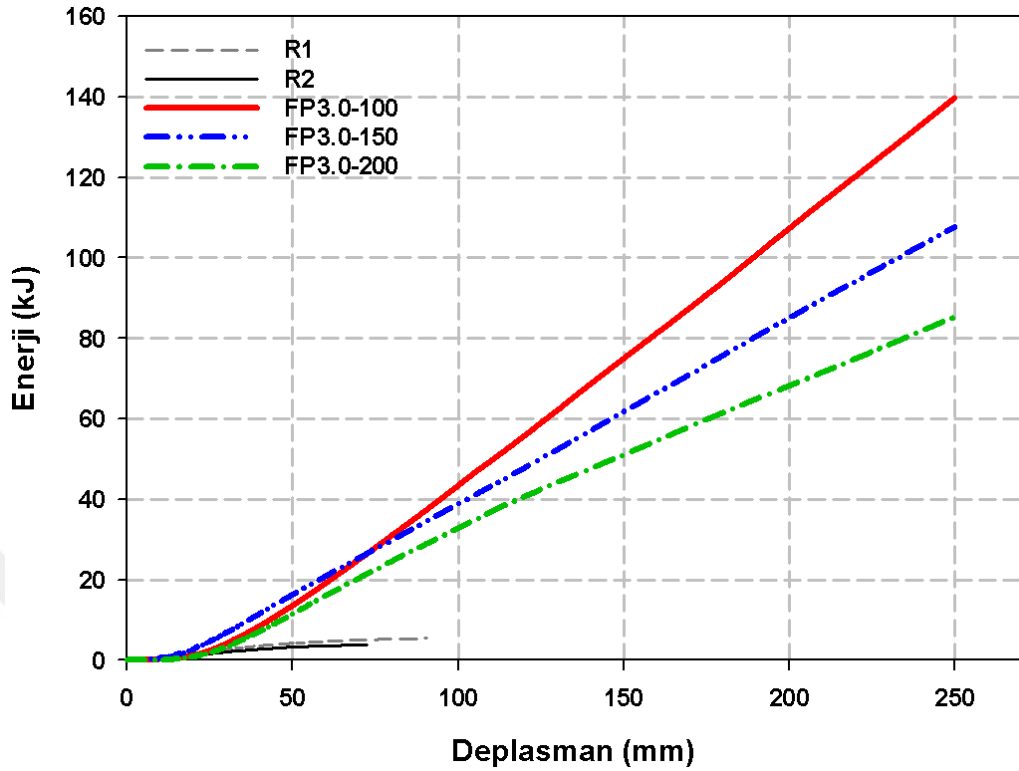
Şekil 5.19. İnce sıva üzeri (FP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 5.20. İnce sıva üzeri (FP) ve 2,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



Şekil 5.21. İnce sıva üzeri (FP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

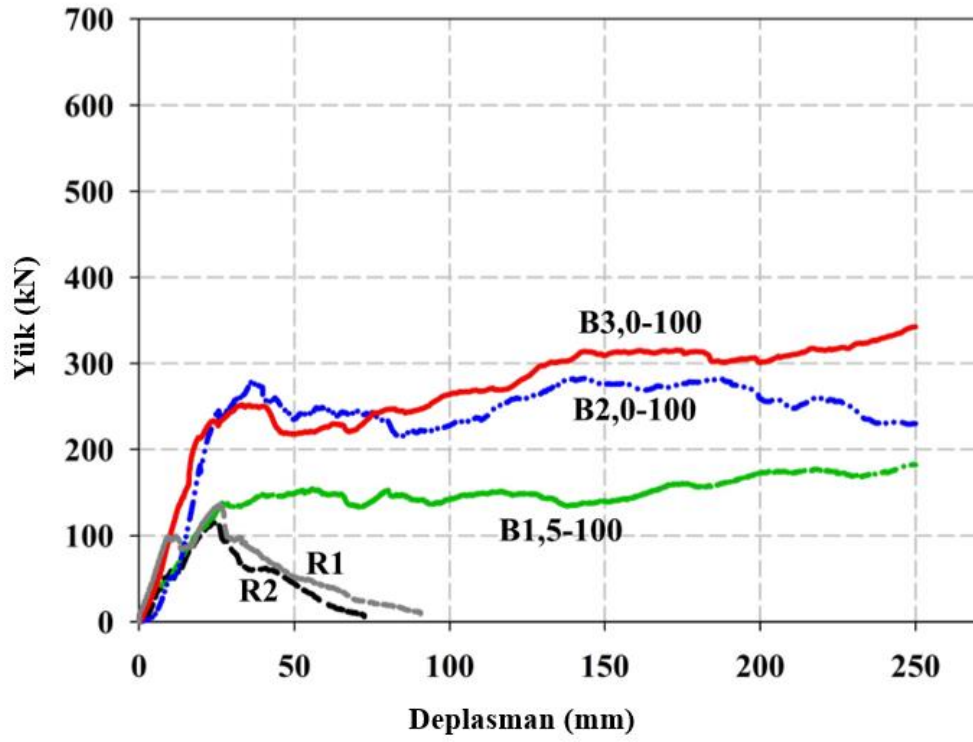


Şekil 5.22. İnce sıva üzeri (FP) ve 3,0 mm çelik levha kalınlığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri

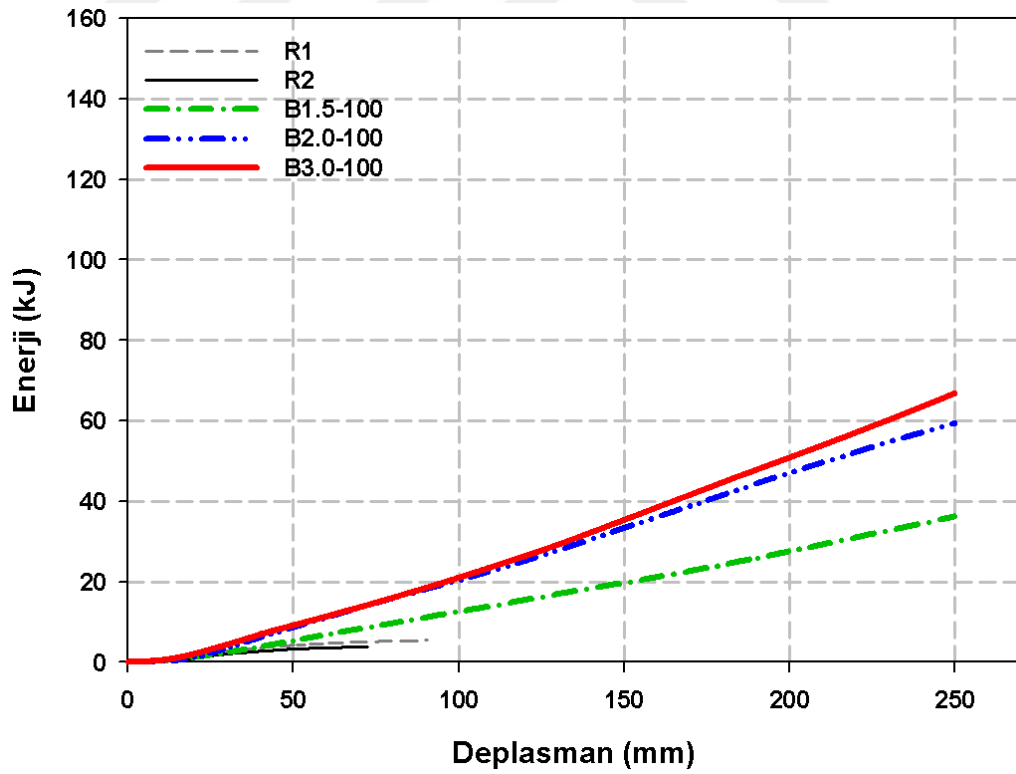
### 5.3.2. Genişletilmiş çelik levha kalınlığının davranış ve dayanım üzerindeki etkisi

Genişletilmiş çelik levha kalınlıklarının, RP veya FP katmanında levha bulunan numunelerin enerji dönüştürme kapasitelerine çok az katkıda bulunduğu veya hiç katkıda bulunmadığı görülebilir. Ancak levhalar, direk olarak tuğla duvarın (B) üzerine uygulanan numunelerde, levha kalınlığı 1,5 mm'den 3,0 mm'ye yükselirken enerji dönüştürme kapasite değeri de %200'e kadar artmıştır. Benzer şekilde, levha kalınlığının 1,5 mm'den 2,0 mm'ye çıkarılması, levhaları doğrudan tuğla duvar üzerine uygulanan numunelerde aynı bulon aralığı için enerji dönüştürme kapasite değerinde %10-65 arasında bir artışa neden olmuştur.

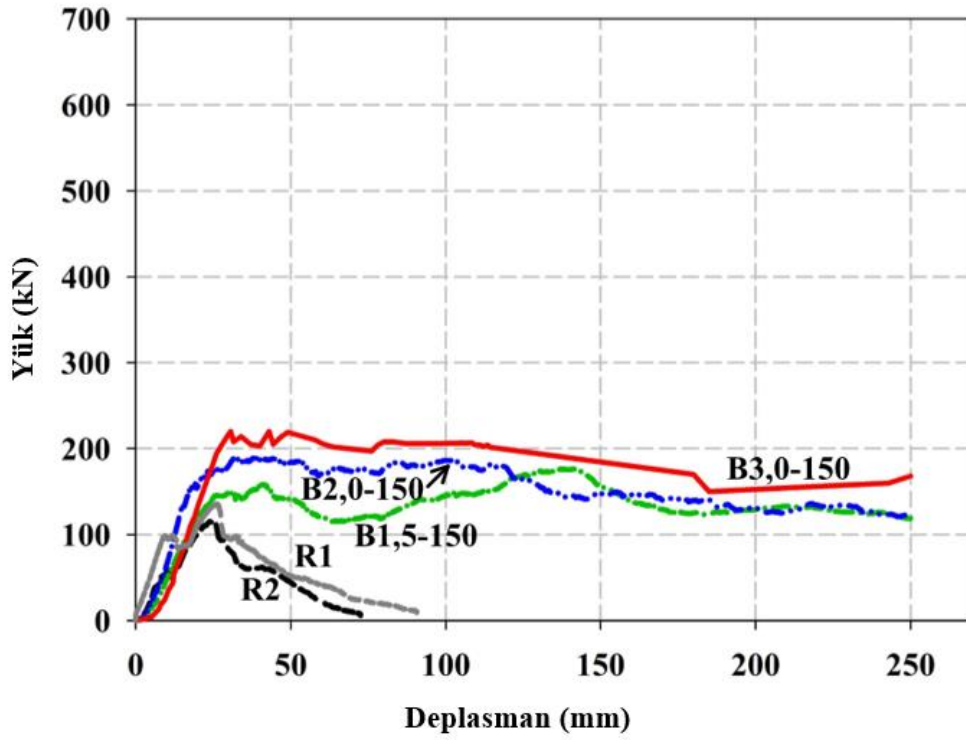
Genişletilmiş çelik levha kalınlığının davranış ve dayanıma olan etkisinin incelenmesi amacıyla bulon aralığı dışındaki tüm değişkenlerin sabit olduğu deney elemanları için yük-deplasman ve enerji-deplasman eğrileri gruplandırılarak ve referans elemanları (R1 ve R2) ile karşılaştırmalı olarak çizilmiş ve Şekil 5.23.-5.40.'da gösterilmiştir.



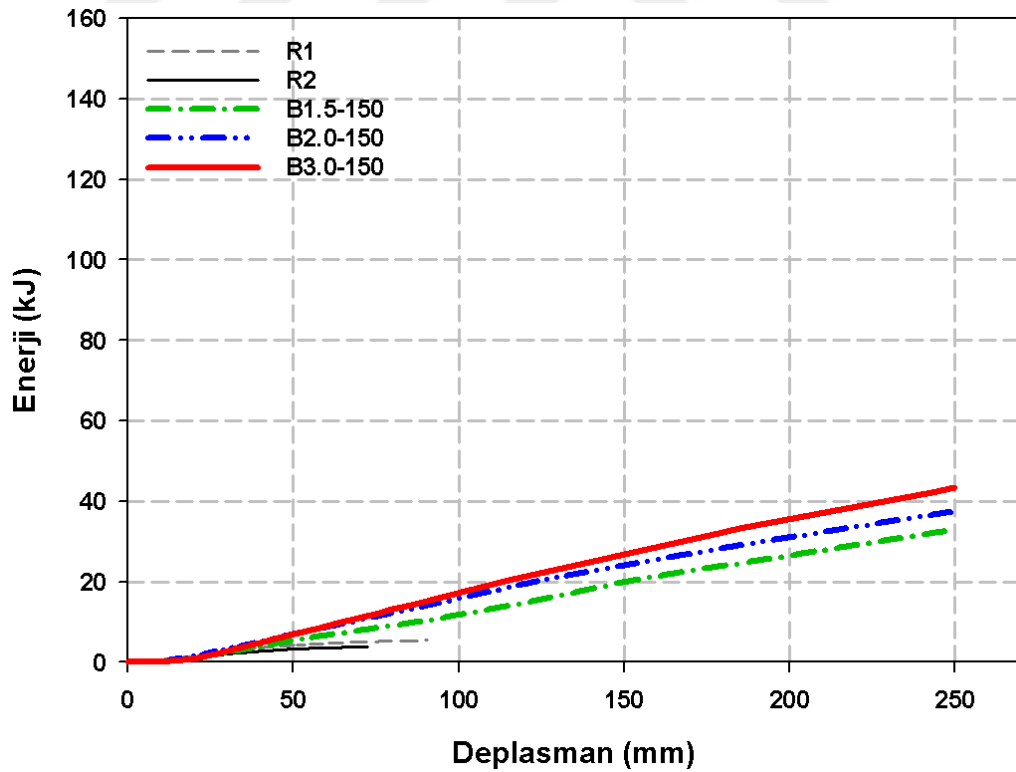
Şekil 5.23. Tuğla duvar üzeri (B) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



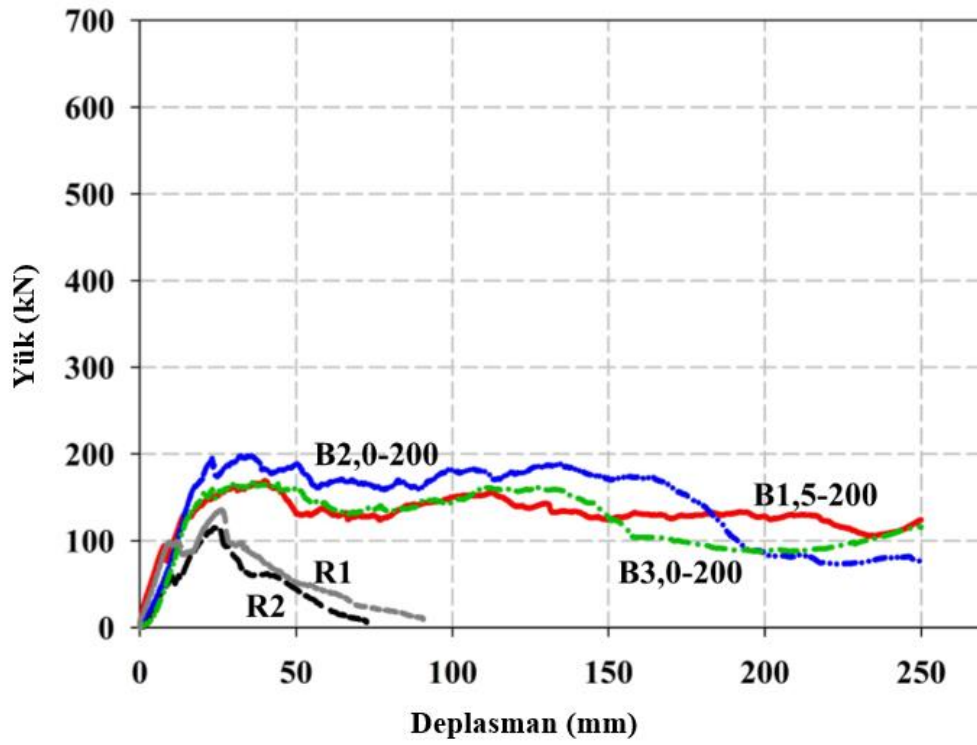
Şekil 5.24. Tuğla duvar üzeri (B) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



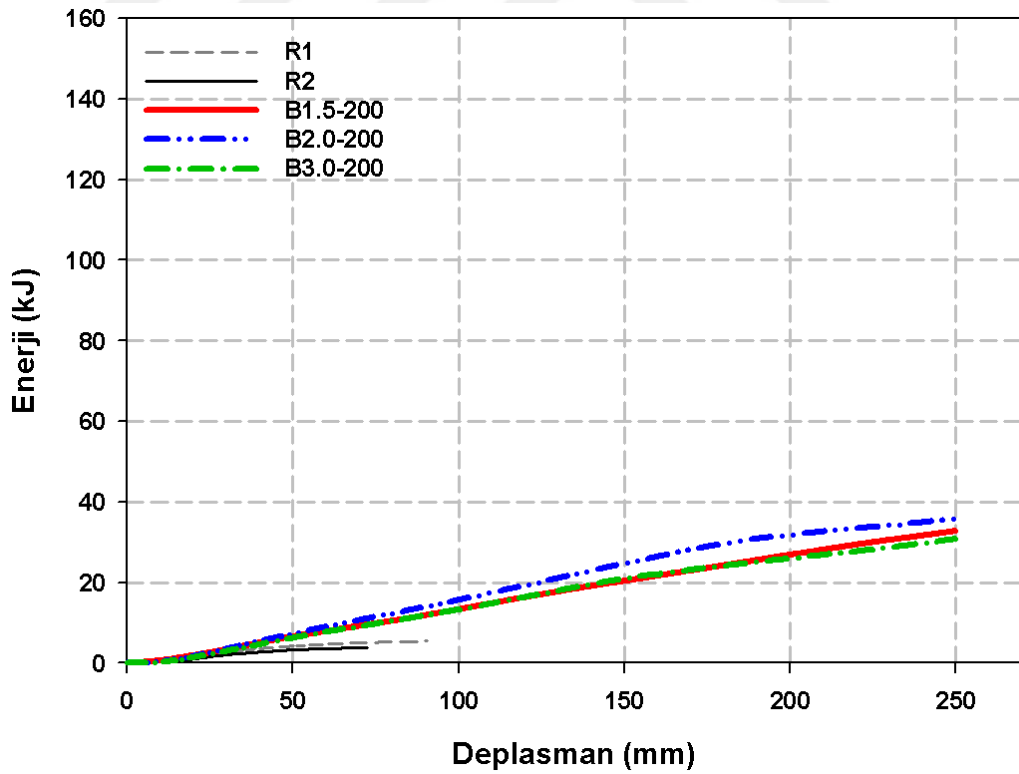
Şekil 5.25. Tuğla duvar üzeri (B) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



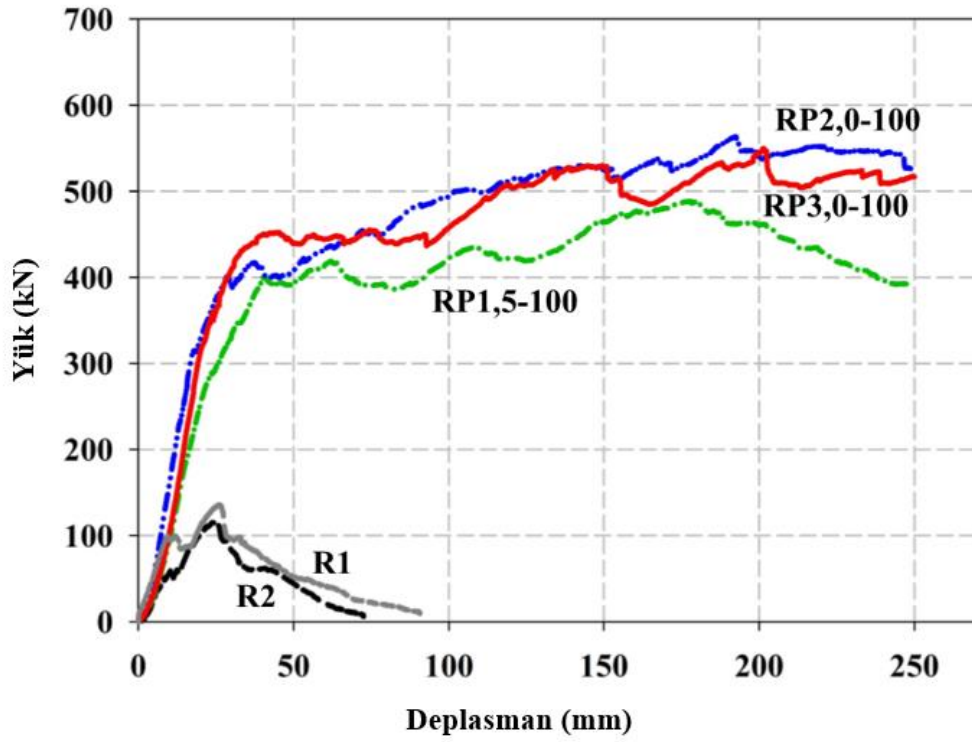
Şekil 5.26. Tuğla duvar üzeri (B) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



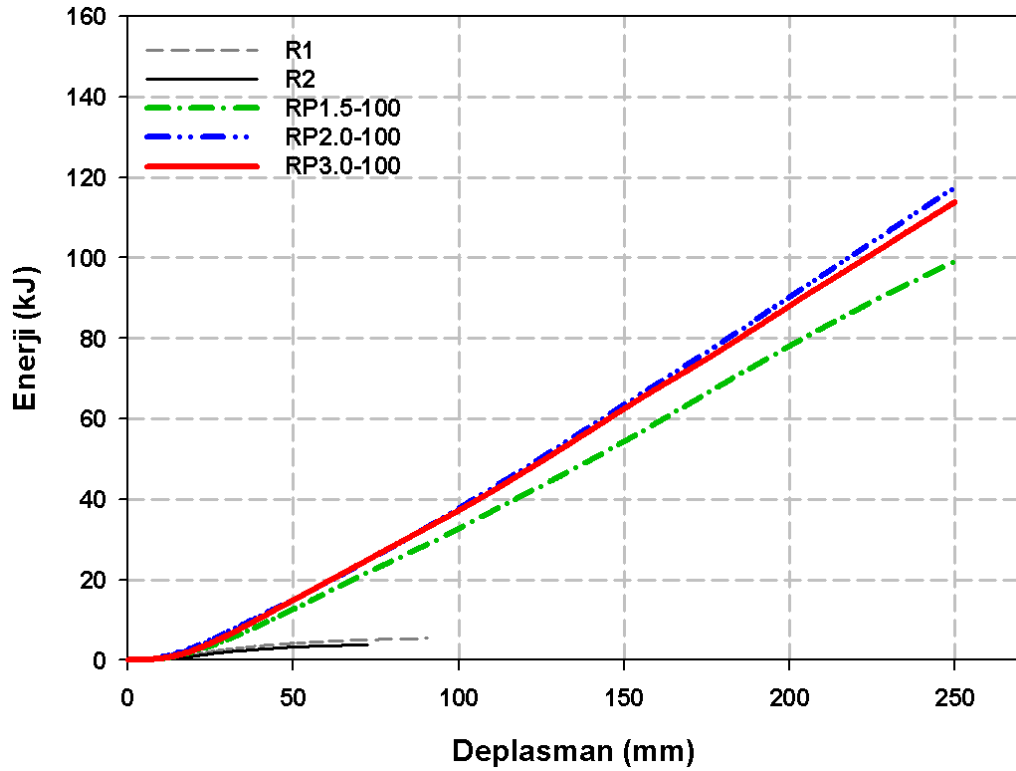
Şekil 5.27. Tuğla duvar üzeri (B) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 5.28. Tuğla duvar üzeri (B) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri

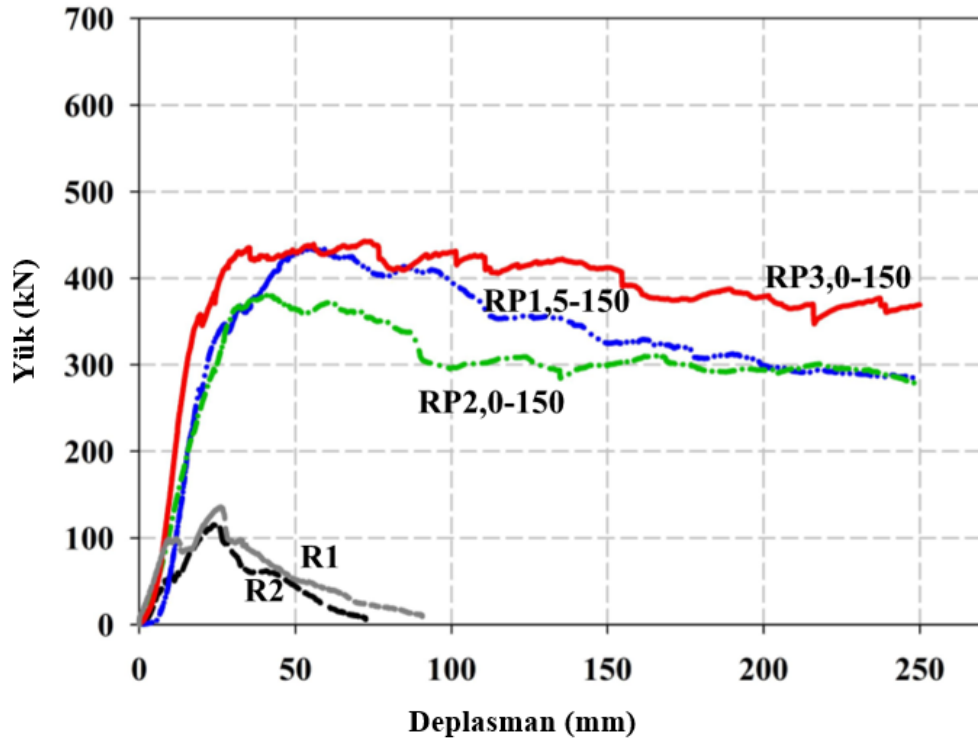


Şekil 5.29. Kaba sıva üzeri (RP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

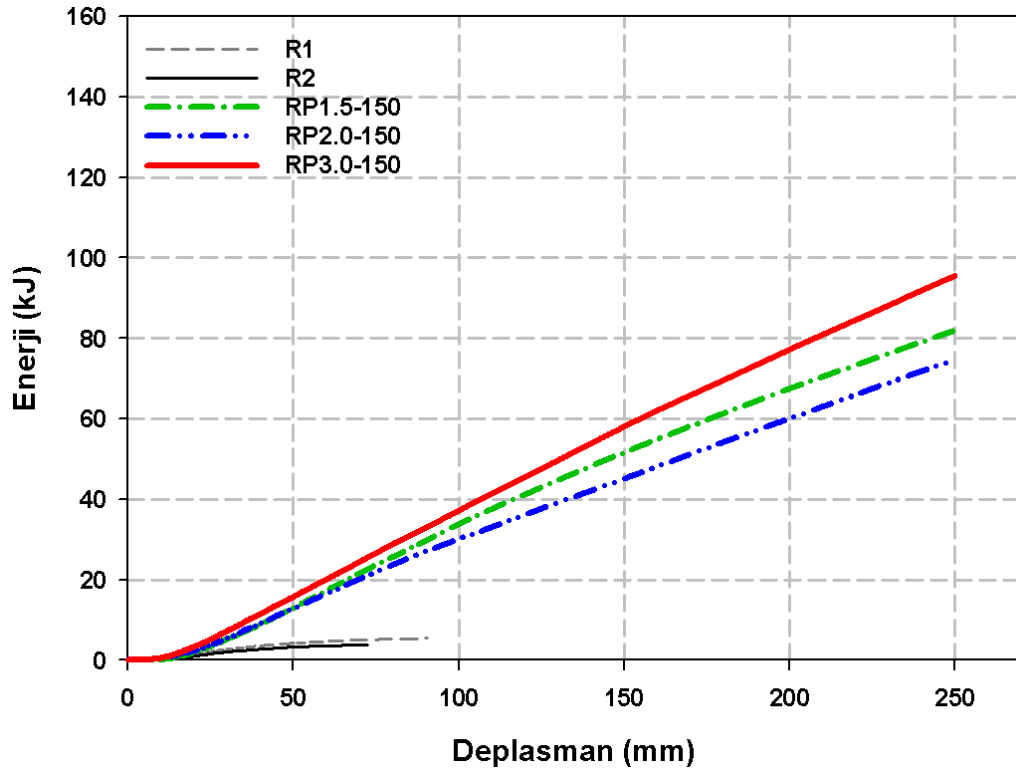


Şekil 5.30. Kaba sıva üzeri (RP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri

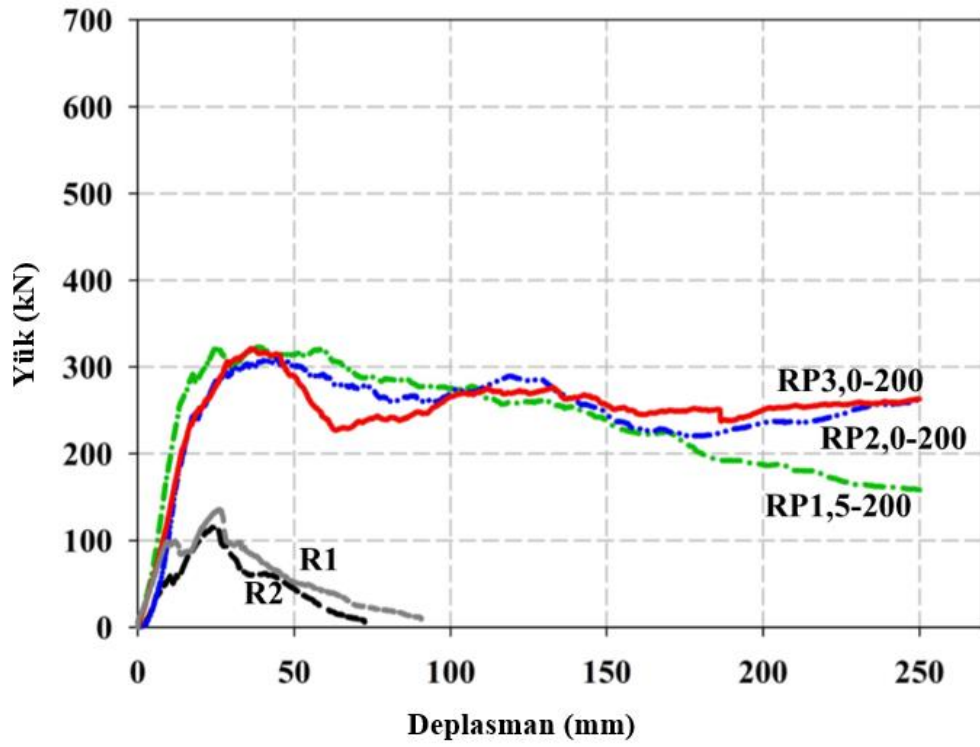




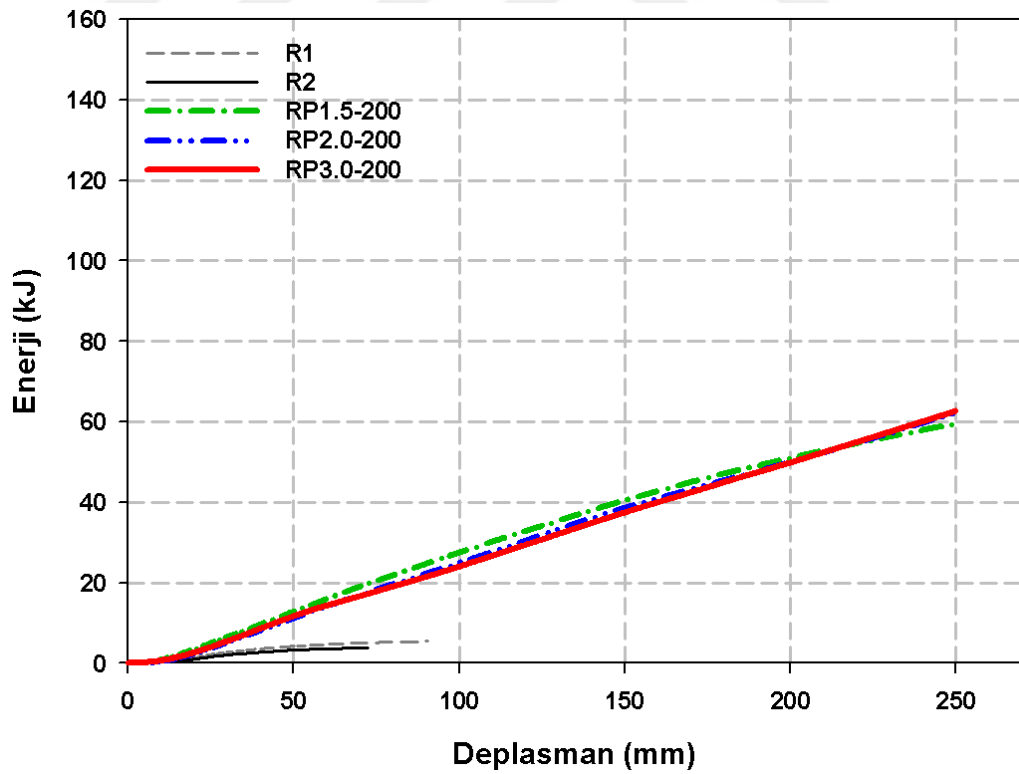
Şekil 5.31. Kaba sıva üzeri (RP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



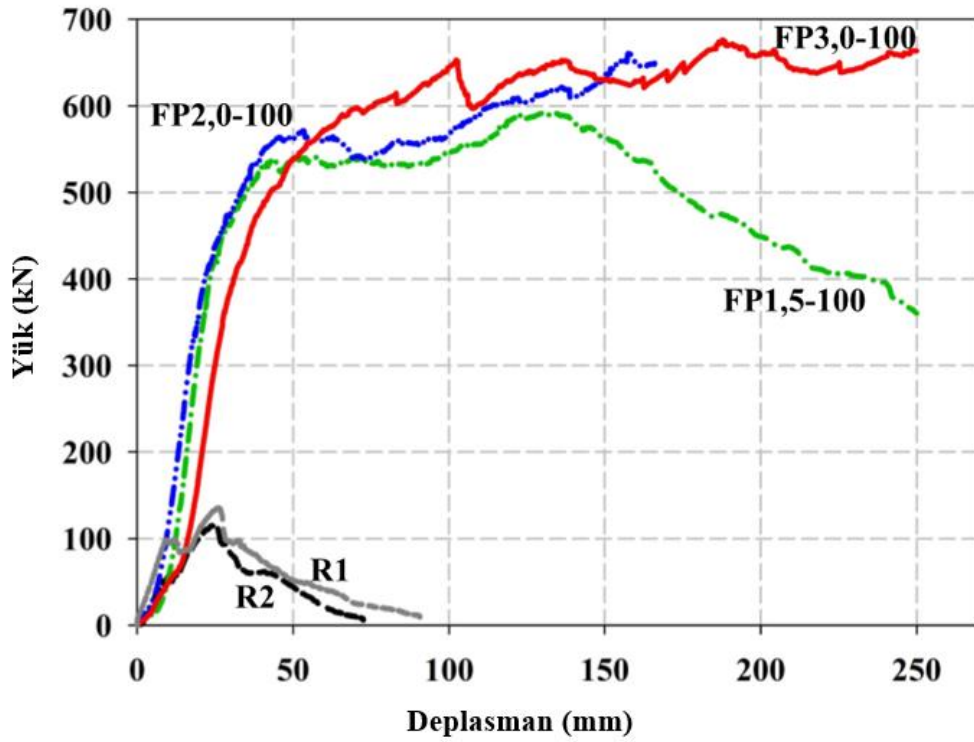
Şekil 5.32. Kaba sıva üzeri (RP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



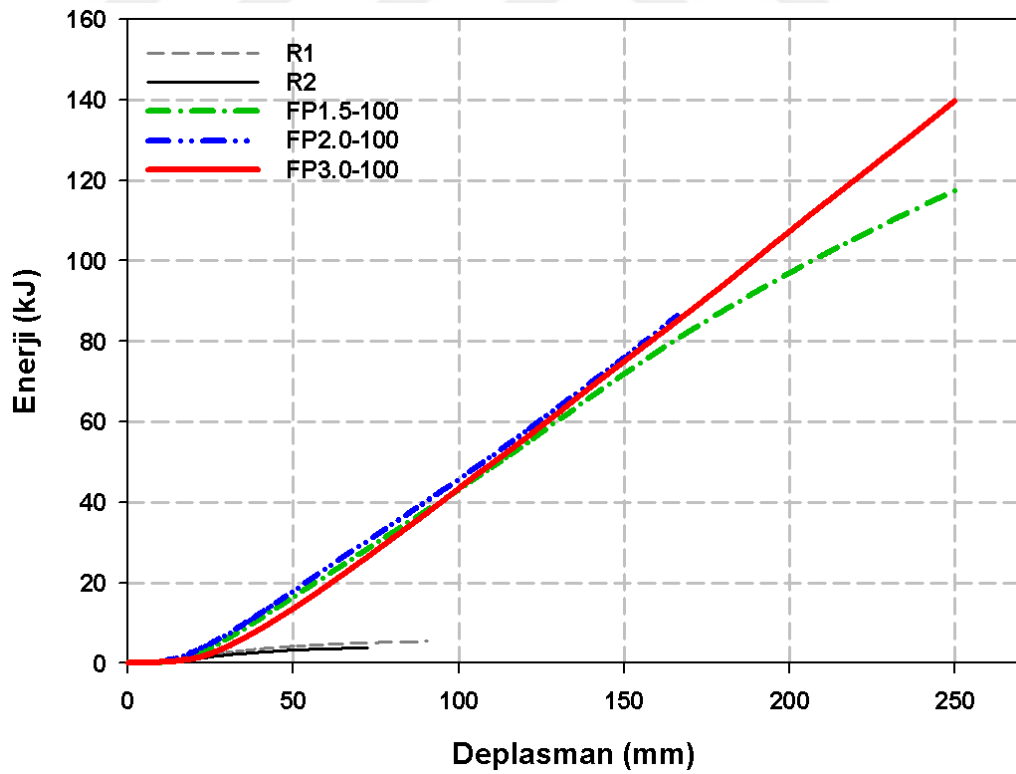
Şekil 5.33. Kaba sıva üzeri (RP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



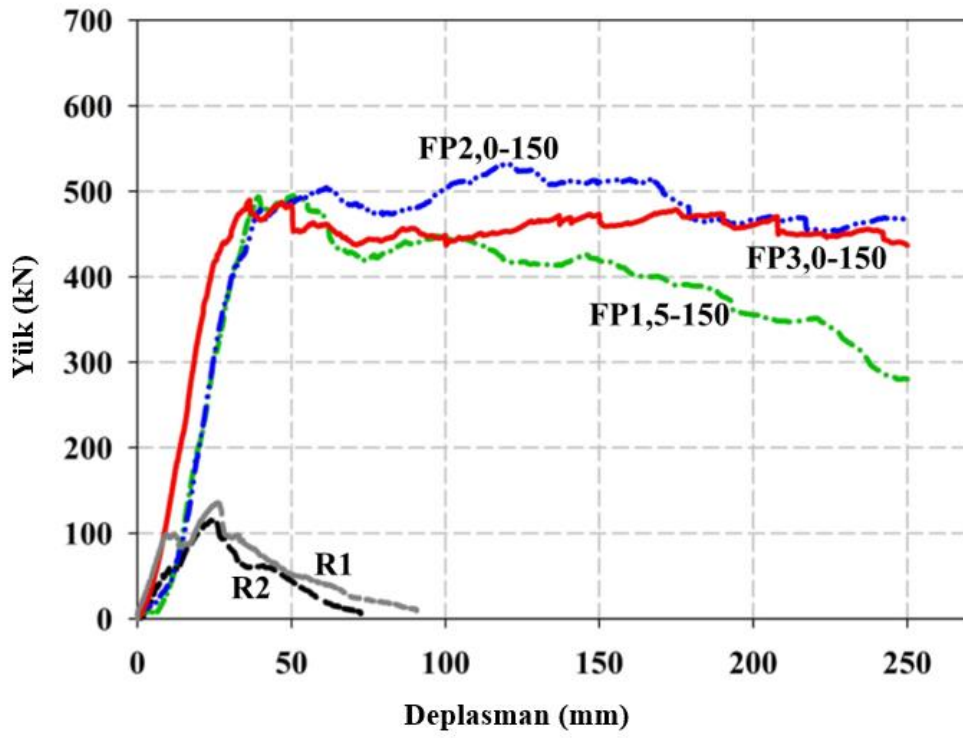
Şekil 5.34. Kaba sıva üzeri (RP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



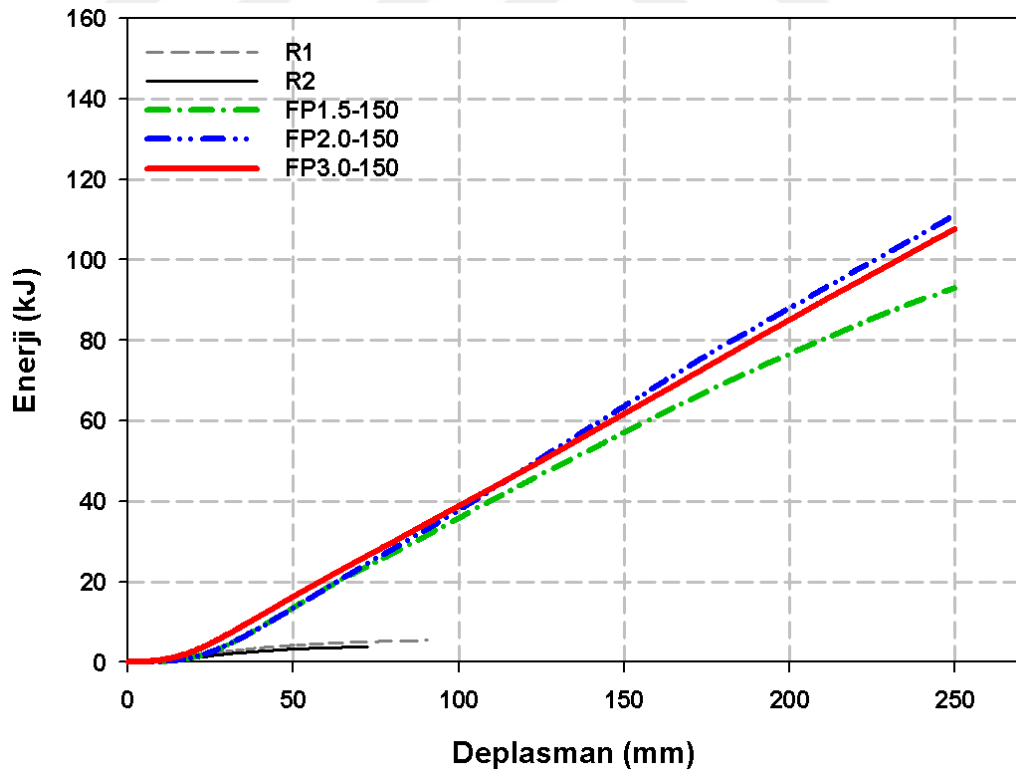
Şekil 5.35. İnce sıva üzeri (FP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



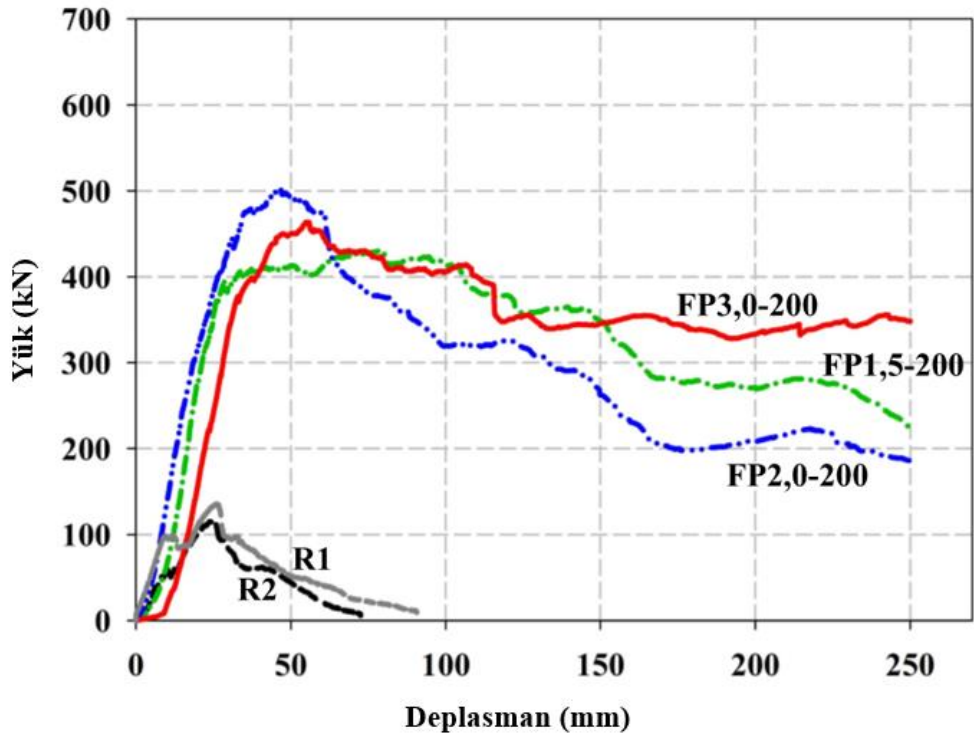
Şekil 5.36. İnce sıva üzeri (FP) ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



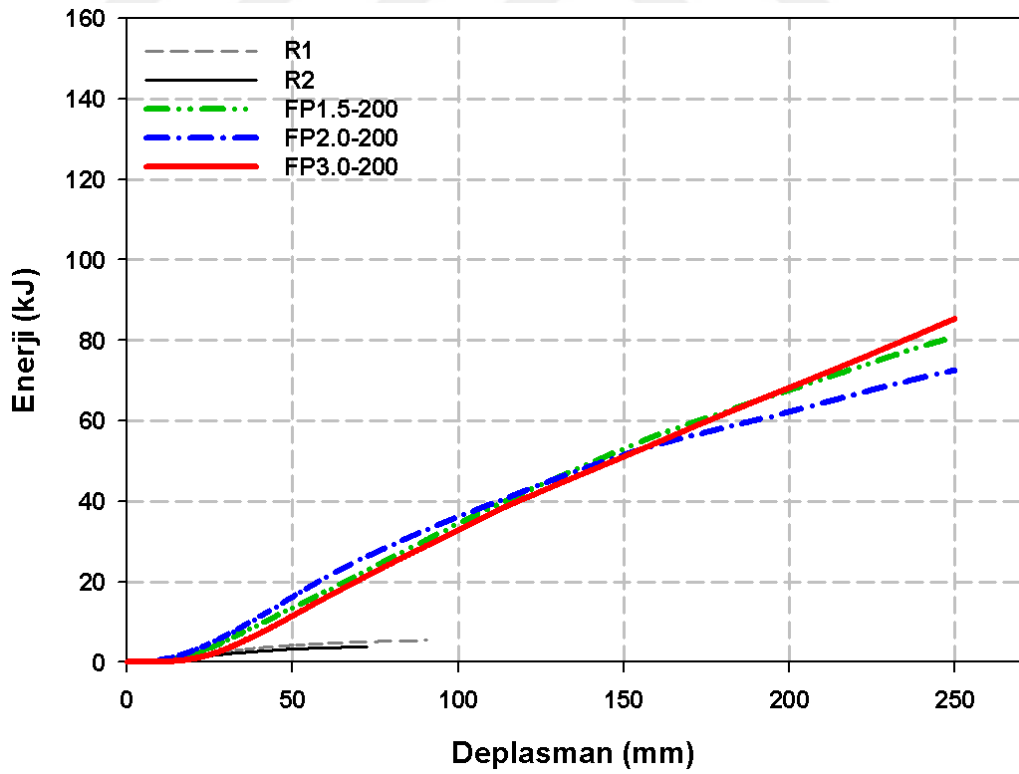
Şekil 5.37. İnce sıva üzeri (FP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 5.38. İnce sıva üzeri (FP) ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



Şekil 5.39. İnce sıva üzeri (FP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 5.40. İnce sıva üzeri (FP) ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri

### 5.3.3. Genişletilmiş çelik levha konumunun davranış ve dayanım üzerindeki etkisi

Üç deney parametresi içinde diyagonal yük kapasitesi üzerinde en fazla etkisi olan duvardaki levhaların konumudur. İnce sıva tabakası üzerinde levha bulunan numunelerin (FP) yük kapasitelerinin, aynı levha kalınlığı, bulon aralığı ve levhaların doğrudan duvar üzerine uygulandığı numunelerin (B) kapasitelerinden 1,95-3,50 kat arası değişen miktarda fazla olduğu ölçülmüştür. Benzer şekilde, levhaların FP tabakası üzerinde bulunan numunelerin nihai yük değerleri, levhaları kaba sıva tabakası (RP) üzerinde bulunan ilgili numunelerin yük kapasitelerinin 1,08 ila 1,50 katı arasındadır. Levhaları RP tabakasında olan numunelerin yük kapasiteleri, levhaların duvarın üzerinde olduğu (B) elemanlardan %62-175 oranında daha fazladır. Bu değerler bir duvarın diyagonal yük kapasitesinin, levhalarla sınırlanan katmanlarının (sıva) kalınlığı arttıkça önemli derecede arttığını göstermektedir.

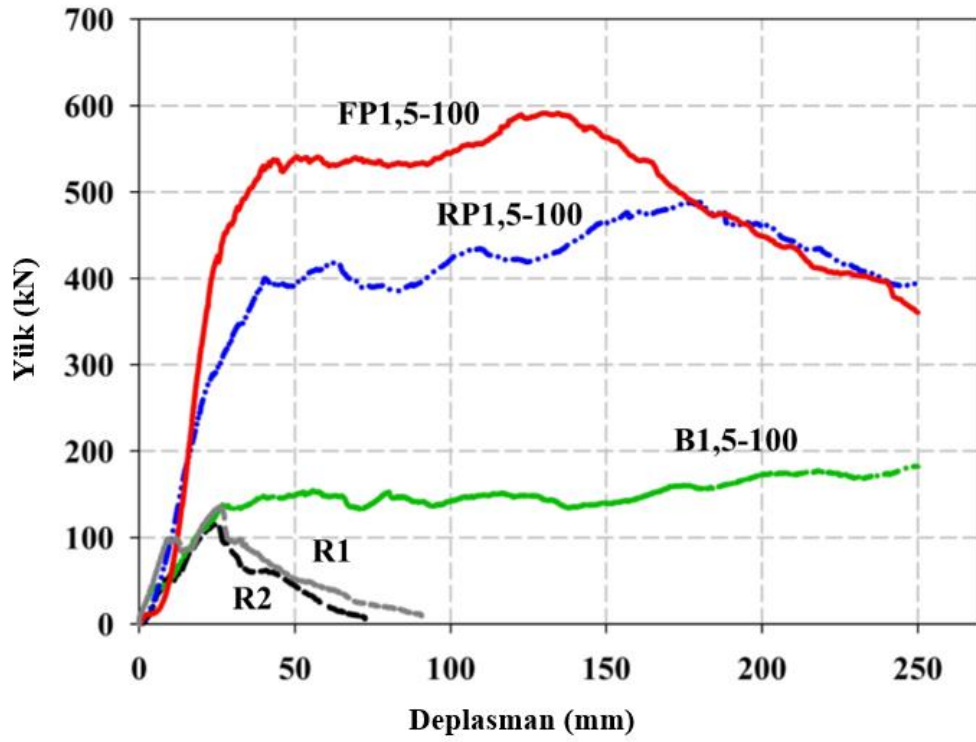
Tablo 5.5.'de verilen değerler göstermiştir ki, duvardaki levhanın konumu, güçlendirilmiş duvarların enerji dönüştürme kapasiteleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Aynı levha kalınlığı ve bulon aralıkları için levhaların FP tabakası üzerine uygulanması, levhaların direk olarak tuğla duvar (B) üzerinde olduğu elemanlara kıyasla enerji dönüştürme kapasite değerinin %50-220 arasında artmasına neden olmuştur. Benzer şekilde, levhaları RP tabakası üzerine uygulamak enerji dönüştürme kapasite değerinde levhaların duvarın üzerinde olduğu numunelere nazaran %70-170 aralığında artış sağlamıştır. Levha konumunun enerji dönüştürme kapasite değeri üzerindeki etkisi genellikle azalan levha kalınlığı ve azalan bulon aralığı ile birlikte artmaktadır.

Tablo 5.5.'de başlangıç rijitlik değerleri, üç deney parametresi arasında levhaların konumunun başlangıç rijitliği üzerindeki en etkili faktör olduğunu göstermiştir. Levhaların RP tabakasına uygulanması, başlangıç rijitlik değerinde %15-150 artışa neden olmuştur. Levhaları en dıştaki FP tabakasına uygulamak ise rijitlik değerini, aynı levha kalınlığı ve bulon aralığı için duvara doğrudan uygulanan levhalı numunelerin rijitlik değerlerinin 1,25-4,85 katı kadar artırmıştır. Levha konumunun rijitliğe katkısının, azalan levha kalınlığı ve azalan bulon aralığı ile arttığı görülmüştür.

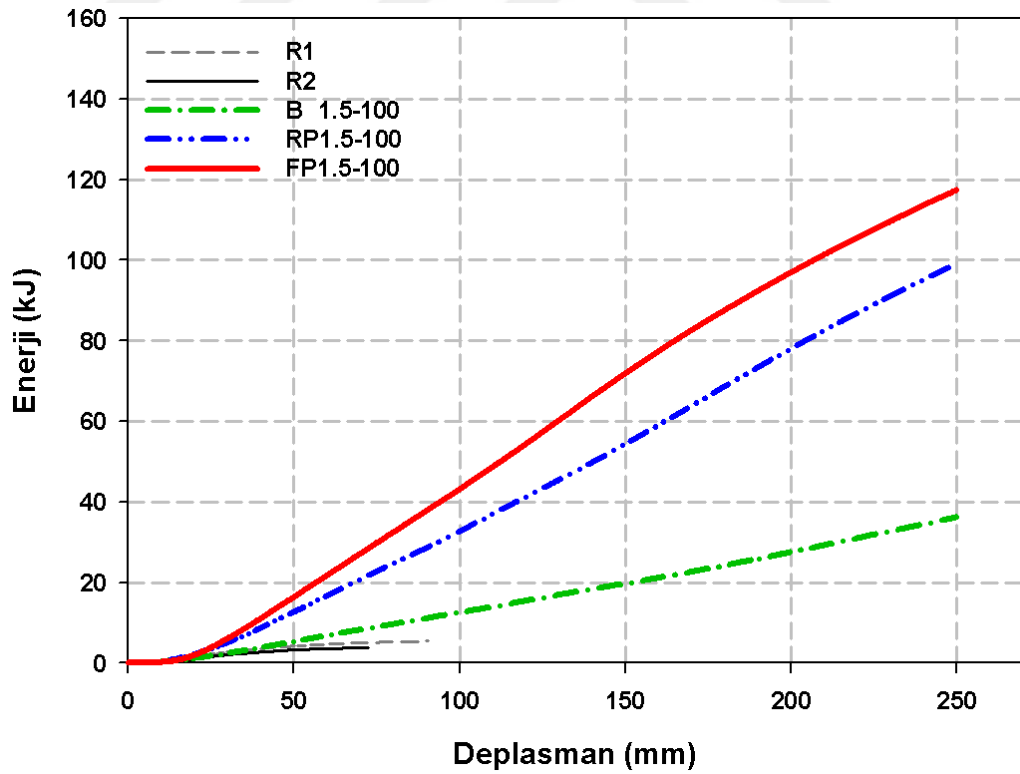
Örneğin RP1.5-100'ün başlangıç rijitliği, B1.5-100'ün ilgili değerlerinin yaklaşık 2,18 katı ve FP 1.5-100'ün başlangıç rijitliği, B1.5-100'ün rijitlik değerinden 4,85 kat daha fazladır. Bu durum, üzerinde ince levhalar ve yakın aralıklı bulonlar bulunan numunelerin rijitlikleri üzerinde, sıvalı duvarın daha fazla katmanının çevrelenmesinin aşırı etkisini göstermektedir.

Bulon aralığı, levha kalınlığı ve levhanın konumunun süneklik üzerinde açık bir etkisi yoktur (Tablo 5.5.). Sadece FP katmanında levha olan numunelerde süneklik değerleri, azalan bulon aralığı ile düzenli olarak artmıştır. Doğrudan duvar üzerinde levha olan numunelerin sünekliği genellikle, RP veya FP katmanı üzerinde levhaları bulunan numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Enerji dönüştürme kapasite değerlerinin aksine, süneklik değerleri süneklik ve deney parametreleri arasında doğrudan bir korelasyonu göstermemektedir. Bu nedenle, üzerinde levha olan duvarların deformasyon kapasiteleri bu çalışmada enerji dönüştürme kapasitelerine dayanarak değerlendirilmiştir.

Genişletilmiş çelik levha konumunun davranış ve dayanma olan etkisinin incelenmesi amacıyla bulon aralığı dışındaki tüm değişkenlerin sabit olduğu deney elemanları için yük-deplasman ve enerji-deplasman eğrileri gruplandırılarak ve referans elemanları (R1 ve R2) ile karşılaştırmalı olarak çizilmiş ve Şekil 5.41.-5.58.'de gösterilmiştir.

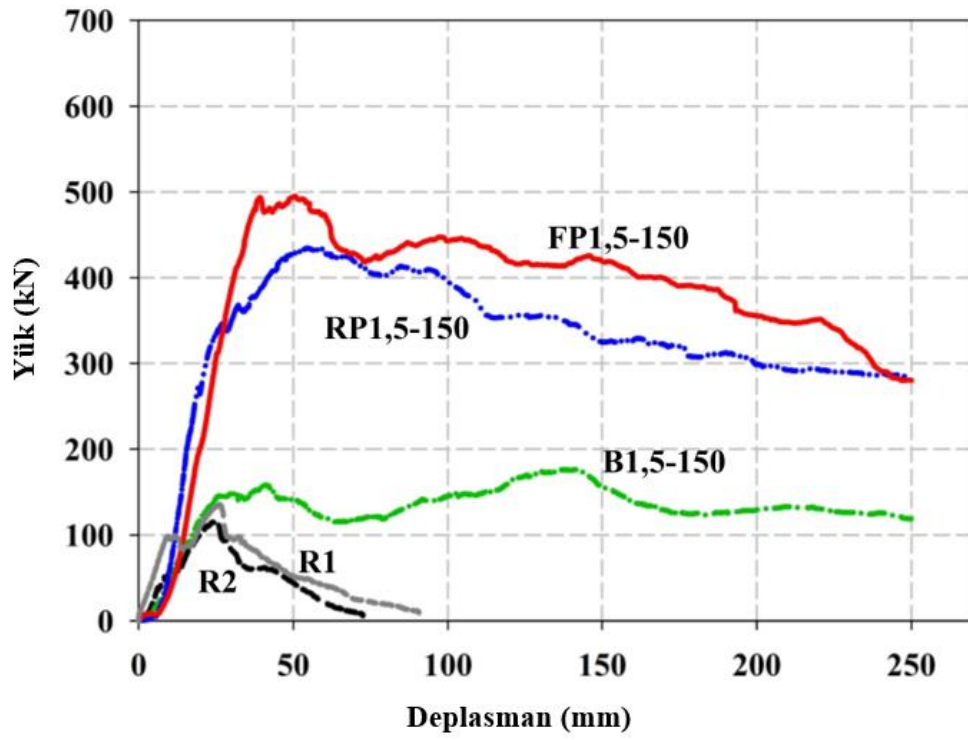


Şekil 5.41. 1,5 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri

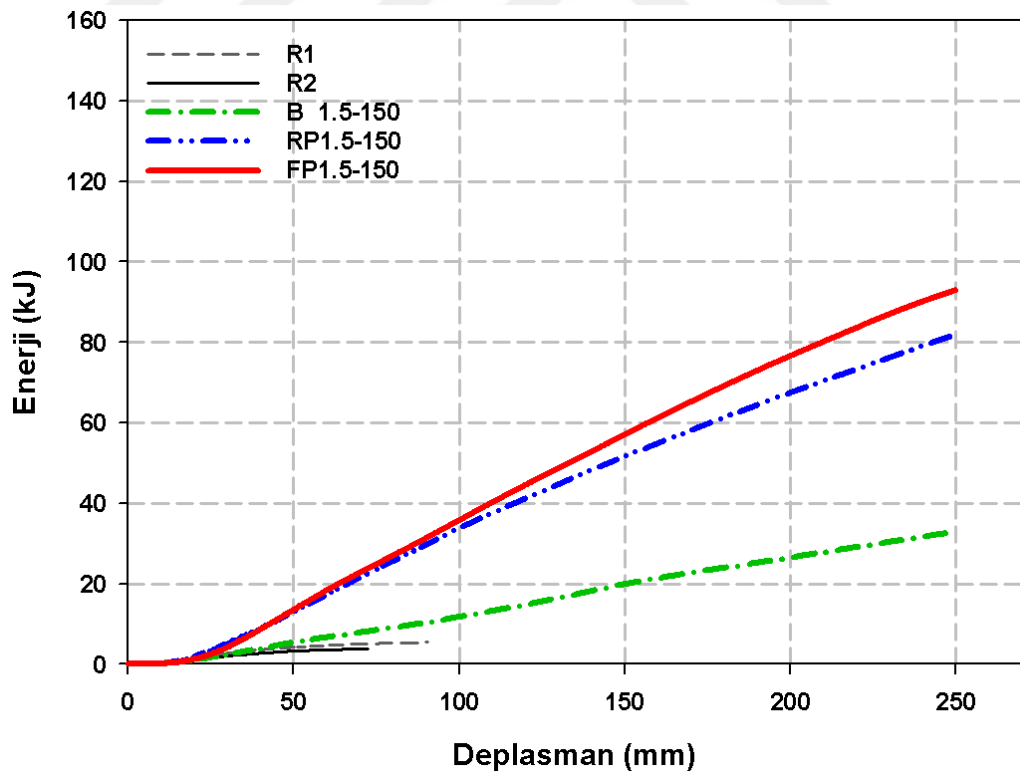


Şekil 5.42. 1,5 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri

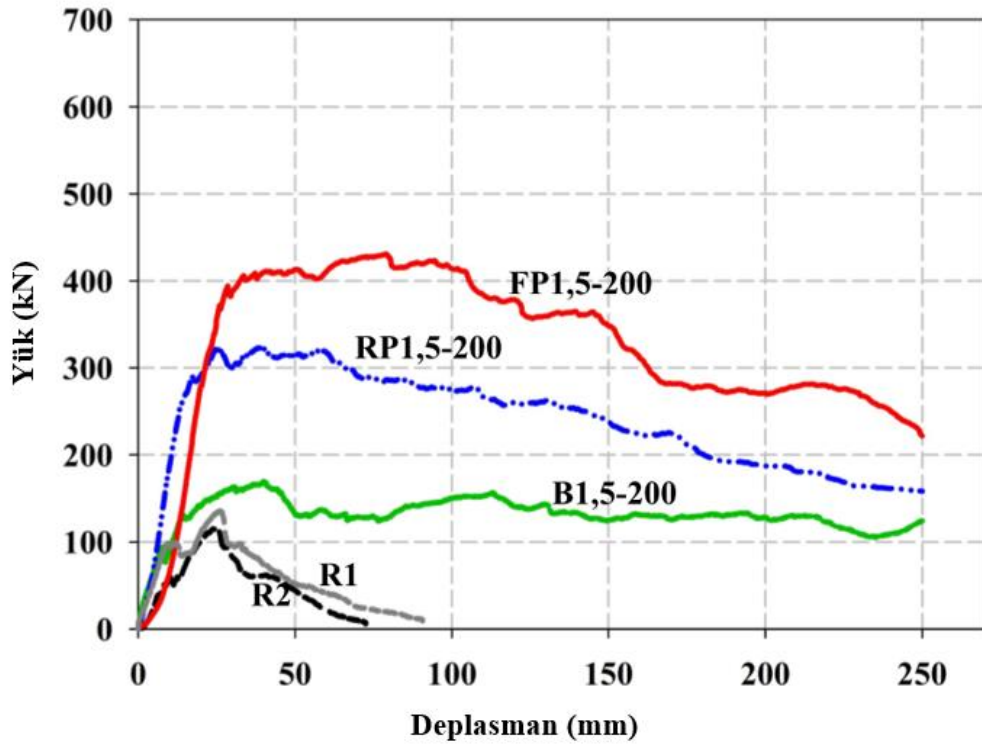




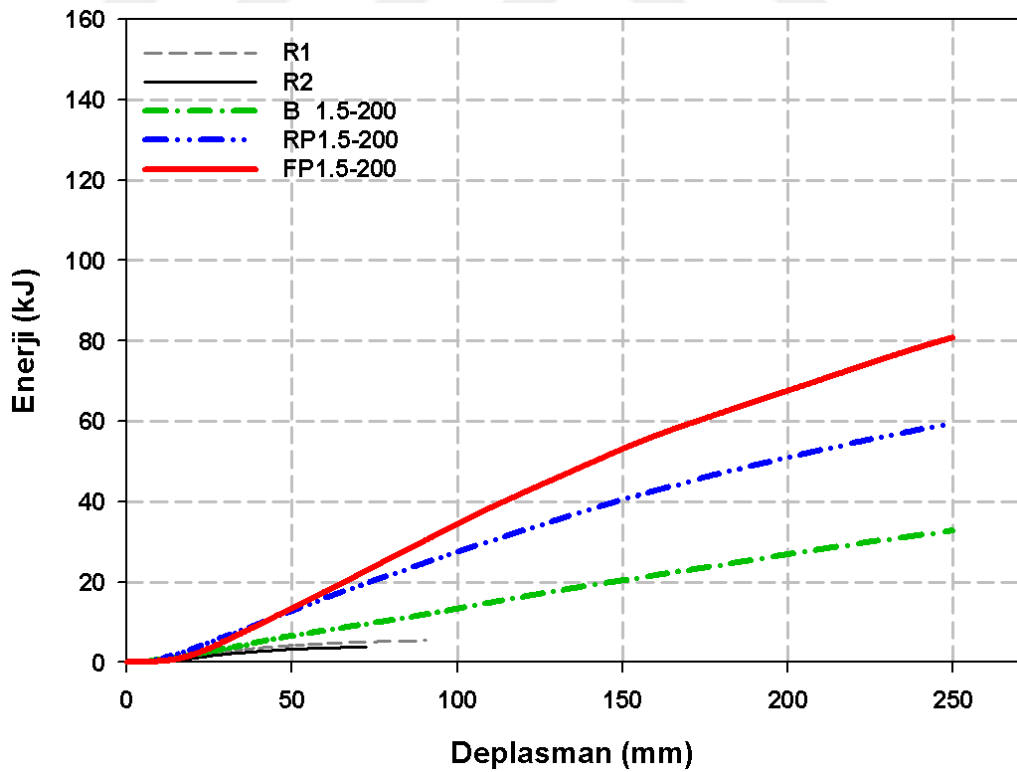
Şekil 5.43. 1,5 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



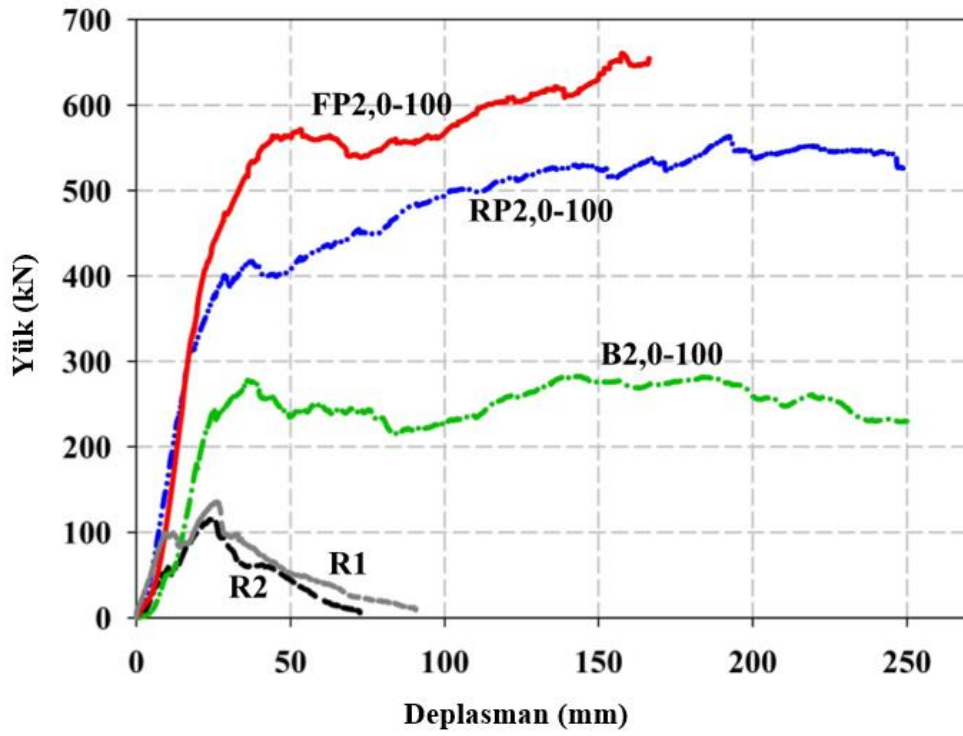
Şekil 5.44. 1,5 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



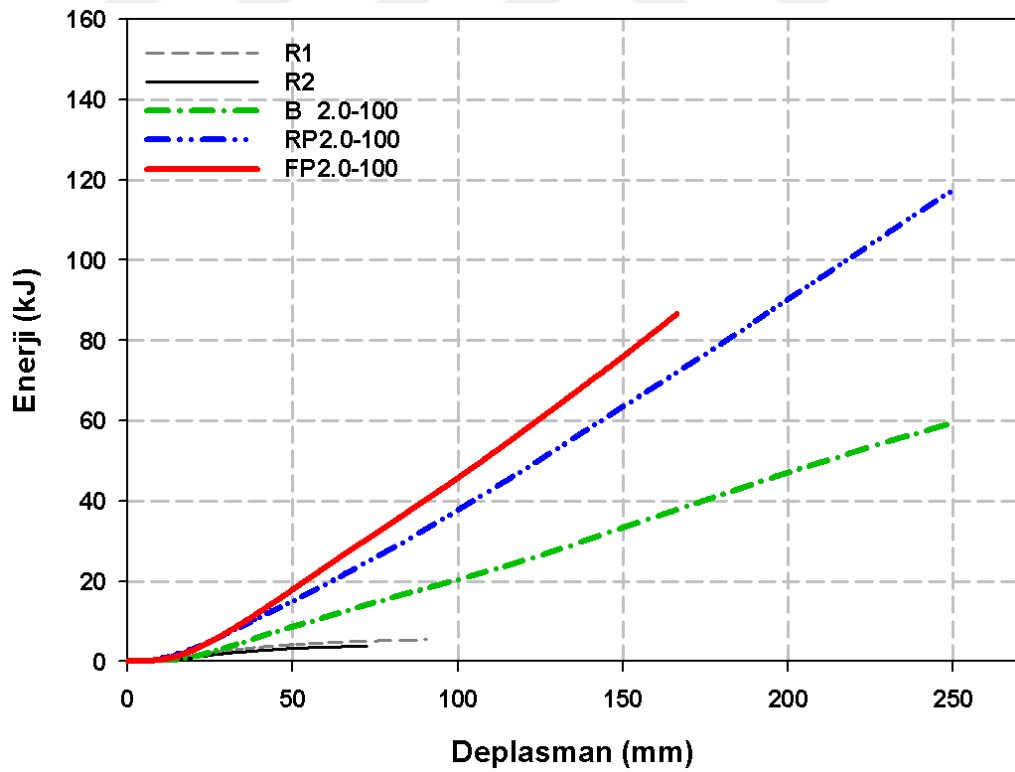
Şekil 5.45. 1,5 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



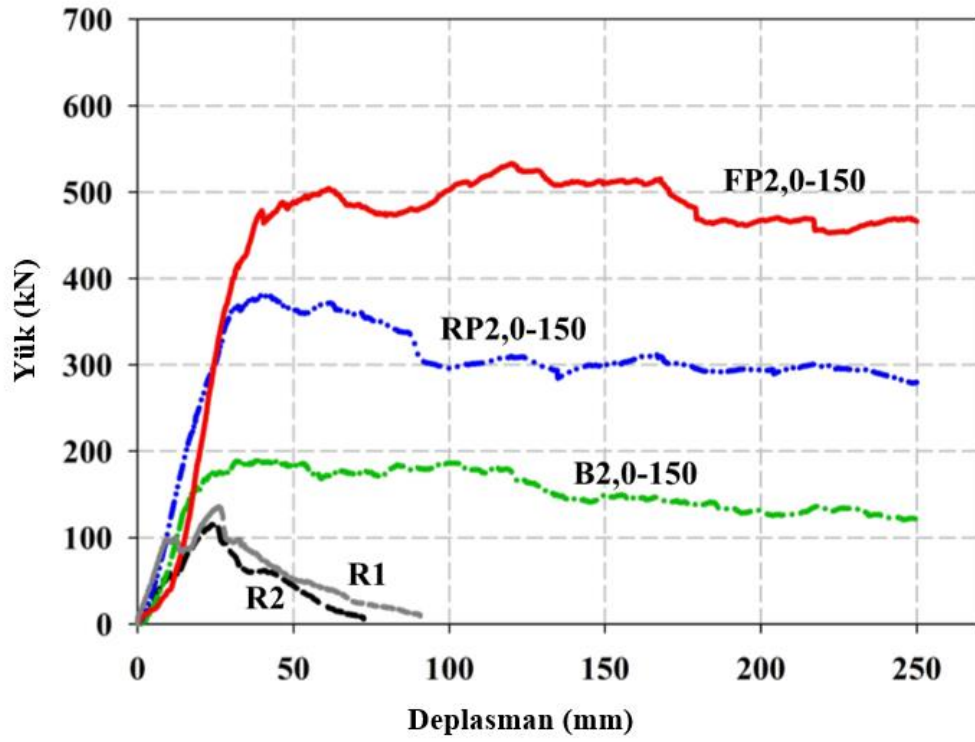
Şekil 5.46. 1,5 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



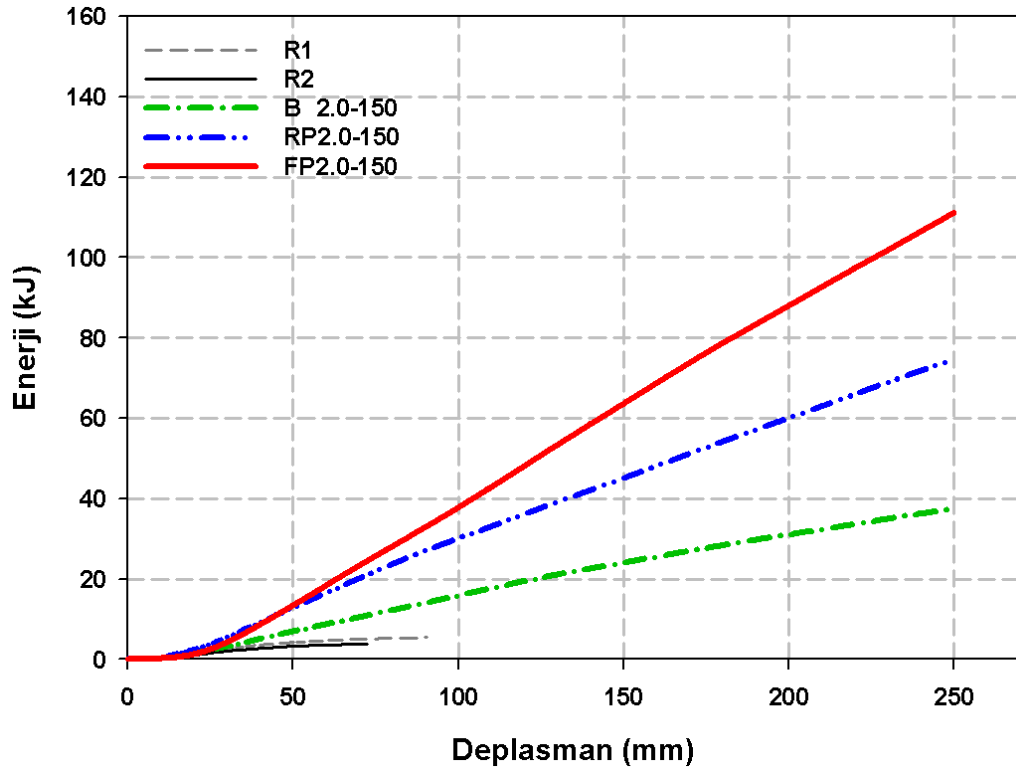
Şekil 5.47. 2,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



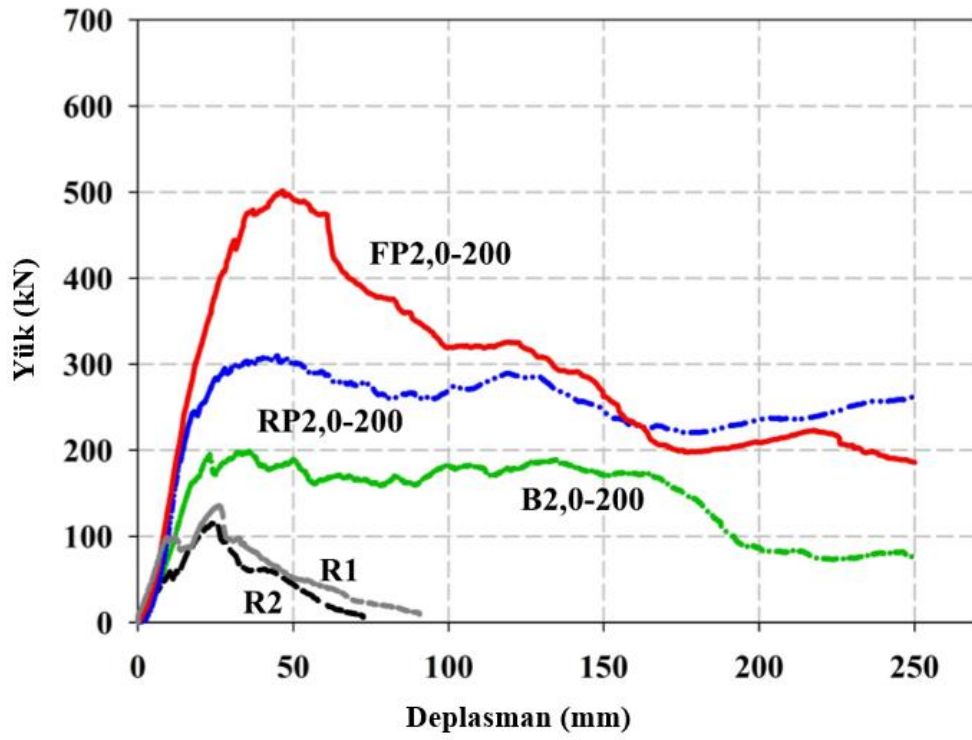
Şekil 5.48. 2,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



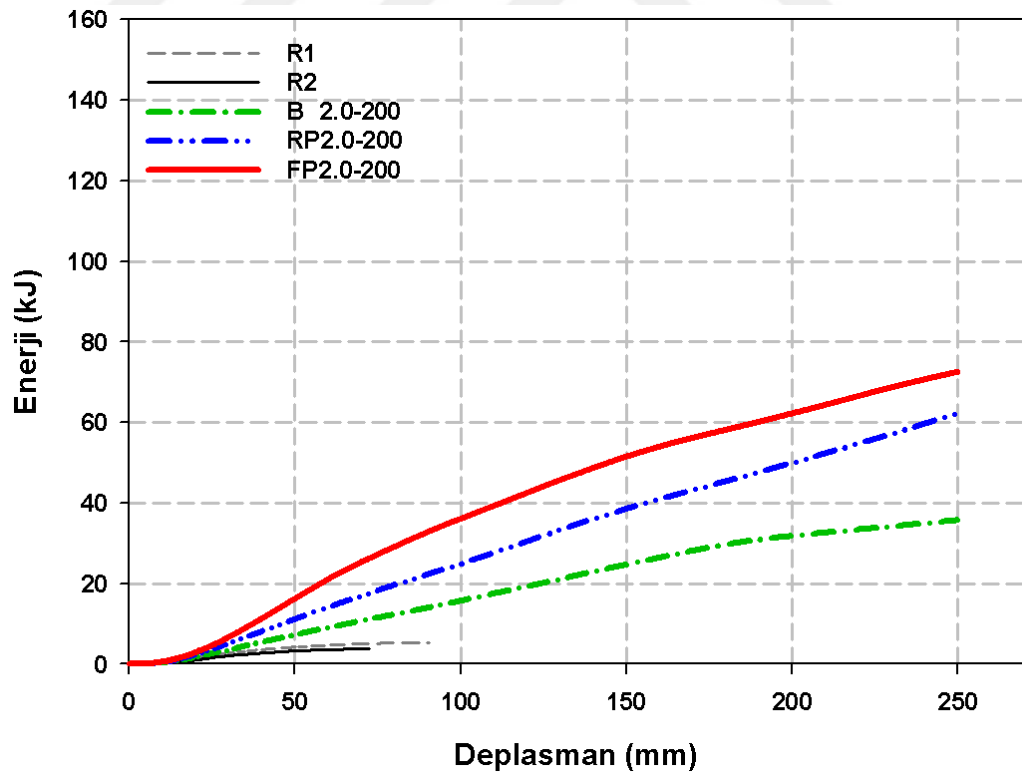
Şekil 5.49. 2,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



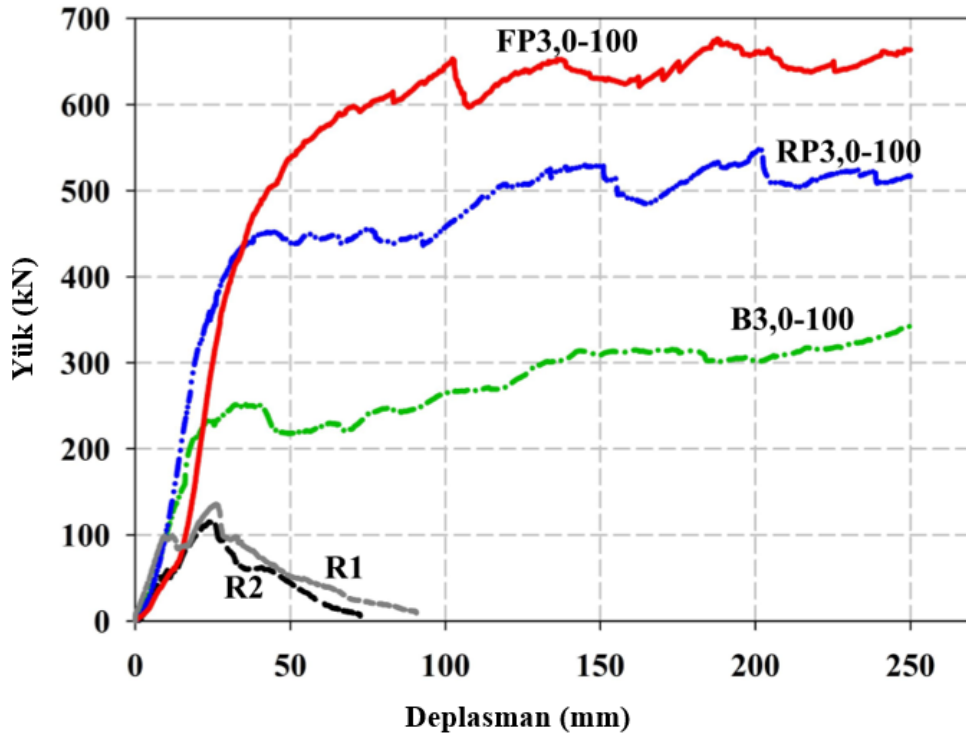
Şekil 5.50. 2,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



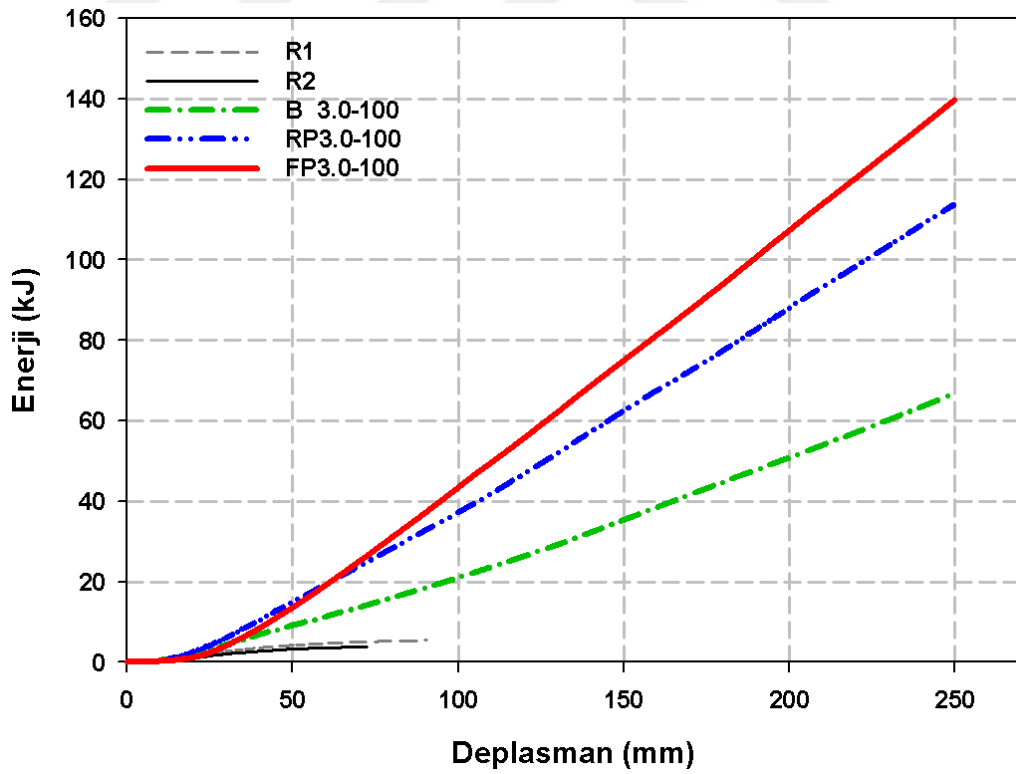
Şekil 5.51. 2,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



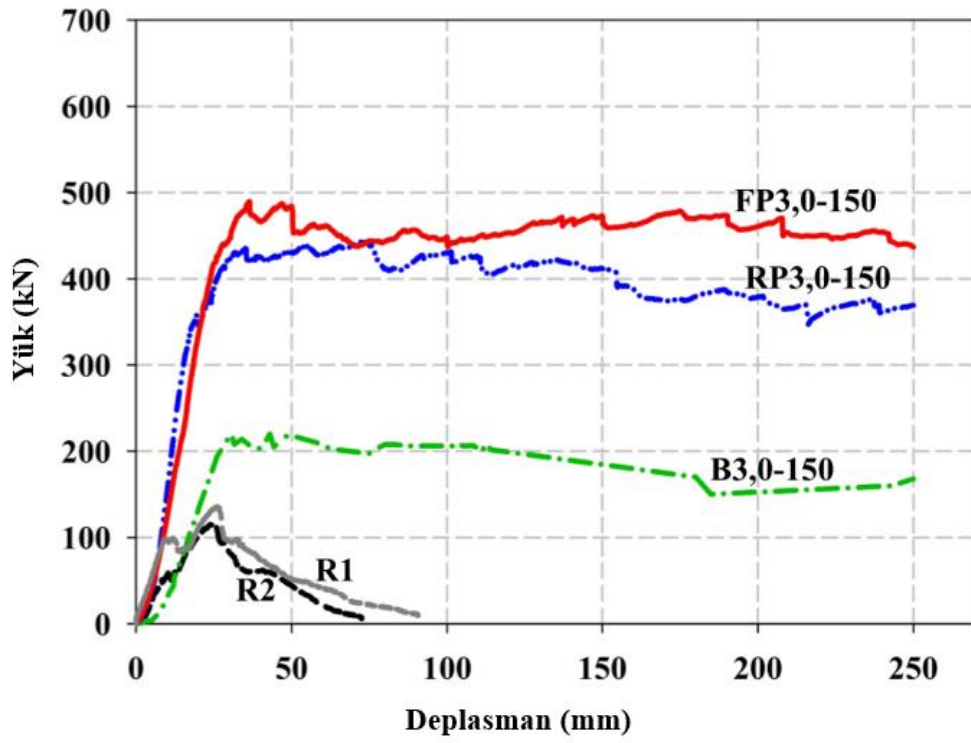
Şekil 5.52. 2,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



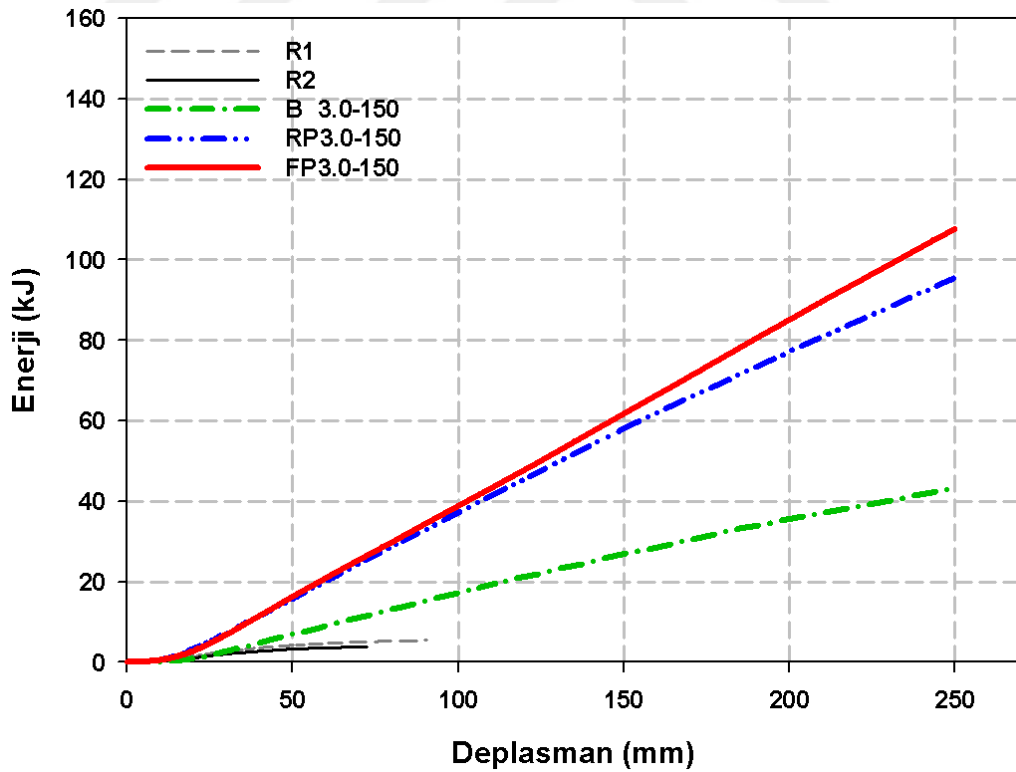
Şekil 5.53. 3,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



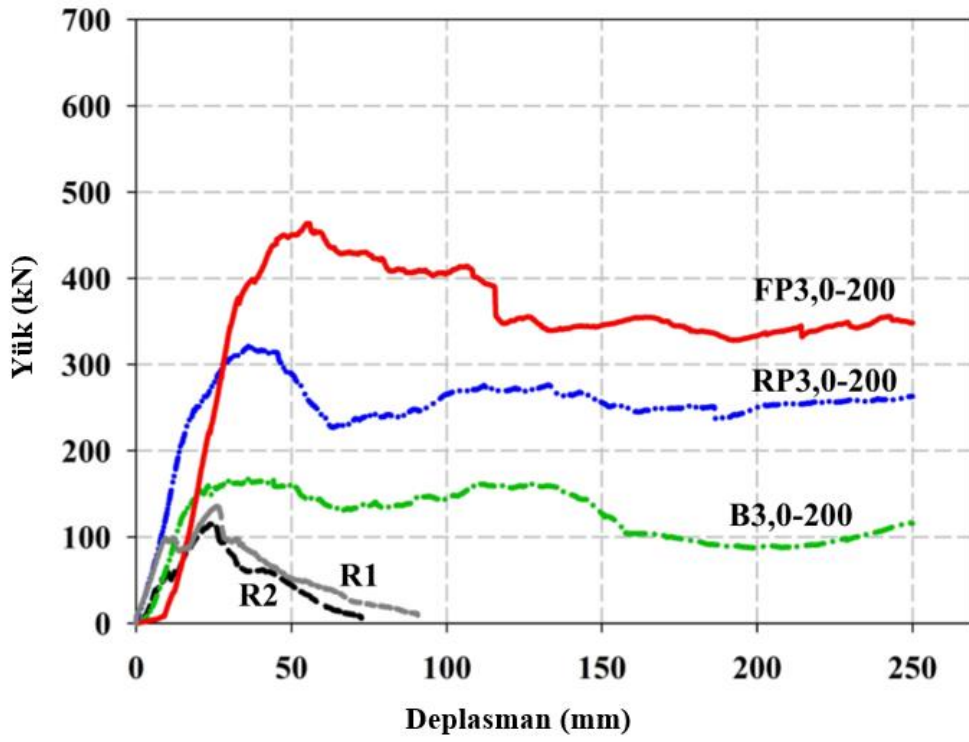
Şekil 5.54. 3,0 mm çelik levha ve 100 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



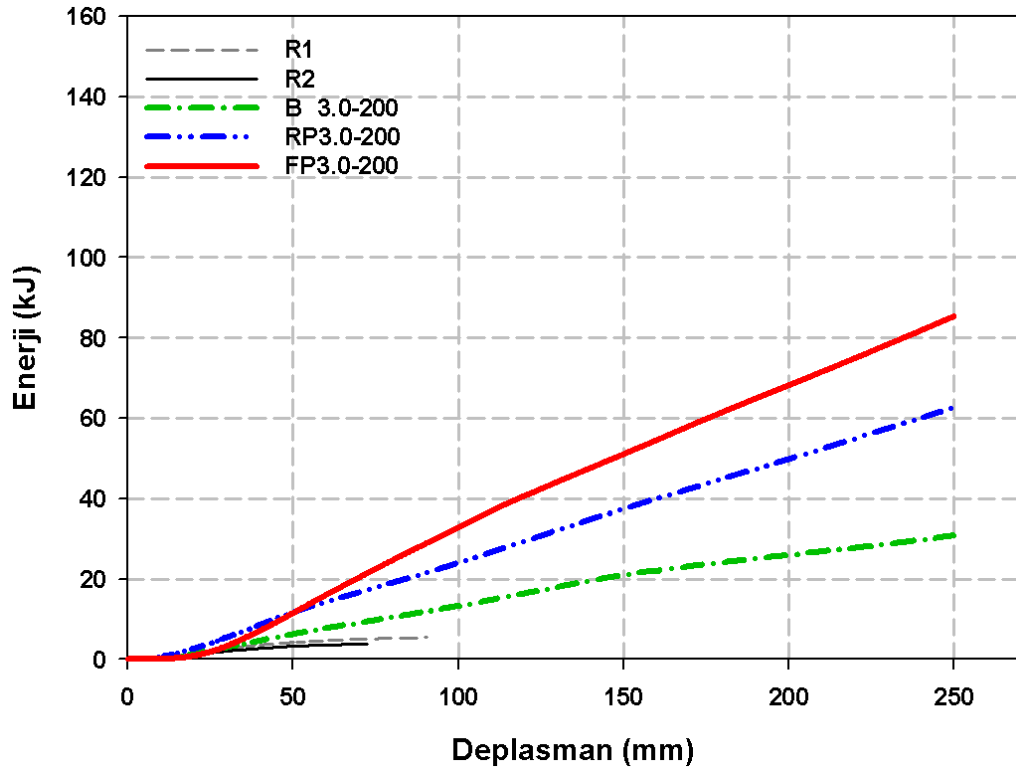
Şekil 5.55. 3,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 5.56. 3,0 mm çelik levha ve 150 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



Şekil 5.57. 3,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının yük-deplasman eğrileri



Şekil 5.58. 3,0 mm çelik levha ve 200 mm bulon aralığına sahip deney elemanlarının enerji-deplasman eğrileri



#### 5.4. Geçmişte Delikli Sac Levhalar Kullanılarak Yapılan Benzer Çalışma İle Karşılaştırma

Bu bölümde geçmişte delikli sac levhalar kullanılarak yapılan çalışma ile genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak yapılan çalışmalar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmaların ilk bölümde davranış ve dayanımları açısından ikinci bölümde ise güçlendirme maliyetleri açısından karşılaştırması yapılmıştır.

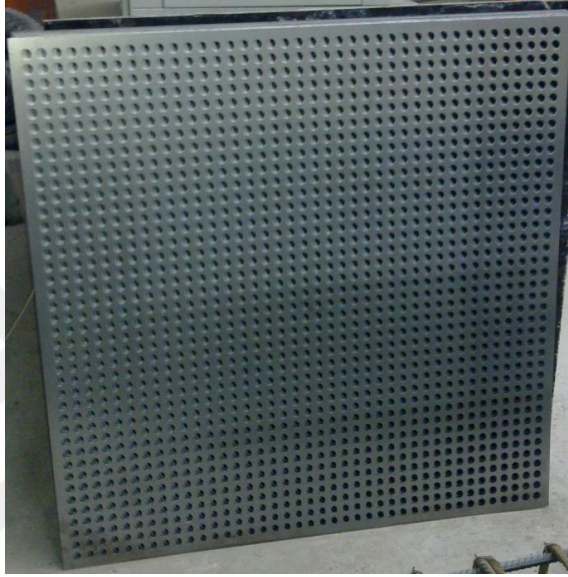
##### 5.4.1. Davranış ve dayanımları açısından karşılaştırma

İki çalışmada da  $85 \times 190 \times 190$  mm delikli tuğlalardan oluşan  $1000 \times 1000$  mm dolgu duvar deney numuneleri kullanılmıştır. Delikli sac levha ile yapılan güçlendirme çalışmasında biri referans olmak üzere toplam 13 adet deney elemanı test edilmiştir. Genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmasında ise ikisi referans olmak üzere toplam 30 adet deney elemanı test edilmiştir. Bu nedenle uygun kıyaslama yapabilmek için aynı değişkenlere sahip olan deney elemanları taşıma gücü, süneklik oranı ve enerji dönüştürme kapasiteleri bakımından karşılaştırılarak davranışları mukayese edilmiştir. İki çalışmadaki aynı değişkenler:

- a. Genişletilmiş çelik levhaların kalınlığı (1,5 ve 2 mm)
- b. Levhaları duvara bağlayan bulonların aralıkları (100, 150 ve 200 mm)
- c. Güçlendirilmiş duvar üzerinde levhanın konumu (2,0 mm sıva ile sıvanmış duvar üzerine)

Karşılaştırması yapılan iki çalışmada uygulamadan kaynaklanan tek fark, genişletilmiş çelik levhalarla ile yapılan güçlendirme çalışmasında, sıvanmış duvar üzerinde uygulanan genişletilmiş çelik levhanın dış yüzeyi 1,5 mm sıva ile sıvanmıştır. Delikli sac levhalar ile yapılan güçlendirme çalışmasında sıvanmış duvar üzerine delikli sac levhalar uygulanmış, geometrik yapısı ve sıva tutma özelliği olmadığından dış yüzeyi sıvanamamıştır. Genişletilmiş çelik levhaların sıva tutma özelliğinin olması ile tuğla dolgu duvarlar üç farklı uygulama yüzeyi ile güçlendirilmesi mümkün olmuştur. Bu değişkenler; "B" duvar üzerine, "RP" kaba sıva üzerine ve "FP" bitmiş sıva üzerine uygulamalarıdır. Böylece üç farklı değişkene sahip güçlendirme uygulamaları, bina

yeni yapılırken duvar üzerine uygulanabileceği gibi depremde hasar görmüş bir yapının mevcut farklı sıva katmanlı (kaba sıva üzerine, bitmiş sıva üzerine) duvar üzerine de uygulanabilmesi mümkün olacaktır. Karşılaştırılan çalışmalarda kullanılan delikli sac levhalar Resim 5.3.'te, genişletilmiş çelik levhalar Resim 5.4.'te ve aynı değişkenlere sahip olarak karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri de Tablo 5.6.'da verilmiştir.



Resim 5.3. Delikli sac levhalar (Seydanhoğlu, 2013)



Resim 5.4. Genişletilmiş çelik levhalar

Tablo 5.6. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilerek karşılaştırılan deney elemanlarının özellikleri

Delikli Sac Levha				Genişletilmiş Çelik Levha			
Eleman	Levha Kalınlığı (mm)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>2</sup> )	Bulon Aralığı (mm)	Eleman	Levha Kalınlığı (mm)	Birim Ağırlık (kg/m <sup>2</sup> )	Bulon Aralığı (mm)
S1,5-100	1,5	7,94	100	RP1,5-100	1,5	3,60	100
S1,5-150	1,5	7,94	150	RP1,5-150	1,5	3,60	150
S1,5-200	1,5	7,94	200	RP1,5-200	1,5	3,60	200
S2,0-100	2,0	10,59	100	RP2,0-100	2,0	7,20	100
S2,0-150	2,0	10,59	150	RP2,0-150	2,0	7,20	150
S2,0-200	2,0	10,59	200	RP2,0-200	2,0	7,20	200

Tablo 5.6.'da verilen 1,5 mm kalınlığındaki delikli sac levhanın birim ağırlığı 7,94 kg/m<sup>2</sup> iken genişletilmiş çelik levhanın birim ağırlığı 3,60 kg/m<sup>2</sup>'dir. Bu durumda 1,5 mm genişletilmiş çelik levhanın birim ağırlığı delikli sac levhanın birim ağırlığından yaklaşık %55 daha hafiftir. 2,0 mm kalınlığındaki delikli sac levhanın birim ağırlığı 10,59 kg/m<sup>2</sup> iken genişletilmiş çelik levhanın birim ağırlığı 7,20 kg/m<sup>2</sup>'dir. Bu durumda 2,0 mm genişletilmiş çelik levhanın birim ağırlığı delikli sac levhanın birim ağırlığından yaklaşık %32 daha hafiftir.

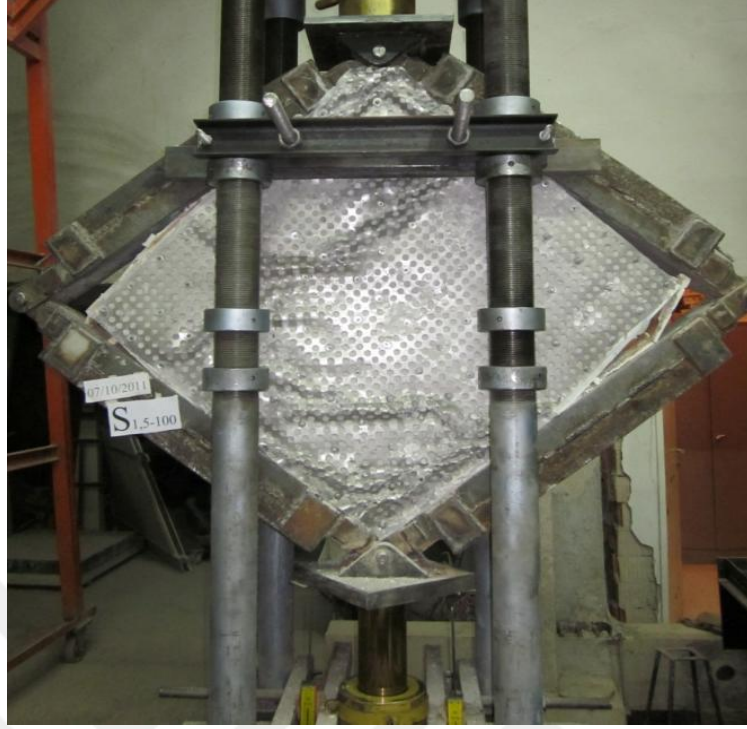
Genişletilmiş çelik levhalar ile yapılan güçlendirme çalışmasında levhaların sıva ile aderansı oldukça yüksek olmuştur. Böylece genişletilmiş çelik levhalar sıva ile kaplanarak, mimari ve görsel açıdan istemeyen durumların önüne geçilebilecektir. Delikli sac levhaların dış yüzeyine sıva uygulaması levhaların geometrik yapısı ve sıva ile aderansının olmamasından dolayı uygulanamamıştır. Bu durum delikli sac levhalar ile güçlendirme yapılması durumunda, mimari ve görsel açıdan olumsuz durumlar meydana getirebilecektir. Delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen S1,5-100 elemanı (Seydanlıoğlu, 2013) ile genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilen RP1,5-100 deney elemanının deney öncesi durumları (Resim 5.5.-5.6), deney sonundaki hasar durumları (Resim 5.7.-5.8.) ve yük-deplasman eğrileri (Şekil 5.59.-5.60.) karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



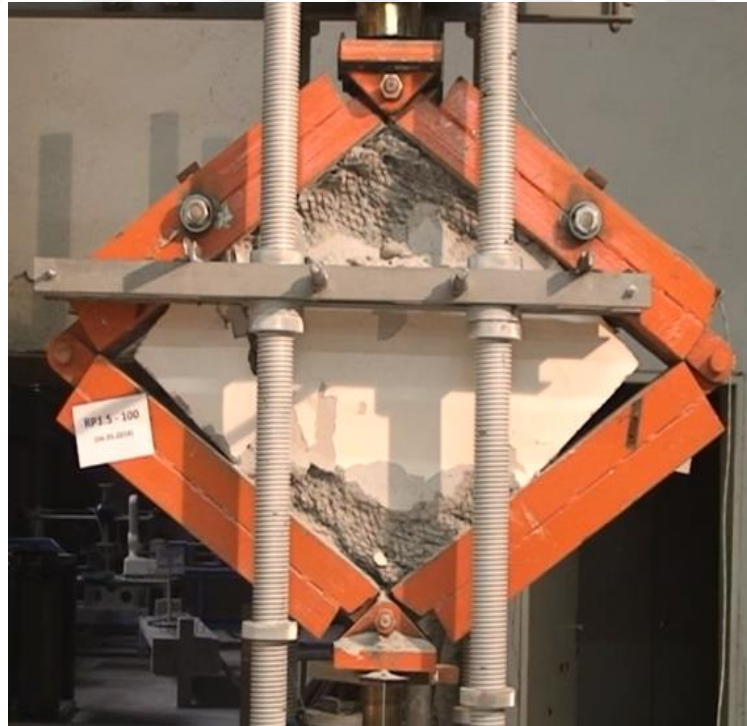
Resim 5.5. Delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen S1,5-100 elemanın deney öncesi durumu (Seydanlıoğlu ,2013)



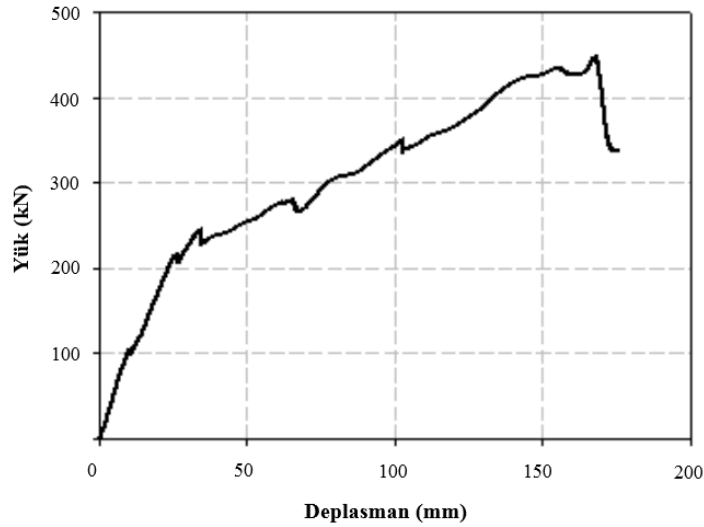
Resim 5.6. Genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilen RP1,5-100 elemanın deney öncesi durumu



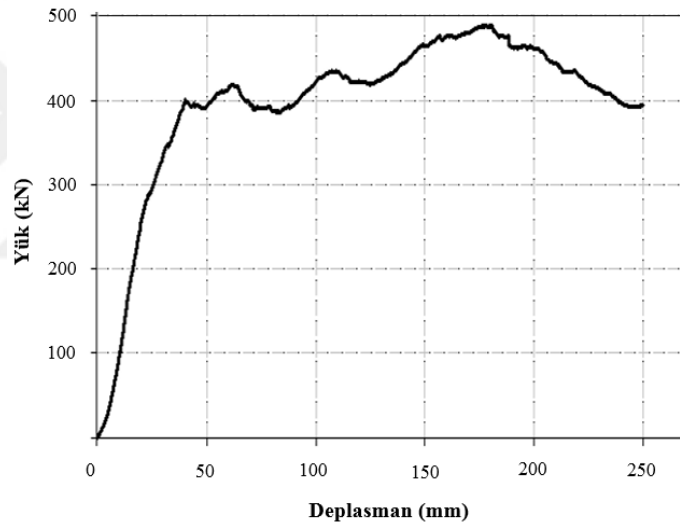
Resim 5.7. Delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen S1,5-100 elemanın deney sonundaki hasar durumu (Seydanlıoğlu, 2013)



Resim 5.8. Genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilen RP1,5-100 elemanın deney sonundaki hasar durumu



Şekil 5.59. Delikli sac levhalar kullanılarak güçlendirilen S1,5-100 deney elemanının yük-deplasman eğrisi (Seydanlıoğlu, 2013)



Şekil 5.60. Genişletilmiş çelik levhalar kullanılarak güçlendirilen R1,5-100 deney elemanının yük-deplasman eğrisi

Her iki çalışma da kendi deney düzenekleri ve ölçüm aletlerinin kapasitelerine göre yapılmıştır. Genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmasında deney düzeneği ve ölçüm aletlerinin kapasiteleri daha iyi olduğundan daha ileri deplasman değerlerine (250 mm) ulaşarak daha fazla veri elde edilebilmiştir. Ancak her iki çalışma da ölçüm aletlerinin yetersizliği nedeniyle tam kapasiteye ulaşamadan bitirilmiştir. Dolayısıyla her iki çalışmanın da daha yüksek kapasitelere ulaşabileceğini belirtmek gerekir. Bu sebeple iki çalışma için yapılacak karşılaştırma elde edilen deney verilerine göre yapılmıştır.

Tablo 5.7.'de, delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen tuğla dolgu duvar çalışmasında, deney elemanlarının taşıma kapasiteleri kN cinsinden verilerek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.7.'deki karşılaştırma oranı, genişletilmiş çelik levhanın taşıma gücü değerinin delikli sac levhanın taşıma gücü değerine oranı ile elde edilmiştir.

Tablo 5.7. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmalarının deneysel taşıma gücüne göre karşılaştırılması

Delikli Sac Levha		Genişletilmiş Çelik Levha		Karşılaştırma Oranı
Eleman	Taşıma Gücü (kN)	Eleman	Taşıma Gücü (kN)	
S1,5-100	466	RP1,5-100	421	0,90
S1,5-150	240	RP1,5-150	372	1,55
S1,5-200	244	RP1,5-200	276	1,13
S2,0-100	360	RP2,0-100	489	1,36
S2,0-150	310	RP2,0-150	332	1,07
S2,0-200	260	RP2,0-200	271	1,04

Taşıma gücüne göre, her iki güçlendirme çalışmasında bulon aralığı ve levha kalınlığı arttıkça tuğla dolgu duvarların tekdüze diyagonal basınç kapasitelerinin arttığı belirlenmiştir.

Delikli sac levha ile güçlendirilen deney elemanlarında en yüksek taşıma gücüne S1,5-100 elemanı 466 kN ile ulaşırken, genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanlarında RP2,0-100 elemanı 489 kN ile ulaşmıştır.

İki çalışmadaki aynı değişkenlere sahip elemanların deney sonuçları karşılaştırıldığında genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanları delikli sac levha ile güçlendirilen deney elemanlarına göre taşıma kapasitelerinde %55' lere varan artışların olduğu görülmüştür.

Tablo 5.8.'de, delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen tuğla dolgu duvar çalışmasında, deney elemanlarının süneklik oranları verilerek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.8.'deki karşılaştırma oranı, genişletilmiş çelik levhanın süneklik oranı değerinin delikli sac levhanın süneklik oranı değerine oranı ile elde edilmiştir.

Tablo 5.8. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmalarının süneklik oranına göre karşılaştırılması

Delikli Sac Levha		Genişletilmiş Çelik Levha		Karşılaştırma Oranı
Eleman	Süneklik Oranı	Eleman	Süneklik Oranı	
S1,5-100	6,9	RP1,5-100	8,8	1,28
S1,5-150	4,0	RP1,5-150	8,1	2,03
S1,5-200	5,4	RP1,5-200	10,6	1,96
S2,0-100	5,5	RP2,0-100	13,0	2,36
S2,0-150	5,9	RP2,0-150	11,0	1,86
S2,0-200	5,7	RP2,0-200	15,3	2,68

Süneklik oranına göre, delikli sac levha ile yapılan güçlendirme çalışmasında bulon aralığı azaldıkça tutarlı olmasa da sünekliğin arttığı, levha kalınlığının ise bulon aralığı kadar etkili olmadığı görülmüştür. Genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmasında ise bulon aralığı ve levha kalınlığı arttıkça sünekliğin arttığı görülmüştür.

Delikli sac levha ile güçlendirilen deney elemanlarında en yüksek süneklik oranına S1,5-100 elemanı 6,9 ile ulaşırken, genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanlarında RP2,0-200 elemanı 15,3 ile ulaşılmıştır.

İki çalışmadaki aynı değişkenlerde sahip elemanların deney sonuçları karşılaştırıldığında genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanları delikli sac levha ile güçlendirilen deney elemanlarına göre süneklik oranlarında yaklaşık %170' lere varan artışların olduğu görülmüştür.



Tablo 5.9.'da, delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen tuğla dolgu duvar çalışmasında, deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri kJ cinsinden verilerek deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Tablo 5.9.'daki karşılaştırma oranı, genişletilmiş çelik levhanın enerji dönüştürme kapasitesi değerinin delikli sac levhanın enerji dönüştürme kapasitesi değerine oranı ile elde edilmiştir.

Tablo 5.9. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmalarının enerji dönüştürme kapasitesine göre karşılaştırılması

Delikli Sac Levha		Genişletilmiş Çelik Levha		Karşılaştırma Oranı
Eleman	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (kJ)	Eleman	Enerji Dönüştürme Kapasitesi (kJ)	
S1,5-100	53,5	RP1,5-100	99,2	1,85
S1,5-150	32,2	RP1,5-150	82,0	2,55
S1,5-200	18,3	RP1,5-200	59,5	3,25
S2,0-100	50,0	RP2,0-100	117,5	2,35
S2,0-150	42,2	RP2,0-150	74,7	1,77
S2,0-200	19,3	RP2,0-200	62,3	3,23

Enerji dönüştürme kapasitelerine göre her iki çalışmada deney ölçüm aletlerinin yetersizliğinden dolayı tam kapasiteye ulaşamamasına rağmen yüksek enerji dönüştürme kapasiteleri elde edildiği belirlenmiştir.

Delikli sac levha ile güçlendirilen deney elemanlarında en yüksek enerji dönüştürme kapasitesine S1,5-100 elemanı 53,5 kJ ile ulaşırken, genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanlarında RP2,0-100 elemanı 117,5 kJ ile ulaşmıştır.

İki çalışmadaki aynı değişkenlerde sahip elemanların deney sonuçları karşılaştırıldığında genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanları delikli sac levha ile güçlendirilen deney elemanlarına göre enerji tüketim kapasitelerinde yaklaşık %225' lere varan artışların olduğu görülmüştür.

Yapılan iki çalışma genel olarak karşılaştırıldığında, genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü, süneklik oranı ve enerji dönüştürme kapasiteleri delikli sac levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirmenin tuğla dolgu duvarların davranış ve dayanımları üzerinde katkısının çok daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

#### **5.4.2. Güçlendirme maliyetleri açısından karşılaştırma**

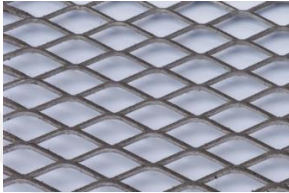
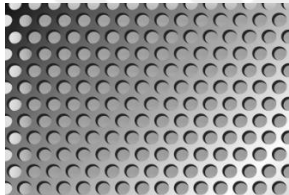




Genişletilmiş çelik levhalar malzeme özellikleri bakımından sünek, hafif, ucuz uygulama özellikleri bakımından ise binaların boşaltılmasını gerektirmeden seri ve pratik uygulanabilmesi önemli avantajları arasında yer alır. Dolgu duvarları güçlendirme çalışmalarında uygulanabilirliğini belirleyen en önemli unsurlardan biri de güçlendirme maliyetidir. Bu amaçla genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş dolgu duvarların maliyet analizinin yapılması, diğer güçlendirme maliyetleri ile karşılaştırılması gerekmektedir.

Bu bölümde genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların güçlendirme maliyetleri malzeme, işçilik ve zaman açısından değerlendirilerek çıkarılmıştır. Ayrıca delikli sac levhalar ile yapılan çalışmanın güçlendirme maliyet analizi de çıkartılarak genişletilmiş çelik levhalar ile yapılan mevcut çalışma ile karşılaştırılmıştır.

Maliyet analizi yapılırken malzeme maliyeti için üretici fabrika ve perakende satış yapan firmalar ile görüşülmüştür. Çalışma kapsamında malzemelerin temin edildiği firmanın malzeme maliyetleri esas alınmıştır. Maliyet analizinde işçilik maliyeti; sektörden temin edilen bir ustanın yaptığı işçilik ve güncel piyasa ücretleri temel alınarak belirlenmiştir. Maliyet analizinde zaman ise çalışma kapsamında Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mekaniği laboratuvarında yapılan uygulama ile belirlenmiştir.

Genişletilmiş elik levha ve delikli sac levha ile yapılan gclendirme çalışmasında kullanılan malzemeler ve zellikleri Tablo 5.10.'da gösterilmiştir. Delikli sac levha ile 1 m<sup>2</sup> duvarın gclendirme maliyet analizi Tablo 5.11.'de, genişletilmiş elik levha ile 1 m<sup>2</sup> duvarın gclendirme maliyet analizi Tablo 5.12.'de ve yapılan bu iki çalışmanın gclendirme maliyetlerinin karşılaştırılması da Tablo 5.13.'te verilmiştir.

Tablo 5.10. Gclendirme çalışmasında kullanılan malzemeler ve zellikleri

Malzeme Resmi	Malzeme Adı	Malzeme zellikleri
	Genişletilmiş elik Levha	1 × 1 m boyutunda, 20 mm × 50 mm baklava deseninde DKP genişletilmiş elik levha; levha kalınlığı 1,0 mm, 1,5 mm ve 2,0 mm; dilim genişliği 3,0 mm ve 4,5 mm.
	Delikli Sac Levha	1 × 1 m boyutunda DKP delikli sac levha; sac kalınlığı 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm ve 2,0 mm; delik çapı 16 mm; merkezden merkeze uzaklığı 24 mm.
	M6 Gijon	Galvanizli, paslanmaz, 6 mm çapında Gijon mili, Tij.
	M. 6 Somun	6 köşe metrik paslanmaz somun. Anahtar ağzı 10 mm, yüksekliği 5 mm.
	M6 Pul Rondela	6,4 mm delik çapında elik, düz, beyaz pul. Dış apı 12,5 mm ve et kalınlığı 1,6 mm.
	M12 Pul Rondela	13 mm delik çapında elik, düz, beyaz pul. Dış apı 24 mm ve et kalınlığı 2,5 mm.

Tablo 5.11. Delikli sac levha ile 1 m<sup>2</sup> duvarın güçlendirme maliyet analizi

Tanımı	Levha Kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	Birim	Birim Ağırlık (kg/m <sup>2</sup> )	Birim Fiyat	Miktar (Adet)	Toplam Fiyat (TL)	
Delikli Sac Levha	1,5	-	1 m <sup>2</sup>	7,94	40,00 TL/m <sup>2</sup>	2	80,00	
	2,0	-	1 m <sup>2</sup>	10,59	55,00 TL/m <sup>2</sup>	2	110,00	
Malzeme Maliyet Analizi	-	100	0,125 m	-	0,14 TL	100	14,00	
	M6 Gijon	-	150	0,125 m	-	0,14 TL	49	6,86
	-	200	0,125 m	-	0,14 TL	25	3,50	
	-	100	adet	-	0,02 TL/adet	200	4,00	
	M6 Somun	-	150	adet	-	0,02 TL/adet	98	1,96
	-	200	adet	-	0,02 TL/adet	50	1,00	
M6 Pul	-	100	adet	-	0,02 TL/adet	200	4,00	
	-	150	adet	-	0,02 TL/adet	98	1,96	
	-	200	adet	-	0,02 TL/adet	50	1,00	
İşçilik Maliyet Analizi		100	saat	-	10 TL/saat	1	10,00	
	Ankraj Deliklerinin Açılması	150	saat	-	10 TL/saat	0,5	5,00	
		200	saat	-	10 TL/saat	0,25	2,50	
		100	saat	-	10 TL/saat	1,5	15,00	
	Montajların Yapılması	150	saat	-	10 TL/saat	0,75	7,50	
		200	saat	-	10 TL/saat	0,375	3,75	

Tablo 5.12. Genişletilmiş elik levha ile 1 m<sup>2</sup> duvarın gulendirme maliyet analizi

Tanıml	Levha Kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	Birim	Birim Ağırlık (kg/m <sup>2</sup> )	Birim Fiyat	Miktar (Adet)	Toplam Fiyat (TL)
Genişletilmiş elik Levha	1,5	-	1 m <sup>2</sup>	3,60	18,00 TL/m <sup>2</sup>	2	36,00
	2,0	-	1 m <sup>2</sup>	7,20	30,00 TL/m <sup>2</sup>	2	60,00
	3,0	-	1 m <sup>2</sup>	10,80	39,00 TL/m <sup>2</sup>	2	78,00
M6 Gijon	-	100	0,125 m	-	0,14 TL	100	14,00
	-	150	0,125 m	-	0,14 TL	49	6,86
	-	200	0,125 m	-	0,14 TL	25	3,50
M6 Somun	-	100	adet	-	0,02 TL/adet	200	4,00
	-	150	adet	-	0,02 TL/adet	98	1,96
	-	200	adet	-	0,02 TL/adet	50	1,00
M6 Pul	-	100	adet	-	0,02 TL/adet	200	4,00
	-	150	adet	-	0,02 TL/adet	98	1,96
	-	200	adet	-	0,02 TL/adet	50	1,00
M12 Pul	-	100	adet	-	0,11 TL/adet	200	22,00
	-	150	adet	-	0,11 TL/adet	98	10,78
	-	200	adet	-	0,11 TL/adet	50	5,50
İşçilik Maliyet Analizi	Ankraj Deliklerinin Açılması	100	saat	-	10 TL/saat	1	10,00
		150	saat	-	10 TL/saat	0,5	5,00
		200	saat	-	10 TL/saat	0,25	2,50
	Montajların Yapılması	100	saat	-	10 TL/saat	1,5	15,00
		150	saat	-	10 TL/saat	0,75	7,50
		200	saat	-	10 TL/saat	0,375	3,75

Tablo 5.13. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile 1 m<sup>2</sup> duvarın güçlendirme maliyetlerinin karşılaştırılması

Delikli Sac Levha			Genişletilmiş Çelik Levha			Maliyet Farkı (TL/m <sup>2</sup> )	Maliyet Farkı (%)
Levha Kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )	Levha Kalınlığı (mm)	Bulon Aralığı (mm)	Maliyet (TL/m <sup>2</sup> )		
1,5	100	127,00	1,5	100	105,00	22,00	17,32
1,5	150	103,28	1,5	150	70,06	33,22	32,16
1,5	200	91,75	1,5	200	53,25	38,50	41,96
2,0	100	157,00	2,0	100	129,00	28,00	17,83
2,0	150	133,28	2,0	150	94,06	39,22	29,43
2,0	200	121,75	2,0	200	77,25	44,50	36,55
3,0	100	-	3,0	100	147,00	-	-
3,0	150	-	3,0	150	112,06	-	-
3,0	200	-	3,0	200	95,25	-	-

Tablo 5.13.'te verilen aynı parametrelere sahip delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme maliyetleri karşılaştırıldığında, genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme maliyetlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

1,5 mm levha kullanılarak yapılan güçlendirme çalışmalarında, genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme maliyeti delikli sac levhaya göre 1m<sup>2</sup> duvar için en az 22 TL (%17,32) en fazla 38,50 TL (% 41,96) daha düşük olduğu belirlenmiştir.

2,0 mm levha kullanılarak yapılan güçlendirme çalışmalarında, genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme maliyeti delikli sac levhaya göre 1m<sup>2</sup> duvar için en az 28 TL (%17,83) en fazla 44,50 TL (%36,55) daha düşük olduğu belirlenmiştir.

3,0 mm levha ile delikli sac levha ile güçlendirme yapılmadığı için genişletilmiş çelik levha maliyeti ile karşılaştırması yapılamamıştır. 3,0 mm genişletilmiş çelik levha ile yapılan çalışmada güçlendirme maliyeti 1m<sup>2</sup> duvar için 100 mm bulon aralığı uygulandığında 147 TL, 150 mm bulon aralığı uygulandığında 112,06 TL, 200 mm bulon aralığı uygulandığında ise 95,25 TL olarak belirlenmiştir.

Genişletilmiş elik levhalar ile yapılacak gclendirme uygulamasında yapı metrajı arttıkça malzeme maliyetlerinin, seri uygulama ile işçilik maliyetlerinin ve gclendirme zamanının dşeeği unutulmamalıdır.



## BÖLÜM 6. ANALİTİK ÇALIŞMA

Dolgu duvarlar, dört farklı düzlem içi modda hasara maruz kalabilirler. Bunlar FEMA 306 Kılavuzu (FEMA 1998) uyarınca, derz düzleminde kayma, diyagonal çatlama, köşe ezilme ve genel kayma göçmesidir. Beşinci hasar modu olan düzlem-dışı hasar bu çalışmanın numuneleri için geçerli değildir. Çünkü düzlem-dışı ötelenme deneylerde yanal destek sistemi yardımı ile önlenmiştir. Duvar panellerinin diyagonal basınç testinde yalnızca çapraz gerilme ve çapraz basınç hasarlarının ortaya çıkması muhtemeldir. Güçlendirilmiş tuğla duvarların diyagonal gerilme kapasitelerine, güçlendirilmiş levhalarının diyagonal boyunca akma gerçekleştiğinde ulaşılabileceği varsayılır. Diyagonal gerilme çatlakları oluştuğundan sonra tuğlalar ve sıvanın gerilmeye karşı koymaya katkıları kesildiği için, tuğlaların ve sıvanın diyagonal gerilme kapasitesine katkısı göz ardı edilmektedir. Bu varsayımlara dayanarak, Aykaç ve ark.. (2014), güçlendirilmiş dolgu duvarların diyagonal gerilme kapasitesi ( $D_{ten}$ ) için Denklem 6.1'i geliştirmişlerdir:

$$D_{ten} = \frac{4 \cdot (2A_{net}) \cdot f_y}{\left( \frac{L_{inf}}{h_{inf}} + \frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right)} \quad (6.1)$$

Burada sırasıyla,  $A_{net}$  her levhanın net kayma alanı;  $f_y$  dış levhaların akma dayanımı  $L_{inf}$  ve  $h_{inf}$  dolgu duvarın uzunluk ve yüksekliğidir.

Bu eşitlik, FEMA 306 Kılavuzu (FEMA 1998)'da verilen diyagonal çatlama ( $V_{cr}$ ) Denklem 6.2 ile türetilmiştir:



$$V_{cr} = \frac{2\sqrt{2} \cdot L_{inf} \cdot t_{inf} \cdot \sigma_{cr}}{\left( \frac{L_{inf}}{h_{inf}} + \frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right)} \quad (6.2)$$

Burada  $\sigma_{cr}$ , yeterli deneysel veri olmadığında aşağıdaki Denklem 6.3 ile hesaplanan kâgir yapının çatlama dayanımıdır.

$$\sigma_{cr} = \frac{f'_{me90}}{20} \quad (6.3)$$

Burada  $f'_{me90}$ , kâgir yapının yatay doğrultuda beklenen dayanımıdır. Levhaların net kayma alanları ( $A_{net}$ ) levhanın toplam kesit alanından levhanın kenarı boyunca olan açıklığı çıkarılarak elde edilmiştir. Levhaların net alanları, numunelerin diyagonal gerilme kapasiteleri ile birlikte Tablo 6.1.'de sunulmuştur. Referans numunelerin ilgili diyagonal yük değerleri (Denklem 6.2) verilen yatay yük bileşeninden elde edilirken, güçlendirilen duvarların diyagonal gerilme hasar yükleri yukarıdaki eşitlik (Denklem 6.1) kullanılarak hesaplanmıştır. Referans duvarların diyagonal gerilme kapasitelerine tuğlalar ile kaba ve ince sıva kalınlıklarının katkısı da hesaplamalarda düşünülmüştür. Duvarın çatlama basıncı (Denklem 6.3) hesaplanmış ve sıvanın gerilme dayanımı, basınç dayanımının %10'u olarak alınmıştır.

Tablo 6.1. Deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması

Deney Elemanı	Levha Net Kesme Alanı $A_{net}$ (mm <sup>2</sup> )	Deneysel Max. Yük, $P_{ult}$ (kN)	Diagonal Gerilme Kapasitesi, $D_{ten}$ (kN)	Diagonal Basıncı Kapasitesi, $D_{com}$ (kN)	Teorik Hesap Yüğü $P_{an}$ (kN)	$P_{ult}/P_{an}$
R1	-	136	138	151	138	0,99
R2	-	117	138	151	138	0,85
B1,5-100	482	148	540	167	167	0,89
B1,5-150	482	141	540	158	158	0,89
B1,5-200	482	141	540	155	155	0,91
B1,5-500	482	120	540	152	152	0,79
B2,0-100	963	252	1078	189	189	1,33
B2,0-150	963	165	1078	168	168	0,98
B2,0-200	963	164	1078	161	161	1,02
B3,0-100	1444	268	1617	277	277	0,97
B3,0-150	1444	205	1617	207	207	0,99
B3,0-200	1444	139	1617	183	183	0,76
Ort.						0,95
Std. Sap. (%)						16

Tablo 6.1. (Devamı)

RP1,5-100	482	421	540	306	306	1,38
RP1,5-150	482	372	540	297	297	1,25
RP1,5-200	482	276	540	294	294	0,94
RP2,0-100	963	489	1078	327	327	1,49
RP2,0-150	963	332	1078	307	307	1,08
RP2,0-200	963	271	1078	299	299	0,91
RP3,0-100	1444	487	1617	416	416	1,17
RP3,0-150	1444	410	1617	346	346	1,18
RP3,0-200	1444	271	1617	321	321	0,84
					Ort.	1,14
					Std. Sap. (%)	18
FP1,5-100	482	526	540	389	389	1,35
FP1,5-150	482	418	540	380	380	1,10
FP1,5-200	482	367	540	377	377	0,97
FP2,0-100	963	570	1078	410	410	1,39
FP2,0-150	963	488	1078	390	390	1,25
FP2,0-200	963	366	1078	382	382	0,96
FP3,0-100	1444	516	1617	499	499	1,03
FP3,0-150	1444	459	1617	429	429	1,07
FP3,0-200	1444	396	1617	405	405	0,98
					Ort.	1,12
					Std. Sap. (%)	14

Tuğla duvarların diyagonal basınç dayanımı ( $D_{com}$ ) değerleri, FEMA 306 (1998 FEMA)'da verilen diyagonal çubuk kapasitesi denkleminde türetilen Denklem 6.4 ile hesaplanabilir:

$$D_{com} = f'_{me90} \cdot a \cdot t_{inf} \quad (6.4)$$

Burada  $a$  diyagonal basınç payandasının eşdeğer genişliği ve  $t_{inf}$  dolgu duvarın kalınlığıdır. Mevcut deneyler göstermektedir ki, güçlendirme levhaları ile sınırlandırılmayan sıva tabakaları yüklemenin erken aşamalarında parçalanmakta ve bu tabakalar duvarın yük taşıma kapasitesine katkıda bulunmamaktadır. Bu nedenle, sadece levhalar arasındaki sıva tabakaları diyagonal kapasite denklemine dahil edilmelidir. Mesela, levhaları kaba sıva (RP) tabakası üzerinde uygulanan numunelerde, ince sıva (FP) tabakasının kapasitesine çok az veya hiç katkısı yoktur ve FP tabakası bu durumda göz ardı edilmelidir. Ayrıca, deneyler göstermiştir ki, güçlendirme levhaları, ardışık bulonlar arasındaki levha bölümleri düzlemin dışına büküldüklerinde yük kapasitesine katkıda bulunmamaktadırlar. Bu yüzden güçlendirilmiş bir duvarın yük kapasitesine levhaların katkısı, ardışık bulonlar arasındaki levha parçalarının elastik burkulma yükünden hesaplanabilir. Levha

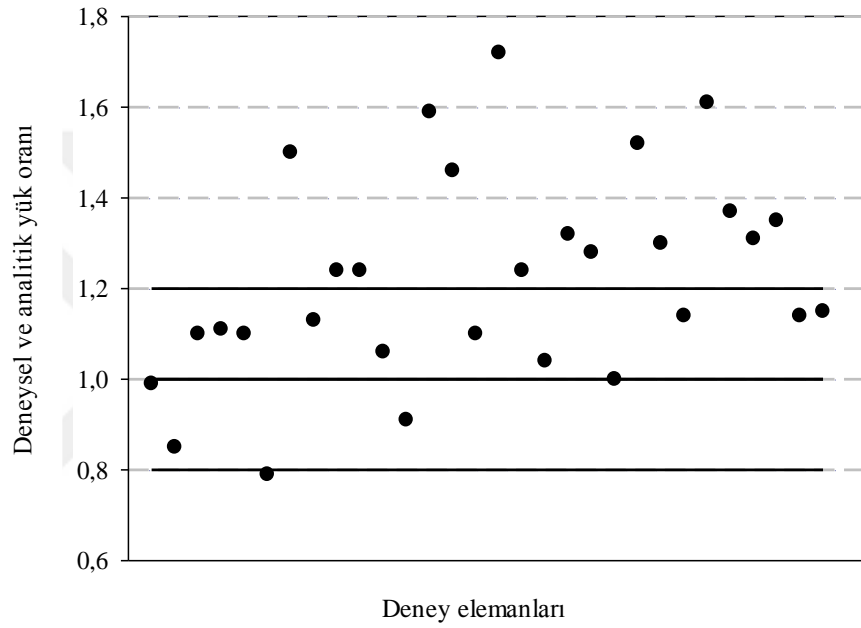
bölümlerinin uzunlukları (bulon aralığı) levhaların kalınlık değerlerinden çok daha büyük olduğundan levhalar elastik burkulmaya uğrarlar. Bu varsayımlara dayanarak, bu çalışmada dışarıdan uygulanmış çelik levhali tuğla duvarların diyagonal payanda kapasitelerini tahmin etmek için Denklem 6.5 önerilmektedir:

$$D_{com} = f'_{me90} \cdot a \cdot t_{inf} + f'_{pl} \cdot a \cdot t_{pl} + \frac{\pi^2 \cdot E_s \cdot I_p}{s^2} \quad (6.5)$$

Burada  $f'_{pl}$  sıvanın basıncı,  $t_{pl}$  tuğla duvar ve güçlendirme levhaları arasında kalan sıva tabakasının kalınlığı, yani sınırlandırılmış sıva tabakasının kalınlığı,  $E_s$  çeliğin elastik katsayısı,  $I_p$  diyagonal basınç payandasının zayıf eksenini etrafındaki alanın ikinci momenti,  $s$  bulon aralığıdır. Duvar montajı ile çevreleyen çelik çerçeve arasındaki temas uzunluğunun, yüklemenin seyri boyunca duvarın kenar uzunluğunun %20'sinden %40'na değiştiği gözlenmiştir (Aykaç ve ark., 2014). Temas uzunluğu kenar uzunluğunun genellikle yaklaşık %20'si olduğu için, yani 200 mm, nihai yükte, diyagonal basınç payandasının eşdeğer genişliğinin, hesaplamalarda  $200\sqrt{2}$  mm değere sahip olduğu varsayılır.

Referans ve güçlendirilmiş elemanlar için duvarların Denklem 6.4 ve Denklem 6.5'ten hesaplanan diyagonal basınç kapasiteleri Tablo 6.1.'de sunulmuştur. Beklenen çökme yükü ( $P_{an}$ ), bir duvarın diyagonal basınç ( $D_{com}$ ) ile diyagonal gerilim ( $D_{ten}$ ) kapasitelerinden küçük olanına tekabül eder. Tüm güçlendirilmiş duvarlar yüklenen köşelerin çevresindeki tuğlaların kırılmasından kaynaklanan diyagonal sıkışmadan dolayı köşe hasarı alırken (Resim 5.2.), diyagonal gerilim hasarı (diyagonal çatlama), düz duvarların başlıca hasar biçimidir (Resim 5.1.). Buradaki analitik formülasyon ( $P_{an}$ ) elemanlardaki doğru çökme şeklini tahmin etmeyi başarmıştır (Tablo 6.1.). Referans duvarların her ikisi de diyagonal yükün yatay yük bileşeninden Denklem 6.2'de hesaplanan değerlerle yakın tutarlılık içinde olan çatlama yüklerinde oluşan diyagonal gerilme çatlaklarının oluşumundan hemen sonra çökmüşlerdir. Diğer yandan güçlendirilmiş duvarlar, Denklem 6.5'de hesaplanan değerlerin 0,75-1,50 katı kadar nihai yük değerlerine ulaşmışlardır. Şekil 6.1.'de gösterildiği gibi güçlendirilmiş duvarların büyük çoğunluğunun tahmin edilen değerler ve deney değerleri arasında

yüksek tutarlılık sağlayarak 0,90-1,10 civarında bulunmuştur. Levhaları doğrudan duvara uygulanan numunelerde deneysel değerler tahmini değerlere daha yakın bulunmuştur. Bu grupta (B), deneysel ve tahmini yük oranının ortalama değeri %16, varyasyon katsayısı ise 0,95 olarak bulunmuştur. Önerilen formülasyon genel olarak, RP veya FP tabakalarında levha olan numunelerin nihai yüklerini daha düşük olarak tahmin ederken levhaları doğrudan duvara uygulanan numunelerin (B) nihai yüklerini daha büyük olarak tahmin etmektedir.



Şekil 6.1. Deney elemanlarının deneysel ve analitik yük oranı ilişkisi

## BÖLÜM 7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Tuğla dolgu duvarlar için yeni bir güçlendirme yöntemi olan bu çalışmada, ikisi referans olmak üzere toplam 30 adet güçlendirilmiş deney elemanı bir dizi deney yoluyla araştırılmıştır. Bu güçlendirme yönteminde, genişletilmiş çelik levhalar duvarın her iki yüzüne M6 bulonlar yardımıyla bağlanmıştır. Bulon aralıkları, genişletilmiş çelik levha kalınlıkları ve levhaların uygulama yüzeyleri deney parametreleri olarak uygulanmıştır. Deney elemanları, dört köşesi mafsallı çelik çerçeve ile oluşan temas yüzeyinin yüklemenin seyri boyunca değişmesine olanak sağlayan özel bir yükleme mekanizması yardımıyla tekdüze diyagonal yükleme altında test edilmiştir. Bu güçlendirme yönteminin katkısı ve deney parametrelerinin etkisi; deney elemanlarının taşıma gücü, başlangıç rijitliği, sünekliği ve enerji dönüştürme kapasiteleri yönünden değerlendirilmiştir. Ayrıca deney elemanlarının iç ölçümler ile belirlenen ön yüzündeki deformasyonlara bağlı birim boy değişimleri ve arka yüzündeki deformasyonların başladığı andaki yük değerleri belirlenmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü değerlerini belirlemek için bir analitik ifade geliştirilerek deneysel ve analitik sonuçlar arasında yakın tutarlılık elde edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan güçlendirme çalışması, geçmişte delikli sac levhalar kullanılarak yapılan benzer güçlendirme çalışması ile davranış, dayanım ve güçlendirme maliyetleri açısından karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak deneysel ve analitik çalışma ile elde edilen önemli bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- a. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş tuğla duvarlarda çelik levhalar duvara çok geniş aralıklı bulonlar ile bağlı olsalar dahi düz tuğla duvarlara kıyasla daha sünek davranış sergilemişlerdir. Bununla birlikte, yeterli bulon

sayısının olmaması durumunda levhaların, duvarın yük kapasitesi ve rijitliğine çok az katkısı vardır.

- b. Üç deney parametresi arasında genişletilmiş çelik levhaların konumu; bu levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü kapasiteleri, başlangıç rijitlikleri, süneklikleri ve enerji dönüştürme kapasiteleri üzerinde en fazla etkiye sahip olmuştur. Levhaları en dıştaki ince sıva tabakası (FP) üzerine uygulamanın, sabit levha kalınlığı ve bulon aralığı için, doğrudan duvara (B) uygulanmasına göre güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü kapasitelerini 1,95-3,50 katına kadar yükselttiği belirlenmiştir. Benzer şekilde, kaba sıva tabakası (RP) üzerine levhaların uygulanmasının, levhaların doğrudan duvara (B) uygulanmasına göre taşıma gücü kapasitelerini %60'dan fazla artırmıştır. Ayrıca, levhaların doğrudan duvara (B) uygulanmasına nazaran, kaba sıva tabakası (RP) veya ince sıva tabakası (FP) üzerine uygulanması ile güçlendirilmiş tuğla duvarların enerji dönüştürme kapasiteleri sırasıyla %170 ve %220'lere varan oranlarda artırmıştır. Kaba sıva (RP) ve ince sıva (FP) üzerinde levhaları olan güçlendirilmiş deney elemanlarının başlangıç rijitlikleri, levhaları tuğla duvarın (B) üzerinde olan deney elemanların başlangıç rijitliklerinin sırasıyla 2,5 ve 4,8 katıdır.
- c. Bulon aralıklarını azaltmak, güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü kapasitelerinde önemli bir artışa neden olmuştur. Bu artış, 2,0 mm ve 3,0 mm genişletilmiş çelik levhalar kullanıldığında daha da dikkat çekicidir. Benzer şekilde, yakın aralıklı bulonların 2,0 mm ve 3,0 mm genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasitelerine katkısı daha fazla olmuştur.
- d. Genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilen deney elemanlarında levha kalınlığı ve bulon aralığının elemanların sünekliği ve başlangıç rijitlikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.
- e. Genişletilmiş çelik levha kalınlığının, kaba sıva (RP) ve ince sıva (FP) üzerine uygulandığı güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji dönüştürme kapasiteleri ve taşıma gücü kapasitelerine katkısı az olmuştur. Genişletilmiş çelik levha kalınlığının artırılmasının sadece levhaların doğrudan duvar (B) üzerine

bağlandığı durumda taşıma gücü ve enerji dönüştürme kapasitelerine katkı sağladığı belirlenmiştir.

- f. Deneysel elemanlarının ön yüzdeki 50 mm kapasitedeki LVDT ler ile yapılan ölçümlere göre güçlendirilmiş deney elemanlarının referans elemanlara göre birim kılma oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. 2 referans elemanın (R1 ve R2) akma birim kılma değeri sırayla  $1,4 \times 10^{-3}$  ve  $1,9 \times 10^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Genişletilmiş çelik levha ile tuğla duvar (B) üzerine uygulanan güçlendirilmiş deney elemanlarında birim kılma değeri  $3,8 \times 10^{-3}$ , kaba sıva (RP) üzerine uygulanan güçlendirilmiş deney elemanlarında birim kılma değerleri  $5,1 \times 10^{-3}$  e kadar arttığı görülmüştür. İnce sıva (FP) üzerine uygulanan güçlendirilmiş deney elemanlarında ise birim kılma değerleri  $5,9 \times 10^{-3}$  e kadar arttığı görülmüştür.
- g. Deneysel çalışmada, 4 köşesi mafsallı çelik çerçeve ile deney elemanı arasındaki temas yüzeyi çerçeve yan uzunluğunun %50'lere (50 cm) kadar ulaştığı gözlemlenmiştir.
- h. Diyagonal gerilme çatlakları oluştuğundan hemen sonra aniden taşıma gücü kapasitesini kaybeden referans deney elemanlarının aksine, genişletilmiş çelik levhalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının taşıma gücü diyagonal sıkıştırma moduna yatkındır. Güçlendirilmiş deney elemanları yüklenen diyagonal doğrultuda gerilme çatlama sebebiyle hasar almamış köşelerindeki kırılma ve levhalardaki buruşmalardan dolayı düzlem dışına eğilerek hasar almıştır. Ancak güçlendirilen tüm deney elemanları ani yük kaybına uğramamış, düzlem dışı göçme meydana gelmemiş ve taşıma kapasiteleri devam etmiştir.
- i. Bu çalışmada önerilen analitik formülasyon ile bulunan teorik hesap yükü deney elemanlarının deneysel taşıma gücü değerlerini yakın olarak 0,90-1,10 civarında tahmin etmiştir. Önerilen formülasyon ile kaba sıva (RP) veya ince sıva (FP) üzerine genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanlarının teorik hesap yüklerini daha düşük olarak tahmin ederken levhaları doğrudan duvara (B) uygulanarak güçlendirilen deney elemanlarının teorik hesap yüklerini daha büyük olarak tahmin ettiği görülmüştür.

- j. Çalışma kapsamında genişletilmiş çelik levhalar ile yapılan güçlendirme çalışması, geçmişte delikli sac levhalar kullanılarak yapılan benzer güçlendirme çalışması ile karşılaştırıldığında; 1,5 mm genişletilmiş çelik levhanın ağırlığı 3,60 kg/m<sup>2</sup> iken 1,5 mm delikli sac levhanın birim ağırlığı 7,94 kg/m<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. 2,0 mm genişletilmiş çelik levhanın ağırlığı ise 7,20 kg/m<sup>2</sup> iken delikli sac levhanın birim ağırlığı 10,59 kg/m<sup>2</sup> olduğu belirlenmiştir. Bir başka deyişle 1,5 mm genişletilmiş çelik levha aynı kalınlığa sahip delikli sac levhadan % 55, 2,0 mm levha kalınlığı için de %32 daha hafif olduğu belirlenmiştir.
- k. Genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmasında levhaların sıva ile aderansı oldukça yüksek iken delikli sac levhada ise sıva ile aderans oluşmamaktadır. Bu durum genişletilmiş çelik levhalar ile yapılan uygulamalarda mimari ve görsel açıdan istemeyen durumların önüne geçilebilecektir.
- l. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen tuğla dolgu duvar çalışmaları aynı değişkenlere sahip deney elemanları üzerinden taşıma gücü, süneklik ve enerji dönüştürme kapasitelerine göre karşılaştırılmıştır. Buna göre genişletilmiş çelik levha ile güçlendirilen deney elemanları delikli sac levha ile güçlendirilen deney elemanlarına göre taşıma kapasitelerinde %55, süneklik oranlarında %170 ve enerji dönüştürme kapasitelerinde %225'lere varan artışların olduğu belirlenmiştir.
- m. Delikli sac levha ve genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme maliyetleri aynı parametrelere göre karşılaştırıldığında, genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme maliyetinin daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Öyle ki genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmasında 1,5 mm levha kullanıldığında en sık bulon aralığında maliyeti 105,00 TL/m<sup>2</sup> iken delikli sac levha kullanıldığında 127,00 TL/m<sup>2</sup> yükselmiştir. 2,0 mm levha kullanıldığında en sık bulon aralığında çelik levha ile yapılan güçlendirme maliyeti 129,00 TL/m<sup>2</sup> iken delikli sac levha kullanıldığında güçlendirme maliyeti 157,00 TL/m<sup>2</sup> olmuştur. Maliyet analizleri incelendiğinde, genişletilmiş çelik levha ile yapılan güçlendirme çalışmasının delikli sac levha



ile yapılan güçlendirme çalışmasına göre yaklaşık %42'lere kadar maliyetinin daha düşük olduğunu göstermiştir.

- n. Genişletilmiş çelik levhalar ile güçlendirilen tuğla dolgu duvar çalışması, basit işçilikle, seri olarak, diğer güçlendirme malzemelerine göre daha hafif, daha sünek, düşük maliyetli ve binaların boşaltılmasını gerektirmeden uygulanabilmesi önemli avantajları arasındadır.
- o. Yapılardaki tuğla dolgu duvar davranışına sağladığı önemli katkılarla özellikle yaşanabilecek olası depremler öncesinde güçlendirme çalışmalarında sektörde kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Acun, B., Sucuoğlu, H. 2005. Tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin hasır donatı ile güçlendirilmesi. Earthquake Symp., Kocaeli, Turkey, March 23-25, 965-971.
- Altın, S., Anıl, O., Kara, M. E., Kaya, M. 2008. An experimental study on strengthening of masonry infilled RC frames using diagonal CFRP strips. Compos. Part B: Eng., 39(4), 680-693.
- Araki, H., Yasojima, A., Kagawa, J. 2011. Strength of masonry walls retrofitted with epoxy resin injection. Appl. Mech. Mater., 82, 545-550.
- Aykac, S., Kalkan, I., Seydanlioglu, M. 2014. Strengthening of hollow brick infill walls with perforated steel plates. Earthq. Struct., 6(2), 181-199.
- 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.
- Babayani, R. 2012. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların tersinir tekrarların yükler altındaki davranış ve dayanımı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Baran, M., Tankut, T. 2011a. Experimental study on seismic strengthening of reinforced concrete frames by precast concrete panels. ACI Struct. J., 108(2), 227-237.
- Baran, M., Tankut, T. 2011b. Retrofit of non-ductile RC frames with precast concrete (PC) wall panels”, Advances in Structural Engineering, Vol. 14.
- Baran, M. 2012. Investigation of the effects of infill walls on the behavior of reinforced concrete framed structures. J. Fac. Eng. Archit. Gazi U., 27(2), 275-284.
- Baran, M., Aktas, M., Aykac, S. 2014. Strengthening of plastered hollow brick infill walls using strip concrete/reinforced concrete panels. J. Fac. Eng. Archit. Gazi U., 29(1), 22-23.
- Bu, C., Li, Y., Salih, O. A. 2011. Experimental study on seismic behavior of masonry walls retrofitted using epoxy resin injection. Appl. Mech. Mater., 94-96, 1373-1377.

- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik., Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
- European Committee for Standardization (CEN). 2003. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization (CEN), Brussels, Belgium.
- El-Dakhkhni, W. W., Hamid, A. A., Hakam, Z. H. R., Elgaaly, M. 2006. Hazard mitigation and strengthening of unreinforced masonry walls using composites. *Compos. Struct.*, 73(4), 458-477.
- ElGawady, M. A., Lestuzzi, P., Badoux, M. 2006. Retrofitting of masonry walls using shotcrete. *Proc. New Zealand Society Earthq. Eng. Conf.*, Napier, New Zealand, March 10-12, 45-53.
- Erdem, I., Akyuz, U., Ersoy, U., Özcebe, G. 2006. An experimental study on two different strengthening techniques for RC frames. *Eng. Struct.*, 28(13), 1843-1851.
- Farooq, S. H., Ilyas, M., Ghaffar, A. 2006. Technique for strengthening of masonry wall panels using steel strips. *Asian J. Civ. Eng.*, 7(6), 621-638.
- FEMA 306. 1998. Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings. Federal Emergency Management Agency, Redwood City, California, U.S.A.
- Kahn, L. F. 1984. Shotcrete retrofit for unreinforced brick masonry. *Proc. 8th World Cong. Earthq. Eng.*, San Francisco, California, USA, July 21-28, 583-590.
- Özbek, E., Can, H. 2012. Strengthening of infill brick walls using steel profiles. *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Uni.*, 27(4), 921-929.
- Özbek, E. 2015. Delikli çelik levhalarla güçlendirilmiş tuğla duvarların çerçeve davranışı üzerindeki etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi.
- Özcebe, G., Ersoy, U., Tankut, T., Erduran, E., Keskin, R. S. O., Mertol, H.C. 2003. Strengthening of brick infilled RC frames with CFRP. SERU-Structural Engineering Research Unit, Report No. 2003/1, TUBITAK-METU, Ankara, Turkey.
- Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Karlos, K., Papathanasiou, M. 2007. Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: In-plane cyclic loading. *Mater. Struct.*, 40(10), 1081-1097.

- Papanicolaou, C. G., Triantafillou, T. C., Lekka, M. 2011. Externally bonded grids as strengthening and seismic retrofitting materials of masonry panels. *Construct. Buil. Mater.*, 25(2), 504-514.
- Prota, A., Marcari, G., Fabbrocino, G., Manfredi, G., Aldea, C. (2006). Experimental in-plane behavior of tuff masonry strengthened with cementitious matrix-grid composites. *J. Compos. Construct. ASCE*, 10(3), 223-233.
- Saneinejad, A., Hobbs, B. 1995. Inelastic design of infilled frames. *ASCE J. Struct. Eng.*, 121(4), 634-650.
- Seydanlıoğlu, M. 2013. Delikli elik levhalarla gulendirilmiş tuğla duvarların tekduze yukler altındaki davranışı. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mhendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Sevil, T., Baran, M., Bilir, T., Canbay, E. 2011. Use of steel fiber reinforced mortar for seismic strengthening. *Construct. Build. Mat.*, 25(2), 892-899.
- Taghdi, M., Bruneau, M., Saatcioglu, M. 2000a. Seismic retrofitting of low-rise masonry and concrete walls using steel strips. *ASCE J. Struct. Eng.*, 126(9), 1017-1025.
- Taghdi, M., Bruneau, M., Saatcioglu, M. 2000b. Analysis and design of low-rise masonry and concrete walls retrofitted using steel strips. *ASCE J. Struct. Eng.*, 126(9), 1026-1032.
- Topcu, I. B., Isikdag, B., Tatar, O., Abi, E. 2005. Depremde hasar grmş binaların ferrocement panellerle gulendirilmesi. *Earthq. Symp.*, Kocaeli, Turkey, March 23-25, 917-926.
- Triantafillou, T. C. 1998. Strengthening of masonry structures using epoxy-bonded FRP laminates. *J. Compos. Construct. ASCE*, 2(2), 96-104.
- Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G. 2006. Shear strengthening of reinforced concrete members with textile reinforced mortar (TRM) jackets. *Mater. Struct.*, 39(1), 93-103.
- Triantafillou, T. C., Papanicolaou, C. G., Zissimopoulos, P., Laourdekis, T. 2006. Concrete confinement with textile-reinforced mortar jackets. *ACI Struct. J.*, 103(1), 28-37.
- Vandergrift, J., Gergely, J., Joung, D. T. 2002. CFRP retrofit of masonry walls. *Proc. 3rd Int. Conf. Compos. Infrastruct. (ICCI 02)*, San Francisco, CA, USA, June 10-12, 1-8.
- Xingke, F. 2008. Investigation on the influence of infilled wall on the seismic performance of reinforced concrete frame structures. M.E. Thesis, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu, China.

## ÖZGEÇMİŞ

Alper Cumhuri, 16.08.1981'de Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 1997 yılında Adapazarı Mithat Paşa Lisesi, Fen Bilimleri alanından mezun oldu. 1998 yılında girdiği Sakarya Meslek Yüksekokulu İnşaat bölümünü, 17 Ağustos 1999 yılında yaşanan Marmara Depremi sebebiyle Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, İnşaat bölümünde bölüm ve okul birincisi olarak tamamladı. 2001 yılında Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Yapı Öğretmenliği bölümünü kazandı ve 2005 yılında bölüm birincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalında başladığı Yüksek Lisans eğitimini 2007 yılında birincilikle bitirdi. Ayrıca bu süre içerisinde TÜBİTAK Projesinde Yüksek Lisans burslu araştırmacı olarak çalıştı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Ana Bilim Dalı'nda Doktora eğitimine başladı. 2009 yılında kurduğu Cumhuri İnşaat firmasında firma sahibi ve yönetici olarak çalıştı. 2 yıl içerisinde firmanın hizmet verdiği birçok özel ve resmi işleri başarıyla bitirdi. 2011 yılında Hitit Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak göreve başladı. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümünde başladığı Mühendislik tamamlama programını 2016 yılında bitirdi. Halen Hitit Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi ve Yapı Denetimi bölümünde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.