KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SIVANMIŞ TUĞLA DOLGU DUVARLARIN BETON/BETONARME PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

Merve AKTAŞ

MART 2017

İnşaat mühendisliği anabilim dalında SIVANMIŞ TUĞLA DOLGU DUVARLARIN BETON/BETONARME PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ — Ortak Danışman

Doç. Dr. Mehmet BARAN — Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan: Prof. Dr. Ali Payıdar AKGÜNGÖR

Üye (Danışman) : Doç. Dr. Mehmet BARAN

Üye(Ortak Danışman): Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ

Üye : Prof. Dr. İlhami DEMİR

Üye: Doç. Dr. İlker KALKAN

……/…../…….

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

AYŞE DEFNE'ME

ÖZET

SIVANMIŞ TUĞLA DOLGU DUVARLARIN BETON/BETONARME PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

AKTAŞ, Merve
Kırıkkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Mehmet BARAN
Ortak Danışman: Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ (Gazi Üniversitesi)
MART 2017, 149 sayfa

Türkiye'deki yapı stoğunun çok önemli bir bölümünün depreme karşı dayanıksız olduğu ve güçlendirilmesi gerektiği bilinmektedir. Yerinde dökülen ve yapıların çerçeve sistemlerine epoksili ankraj çubuklarıyla bağlanan betonarme (BA) dolgu duvarların yapının deprem davranışını önemli ölçüde iyileştirdiği bilinmektedir. Fakat bu yöntemin binanın boşaltılmasını ve uzun bir süre şantiyeye dönüştürmesini gerektirmesi, araştırmacıları hane sakinlerini sokağa dökmeden olabildiğince ekonomik ve aynı zamanda yapısal olarak etkili güçlendirme yöntemleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu çalışmada önerilen güçlendirme yönteminin prensibi yapıda var olan sıvanmış tuğla dolgu duvarların bazılarının, üzerine yapıştırılan beton/BA plakalarla güçlendirilerek birer BA dolgu duvara dönüştürülmesidir. Bu amaçla, mevcut çalışma kapsamında ½ ölçeğe sahip toplam onüç adet sıvanmış tuğla duvar elemanı tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmişlerdir. Dört adet deney elemanı dikdörtgen beton plakalar, sekiz adet de şerit beton/BA plakalar yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Deney sonuçları, beton plaka yapıştırma uygulamasının deney elemanlarının yatay yük taşıma kapasitelerini artırdığını ve davranışlarını iyileştirdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme dolgu duvar, Güçlendirme, Sıvanmış tuğla dolgu duvar, Beton/BA plaka, Tersinir tekrarlanır yatay yük.

ABSTRACT

STRENGTHENING OF PLASTERED HOLLOW BRICK INFILL WALLS USING CONCRETE/REINFORCED CONCRETE PLATES

AKTAŞ, Merve
Kırıkkale University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet BARAN
Co-Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sabahattin AYKAÇ (Gazi University)
M 2017, 149 Pages

In Turkey, majority of the building stock is known to be inadequate against earthquake and required to be strengthened. Cast-in-place reinforced concrete (RC) infill walls, connected to the frame systems by use of epoxy glued anchorages, is known to improve the behavior of the building significantly. However, requirements of this technique such as evacuation of the building and converts it to the construction area for a long time directed the researchers developing occupant friendly, economic and structurally effective strengthening techniques. The principle of the technique presented in this paper is based on bonding concrete/RC plates on some of the plastered hollow brick infill walls available in the building such that they will behave as RC infill walls. For this purpose, thirteen plastered hollow brick infill wall specimens with a scale of ½ were tested under reversed cyclic lateral loading. Four wall specimens were strengthened with rectangular concrete plates, eight specimens were strengthened with strip concrete/reinforced concrete (RC) plates. Test results showed that application of bonding concrete plates increased lateral strength of the test specimens and improved their behavior.

Keywords: Reinforced concrete infill wall, Strengthening, Plastered hollow brick infill wall, Concrete/RC plate, Reversed cyclic lateral loading.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasında her türlü yardımı esirgemeyen danışmanlarım Doç. Dr. Mehmet BARAN ve Doç. Dr. Sabahattin AYKAÇ başta olmak üzere tüm hocalarıma ve her konuda olduğu gibi tez hazırlamam konusunda da her zaman yanımda olan babam İsmet Burkay, eşim Cihan Aktaş ve tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
1. GİRİŞ 1
1.1. Literatür Taraması 3
1.1.1. Dolgulu Çerçeve Davranışı 3
1.1.2. BA Dolguların BA Çerçeve Davranışına Olan Katkıları 9
1.1.3. Üretimli Panel Tekniğinin Gelişimi 13
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 17
2. DENEYSEL ÇALIŞMA 18
2.1. Deney Elemanları ve Programı 18
2.2. Malzeme Özellik ve Dayanımları 25
2.2.1. Boşluklu Tuğla ve Harç 25
2.2.2. Beton/ Betonarme Plakaları 27
2.2.3. Plaka Yapıştırma Harcı 29
2.2.4. Plaka Donatısı 29
2.2.5. Bulon, Pul, Somun, ve Güçlendirme Tekniğinin Uygulanması 30
2.3. Deney Elemanları 32
2.3.1. Referans Deney Elemanı 32
2.3.2. RP-MA-2.0 Deney Elemanı 33
2.3.3. RP-SA-2.0 Deney Elemanı 34
2.3.4. RP-SA-2.5 Deney Elemanı 35
2.3.5. RP-FA-2.5 Deney Elemanları 36
2.3.6. SP-HA-20 Deney Elemanı 37

2.3.7. SPR-MA-2.0 Deney Elemanı 38
2.3.8. SPR-HA- 2.0 Deney Elemanı 39
2.3.9. SP-HA-2.5 Deney Elemanı 40
2.3.10. SPR-HA-2.5 Deney Elemanı 41
2.3.11. SPR-FA-2.5 Deney Elemanı 42
2.3.12. SPR-HA-2.0D Deney Elemanı 43
2.3.13. SPR-FA-2.0D Deney Elemanı 44
2.4. Deney Düzeneği 45
2.4.1. Deney Elemanlarına Yatay Yük Uygulama Çerçevesi 45
2.4.2. Yükleme Düzeneği 46
2.4.3. Ölçüm Düzeneği 47
3. DENEYLER 50
3.1. Genel 50
3.1.1. Referans Deney Elemanı 50
3.1.2. RP-MA-2.0 Deney Elemanı 54
3.1.3. RP-SA-2.0 Deney Elemanı 59
3.1.4. RP-SA-2.5 Deney Elemanı 63
3.1.5. RP-FA-2.5 Deney Elemanları 67
3.1.6. SP-HA-20 Deney Elemanı 71
3.1.7. SPR-MA-2.0 Deney Elemanı 75
3.1.8. SPR-HA- 2.0 Deney Elemanı 79
3.1.9. SP-HA-2.5 Deney Elemanı 83
3.1.10. SPR-HA-2.5 Deney Elemanı 88
3.1.11. SPR-FA-2.5 Deney Elemanı 92
3.1.12. SPR-HA-2.0D Deney Elemanı 96
3.1.13. SPR-FA-2.0D Deney Elemanı 100
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRLMESİ 104
4.1. Genel 104
4.1.1. Zarf Eğrileri 107
4.1.2.Dayanım ve Davranış 111
4.1.3. Süneklik 117
4.1.4. Enerji Sönümleme Özellikleri 123
4.1.5. Rijitlik 129

4.1.6. Dolgu Duvarların Kayma Deformasyonları 131
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 135
5.1. Genel 135
5.2. Sonuçlar 136
5.1. Gelecek Çalışmalar İçin Tavsiyeler 138
KAYNAKLAR 139
EKLER 146

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

2.1. Deney Elemanın Plaka Şekilleri, Kalınlıkları ve Uygulandıkları Yüzey Özellikleri 24
2.2. Deney Elemanlarının Plaka Ayrıntıları 25
2.3. Duvar ve Sıva Harç Karışım Oranları (Ağırlıkça) 26
2.4. Tüm Deney Elemanlarında Kullanılan Duvar Örme ve Sıva Harcının Basınç Dayanımları 27
2.5. Plaka Betonu Karışım Oranları (Ağırlıkça) 28
2.6. Deney Elemanlarında Kullanılan Plakaların Beton Basınç Dayanımları 28
4.1. Test Sonuçlarının Özetlemesi 106
4.2. Deney Elemanlarının Yanal Yük Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması 111
4.3. Dikdörtgen Plaklarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Yanal Yük Taşıma Kapasiteleri 115
4.4. Plaka Kalınlığının Yanal Yük Taşıma Kapasitesi üzerindeki etkisi 116
4.5. Deney Elemanlarında Kullanılan Bulon Sayısının Yanal Yük Taşıma Kapasitesi Üzerindeki etkisi 117
4.6. Deney Elemanlarının Süneklik Değerleri 120
4.7. Dikdörtgen Plaklarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Süneklikleri 121
4.8. Şerit Plakalarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Süneklikleri 121
4.9. Plaka Kalınlığının Deplasman Sünekliği Üzerindeki Etkileri 122
4.10. Deney Elemanlarında Kullanılan Bulon Sayısının Deplasman Sünekliği Üzerindeki Etkisi 123
4.11. Deney Elemanlarının Sönümlediği Toplam Enerji Değerleri 125
4.12. Dikdörtgen Plakalarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Enerji Sönümleme Kapasiteleri 127
4.13. Şerit Plakalarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Enerji Sönümleme Kapasiteleri 127
4.14. Plaka kalınlığının Enerji Sönümleme Kapasitesi Üzerindeki Etkisi 128
4.15. Deney Elemanlarında Kullanılan Bulon Sayısının Enerji Sönümleme Kapasitesi Üzerindeki Etkisi 129

4.16. Deney Elemanlarının İlk Rijitlik Değerleri..... 134

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil Sayfa

2.1. Deney elemanların boyutları ve detayı 18
2.2. Deneysel çalışmada kullanılan boşluklu tuğlaların ebatları 20
2.3. Plakaların boyutları ve donatı yerleşim detayları 21
2.4. Boşluklu tuğla ile örülmüş duvar elemanı 22
2.5. Her iki tarafı da sıvanmış duvar 22
2.6. Güçlendirilmeden önce deney elemanları 23
2.7. Plakalarla güçlendirilmiş deney elemanı 23
2.8. Şerit Plaka Donatısı 29
2.9. Plakaların yapıştırılması için yapıştırma harcı uygulaması 30
2.10. Plakaların Yapıştırılması 31
2.11. Referans Deney Elemanı,R 32
2.12. RP-MA-2.0 Deney Elemanı 33
2.13. RP-SA-2.0 Deney Elemanı 34
2.14. RP-SA-2.5 Deney Elemanı 35
2.15. RP-FA-2.5 Deney Elemanı 36
2.16. SP-HA-2.0 Deney Elemanı 37
2.17. SPR-MA-2.0 Deney Elemanı 38
2.18. SPR-HA-2.0 Deney Elemanı 39
2.19. SP-HA-2.5 Deney Elemanı 40
2.20. SPR-HA-2.5 Deney Elemanı 41
2.21. SPR-FA-2.5 Deney Elemanı 42
2.22. SPR-HA-2.0D Deney Elemanı 43
2.23. SPR-FA-2.0D Deney Elemanı 44
2.24. Çelik Çerçevenin Detayları 46
2.25. Deney Düzeneği 48
2.26. Yükleme Programı 49
2.27. Ölçüm Düzeneği 49
3.1. Yük Geçmişi – Referans 51
3.2. Deplasman Geçmişi – Referans 52

3.3. Deneysel çalışmada kullanılan boşluklu tuğlaların ebatları 52
3.4. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (Referans) 53
3.5. Referans – Deney Öncesi 53
3.6. Referans – Deney Sonrası 54
3.7. Yük Geçmişi – RP-MA-2.0 Deney Elemanı 56
3.8. Deplasman Geçmişi – RP-MA-2.0 Deney Elemanı 56
3.9. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-MA-2.0) 57
3.10.Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-MA-2.0) 57
3.11. RP-MA-2.0 – Deney Öncesi 58
3.12. RP-MA-2.0 – Deney Sonrası 58
3.13. Yük Geçmişi – RP-SA-2.0 Deney Elemanı 60
3.14. Deplasman Geçmişi – RP-SA-2.0 Deney Elemanı 60
3.15. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-SA-2.0) 61
3.16. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-SA-2.0) 61
3.17. RP-SA-2.0 – Deney Öncesi 62
3.18. RP-SA-2.0 – Deney Sonrası 62
3.19. Yük Geçmişi – RP-SA-2.5 Deney Elemanı 64
3.20. Deplasman Geçmişi – RP-SA-2.5 Deney Elemanı 65
3.21. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-SA-2.5) 65
3.22. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-SA-2.5) 66
3.23. RP-SA-2.5 – Deney Öncesi 66
3.24. RP-SA-2.5 – Deney Sonrası 67
3.25. Yük Geçmişi – RP-FA-2.5 Deney Elemanı 68
3.26. Deplasman Geçmişi – RP-FA-2.5 Deney Elemanı 69
3.27. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-FA-2.5) 69
3.28. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-FA-2.5) 70
3.29. RP-FA-2.5 – Deney Öncesi 70
3.30. RP-FA-2.5 – Deney Sonrası 71
3.31. Yük Geçmişi – SP-HA-2.0 Deney Elemanı 72
3.32. Deplasman Geçmişi – SP-HA-2.0 Deney Elemanı 73
3.33. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SP-HA-2.0) 73
3.34. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SP-HA-2.0) 74
3.35. SP-HA-2.0 – Deney Öncesi 74

3.36. SP-HA-2.0 – Deney Sonrası 75
3.37. Yük Geçmişi – SPR-MA-2.0 Deney Elemanı 76
3.38. Deplasman Geçmişi – SPR-MA-2.0 Deney Elemanı 77
3.39. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-MA-2.0) 77
3.40. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-MA-2.0) 78
3.41. SPR-MA-2.0 – Deney Öncesi 78
3.42. SPR-MA-2.0 – Deney Sonrası 79
3.43. Yük Geçmişi – SPR-HA-2.0 Deney Elemanı 80
3.44. Deplasman Geçmişi – SPR-HA-2.0 Deney Elemanı 81
3.45. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-HA-2.0) 81
3.46. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-HA-2.0) 82
3.47 SPR-HA-2.0 – Deney Öncesi 82
3.48. SPR-HA-2.0 – Deney Sonrası 83
3.49. Yük Geçmişi – SP-HA-2.5 Deney Elemanı 85
3.50. Deplasman Geçmişi – SP-HA-2.5 Deney Elemanı 85
3.51. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SP-HA-2.5) 86
3.52. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SP-HA-2.5) 86
3.53. SP-HA-2.5 – Deney Öncesi 87
3.54. SP-HA-2.5 – Deney Sonrası 87
3.55. Yük Geçmişi – SPR-HA-2.5 Deney Elemanı 89
3.56. Deplasman Geçmişi – SPR-HA-2.5 Deney Elemanı 89
3.57. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-HA-2.5) 90
3.58. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-HA-2.5) 90
3.59. SPR-HA-2.5 – Deney Öncesi 91
3.60. SPR-HA-2.5 – Deney sonrası 91
3.61. Yük Geçmişi – SPR-FA-2.5 Deney Elemanı 93
3.62. Deplasman Geçmişi – SPR-FA-2.5 Deney Elemanı 93
3.63. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-FA-2.5) 94
3.64. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-FA-2.5) 94
3.65. SPR-FA-2.5 – Deney Öncesi 95
3.66. SPR-FA-2.5 – Deney Sonrası 95
3.67. Yük Geçmişi – SPR-HA-2.0D Deney Elemanı 97
3.68. Deplasman Geçmişi – SPR-HA-2.0D Deney Elemanı 97

3.69. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-HA-2.0D) 98
3.70. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-HA-2.0D) 98
3.71. SPR-HA-2.0D – Deney Öncesi 99
3.72. SPR-HA-2.0D – Deney Sonrası 99
3.73. Yük Geçmişi – SPR-FA-2.0D Deney Elemanı 101
3.74. Deplasman Geçmişi – SPR-FA-2.0D Deney Elemanı 101
3.75. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-FA-2.0D) 102
3.76. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-FA-2.0D).. 102
3.77. SPR-FA-2.0D – Deney Öncesi 103
3.78. SPR-HA-2.0D – Deney Sonrası 103
4.1. Deney elemanlarının yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri (Dikdörtgen Plakalar) 104
4.2. Deney elemanlarının yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri (Şerit Plakalar) 105
4.2b. Plakaların Deney Sonrası Görüntüleri 109
4.3. Tüm Deney Elemanlarının Zarf Eğrileri 110
4.4. Deney Elemanlarının Zarf Eğrilerinin Karşılaştırılması (Dikdörtgen Plakalar)..... 114
4.5. Deney Elemanlarının Zarf Eğrilerinin Karşılaştırılması (Şerit Plakalar) 114
4.6. Deplasman Sünekliği Yöntemi 119
4.7. Deney Elemanlarının Enerji Sönümleme Özellikleri 124
4.8. Temsili Çevrim Eğimleri 130
4.9. Tüm deney elemanlarının rijitlik azalma eğrileri 131
4.10. Deney Elemanlarının Dolgu Duvarlarındaki Kayma Deformasyonları 133

1. GİRİŞ

Türkiye deprem riski yüksek bir ülkedir. Öyle ki, nüfusunun %89'u, topraklarının %91'i, endüstrisinin %98'i ve barajlarının %95'i aktif sismik bölgelerde yer almaktadır [1]. Halihazırdaki yaklaşık 19.5 milyon yapı stoğunun %55'i birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Sözkonusu yapı stoğunun çok önemli bir bölümünün depreme karşı dayanımının yetersiz olduğu ve güçlendirilmesi gerektiği bilinmektedir.

Yapıların depreme karşı güçlendirilmesinin önemi, 1992 Erzincan depremi ve sonraki depremlerde çok sayıdaki BA yapının hasar görerek onarım ve güçlendirme gerektirmesiyle daha da iyi anlaşılmıştır. Güçlendirme ile ilgili çalışmalarda yetersiz yanal rijitliğin, BA yapılardaki hasarın temel sebeplerinden birisi olduğu anlaşılmıştır. Yapıya yanal rijitlik kazandıracak güçlendirme yöntemlerinden en basit ve etkilisi yapıya yerinde dökme BA dolgu duvar eklenmesidir [2-6]. Türkiye'deki birçok bina özellikle büyük depremlerden sonra bu uygulamayla onarılmış ve güçlendirilmiştir. Ancak bu yöntemin önemli bir dezavantajı bulunmaktadır. Bu yöntemin uygulanabilmesi için yapının boşaltılarak içine çok miktarda malzeme taşınması gerekmekte, ve yapı uzun süre şantiyeye dönüşmektedir. Bu yüzden araştırmacılar ekonomik, yapısal olarak etkili ve uygulaması kolay güçlendirme yöntemleri geliştirmeye yönelmişlerdir.

Türkiye'de BA taşıyıcı sisteme sahip binalarda bölme duvarı olarak tuğla dolgunun kullanılması çok yaygındır. Tuğla dolgu duvarın sadece binanın zati ağırlığında hesaba katılması, dayanım ve rijitlik gibi yapısal özelliklerine katkısının gözardı edilmesi fazlaca tercih edilen bir yaklaşımdır. Birçok ülkenin deprem standartları (İsrail, Kosta Rika, Fransa, Cezayir, Avrupa Birliği, Kolombiya, Filipin vs.) dolgu duvarların bina yapısal sistemine etkisinin hesaba katılmasını önermektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar tuğla dolgu duvar ve üzerine uygulanan sıvanın dayanım ve rijitliğini boş çerçeveye oranla kayda değer oranda arttırdığını göstermiştir [7-8]. Birçok araştırmacı yapı davranışı üzerinde olumlu katkıları bulunan sıvanmış tuğla dolgu duvarları değişik yöntem ve çeşitli malzemeler

kullanarak güçlendirmişlerdir. Bu yöntemler arasında karbon lifli polimer kumaş [9-10], hasır donatılı püskürtme beton [11], çelik lifli sıva [12], çelik şeritlerle [13] ve önüretimli yüksek dayanımlı betonarme panellerle [14, 15] güçlendirme sayılabilir. Bu yöntemlere ek olarak güçlendirme malzemesi olarak çeşitli tekstiller kullanarak [16], ferrocement kullanarak [17], epoksi ve harç enjeksiyonu kullanarak yapılan diğer güçlendirme yöntemleri [18] sayılabilir. Tüm bu kullanıcı dostu yöntemler arasında en sık araştırılanı karbon lifli polimer kumaşların kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemin dezavantajları güçlendirme malzemesinin ithal bir malzeme olarak çok pahalı olması, aynı zamanda gevrek davranış sergilemesi ve de uygulanması esnasında kalifiye işçilik gerektirmesi sayılabilir. Betonarme panellerin kullanıldığı yöntemde BA dolgu duvar seviyesinde performans artışı elde edilmiştir.

Betonarme çerçeveli yapıların deprem davranışına olumlu katkı sağlayabilmek için yapılan güçlendirme önemli bir problemdir. Türkiye'deki mevcut yapı stoğunun büyük bir çoğunluğu yeterli yanal dayanıma, ve/veya sünekliğe ve/veya rijitliğe sahip değildir. Piyasada birçok rehabilitasyon tekniği dayanımı yetersiz görülen yapılara uygulanmaktadır. Bu teknikler konvansiyonel tekniklerden (BA dolgu duvar, çelik kuşaklar vb.) temel izolasyonu ve gelişmiş malzemeler kullanılan daha özel uygulamalara kadar çeşitlilik göstermektedir.

Dolgu duvarlar tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de sıklıkla bölme duvarların yerine örülmektedir. BA yapıların iç ya da dış akslarında kullanılırlar. Tuğla dolgular, yapısal çözümleme esnasında her ne kadar taşıyıcı elemanlar olarak kabul edilmeseler de, yıllardır yapılan deneysel çalışmalar ve Türkiye'de yaşanan depremlerden sonra binalar üzerinde yapılan araştırmalar bu tip dolguların yapıların dayanım ve rijitliğine olumlu yönde katkısı olduğunu ispatlamıştır. Deprem esnasında kendisini çevreleyen BA çerçeve ile sürekli doğrudan etkileşim halindedirler.

Dolgu duvarsız yalın BA çerçevelerin yanal rijitlik değerleri düşüktür ve deprem esnasında fazla yanal ötelenme yaparlar. Gevrek bir malzeme olan sıvanmış tuğla dolguların kayma dayanımları düşüktür, fakat uygun düzenlemelerle yüksek

düzlemsel basınca dayanabilirler. Tuğla dolgu duvarlar yerine BA dolgu duvarların kullanılması çerçeveye oldukça yeterli yanal rijitlik sağlarken çerçevenin yanal ötelenmesini oldukça azaltırlar. Aslında, BA çerçeve yanal yüklere maruz kaldığında bu duvarlar rijit basınç çubukları gibi davranarak çerçevenin yanal ötelenmesini azaltırlar. Fakat, BA dolgu duvarlar yapıya ek ağırlık getirirek deprem esnasında yapının daha fazla yanal yüklere maruz kalmasına sebep olurlar. Getirdikleri ek rijitlik sayesinde yapının periyotu azalır. Bu yüzden son yıllarda yapılardaki mevcut bölme duvarların etkili, ekonomik ve pratik yöntemlerle güçlendirilerek BA dolgu duvar gibi davranmasını sağlamak son derece gözde hale gelmiştir.

1.1. Literatür Taraması

Yanal yükler altındaki dolgu duvarlı çerçeve davranışının incelendiği yayınların özetlenmesi ile literatür taramasına başlanacakır. Devamında betonarme (BA) dolguların BA çerçeve davranışına katkılarının incelendiği çalışmalar özetlenecektir.

1.1.1. Dolgulu Çerçeve Davranışı

Dolguların, çerçeve dayanım ve davranışına olan etkileri ilk başlarda çelik çerçevelerde incelenmiştir. Bu durum, kompozit dolgu-çerçeve davranışını daha iyi anlayabilmek için çerçevede iyi tanınan, homojen ve izotropik bir malzeme kullanarak yapılan bir basitleştirme işlemiydi. Bu çok mantıklı bir başlangiç noktasıydı çünkü dolgu-çerçeve davranışını etkileyen çok sayıda değişken vardır. Daha sonra, çelik çerçeve deneylerinde ulaşılan sonuçlar değerlendirilerek BA çerçeveli deneylere geçilmiştir. Yapılan kapsamlı deneysel ve kuramsal çalışmalar, dolgunun BA ve çelik çerçevelerin davranışını yanal yükler altında oldukça değiştirdiğini göstermiştir. Fakat, yapısal sistemleri etkileyen değişik parametrelerin eksikliğinden dolayı, dolguların faydalı katkıları normalde tasarımcılar tarafından dikkate alınmamaktadır. Neredeyse elli yıldır bu konuya adanmış fazlaca sayıda çalışma gerçekleştirilmiş bulunmasına rağmen, geniş çaplı benimsenmiş bir tasarım yöntemi bulunmamaktadır çünkü dolgu duvarlar sıkça taşıyıcı kabul

edilmemektedirler. Tıpkı **FEMA-356 (2000)** tarafından tasarım çalışmalarında dikkate alınmaları çok nadir karşılaşılan bir durumdur. Bu durum kısmi olarak dolgu ve çerçevenin karmaşık etkileşimine ve böyle kompozit bir yapı davranışını etkileyen çok sayıda değişkene atfedilebilir.

Dolgulu duvarlarla ilgili ilk çalışmalar **Polyakov**'un çalışmaları olarak kabul edilebilir. Çalışmalarında, Polyakov mafsallı birleşimleri olan çelik çerçeveleri boşluksuz tuğlalar iledoldurmuş ve monotonik yükler altında test etmiştir. Deney sonuçları, basınçtaki diyagonalde kalan harcın çatlaması ile dolgular yanal yük taşıma kapasitelerini kaybettiklerini göstermiştir. Ayrıca, eşdeğer basınç çubuğu yaklaşımına ilk olarak **Polyakov (1956)** tarafından değinilmiştir. **Holmes (1961), (1963), Smith (1962), (1966), (1967), (1968)** ve **Smith ve Carter (1969)** tarafından dolgulu çerçeveler üzerinde önemli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer basınç çubuğu yöntemi Smith ve arkadaşlarının gerçekleştirdikleri çalışmalarda formülize edilmiş, daha sonra **Mainstone (1971)**'un katkıları ile geliştirilmiştir. **Ockleston (1955)** ve **Thomas (1955)** düzlemsel yükler altındaki çerçevelerin dayanımına dolgulu panellerin katkılarını incelemişlerdir. Çalışmalarda dolgu duvarların dayanım ve rijitlik üzerinde büyük etkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Benjamin ve Williams (1957) ölçekli dolgulu çerçevelerle ilgili kapsamlı çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Ölçek etkisi panel açıklık oranı, tuğla boyutları, kolon dayanımı ve panel donatısı araştırdıkları değişkenlerdi. Ölçeği 1:8 ile 1:1 arasında değişen çelik ve BA çerçeveleri, tuğla veya BA dolgular ile test etmişlerdir. Deney sonuçları, elastik sınırlar dahilinde kolon dayanımının sistemin rijitliğini değiştirmediğini göstermiştir.

Wood (1958) yaptığı çalışmada, yüksek yapıda dolgunun kompozit davranışının ihmal edilmesinin dolgulu çerçeve sistemlerinde gerçek davranışın değerlendirilmesin zorluklara yolaçacağını rapor etmiştir.

Ersoy ve Uzsoy (1971) tek açıklıklı tekkatlı dolgulu BA çerçeveler üzerinde deneyler yapmışlardır. Deney elemanları yanal monotonik artan yüklemeler altında

test edilmişlerdir. Düşey yüklerin etkisi, kiriş-kolon rijitlik oranı, dolgu kalınlığı ve dolgu-çerçeve bağlantı detayı araştırılan parametrelerdir. Dolgunun bulunmasının yanal dayanım ve rijitliği büyük ölçüde iyileştirmekte olduğu ve ayrıca, dolgu-çerçeve arasındaki bağın yanal dayanım ve rijitliği etkilemediği sonucuna ulaşmışlardır. Kuramsal çalışmalarda dolgu duvarların mafsallı birleşimlere sahip eşdeğer basınç çubukları gibi modellenmeleri önerilmiştir.

Mallick ve Garg (1971) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarda, dolgudaki boşlukların ölçekli çerçeve elemanlarının rijitliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde, dolgu ile çerçeve arasındaki kompozit davranışın, boşluk pozisyonunun basınç diyagonaline yaklaşmasından olumsuz etkilendiğini gözlemlemişlerdir. Kayma bağlantıları olan ve olmayan dolgulu çerçeve deneyleri gerçekleştirmişler ve kayma bağlantıları olan dolgulu çerçevelerin olmayan çerçevelere oranla daha rijit oldukları sonucuna varmışlardır. Ayrıca, bağlantıların bulunmasının dolgulu çerçevelerin ilk sertlik değerleri üzerinde olumlu etkileri olacağı sonucuna varmışlarıdır.

Mallick (1972) ve Liauw (1979) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarda arayüzey bağlantılarının yapının ilk sertlik ve dayanım değerlerini arttırdığını rapor etmişlerdir.

Dawe ve Seah (1989) panel ile çevreleyen çerçeve elemanları arasına harç dökerek arayüzey mekanik bağlantılarının iyileştirilmesinin veya mekanik bağlantılar kullanılmasının çerçevelerin başlıca çatlak genişlikleri veya yanal dayanımları üzerinde çok az etkileri olduğu sonucuna varmışlardır.

Klingner ve Bertero (1976) dolgulu çerçevelerin sert zemin hareketlerini benzeştiren yükler altındaki davranışlarını inceleyen deneysel ve kuramsal entegre çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. BA 1:3 ölçekli deney çerçeveleri üzerine yarı-statik yük uygulamışlarıdır. Deneylerde, referans çerçeveye oranla dayanım ve rijitlikte artış gözlemlemişlerdir.

Kligner ve Bertero (1978) çalışmalarını dolgulu çerçevelerin deprem dayanımını incelediklere çalışmalara genişletmişlerdir. Bu çalışmalarda çerçevelere deprem yüklerini benzeştiren yarı-statik yüklemeler gerçekleştirmişlerdir. Deney elemanları 11 katlı bir yapının son çerçevesini modelleyen 1:3 ölçekli bir çerçevedir. Deney çerçeveleri kusurlu olmayan çerçevelerdir ve bindirmeli ek problemlerinin en aza indirgendiği nervürlü donatıların kullanımına izin vermişlerdir. Dolgularda kullanılan boşluklu bloklarda 1:3 ölçekli donatılar, prototipteki mekanik özellikleri devam ettirecek şekilde konulmuşlardır. Deneyler ilk etapta yük kontrollü, ikinci etapta deplasman kontrollü gerçekleştirilmişlerdir. Dolguların dayanım, enerji sönümleme ve dağıtma kapasitesine olumlu katkıları çalışmada rapor edilmiştir.

Makino, Kawano ve Kurobane (1980) altı adet 1:3 ölçekli beton dolgulu çelik çerçevenin test edilerek çerçeveli yapıların tasarımı amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, dolgu bulunmasının sistemin yanal dayanım ve rijitliğini arttırdığı gibi çelik çerçevedeki burulmayı da önlediği sonucuna ulaşmışlardır. Böylece araştırmacılar, bölgesel burulmuş çelik çerçeve için dolgu eklemeyi sismik rehabilitasyon yöntemi olarak önermişlerdir. Dolgulu çerçevenin dayanımının, çelik çerçevenin ve diyagonal basınç çubuklarının ayrı ayrı dayanımlarının toplamına eşit olduğunu rapor etmişlerdir.

Govindan, Lakshmipathy ve Santhakumar (1986) yaklaşık 1:4 ölçekli BA çerçeveleri, dolgulu çerçevelerin sünekliğini araştırmak üzere test etmişlerdir. Deney çerçeveleri bir adeti boş, bir adeti de dolgulu olmak üzere iki adet tek açıklıklı yedi katlı BA çerçevelerdir. Deneylerde, yanal yük kapasitesine kadar yük kontrollü, bu seviyeden sonra deplasman kontrollü yük şablonu uygulanmıştır. Çalışmada, dolgunun yanal dayanım ve rijitliğe olumlu katkıları rapor edilmiştir.

Caccese ve Harris (1990) 1:5 ölçekli yedi katlı beton-duvar çerçeveli yapıyı sarsma tablasında test etmişlerdir. Çalışmada elde edilen bulguları 1:32 ölçekli önüretimli beton perde duvar deney elemanlarının sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Elde ettikleri önemli sonuç ölçekli deney elemanlarından elde ettikleri deney sonuçlarının, prototip elemanlardan elde edilen sonuçlara iyi bir alternatif olabileceğidir.

Armin, Mahrabi, Shing, Schuller, ve Noland (1996) tuğla panellerin 1:2 ölçekli BA çerçevelerin yapısal davranışına olan etkilerini araştırmışlardır. Araştırmacılar, panel açıklık oranı, monotonik ve tekrarlanır yanal yükleme, düşey yük dağılımı ve duvar tipini BA yapı davranışını incelerken değişken olarak almışlardır.Araştırmacılar, ayrıca değişik kuramsal prosedürleri deney elemanlarının davranışını kuramsal olarak modellemede uygulamışlardır. Deney sonuçları dolgu panellerin BA çerçeve performansı üzerinde büyük etkileri olduğunu göstermiştir. Ayrıca, güçlü çerçeve ve dolgunun, zayıf çerçeve ve dolguya oranla daha iyi yanal dayanım ve enerji tüketme performansı göstermiştir. Dolgulu çerçevelerin dayanımı, boş çerçeveye oranla herzaman daha yüksek çıkmıştır.

Mosalam, White ve Gegely (1997) çalışmalarında dolgulu çerçevelerin yarı-statik yüklemeler altındaki statik davranışlarını araştırmışlardır. Araştırmacıların, dolgu duvarların değişik konumlarında aldıkları ölçümler diyagonal yönlerdeki basınç gerilmelerinin baskın olduğunu göstermiştir. Böylece dolgu duvarlar sadece basınç çubukları şeklinde modellenebilmektedir. Ayrıca, yüksek gerilme konsantrasyonları köşelerde oluşmaktadır. Bu oluşan gerilme ve birim deformasyonlar dolgu panelin ortasına doğru hızla azalmaktadır. Dolgu panelin çatlamasına kadar, birim deformasyonlar ile gerilmeler arasında neredeyse doğrusal bir ilişki bulunmakta olduğu sonucuna varılmıştır ve bu durum da bu seviyesine kadar eşdeğer basınç çubuğu analojisini doğrulamıştır. Bununla birlikte, araştırmacılar eşdeğer çubuğun genişliğinin ortalara doğru artma eğilimine girdiğini, ve değişken kesit alanına sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Dukunze (2000) tek açıklıklı tek katlı 49 adet tuğla dolgulu 1:3 ölçekli BA çerçeve testi gerçekleştirmiştir. Araştırmacı ayrıca iki adet de 1:3 ölçekli üç katlı üç açıklıklı deney elemanını bitişik panelin genel dolgulu çerçeve davranışı üzerindeki etkilerini incelemel üzere testi gerçekleştirmiştir. Sistem dayanımını etkileyen önemli değişkenler ölçülebilir ve ölçüleyemeyeler olarak ikiye ayrılmıştır. İlk kategoride panel geometrisi ve dayanımı, dolgu-çerçeve rijitliğinin göreli oranı, çerçeve elemanlarının plastik eğilme momenti kapasitesi, düğüm noktalarının dayanım ve rijitliği, kiriş-kolon rijitlikleri oranı, dolgu donatısı, dolgu boşluklarının geometrisi ve

konumu, bitişik açıklık ve üst kat etkileri, donatısız dolgu malzemesinin ve çerçevenin tipleri gibi değişkenler sayılabilir. İkinci kategoride ise işçilik kalitesi, hava durumu etkileri, iş farklılıklarından dolayı harç ve sıvadaki değişim, işte ara verilmesi, malzemelerdeki elde olmayan varyasyonlar ve insan hataları sayılabilir. Çalışmada, kat seviyelerinde uygulanan kayma kuvvetleri altındaki çok katlı çok açıklıklı dolgulu çerçeve davranışının belirlenmesinde sade paneli çevreleyen bir çerçeve deney sonuçlarının anlaşılmasının faydalı ve kullanışlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Asteris (2003) çalışmalarında yeni bir sonlu elemanlar tekniği kullanarak tupla dolgulardaki boşlukların dolgulu çerçevelerin rijitliğini azaltmaları üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmasındaki asıl değişkenler boşluğun dolgunun tüm alanına oranı ve boşluğun dolgudaki konumudur. Araştırmacı, dolguda boşluk bulunmasının dolgulu çerçeve dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde azaltmaktadır sonucuna ulaşmıştır. Dolgu merkezinde yeralan bir boşluk, yüklenmiş diyagonal üzerindeki her iki uçta yeralan iki boşluktan daha az dayanım ve rijitlikte azalmaya sebep olmaktadır. Ayrıca, boşluğun boyutu, şekli ve konumunun çerçevenin yıkımı esnasında oluşacak mafsalları üzerinde kuşkusuz katkısı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dönmez (2006) dolgu duvarların kuramsal modellenmesini ve deprem esnasında BA çerçeveli yapıların genel davranışı üzerine olan etkilerini araştırmıştır. SAP 2000 bilgisayar programı kullanılarak, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi esnasında hasar almış temsili bir yapı modellenmiş ve değişik durumlar için analiz edilmiştir. Kocaeli ve Düzce depremlerinde kaydedilen değişik ivme-zaman kayıtları binaya analiz için yüklenmiştir.

Akın (2006) depreme maruz kalmış BA dolgulu çerçevelerin sismik analizi için basit bir yöntem geliştirmiştir. Araştırmacılar **Benjamin ve Williams (1958)** ve **Fiorato, Sözen ve Gamble (1970)** tarafından gerçekleştirilmiş deneysel çalışmalarda izlenen yöntemleri doğrulamıştır. Çalışmada dolgulu BA çerçeve sistemi, rijitliği BA çerçeve ve dolgu duvarın kompozit davranışından hesaplanmış bir duvardan hesaplanmıştır.

Çalışmanın amacı, dolgu ve onu çevreleyen çerçevedeki olası hasarı, hesaplanmış kayma değerlerinden tahmin etmektir. Toplamda 4 adet, 2003 Bingöl depreminde hafif hasarlanmış ve özdeş kat planlarına sahip yapı SAP2000 bilgisayar programında modellenmişlerdir. Çalışmada, BA dolgulu çerçevelerin, verilen yer hareketlerine karşı tepkileri denenen yöntemle doğruya yakın bir şekilde tahmin edilebilmektedir.

Literatürde dolgulu çerçeve davranışını anlamak üzere gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Kuramsal çalışmalarda dolgu duvarlar yoğun olarak eşdeğer basınç çubukları ile modellenmişlerdir. Dolgu-çerçeve sistemlerinde en çok araştırlan değişkenler eşdeğer çubuk değişkenleridir. Ayrıca, 1:3 ölçekli BA çerçeveler, prototip çerçeve davranışını en iyi şekilde yansıtan ölçek olarak değerlendirilmiştir.

1.1.2. BA Dolguların BA Çerçeve Davranışına olan Katkıları

Gerçekleştirilmiş çalışmalarda ulaşılan sonuçlar, monolitik veya yerinde dökme BA perdelerin kullanımının BA çerçeve davranışı üzerinde son derece olumlu katkıları olduğunu göstermiştir, ki bu en yaygın ve sık uygulanan sismik iyileştirme yöntemi olmuştur. Mevcut yüksek lisans çalışması kusurlu BA çerçeveler için deprem öncesi uygulanabilecek bir yöntemdir ve de BA dolgu duvarlara alternatif bir uygulama olarak önerilmektedir. Bu yüzden BA dolgu duvarlı çerçeve davranışının çok iyi bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. Bu yöntemin uygulanması ve performansı ile ilgili basılmış bazı seçilmiş çalışmalar aşağıda özetlenmektedir:

Kahn (1976), Kahn ve Hanson (1979) gerçekleştirdikleri kapsamlı deneysel çalışmada 1:2 ölçekli deney çerçevelerini, BA dolguların deprem davranışına katkılarını incelemek üzere test etmişlerdir. Çerçeveler üç yöntemle güçlendirilmişlerdir: birincisi çerçeve ile birdöküm dolgu, ikincisi tek parça ve çerçeveye mekanik bağlantıları olan önüretimli dolgu ve üçüncüsü de altı adet birbirlerine ve çerçeveye mekanik bağlantıları olan önüretimli parçalar. Bunların yanında, boş bir çerçeve deneyi de yapılmıştır. Deneyleri, BA dolgu duvarların mevcut BA çerçeve ile etkileşimini de inceleyebilecek şekilde tasarlamışlardır.

Araştırmacılar, yöntemlerin hepsinin BA çerçevelerin davranışını iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlar ve yerinde dökme BA dolgu duvarın neredeyse birdöküm dolgu duvar kadar nominal kayma gerilmelerine yol açtığını göstermişlerdir. Ayrıca deneylerde, yerinde dökme dolgulu BA çerçevenin kat ötelenme oranları çoklu panellerle güçlendirilmiş olanın yarısı kadar olmuştur. Bunlara ek olarak, önüretimli çoklu panel tekniğinin en çok gelecek vadeden sismik güçlendirme yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yüzügüllü (1979) BA çerçevelerin sismik güçlendirilmesi için çoklu önüretimli BA paneller kullanmıştır. Paneller arasında bulonlu ve kaynaklı birleşimler olan deney elemanları deneysel olarak test edilmişler ve araştırmacı tarafından paneller kullanılarak yapılan güçlendirmenin çok etkili bir yöntem olduğu ve çok yüksek enerji tüketim değerlerine ulaşıldığı rapor edilmiştir.

Yoichi, Taneo ve Masamichi (1980) BA çerçevelere perde duvarlar eklenmesinin sismik perfomansa olan etkileri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında, değişik tipte dolgulu 1:3 ölçekli tek açıklıklı tek katlı deney elemanları test etmişlerdir. Plastik deformasyonların gerçekleştiği seviyelerdeki yanal kapasitedeki artış ve süneklikteki iyileşmeyi çalışmalarındaki güçlendirme yöntemlerinin temel amacı olarak açıklamışlardır. Çelik diyagonaller, çerçeve içinde çelik çerçeve, yerinde dökme BA dolgu , dolgu olarak boşlukları olan önüretimli beton duvar paneller ve panel olarak önüretimli beton duvar panelleri dolgu olarak test etmişlerdir. Tüm deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasitesinde artış gözlemlenmiş, tüm elemanların sonuçları alt sınır olan boş çerçeve ile üst sınır olan birdöküm BA dolgu duvarlı çerçeve sonuçları arasında yer almıştır. Ayrıca, kuramsal çalışmalarda elde edilen bulgular deney sonuçları ile iyi derecede örtüşmüştür.

Bertero ve Brokken (1983) gerçekleştirdikleri kuramsal ve deneysel çalışmalarda donatısız ve donatılı duvarları, donatılı hafif beton dolguları moment taşıyan BA çerçevelerde test etmişlerdir. Deneylerde, 11 katlı 3 açıklıklı bir binanın en alt 3-1/2 katını modelleyen 1:3 ölçekli deney elemanlarını monotonik ve yarı-statik yüklemeler altında test etmişlerdir. Araştırmacılar çerçeveye düzgün bir şekilde

ankıre edilmiş BA dolgular eklenerek BA çerçevelerin dayanım ve davranışının depreme karşı iyileştirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada, güçlendirme uygulanması sonucunda yapının dinamik özelliklerindeki değişmelere dikkat çekilmiştir. Çerçeveye sağlanan ekstra dayanımın talep edilenden daha fazla olduğu açıklanmış, BA dolgu eklenmesinin faydalı olduğu rapor edilmiştir.

Higashi, Endo ve Shimizu (1984) tek açıklıklı üç katlı deney elemanlarını değişik yöntemlerle güçlendirmişlerdir. Deney elemanları yatay ve düşey yükler altında test edilmişlerdir. Zayıf donatılandırılmış kolonlara sahip deney elemanları önüretimli beton panellerle, çelik diyagonallerle, çerçeve içine çelik çerçeve yerleştirilerek ve sonradan dökme BA duvarlarla güçlendirilmişlerdir. Çelik diyagonallerle, çelik çerçeve ile ve de dört önüretimli beton panellerle güçlendirilmiş elemanlar hem yüksek yanal dayanım hem de daha iyi süneklik karakteristikleri göstermişlerdir.

Altın (1990) Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında BA çerçevelerin BA dolgularla güçlendirildiği kapsamlı bir deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Ondört adet 1:3 ölçeğe sahip deney çerçeveleri, dolgu donatısı tipinin ve çerçeve-BA dolgu bağlantı detaylarının etkilerini araştırmak üzere tersinir yükler altında test edilmişlerdir. Çalışmada ayrıca kolon eksenel yüklerinin yanal dayanım ve de sistemin genel davranışı üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Çalışmada yerinde dökme BA perde duvarların sismik performansı oldukça iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Çerçeveye uygun şekilde bağlı olmak kaydıyla dolguların dayanım ve rijitliği önemli ölçüde arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

Altın, Ersoy ve Tankut (1992) yerinde dökme BA dolgulu çerçevelerin histeretik davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmalarında 1:3 ölçekli tek açıklıklı iki katlı çerçeveleri tersinir tekrarlanır yükler altında test etmişlerdir. Çalışmada BA dolgu döküm işçiliğinin öneminin altı çizilmiştir. BA dolgu ile çerçeve arasındaki bağlantı detaylarının önemli oldu, aksi halde tersinir tekrarlanır yükler altında dolguların verimli olamayacağı rapor edilmiştir. Çalışmada ayrıca BA dolgu eklenmesi ile çerçevenin dinamik özelliklerine de işaret edilmiştir. Sismik güçlendirme amacıyla talep edilen dayanım artışı ile sağlanan artış karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları

kullanılarak, deney elemanlarının dinamik davranışını tahmin edebilmek için basit bir dinamik yöntem denenmiştir.

Frosch (1999) BA çerçeveli yapıların güçlendirilmesi üzerine önüretimli dolgu duvar sistemi önermiştir. Ayrık beton elemanların bağlantı detaylarının gereksinimleri noktasından başlayarak, bitişik önüretimli duvar panellerinin birleşimlerinin tekrarlanır kesme kuvvetleri altında tatminkar davranış sergileyebilmeleri amacıyla BA çerçeveler test etmiştir. Çalışmalarındaki asıl değişkenler kayma kamasının biçimi, boyutları, panel aralığı, bağlantıdaki düşey donatı oranı, derz dolgusunun dayanımı ve önüretimli panel kalınlığı olarak rapor edilmiştir. Derz dolgusu ile panel betonunun göreli dayanımlarının birleşimin davranışını etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. Düşük dayanımın kapasiteyi ve hasar yüzeyinin yerini belirlediği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca, duvar kalınlığının ve bağlantıdaki düşey donatı miktarının artmasıyla birlikte dayanımın da arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Canbay (2001) Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında üç açıklıklı iki katlı 1:3 ölçekli deney çerçevelerini, BA dolguların BA çerçevelerin davranış ve dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmak üzere, tersinir tekrarlanır yükler altında test etmiştir. Güçlendirilmiş çerçevede boş çerçeveye oranla, önemli derecede enerji dağıtma kapasitesi, ilk rijitlik değeri ve yanal yük taşıma kapasitesi sonucuna ulaşılmıştır.

Anıl (2002) boşluklu BA dolgularla güçlendirilmiş BA çerçevelerin tersinir tekrarlanır yanal yükler altındaki davranışlarını incelemiştir. Çalışmadaki asıl değişkenler dolgu duvardaki boşluğun boyutu ve aranjmanıdır. Bu amaçla araştırmacı, 1:3 ölçekli değişik boşluk düzenindeki BA dolgu duvarlarla güçlendirilmiş tek açıklıklı tak katlı BA çerçeveleri test etmiştir.

Sonuvar, Özcebe ve Ersoy (2004) deneysel çalışmalarında deprem sonrası sismik güçlendirme yöntemi olarak, BA çerçeveleri BA dolgu duvarlarla güçlendirmişlerdir. Araştırmacılar Türkiye'de sıklıkla karşılaşılan BA çerçeve kusurlarını da kapsayan 1:3 ölçekli tek açıklıklı iki katlı beş adet deney elemanını tersinir tekrarlanır yükler

altında test etmişlerdir. Deneysel çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada orta seviyede hasar alacak şekilde boş çerçeveler tersinir tekrarlanır yatay yüklere maruz bırakılmış ve ardından yerinde dökme BA dolgularla rehabilite edilmişlerdir. Ayrıca kolon boyuna donatılarında bulunan bindirmeli eklerin negatif etkilerini azaltabilmek için kolon tabanlarına değişik yerel güçlendirme yöntemleri uygulanmıştır. Araştırmacılar, BA dolguların enerji dağıtma kapasitesini kayda değer oranda arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca çalışmada, bindirmeli ek sorunlarına karşı bu bölgelerdeki kolon giydirme ve dolgunun içine kolon yerleştirme yöntemlerinin de deney elemanlarının enerji dağıtma kapasiteleri üzerinde olumlu etkileri olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kara (2006) deneysel çalışmasında dokuz adet sünek olmayan BA çerçeveyi parçasal BA dolgularla güçlendirip tersinir tekrarlanır yanal yükler altında test etmiştir. Tek açıklıklı iki katlı deney çerçeveleri kusurlu olarak imal edilmiştir. Dolgu açıklık:yükseklik oranı, dolgu panelinin açık tarafında köşe elemanının bulunması ve dolgu yüzeyinde açıklığın konumu araştırılan deneysel parametreler arasındadır. Deney sonuçları parçasal dolgu duvar eklemenin yanal yük taşıma kapasitesini, rijitliği ve enerji dağıtma kapasitesini arttırdığını ortaya koymuştur. BA çerçeve ile dolgu arasındaki düzenli kiriş-kolon birleşim bölgesi detaylarına sahip deney elemanının güçlendirilmiş elemanlar arasında en yüksek başarıya sahip olduğunun altı çizilmiştir. Ayrıca, daha fazla dolgu açıklık:yükseklik oranı yerine dolgu panelinin açık tarafında köşe elemanının bulunmasınınyanal yük taşıma kapasitesini ve rijitliği daha fazla arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

1.1.3. Üretimli Panel Tekniğinin Gelişimi

BA yapılarda sismik güçlendirme ihtiyacı Erzincan (1992), Dinar (1995), Kocaeli and Düzce (1999) vb. Depremlerle daha da günyüzüne çıkmıştır. Türkiye'de, kusurlu BA çerçeveye ve yaşam alanları arasında boşluklu tuğlalardan örülerek oluşan bölme duvarlara sahip çok yüksek sayıda bina bulunmaktadır. Bu tür binalar mevcut bina stoğunun büyük bir çoğunluğunu oluşturmaktadır. Olası bir orta veya yüksek depreme karşı, yanal dayanımı ve rijitliği yetersiz bu binaların ayakta kalmasının sağlanması can kaybının önüne geçilebilmesi için gereklidir. Hala mevcut tuğla

bölme duvarların yerinde dökme BA dolgular ile doldurularak binanın sismik performansının artırılması en yaygın çözümdür. Fakat, bu yöntem binanın uzunda bir müddet boşaltılmasını gerektirmektedir, ki bu da güçlendirme yönteminin maliyeti artırıp yapı sakinlerinin moral seviyesini düşürmektedir. Çok sayıda zayıf binanın varlığı bu yöntemin ekonomik bir çözüm olmasını engellemektedir. ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında 2000'li yılların başında, yeni ve pratik sismik güçlendirme yöntemleri geliştirmek üzere NATO-Tübitak destekli kapsamlı bir proje başlamıştır. Türkiye'deki mevcut kusurlu BA çerçeveli ve boşluklu tuğla bölme duvarları olan binalar için yepısal olarak etkili, ekonomik ve pratik güçlendirme yöntemleri üzerinde çokca deneyler ve araştırmalar yapılmıştır. **Keskin (2002), Erduran (2002)**, **Mertol (2002), Erdem (2003) ve Akın (2009)** karbon polimerli kumaşlar (CFRP) kullanılarak dolgu duvarların güçlendirilmesi üzerine deneyler yapmışlardır. **Binici ve Özcebe (2006)** CFRP ile güçlendirilmiş dolgu duvarların analiz kurallarını hazırlamışlardır**. Sevil (2010)** kusurlu BA çerçevelerin sismik performansının çelik lifli harcı mevcut sıvanmış tuğla dolgunun üzerine uygulayarak artırıldığı deneyler gerçekleştirmiştir. Tüm bu yöntemlerde mevcut tuğla bölme duvarların, yeni bir duvarla değiştirilmesi yerine, perfromansının artırılması önerilmektedir. Çalışılan bu yöntemlerde çerçeve-dolgu sisteminin yanal yükler altındaki performansının oldukça arttığı gözlemlenmiştir.

Önüretimli yüksek dayanımlı panellerle güçlendirme yönteminin geliştirilmesi **Özcebe (2000)** yönetiminde pratik deprem öncesi sismik güçlendirme yöntemi olarak boşluklu tuğla bölme duvarlı BA yapılar için geliştirilmiştir. ODTÜ'de gerçekleştirilen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Duvarcı (2003) önüretimli yüksek dayanımlı panellerle tuğla dolgulu BA çerçevelerin sismik performansının artırılmasıyla ilgili ilk deneyleri gerçekleştirmiştir. Toplamda 5 adet tek açıklıklı iki katlı 1:3 ölçekli deney çerçevelerini yatay ve düşey altında test etmiştir. Deney çerçeveleri daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalarda kullanılan, ilk olarak **Altın (1990)** tarafından geliştirilen ve yatay olarak test edilen ikiz çerçevelerin dikey olarak test edilen standart halidir. İlk iki deney düzeneğinin geliştirilmesi için test edilmiştir. Deney

çerçeveleri bilinçli olarak piyasada karşılaşılan kusurları kapsamaktadır. Yetersiz sargılama, düşük beton dayanımı, zayıf kolon-güçlü kiriş yapısı, düğüm noktalarında etriye sıklaştırılmaması ve düz donatı kullanımı bu kusurlar arasındadır. Tuğla dolgu duvarlar üzerine iki değişik geometriye (dikdörtgen ve şerit) sahip kayma kamaları ve kaynaklı bağlantıları olan önüretimli yüksek dayanımlı paneller yapıştırılmıştır. Paneller arasında ve çerçeve-panel arasında kaynaklı bağlantılar ve epoksi bazlı yapıştırıcı kullanılmıştır. Deney elemanlarının yanal dayanımı, rijitliği ve enerji dağıtım kapasiteleri panel uygulaması ile oldukça artmıştır. Çalışmada paneller arasındaki kaynaklı bağlantıların ve kayma kamalarının kaldırılıp deneylerin tekrar edilmesi önerilmiştir. Ayrıca çalışmada panel geometrisinin güçlendirme performansını fazlaca etkilemediği rapor edilmiştir.

Süsoy (2004) önüretimli panel güçledirme tekniğini 8 adet tek açıklıklı tek katlı deney çerçeveleri üzerinde uygulamıştır. Panel geometrisi (yaklaşık kare veya şerit), panel-panel arasındaki bağlantı (kayma kamaları, kaynak kullanımı veya sadece epoksi), panel-çerçeve arasındaki bağlantı (kaynak kullanımı, iki veya dört yüzde ankraj bulunması), kolon boyuna donatılarında yetersiz bindirme boyu bulunması ve kolon eksenel yükleri deneylerde araştırılan parametreler arasındadır. Panel uygulaması ile sistemin yanal dayanımı ~2.5 kat, rijitliği ise ~3.3kat artmıştır. Çalışmada ulaşılan en önemli sonuç panellerdeki işçiliği ve masrafı artıran panellerdeki kayma kamalarının gereksiz olduğunun ispatlanmasıdır. Paneller arasında sadece epoksi kullanımının yeterli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Düşük kolon eksenel yük seviyesi ve kolon donatılarındaki bindirmeli eklerin yanal dayanım üzerindeki negatif etkileri sonuçlarda bildirilmiştir. Mevcut çalışmadaki tek açıklıklı tek katlı deneylerin sonuçlarının ve davranışlarının iki katlı elemanların sonuçlarıyla çok benzer olduğu rapor edilmiştir. Bu sebeple, üretim kolaylığı ve laboratuarda yer kısıtlaması olduğu durumlarda tek katlı deney elemanlarının iki katlı deney elemanlarının yerine kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Baran (2005) tek açıklıklı iki katlı 1:3 ölçeğe sahip 14 adet deney elemanını altı değişik tipte önüretimli yüksek dayanımlı panellerle güçlendirip tersinir tekrarlanır yatay ve sabit düşey yükler altında test etmiştir. Kolon eksenel yük seviyesi, kolon

boyuna donatılarında bindirmeli ekler bulunması, önüretimli panellerin çerçeve iç ya da dış yüzeyinden uygulanması, kayma kamaları ve panel-panel bağlantılarında kaynaklı birleşimler bulunması, panel-çerçeve bağlantılarında panel aralarındaki epoksili ankraj çubuklarının bulunması deney değişkenleridir. Panel uygulama tekniği ile güçlendirilen deney elemanlarının referans çerçeveye oranla yanal yük taşıma kapasiteleri yanal rijitlikleri ve enerji dağıtma kapasiteleri oldukça artmıştır. Panellerdeki kayma kamalarının ve panel-panel aralarındaki kaynaklı birleşimlerin gereksizliği vurgulanmıştır. Uygulamada, en alttaki birkaç katta panelleri sargılayan çerçeve elemanlarının dört bir yanında epoksili ankraj bulunmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Kuramsal çalışmalarda güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların iki ayrı eşdeğer basınç çubuğu ve eşdeğer kolonlar şeklinde modellenmiştir. Tasarımlarda eşdeğer basınç çubukları ile modellenecek bu tip güçlendirilmiş dolgu duvarların yanal yük taşıma kapasitelerinin düşük hata payıyla hesaplanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Okuyucu and Tankut (2009) beş adet 1:3 ölçeğe sahip tek açıklıklı tek katlı deney çerçevelerini önüretimli beton panellerle tersinir tekrarlanır yatay yükler ve sabit düşey yükler altında test etmişler ve panel dayanımının çerçeve davranış ve dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Dikdörtgen ve şerit tip, yaklaşık dayanımları ~30MPa ve ~45 MPa olan kayma kamasız ve kaynaksız bağlantıları olan paneller güçlendirme işlemlerinde kullanılmıştır. Şerit panellere oranla dikdörtgen panellerle güçlendirilmiş deney elemanlarında panel dayanımının çerçeve davranışı üzerinde daha baskın etkileri gözlemlenmiştir. Panel dayanımının ve çerçeve-panel birleşimlerindeki panel-panel arası ankrajların sayısının diğer değişkenlere oranla çerçeve ilk rijitliği üzerinde daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Düşük dayanımlı panellerle güçlendirilmiş deney elemanlarında daha düşük yanal yük taşıma kapasitesi ve daha düşük ilk rijitlik değeri, fakat daha yüksek rijitlik ve daha yüksek enerji tüketim kapasitesi gözlemlenmiştir.

Yukarıda özetlenen çalışmalarla panel tekniğinin faydaları etraflıca araştırılsa da panelleri sıvaya yapıştırmada kullanılan SİKADUR-31 adlı ithal yapıştırıcının etkili fakat bir o kadar da pahalı olması bu tekniğin maliyetinin biraz daha düşürülebileceği

sorusunu sordurmaktadır. Eğer SİKADUR-31 adlı ithal ilaç yerine KALEKİM adlı fayans yapıştırıcısı kullanılacak olursa yöntemin etkinliği mevcut çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

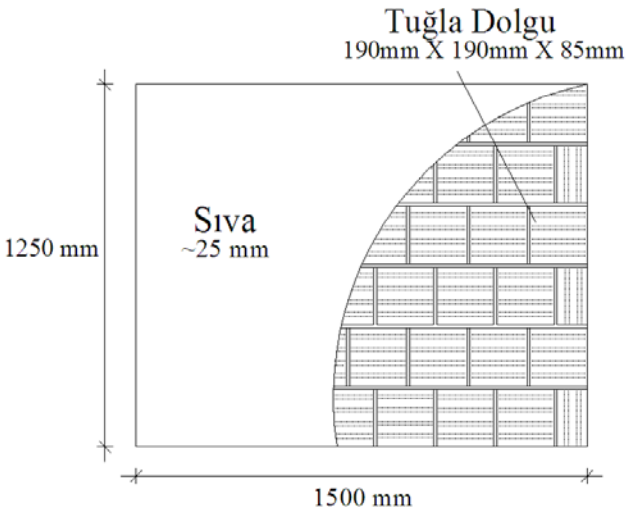
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Mevcut yüksek lisans çalışmasında, daha önce gerçekleştirilmiş çalışmalarda [14, 15] kullanılan önüretimli yüksek dayanımlı BA paneller yerine yerinde dökme normal dayanımlı beton plakalar kullanarak ve bunları SİKADUR 31 [19] marka ithal ve pahalı olan yapıştırıcı ile değil de ucuz ve piyasada bolca bulunan yerli üretim KALEKİM marka fayans yapıştırıcısı ile sıvaya yapıştırarak elde edilecek dayanım artışı ve de davranıştaki iyileşme araştırılmıştır. Amaç sözkonusu çalışmalarda elde edilmiş güçlendirme performansından verilecek az bir ödün ile güçlendirme maliyetini önemli bir ölçüde azaltabilmektedir. Böylece yapısal olarak etkili, uygulaması kolay, hızlı bir hane sakini güçlendirme yöntemini aynı zamanda oldukça ekonomik bir hale getirmektir. Sözkonusu performans azalması, yapının güçlendirilmesi esnasında fazladan birkaç duvara beton plakalar yapıştırılması suretiyle kompanse edilebilecektir. Bu amaçla ½ ölçekli, biri referans olmak üzere, toplam on üç adet sıvanmış tuğla dolgu duvar elemanı tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Plaka kalınlığı, plakaları duvara sabitlemekte kullanılan Φ6'lık bulonların sayısı, yerleri ve plakalara hasır donatısı eklenmesi deney değişkenleri olarak seçilmiş ve bunların etkileri gerçekleştirilen deneylerde incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deney Elemanları ve Programı

Deney elemanları 1/2 ölçeğe sahip olacak şekilde ve 1500 mm **x**1250 mm ebadında hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada bir adedi referans olmakla birlikte, toplam onüç adet deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanlarının boyutları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Deney elemanların boyutları ve detayı

Çalışmanın en büyük hedeflerinden biri olan malzemenin kolay temin edilebilmesi göz önünde bulundurularak piyasada sıkça kullanılan ve 8.5'luk olarak bilinen, 190 x 85 x 190 mm ölçülerinde standart boşluklu tuğlalar yine sıradan bir işçilik kalitesi ile örülmüş ve duvarların her iki yüzeyi yaklaşık 25 mm kalınlığında sıradan bir sıva ile sıvanmıştır. Her iki yüzü sıvanmış bir adet duvara hiçbir güçlendirme işlemi uygulanmadan çalışmada referans eleman olarak kullanılmıştır. Güçlendirme işleminde kullanılan plakaların şekilleri, kalınlıkları, plakada donatı kullanılıp kullanılmaması, ankraj bulonlarının (Φ6) sayısının ve yerlerinin aranjmanı ve plakaların dolgu duvarın tek ya da her iki yüzeyinde kullanılması deney değişkenleri olarak belirlenmiştir. Deney elemanları güçlendirme işlemi için kullanılan plakaların

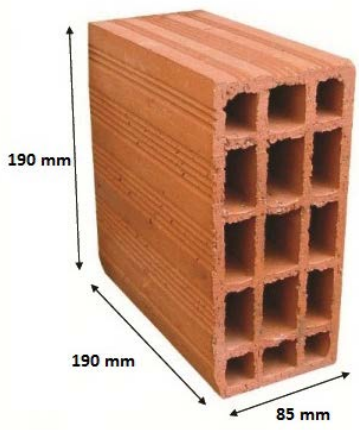
geometrik şekillerine göre temel iki gruba (dikdörtgen ve şerit) ayrılmışlardır. Bütün deney elemanlarında bulonlara aynı burulma momenti (3.5 kN.m) uygulanmıştır. Bu değer ankraj bulonu akma dayanımının %50'sine denk gelmektedir.

Deney elemanlarına yapıştırılan ve bulonlarla sabitlenen plakaların boyutları ve donatı yerleşim detayları Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında etkileri araştırılan deney değişkenleri aşağıda özetlenmektedir:

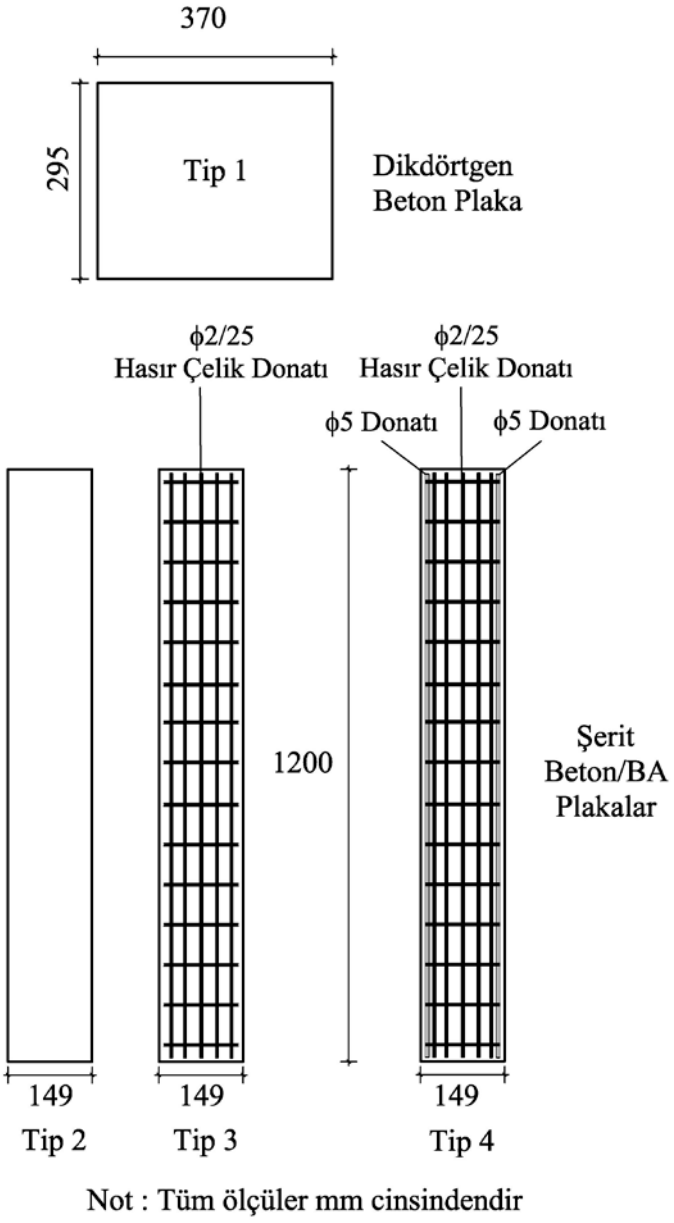
- Boşluklu tuğla dolgulu BA çerçevelerin güçlendirilmesinde yüksek dayanımlı önüretimli panellerin çok etkili olduğu bilinmektedir. Yerinde dökme normal dayanıma sahip beton/BA plakaların da dolgu duvarları etkili bir şekilde güçlendirip dayanım ve davranışlarını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmüştür.
- Plakaların tuğla duvarın taşıma gücü, sünekliği, yanal rijitliği ve enerji tüketme kapasitesi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla duvarların güçlendirilmesinde farklı kalınlıkta plakalar kullanılmıştır.
- Plakaların üretilmesi aşamasında donatılı olarak dökülmeleri, beton plakalara oranla duvar elemanlarının dayanım ve davranışını daha da iyileştireceği ve sünekliklerini arttıracağı öngörülmüştür.
- Plakaları duvara sabitleyen bulonların aralıklarının arttırılmasının özellikle ileri deformasyon seviyelerinde duvarın bütünlüğünü koruyabilmesi açısından fayda getireceği bilinse de fazla bulon sayısının işçiliği artırıp duvarın daha fazla ankraj bulon deliği ile zayıflaştırılması da göz önüne alınarak bulon sayısının optimize edilmesi için değişik sayıda bulonlar kulanılmıştır.
- Önceki çalışmalarda önüretimli paneller duvara etkili fakat bir o kadar da pahalı ithal bir yapıştırıcı (Sikadur 31) kullanılarak sabitlenmişlerdir. Bu çalışmanın esas hedeflerinden bir tanesi de güçlendirme maliyetini azaltmak olduğundan plakalar ahşap kalıp kullanılarak laboratuar ortamında normal dayanımlı beton kalitesinde üretilmişler, duvar yüzeyine yine sıradan bir işçilikle, piyasa kolay bulunabilir Kalekim marka seramik yapıştırma harcı (flex) kullanılarak yapıştırılmışlardır.

- Plakaların uygulamada, yapıların hem dış hem de iç dolgu duvarlarında kullanılabileceklerini hesaba katarak deney elemanlarının tek veya her iki taraflarına uygulanarak güçlendirme işleminin kompozit davranışa ve duvarın süneklik, yanal rijitlik ve taşıma kapasitelerine etkisi araştırılmıştır.

Bu çalışma kapsamındaki deneylerin asıl amacı, yapılardaki taşıyıcı olmayan duvarların güçlendirilerek yapının yanal dayanım ve rijitliğini arttırmak olduğu için, deney elemanları yapılarda taşıyıcı olmayan ve uygulamada bölme duvarlarda kullanılan yarım tuğla (8,5 cm kalınlığında) duvarlar olarak seçilmiştir. Duvarlar, piyasada 8.5'luk olarak bilinen 190 mm x 190 mm x 85 mm ebatlarındaki yatay Şekil 2.2'de gösterilen delikli tuğlaların örülüp (Şekil 2.4) daha sonra her duvar yüzüne yaklaşık olarak 25 mm kalınlığında çimento kireç karışımı harcın sıvanmasıyla (Şekil 2.5) hazırlanmıştır. Duvarların örülmesi ve sıvama işlemi sıradan bir işçilikle yapılarak, duvarların mevcut yapılardaki duvar kalitesini yakalaması hedeflenmiştir. Duvarlar hazırlandıktan sonra (Şekil 2.6), referans duvar dışındakiler Şekil 2.7'de gösterildiği gibi plakalarla güçlendirilmişlerdir.



Şekil 2.2. Deneysel çalışmada kullanılan boşluklu tuğlaların ebatları



Şekil 2.3. Plakaların boyutları ve donatı yerleşim detayları



Şekil 2.4. Boşluklu tuğla ile örülmüş duvar elemanı



Şekil 2.5. Her iki tarafı da sıvanmış duvar



Şekil 2.6. Güçlendirilmeden önce deney elemanları



Şekil 2.7. Plakalarla güçlendirilmiş deney elemanı

Bu çalışma kapsamında test edilen 13 deney elemanının plaka şekilleri, kalınlıkları ve uygulandıkları yüzey özellikleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Deney elemanının plaka şekilleri, kalınlıkları ve uygulandıkları yüzey özellikleri

Eleman	**Plaka Şekli**	**Plaka Kalınlığı t (mm)**	**Uygulanan Yüzey**
Referans, R	-	-	-
RP-MA-2.0	Dikdörtgen	20	Tek
RP-SA-2.0	Dikdörtgen	20	Tek
RP-SA-2.5	Dikdörtgen	25	Tek
RP-FA-2.5	Dikdörtgen	25	Tek
SP-HA-2.0	Şerit	20	Tek
SPR-MA-2.0	Şerit	20	Tek
SPR-HA-2.0	Şerit	20	Tek
SP-HA-2.5	Şerit	25	Tek
SPR-HA-2.5	Şerit	25	Tek
SPR-FA-2.5	Şerit	25	Tek
SPR-HA-2.0D	Şerit	20	Çift
SPR-FA-2.0D	Şerit	20	Çift

Çizelgedeki deney elemanlarının tanımlandırılmalarında yer alan ilk harf R veya S elemanının sırasıyla dikdörtgen veya şerit panellerle güçlendirildiğini, ikinci harf P ise plakayı ifade etmektedir. İlk iki harften sonraki üçüncü harf, eğer varsa, plakanın donatılı döküldüğünü ifade eder. Üçüncü harf R yoksa plaka donatısız beton olarak dökülmüş demektir. Tanımlandırmada ilk tire işaretinden sonra gelen MA, HA, SA ve FA sırasıyla minimum, yarım, testere diş şeklindeki ve tam ankraj aranjmanını ifade etmektedir. İkinci tire işaretinden sonraki rakam güçlendirme için kullanılan plakanın kalınlığını cm cinsinden ifade etmektedir. Son olarak, bu rakamdan sonraki D harfi, eğer varsa, deney elemanının her iki tarafından plakalar sabitlenerek güçlendirildiğini, eğer yoksa tek tarafından plakalar sabitlenerek güçlendirildiğini ifade etmektedir. Deney elemanlarında kullanılan plakaların ve bulonların ayrıntıları Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Deney elemanının plaka ayrıntıları

Eleman	Plaka Tipi	Ankraj Bulon Çapı (mm)	Plaka Donatısı
Referans, R	-	-	-
RP-MA-2.0	Tip 1	6	-
RP-SA-2.0	Tip 1	6	-
RP-SA-2.5	Tip 1	6	-
RP-FA-2.5	Tip 1	6	-
SP-HA-2.0	Tip 2	6	-
SPR-MA-2.0	Tip 3	6	Φ2/25
SPR-HA-2.0	Tip 4	6	Φ2/25+2-Φ5
SP-HA-2.5	Tip 2	6	-
SPR-HA-2.5	Tip 3	6	Φ2/25
SPR-FA-2.5	Tip 4	6	Φ2/25+2-Φ5
SPR-HA-2.0D	Tip 3	6	Φ2/25
SPR-FA-2.0D	Tip 3	6	Φ2/25

2.2. Malzeme Özellik ve Dayanımları

2.2.1. Boşluklu Tuğla ve Harç

Çalışmanın sonucunda elde edilen verileri daha gerçekçi karşılaştırabilmek ve daha sağlıklı sonuçlara ulaşabilmek için deney elemanlarının yapımında kullanılan boşluklu tuğlaların aynı yerden ve zamanda alınması suretiyle aynı şartlarda üretilmiş olmasına dikkat edilmiştir. Boşluklu tuğlaların basınç dayanımı, tuğla deliklerine paralel yönde 12.0 MPa, boşluklara dik-kısa yönde 2.8 MPa ve boşluklara dik-uzun yönde 3.2 MPa olarak ölçülmüştür. Kullanılan boşluklu tuğlaların ayrıntıları Bölüm 2.1'de verilmişti. Deney elemanlarının yapımında ve güçlendirilmesinde piyasada rahatlıkla temin edilebilen malzemeler kullanılmasına dikkat edilmiş, deney elemanlarının piyasa şartlarına uygun olması ve güçlendirme

yönteminin ekonomik ve rahat uygulanabilir olması hedeflenmiştir. Bütün deney elemanlarına aynı kür altında bakım yapılmıştır.

Tuğla duvar örülmesi ve sıvanmasında kullanılan harç aynı olup "takviyeli harç" olarak bilinmektedir. Harç karışımının ağırlıkça oranları Çizelge 2.3'de verilmiştir. Sözkonusu harçtan alınan 10 cm x 20 cm boyutlarındaki tüm deney elemanlarına ait silindir numunelerinin basınç deneylerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Duvar ve Sıva Harcı Karışım Oranları (Ağırlıkça)

Malzeme	Miktar (kg)
İnce kum	30
Kireç	5
Çimento	10
Su	5

Çizelge 2.4. Tüm Deney Elemanlarında Kullanılan Duvar Örme ve Sıvama Harcının Basınç Dayanımları

Eleman	Tuğla Duvar Örülmesi ve Sıvanmasında Kullanılan Harcın Basınç Dayanımı (MPa)
Referans, R	1.7
RP-MA-2.0	1.7
RP-SA-2.0	2.3
RP-SA-2.5	2.4
RP-FA-2.5	2.5
SP-HA-2.0	2.5
SPR-MA-2.0	2.2
SPR-HA-2.0	1.8
SP-HA-2.5	1.8
SPR-HA-2.5	2.5
SPR-FA-2.5	2.6
SPR-HA-2.0D	1.8
SPR-FA-2.0D	1.7

2.2.2. Beton/Betonarme Plakalar

Güçlendirme elemanı olarak kullanılan plakalar, çalışmada önerilen tekniğin kolay uygulanabilir ve ekonomik olması hedefi göz önünde bulundurularak, normal dayanımlı (15-20 MPa) beton karışım hesabına göre laboratuar ortamında aynı mikserde hazırlanmış ve ahşap kalıplar içine dökülerek hazırlanmıştır. Plakaların beton karışım miktarı Çizelge 2.5'de verilmiştir. Plakaların dökülmesi için hazırlanan ahşap kalıpların görüntüsü Şekil 2.8'de, yapıştırılmak üzere küre tabi tutulan plakaların görüntüsü Şekil 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.5. Plaka Betonu Karışım Oranları (Ağırlıkça)

Malzeme	Miktar (kg)
Kum	30
Çimento	13
Su	5

Hazırlanan her plaka karışımı için üçer adet silindir numune alınmıştır.Her bir deney elemanı için plaka karışımları farklı günlerde hazırlandığından plakaların dayanımları birbirlerine göre farklılıklar göstermiştir. Çizelge 2.6'da tüm plakalar için silindir numunelerinden elde edilen basınç dayanımları verilmiştir.

Çizelge 2.6. Deney Elemanlarında Kullanılan Plakaları Beton Basınç Dayanımları

Eleman	Plaka Basınç Dayanımı (MPa)
Referans, R	-
RP-MA-2.0	21.0
RP-SA-2.0	12.9
RP-SA-2.5	17.2
RP-FA-2.5	21.0
SP-HA-2.0	12.9
SPR-MA-2.0	14.6
SPR-HA-2.0	25.8
SP-HA-2.5	17.2
SPR-HA-2.5	23.4
SPR-FA-2.5	23.6
SPR-HA-2.0D	22.1
SPR-FA-2.0D	23.7

2.2.3. Plaka Yapıştırma Harcı

Plakalar deney elemanlarına piyasada kolayca bulunabilen ve fiyatı ekonomik olan kayma özelliği azaltılmış, uzun çalışma süresine sahip, çimento esaslı fayans yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmışlardır. Katalogda bu ürünün (KALEKİM) başlangıç ve nihai yapışma dayanımı 0.5 MPa ve 1.0 MPa, basınç dayanımı 15MPa ve eğilme dayanımı 2.5 MPa olarak verilmektedir. Yapıştırma harcı hazırlanırken toz malzeme ve su ağırlıkça 4:1 oranında karıştırılarak hazırlanmıştır.

2.2.4. Plaka Donatısı

Güçlendirme elemanı olarak kullanılan şerit plakaların bazıları betonarme olarak tasarlanmış ve hasır donatı olarak, çubuklarının çapı 2mm, göz aralıkları her iki yönde 25mm olan ve piyasada baca teli olarak satılan puntalı elek teli kullanılmıştır. Hazırlanan şerit panellerin bazılarında ise Φ5 nervürlü demir her bir panelin iki kenarında olmak üzere hasır donatıya bağlanmıştır. Kenar donatılarının nervürlü Φ3-Φ4 olması düşünülürken piyasada bulunabilirliği nedeniyle Φ5 kullanılmıştır. Şerit plakalar için hazırlanan donatı detayı Şekil 2.8'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Şerit Plaka Donatısı

2.2.5. Bulon, Pul, Somun ve Güçlendirme Tekniğinin Uygulanması

Plakalar duvara yapıştırıldıktan sonra plaka-duvar ikilisinin kompozit çalışma olasılığını artırabilmek için değişik aranjmanlarda bulonlar kullanılmıştır. Deneye hazırlanmış sıvanmış boşluklu tuğla deney elemanlarına plakalar yapıştırma harcı kullanılarak yapıştırıldıktan sonra ankraj deliklerinin yerleri işaretlenmiş, sonra matkap ile duvarda gerekli yerlere 7 mm çapında delikler açılmıştır. Deneylerde kullanılan bulonlar bir metrelik gijonlar halinde piyasada bulunmaktadır. Bu çalışmada kullanılan bulonların çapı 6 mm'dir. Bir metre boyunda olan bulonlar laboratuarda kesilerek 200 mm'lik parçalara ayrılmışlardır. Bulonun iki tarfına birer Φ7 pul konduktan sonra, Φ 6 bulonlara 3.5 kNm‟lik burulma momenti uygulanarak bulonlar duvara ankrajlanmışlardır. Plakaların yapıştırılması için yapıştırma harcı uygulaması Şekil 2.9'da, plakaların yapıştırılması Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Plakaların yapıştırılması için yapıştırma harcı uygulaması

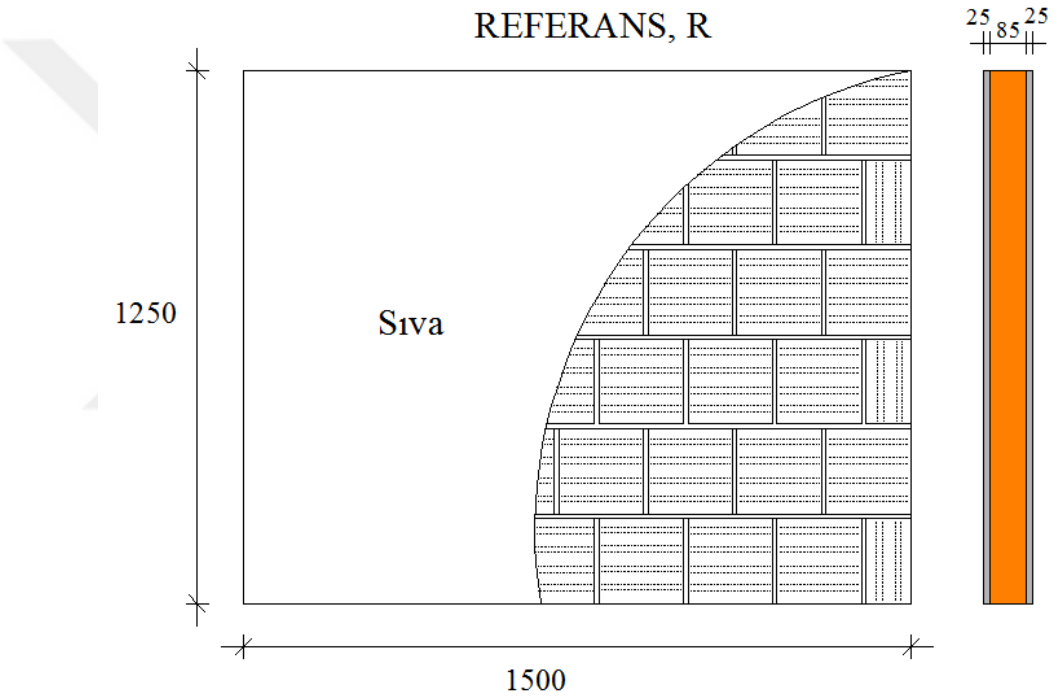


Şekil 2.10. Plakaların Yapıştırılması

2.3. Deney Elemanları

2.3.1. Referans Deney Elemanı, R

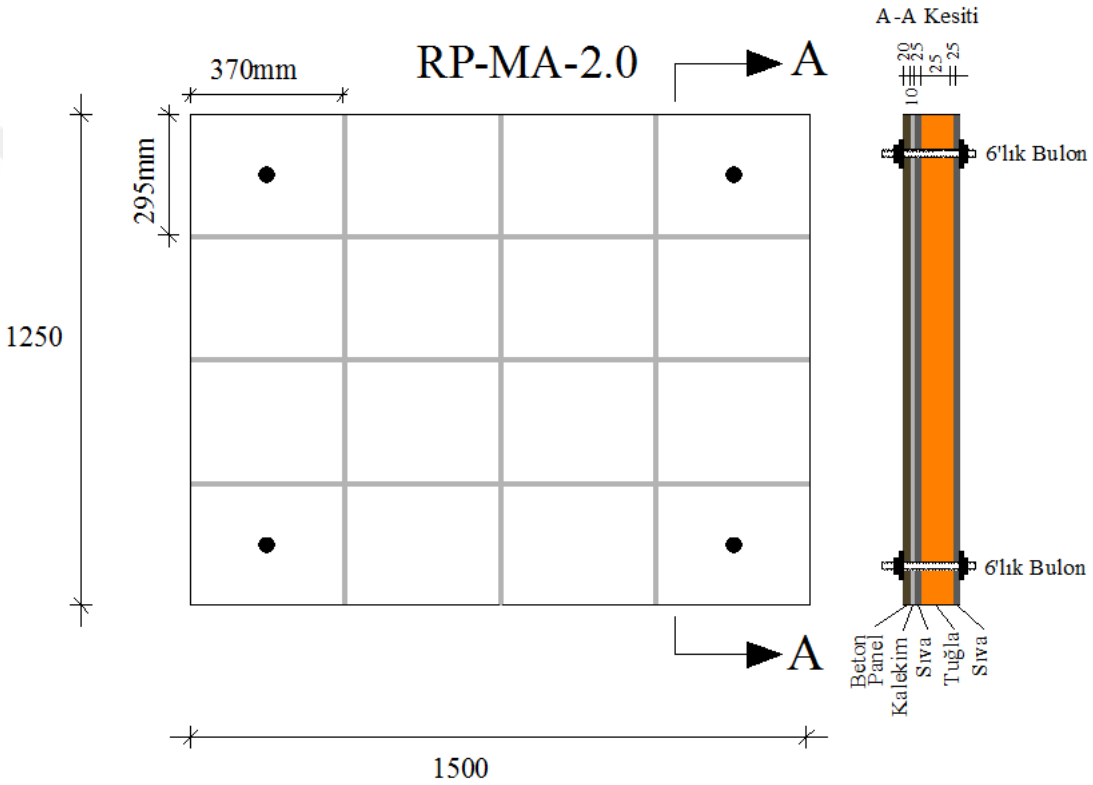
Referans deney elemanıdır. Üzerine herhangi bir güçlendirilme işlemi yapılmamıştır. Sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvar yalın bir halde bırakılarak tersinir tekrarlanır yükler yanal yükler altında test edilmiştir. Referans deney elemanının detayları Şekil 2.11'de verilmiştir.



Şekil 2.11. Referans Deney Elemanı, R

2.3.2. RP-MA-2.0 Deney Elemanı

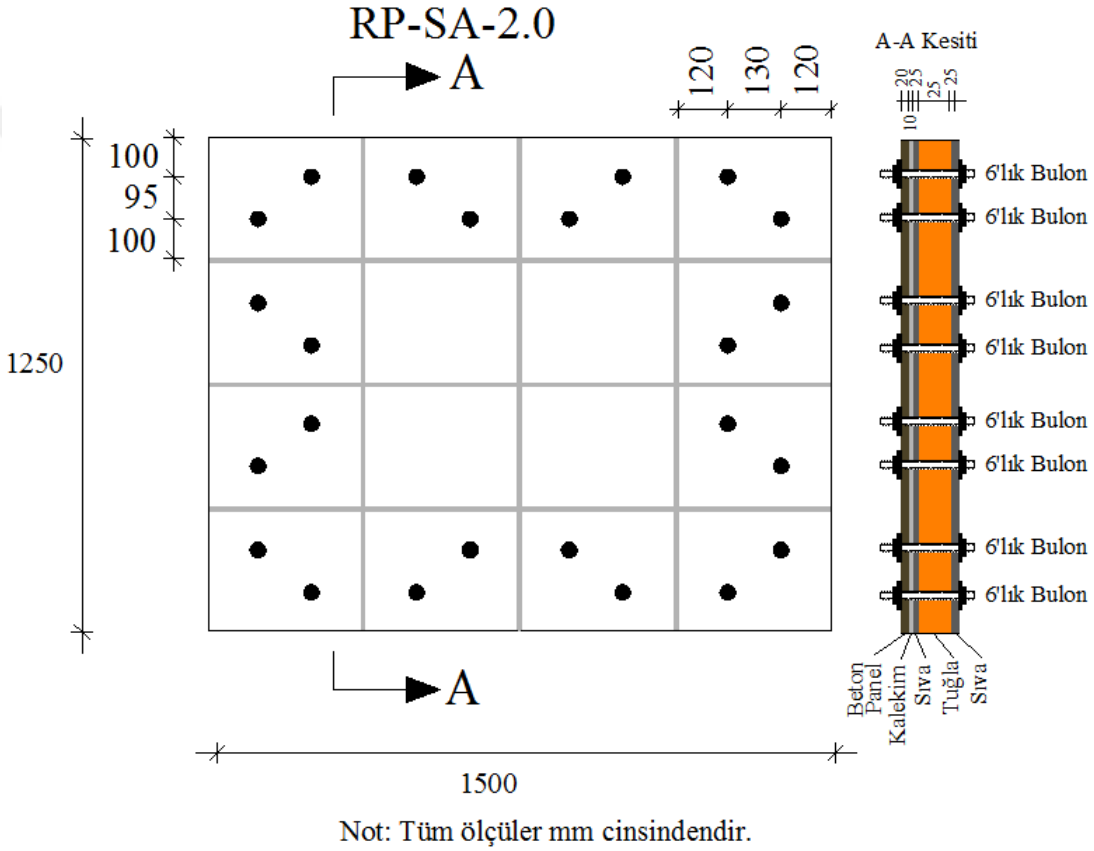
RP-MA-2.0 deney elemanı 295 mm x 370 mm x 20 mm ebatlarına sahip kare beton plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Dört adet köşe plakanın orta noktalarından olmak üzere minimum sayıda Φ6 ankraj bulonu uygulanmıştır. RP-MA-2.0 deney elemanının detayları Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. RP-MA-2.0 Deney Elemanı

2.3.3. RP-SA-2.0 Deney Elemanı

RP-SA-2.0 deney elemanı 295 mm x 370 mm x 20 mm ebatlarına sahip kare beton plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm köşe plakalara, testere dişi geometrisini oluşturacak şekilde 24 adet Φ6 ankraj bulonu uygulanmıştır. RP-SA-2.0 deney elemanının detayları Şekil 2.13'de verilmiştir.

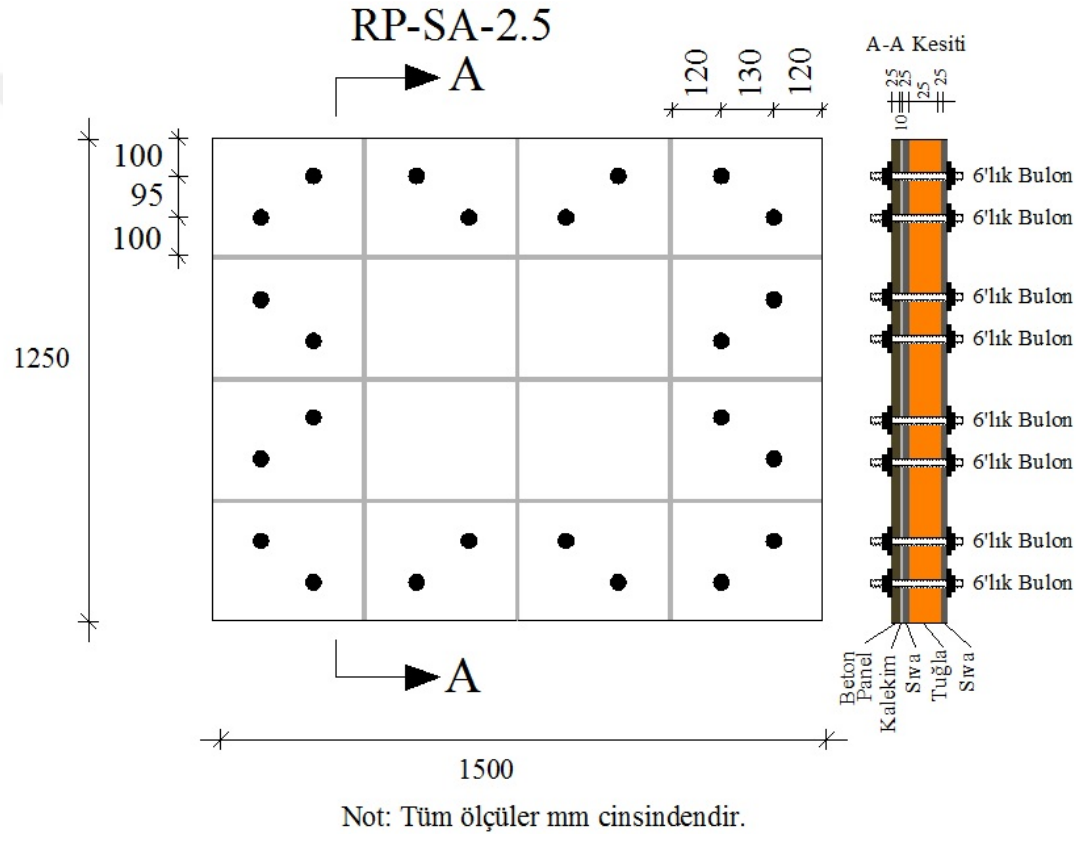


Not: Tüm ölçüler mm cinsindendir.

Şekil 2.13. RP-SA-2.0 Deney Elemanı

2.3.4. RP-SA-2.5 Deney Elemanı

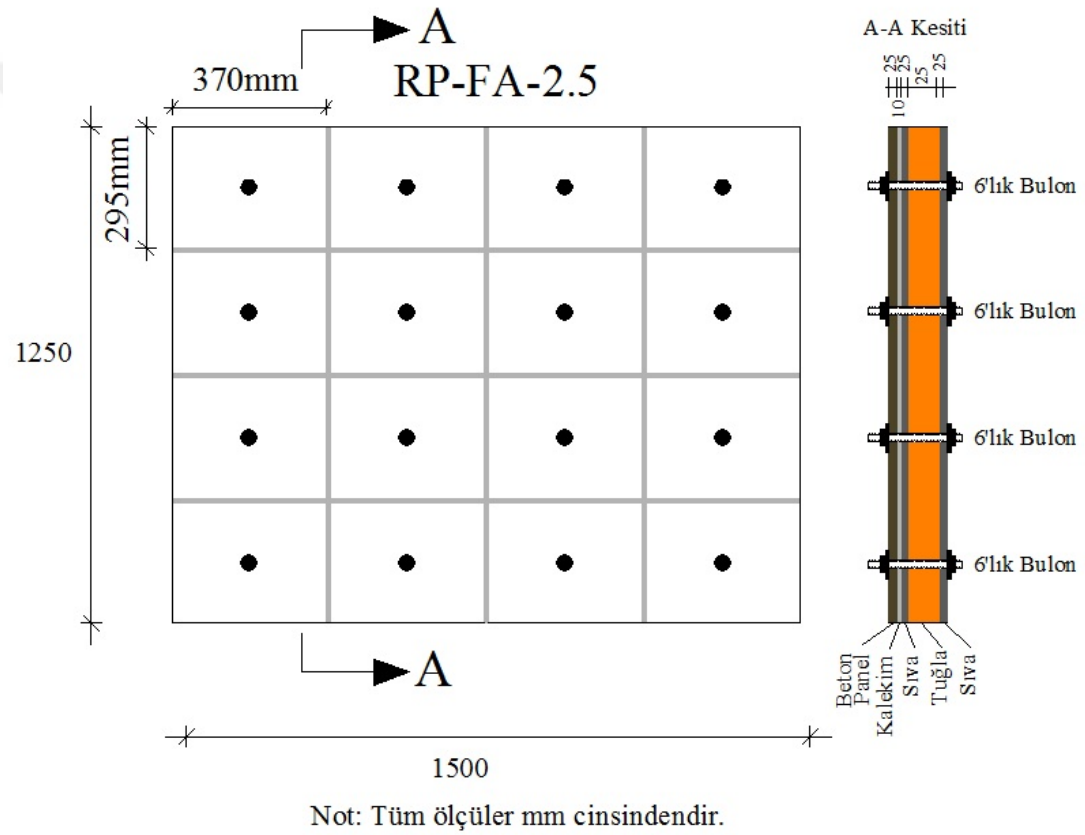
RP-SA-2.5 deney elemanı 295 mm x 370 mm x 25 mm ebatlarına sahip kare beton plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm köşe plakalara, testere dişi geometrisini oluşturacak şekilde 24 adet Φ6 ankraj bulonu uygulanmıştır. RP-SA-2.5 deney elemanının detayları Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14. RP-SA-2.5 Deney Elemanı

2.3.5. RP-FA-2.5 Deney Elemanı

RP-FA-2.5 deney elemanı 295 mm x 370 mm x 25 mm ebatlarına sahip kare beton plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm plakalara, orta noktalarından olacak şekilde birer adet olacak şekilde toplam 16 adet Φ6 ankraj bulonu uygulanmıştır. RP-FA-2.5 deney elemanının detayları Şekil 2.15'de verilmiştir.

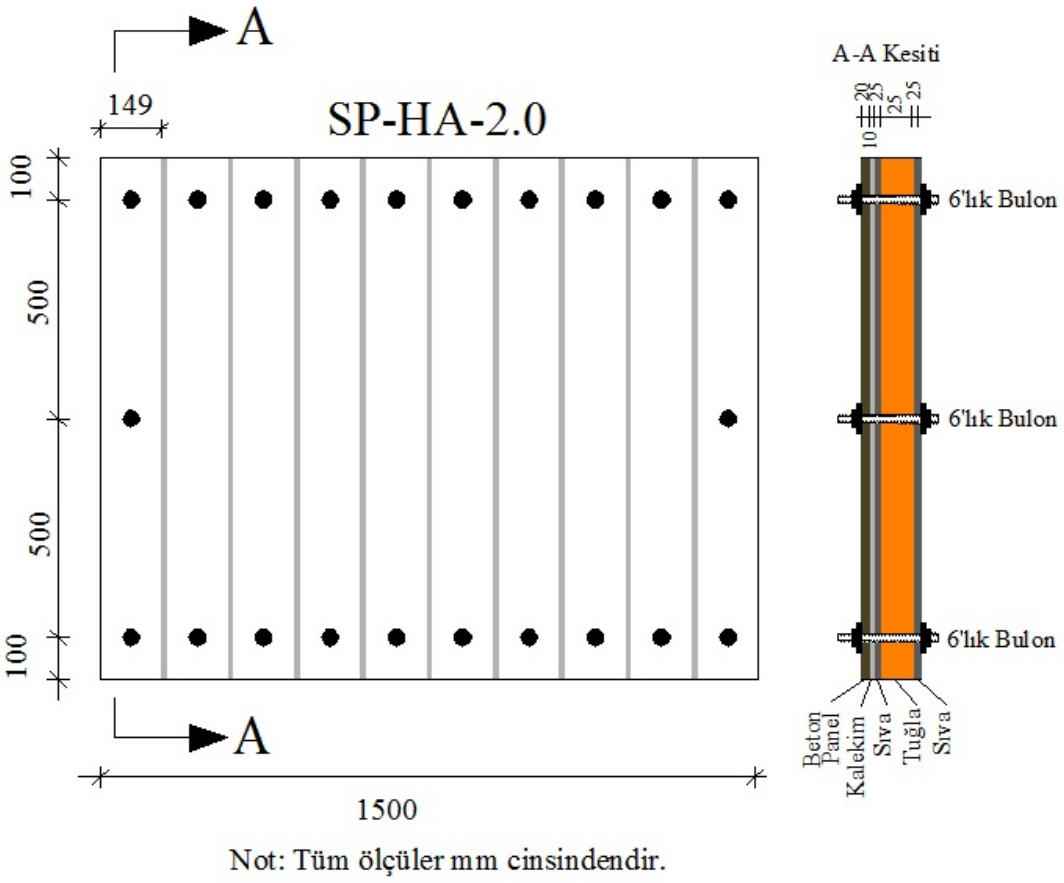


Not: Tüm ölçüler mm cinsindendir.

Şekil 2.15. RP-FA-2.5 Deney Elemanı

2.3.6. SP-HA-2.0 Deney Elemanı

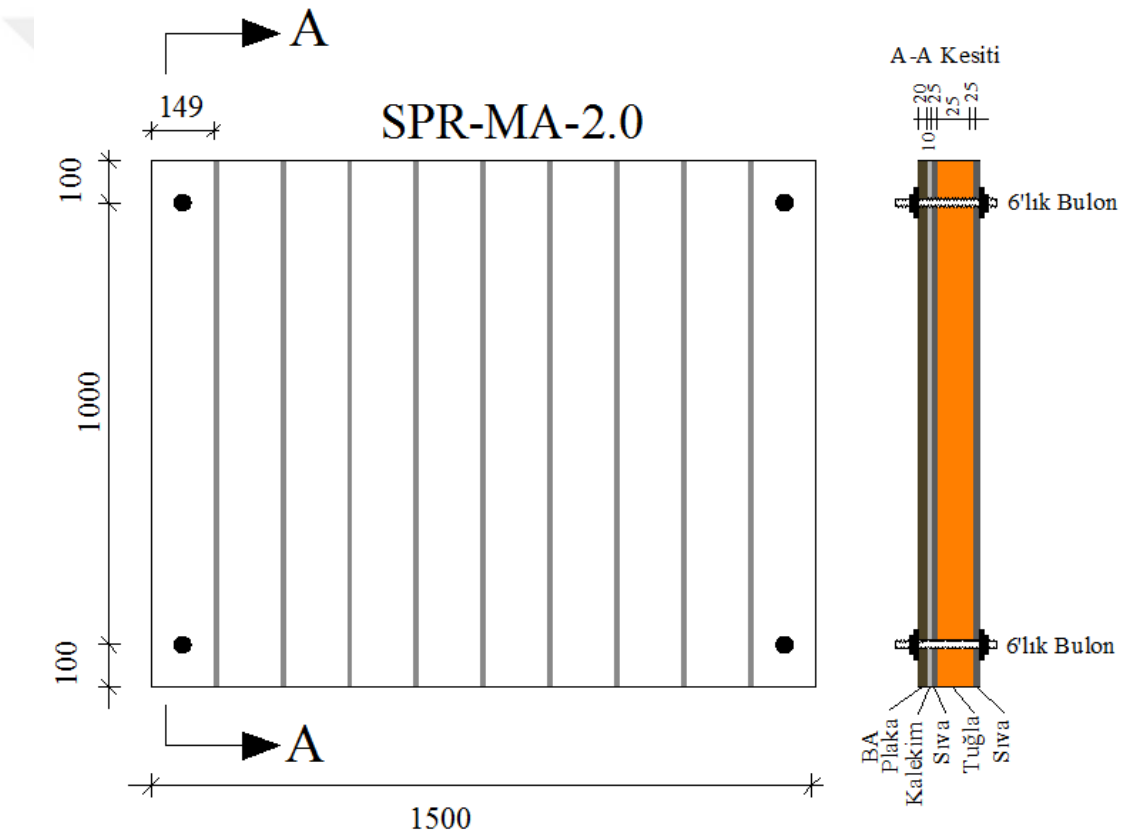
SP-HA-2.0 deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 20 mm ebatlarına sahip şerit beton plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra köşe plakalara üçer adet, orta plakalardan ise ikişer adet olmak üzere toplam 22 adet Φ6 ankraj bulonu uygulanmıştır. SP-HA-2.0 deney elemanının detayları Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. SP-HA-2.0 Deney Elemanı

2.3.7. SPR-MA-2.0 Deney Elemanı

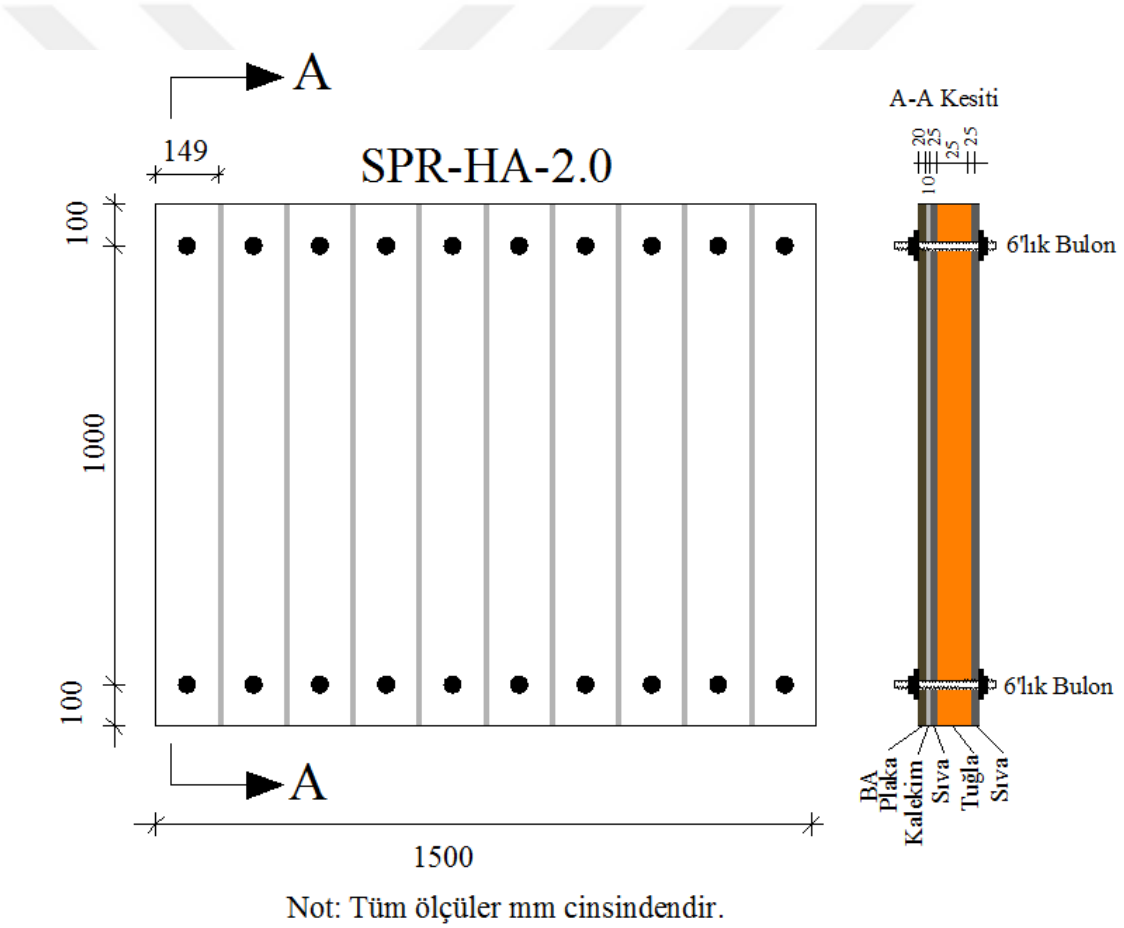
SPR-MA-2.0 deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 20 mm ebatlarına sahip şerit betonarme plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Tüm plakalar Φ2/25 çelik hasır ile donatılandırılmışlardır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra köşe plakaların üst ve altında yer almak kaydıyla minimum sayıda (4 adet) olmak üzere Φ6 ankraj bulonları uygulanmıştır. SPR-MA-2.0 deney elemanının detayları Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. SPR-MA-2.0 Deney Elemanı

2.3.8. SPR-HA-2.0 Deney Elemanı

SPR-HA-2.0 deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 20 mm ebatlarına sahip şerit betonarme plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Tüm plakalar Φ2/25 çelik hasır ile donatılandırılmışlar, Φ5'lik nervürlü donatılar her bir plakanın iki kenarında hasır çelik donatıya bağlanmışlardır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm plakaların üst ve altında yer almak kaydıyla optimum sayıda (20 adet) olmak üzere Φ6 ankraj bulonları uygulanmıştır. SPR-HA-2.0 deney elemanının detayları Şekil 2.18'de verilmiştir.

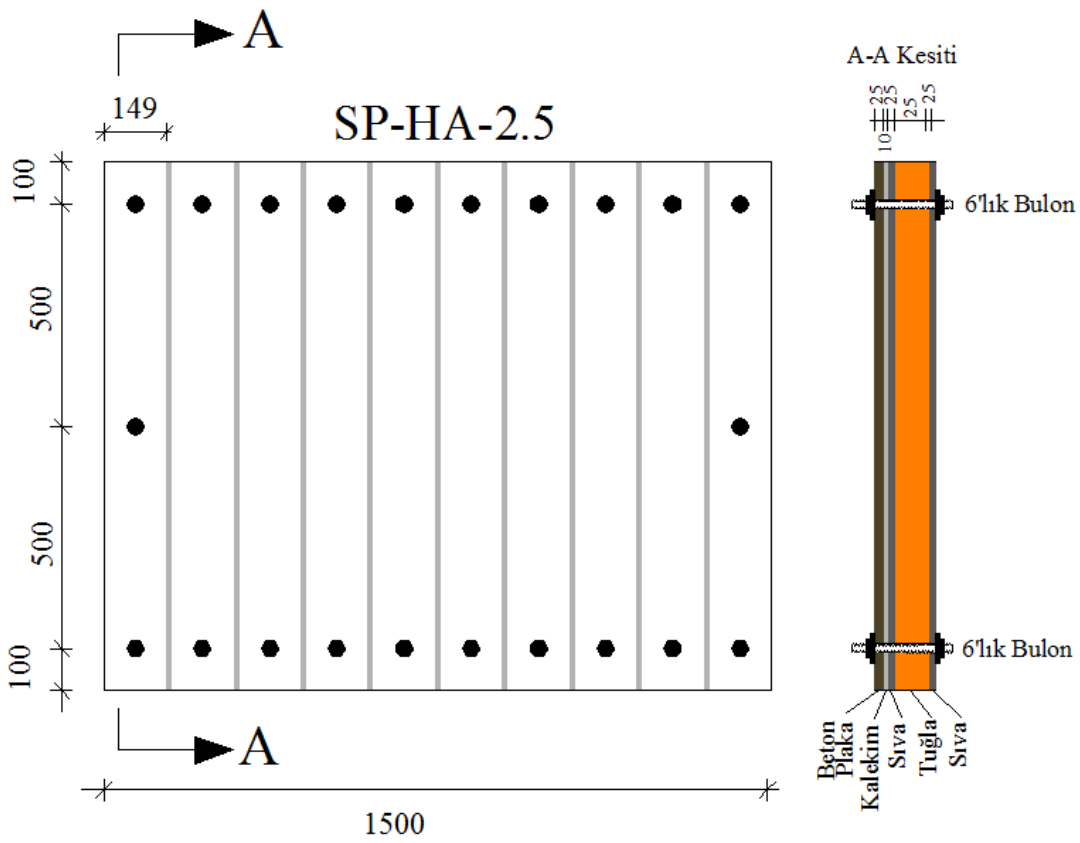


Not: Tüm ölçüler mm cinsindendir.

Şekil 2.18. SPR-HA-2.0 Deney Elemanı

2.3.9. SP-HA-2.5 Deney Elemanı

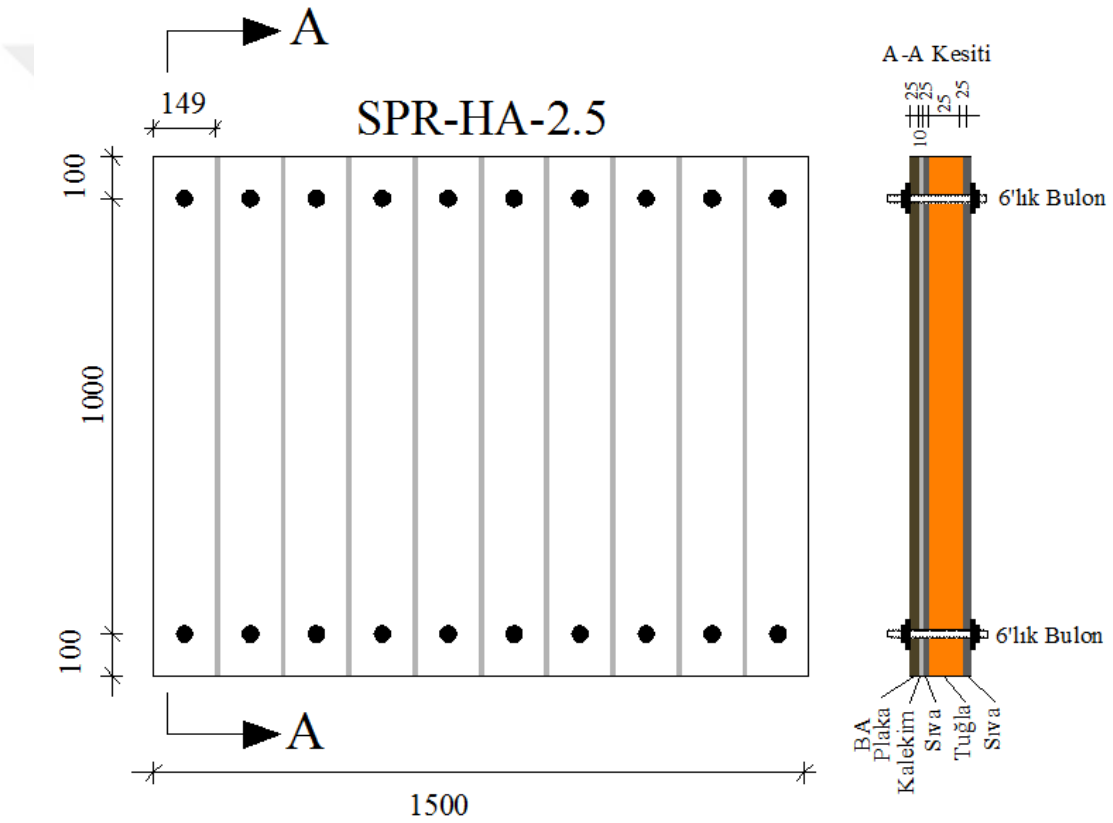
SP-HA-2.5 deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 25 mm ebatlarına sahip şerit beton plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra köşe plakalara üçer adet, orta plakalardan ise ikişer adet olmak üzere toplam 22 adet Φ6 ankraj bulonu uygulanmıştır. SP-HA-2.5 deney elemanının detayları Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. SP-HA-2.5 Deney Elemanı

2.3.10. SPR-HA-2.5 Deney Elemanı

SPR-HA-2.5 deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 25 mm ebatlarına sahip şerit betonarme plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Tüm plakalar Φ2/25 çelik hasır ile donatılandırılmışlardır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm plakaların üst ve altında yer almak kaydıyla optimum sayıda (20 adet) olmak üzere Φ6 ankraj bulonları uygulanmıştır. SPR-HA-2.5 deney elemanının detayları Şekil 2.20'de verilmiştir.

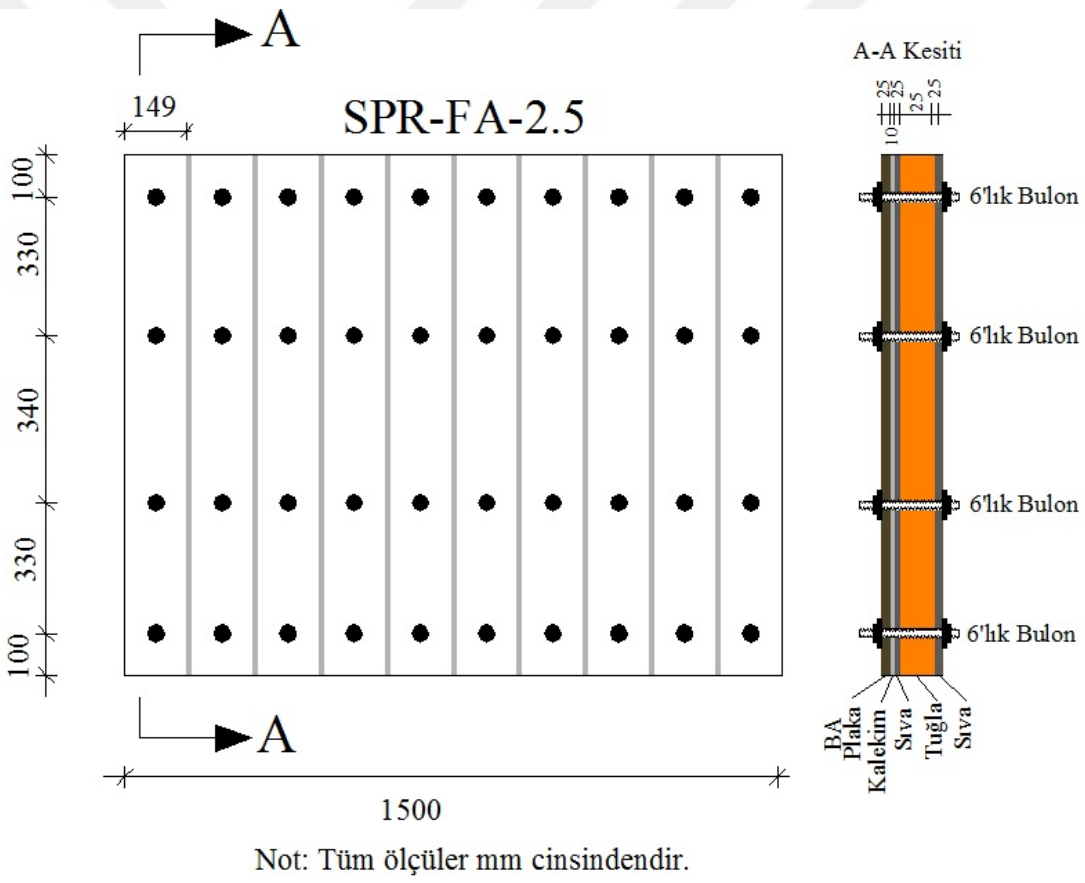


Not: Tüm ölçüler mm cinsindendir.

Şekil 2.20. SPR-HA-2.5 Deney Elemanı

2.3.11. SPR-FA-2.5 Deney Elemanı

SPR-FA-2.5 deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 25 mm ebatlarına sahip şerit betonarme plakalarla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Tüm plakalar Φ2/25 çelik hasır ile donatılandırılmışlar, Φ5'lik nervürlü donatılar her bir plakanın iki kenarında hasır çelik donatıya bağlanmışlardır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm plakalarda dörder adet olmak kaydıyla maksimum sayıda (40 adet) Φ6 ankraj bulonları uygulanmıştır. SPR-FA-2.5 deney elemanının detayları Şekil 2.21'de verilmiştir.

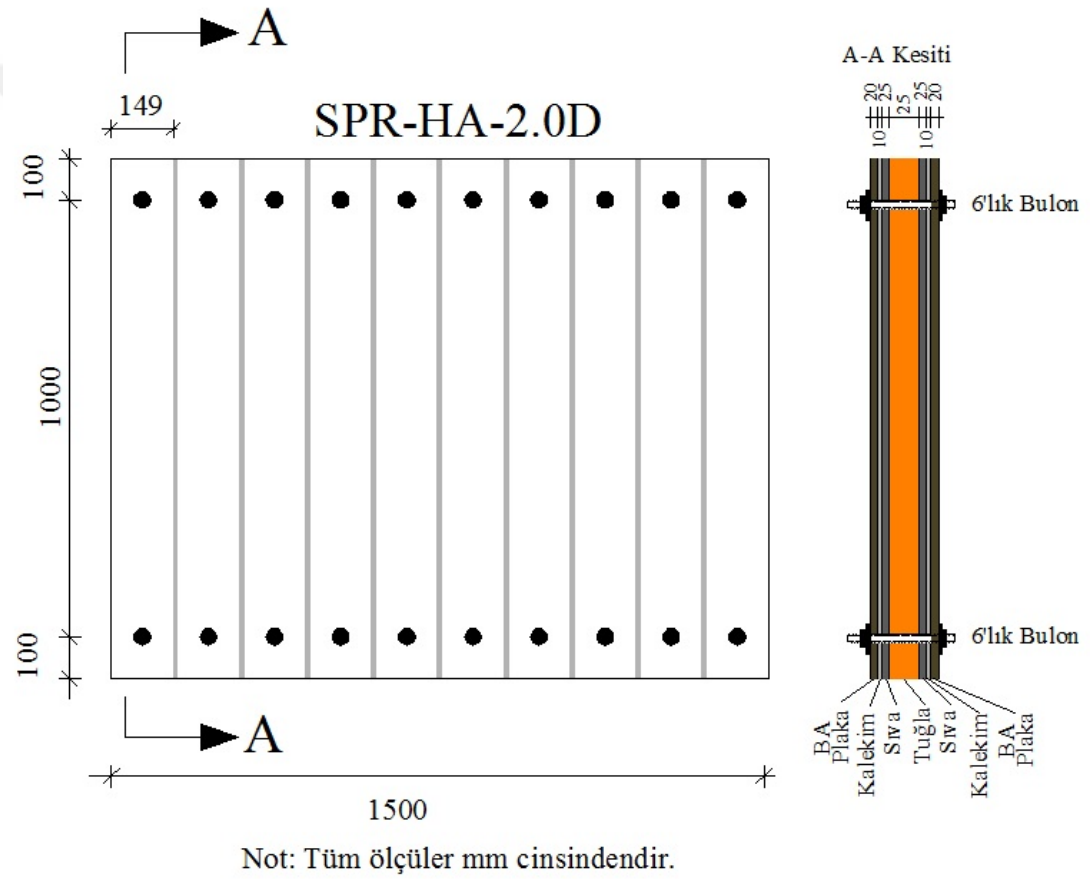


Not: Tüm ölçüler mm cinsindendir.

Şekil 2.21. SPR-FA-2.5 Deney Elemanı

2.3.12. SPR-HA-2.0D Deney Elemanı

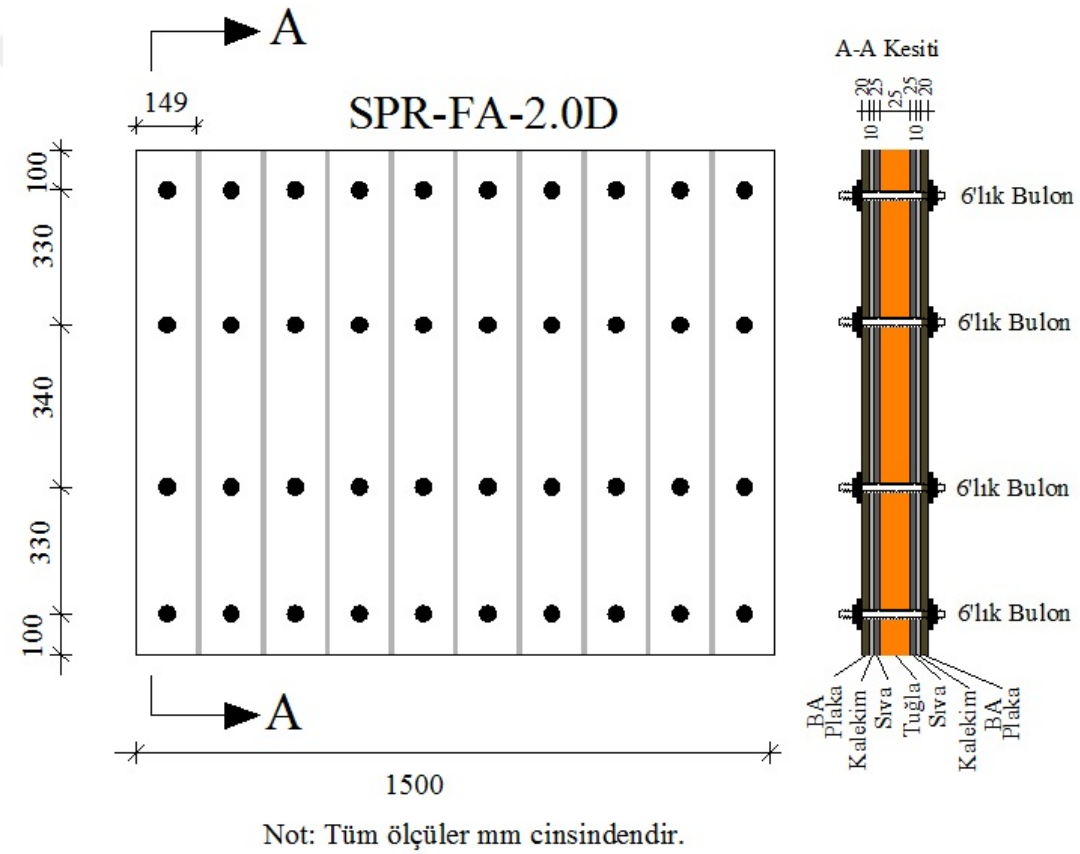
SPR-HA-2.0D deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 20 mm ebatlarına sahip şerit betonarme plakaların, deney elemanının her iki yüzeyine yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Tüm plakalar Φ2/25 çelik hasır ile donatılandırılmışlardır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm plakaların üst ve altında yer almak kaydıyla optimum sayıda (20 adet) Φ6 ankraj bulonları uygulanmıştır. SPR-HA-2.0D deney elemanının detayları Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.22. SPR-HA-2.0D Deney Elemanı

2.3.13. SPR-FA-2.0D Deney Elemanı

SPR-FA-2.0D deney elemanı 1200 mm x 149 mm x 20 mm ebatlarına sahip şerit betonarme plakaların, deney elemanının her iki yüzeyine yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır. Tüm plakalar Φ2/25 çelik hasır ile donatılandırılmışlardır. Plakaların yapıştırılması işleminden sonra tüm plakalarda dörder adet olmak kaydıyla maksimum sayıda (40 adet) Φ6 ankraj bulonları uygulanmıştır. SPR-FA-2.0D deney elemanının detayları Şekil 2.23'de verilmiştir.



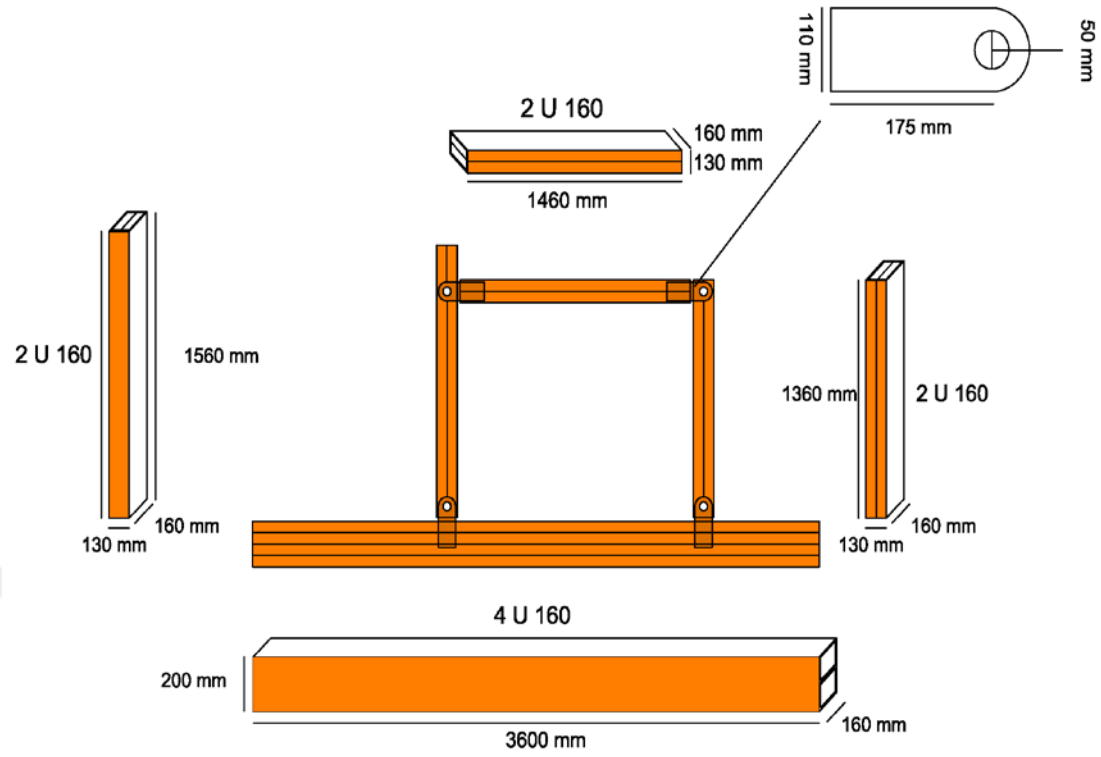
Şekil 2.23. SPR-FA-2.0D Deney Elemanı

2.4. Deney Düzeneği

2.4.1. Deney Elemanlarına Yatay Yük Uygulama Çerçevesi

Deney elemanları Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında üretilip test edilmişlerdir.

Deney elemanlarına tersinir tekrarlanır yatay yükler bir çelik çerçeve yardımıyla uygulanmıştır. Çelik çerçevenin detayları Şekil 2.24'de gösterilmiştir. Üst kiriş ve her iki yandaki kolonlar ikişer adet U160 çelik profillerin kapalı kutu kesit olacak şekilde birbirlerine kaynaklanması şekliyle oluşturulmuşlardır. Altta yer alan temel kirişinin ise daha rijit olması gerektiği düşünüldüğünden bu kesitte 4 adet U160 çelik profiller kullanılmıştır. Çelik çerçeve elemanları (kolonlar, kiriş ve temel kirişi) dört adet mafsalla birleştirilmişlerdir ve bu çelik çerçeve içine yerleştirilen deney elemanları elektronik pompalı bir hidrolik kriko yardımıyla yüklenmişlerdir. Deney düzeneğini bu şekilde tasarlamanın asıl amacı, pratikte BA çerçevede bulunan yapı elemanları (kolonlar, kiriş, temel) tarafından çevrelenen sıvanmış tuğla dolgu duvarların bu çalışmada önerilen güçlendirme yöntemiyle davranışlarındaki salt iyileşmeyi gözlemlemektir. Aynı zamanda, dolgu duvar deneylerinde diyagonal yükleri sabit başlıklar kullanarak yüklemek sıkça karşılaşılan yöntem olsa da pratikte dolgu duvarlar dinamik yükleme (deprem yükleri) esnasında değişken genişlikte ve dolayısıyla değişken büyüklükte diyagonal yüklere (Smith ve Carter yöntemi) maruz kalırlar ve bu yüzden kullanılan deney düzeneğinin pratikteki yüklemeyi daha gerçekçi simüle ettiği düşünülmektedir. Tersinir tekrarlanır yatay yükler hidrolik kriko yardımıyla çerçevenin üst tarafından uygulanmıştır. Çelik çerçeve 500 KN yük kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 2.24. Çelik Çerçevenin Detayları

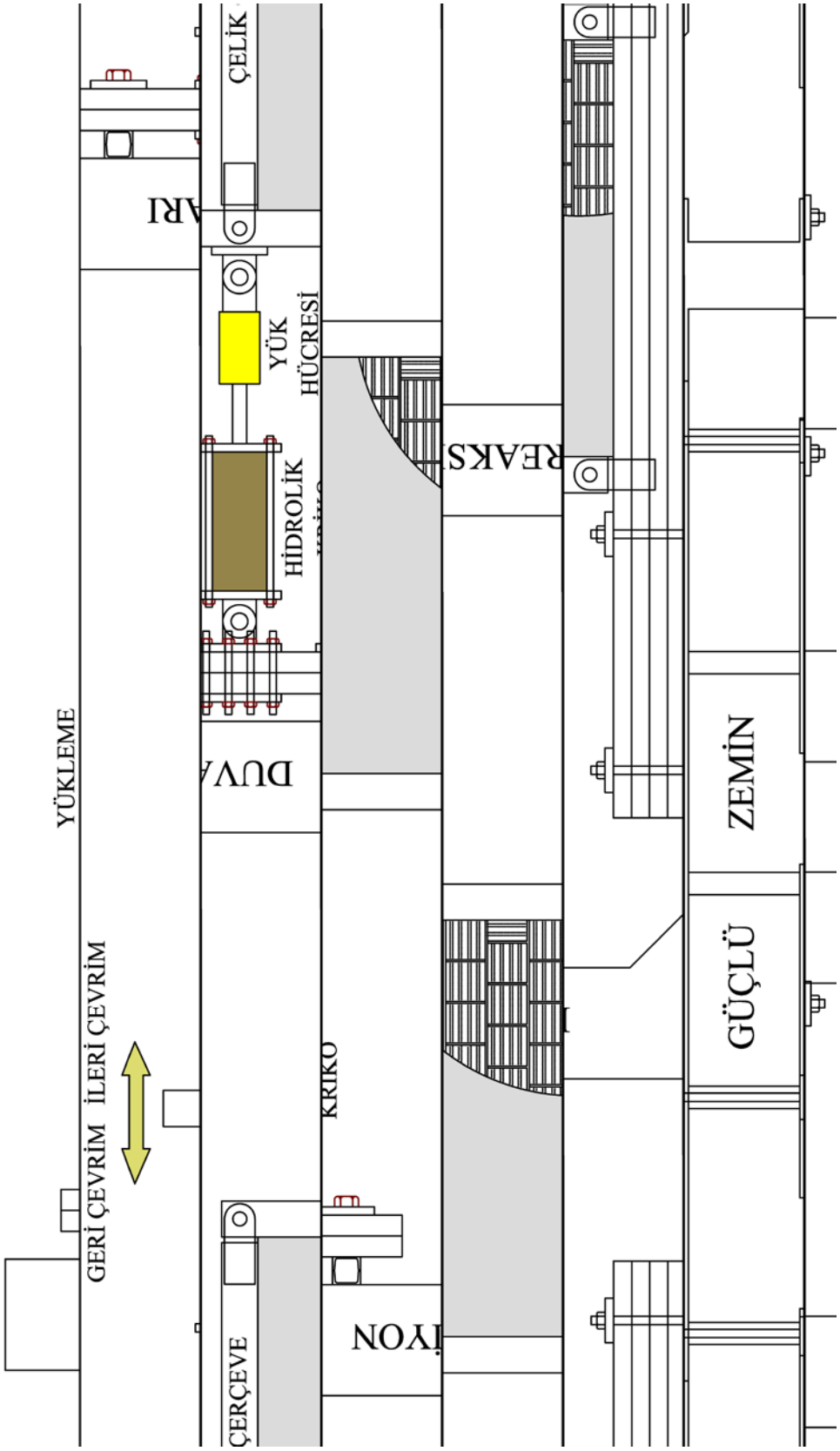
2.4.2. Yükleme Düzeneği

Yanal yükler altındaki dolgu duvarlar birer eşdeğer basınç çubuğu şeklinde davranarak sisteme diyagonal basınç kuvvetleri iletirler (Smith, Smith ve Carter). Çelik çerçeveye tersinir tekrarlanır yanal yükler, elektronik bir pompa ile yönetilen hidrolik kriko (600 kN basınç – 300 kN çekme kapasiteli) vasıtasıyla uygulanmışlar ve 1000 kN kapasiteli bir yük hücresi (load cell) vasıtasıyla ölçülmüşlerdir. Hidrolik kriko ile yük hücresinin simetri merkezleri aynı düzlem üzerinde olacak şekilde deney platformuna sabitlenmişlerdir. Deney elemanları çelik çerçevenin kolonları iki yana açılarak çerçevenin içine yerleştirilmiştir. Yüklemenin, her deneyde tamamen düzeneğin simetri ekseninden geçmesine titizlikle dikkat edilmiştir. Çelik çerçeve laboratuvar güçlü zeminine bulonlara ardgerme uygulanarak sabitlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 2.25'de gösterilmiştir.

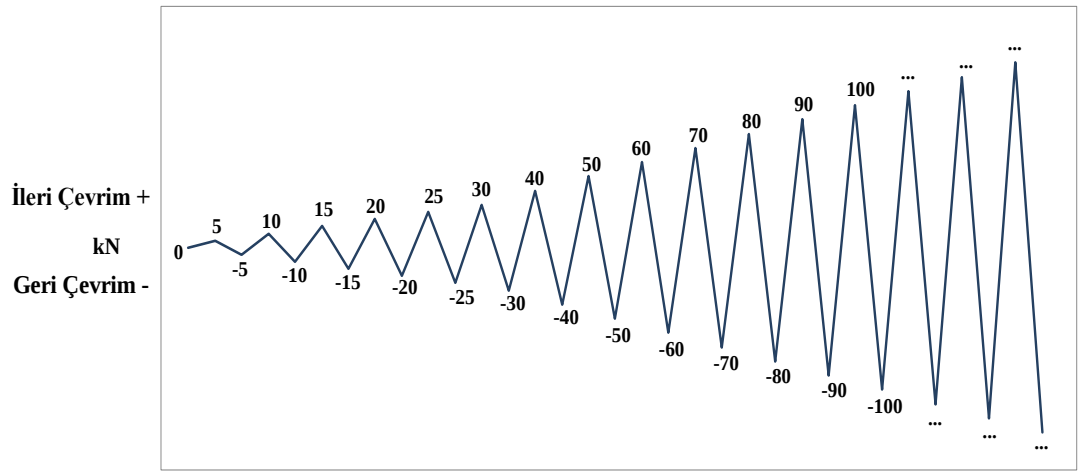
İki safhalı yükleme şablonunun ilk safhasında 5 kN artan yük değerleriyle 40 kN yatay yük değerine ulaşılıp devamında yük artırımı 10 kN'a çıkarılmış, yanal yük kapasitesine ulaşıldıktan sonraki ikinci safhada ise artan deformasyon kontrollü yükleme yapılmıştır. Yükleme programı Şekil 2.26'de gösterilmiştir.

2.4.3. Ölçüm Düzeneği

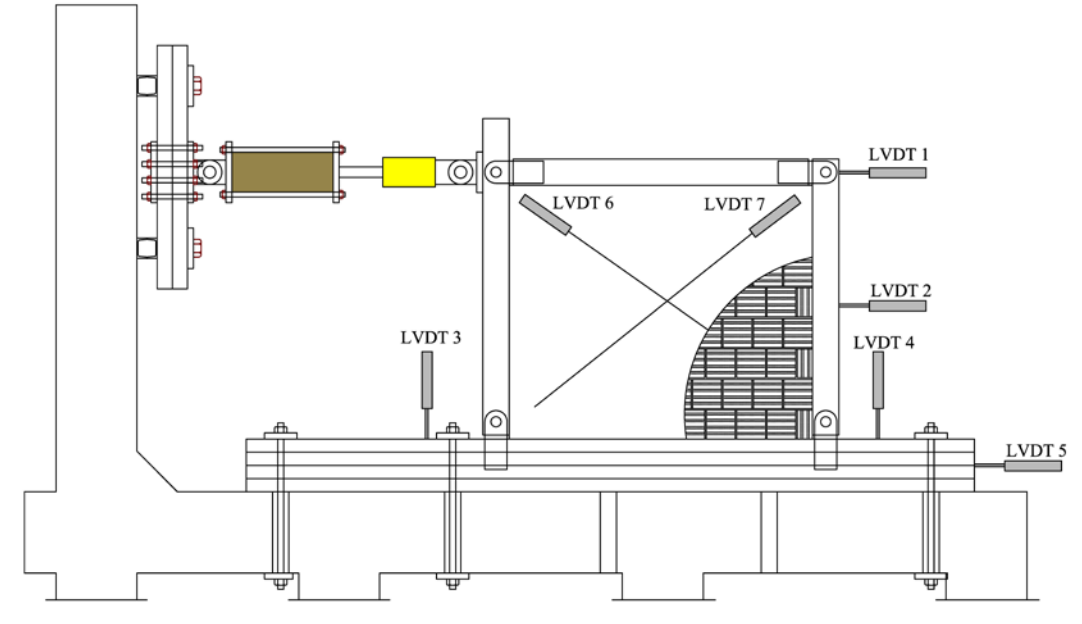
Deneyler sırasında yük ölçümü için 400 kN kapasitesinde bir yük hücresi kullanılmıştır. Testi yapılan dolgu duvarının ve deney çerçevesinin yük etkisi altında yaptığı deplasmanları ölçebilmek için 0.01 mm hassasiyetle ölçüm yapabilen elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. Kullanılan bu LVDT'lere gelen veriler bir okuyucu tarayıcıdan geçtikten sonra bilgisayara kaydedilmiştir. Deneyler esnasında, dolgu duvarın maksimum tepe deplasmanı ile yükün değişimi bilgisayarın ekranında yük-deplasman grafiği olarak çizdirilmiştir. Özellikle deneylerin ikinci safhası olan deplasman kontrollü yüklemede bu grafik izlenerek yüklemeler yönlendirilmiştir. Her deneyden önce LVDT'lerin kalibrasyonları kontrol edilmiştir. Deneylerde toplam 7 adet LVDT kullanılmıştır. Duvarın yatay deplasmanını ölçmek için LVDT 1 ve LVDT 2 kodlu LVDT'lerin kullanılması uygun görülmüştür. Çelik çerçevedeki kolonun yüksek rijitliği (dolgu duvara oranla) göz önünde bulundurularak LVDT 2 kolonun yarı yüksekliğine yerleştirilmiştir, ki LVDT 1'deki olası bir okuma hatası sonrası LVDT 2'nin okuduğu deplasman değerleri kullanılabilsinler ve böylece deney başarısızlıkla sonuçlanmasın. LVDT 3 ve LVDT 4 kodlu LVDT'ler ise temel kirişinde oluşabilecek muhtemel deplasman ve dönmeleri, LVDT 5 ise temel kirişinde oluşabilecek muhtemel kayma deformasyonlarını ölçmek için kullanılmışlardır. Tüm deneylerde LVDT 3, LVDT 4 ve LVDT 5 kodlu elektronik deplasman ölçerler sıfıra yakın ölçümler almışlardır. LVDT 6 ve LVDT 7 kodlu LVDT'ler ise dolgu duvardaki kayma deformasyonlarını ölçebilecek şekilde, diyagonal olarak yerleştirilmişlerdir. Ölçüm düzeneği Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Deney Düzeneği



Şekil 2.26. Yükleme Programı



Şekil 2.27. Ölçüm Düzeneği

3. DENEYLER

3.1. Genel

Bu bölümde daha önceki bölümlerde ayrıntıları anlatılmış olan deney elemanlarının Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuarında yükleme programına uygun şekilde yapılmış tersinir tekrarlanır yanal yükler altındaki deneyleri anlatılmıştır. Deney elemanlarının çelik çerçeveye yerleştirilmesinden sonra deney düzeneğinin, yükleme ve ölçüm aletlerinin de bağlanmasıyla deney hazır hale getirilmiştir. Deney elemanların her birinin yanal taşıma kapasitesi ve kapasitedeki yanal deplasmanı belirtilmiştir. Ayrıca her eleman için hesaplanan kayma deplasmanı ve grafiği de verilmiştir. Bunların haricinde deney esnasında gözlemlen önemli gelişmelerden de bahsedilmiştir.

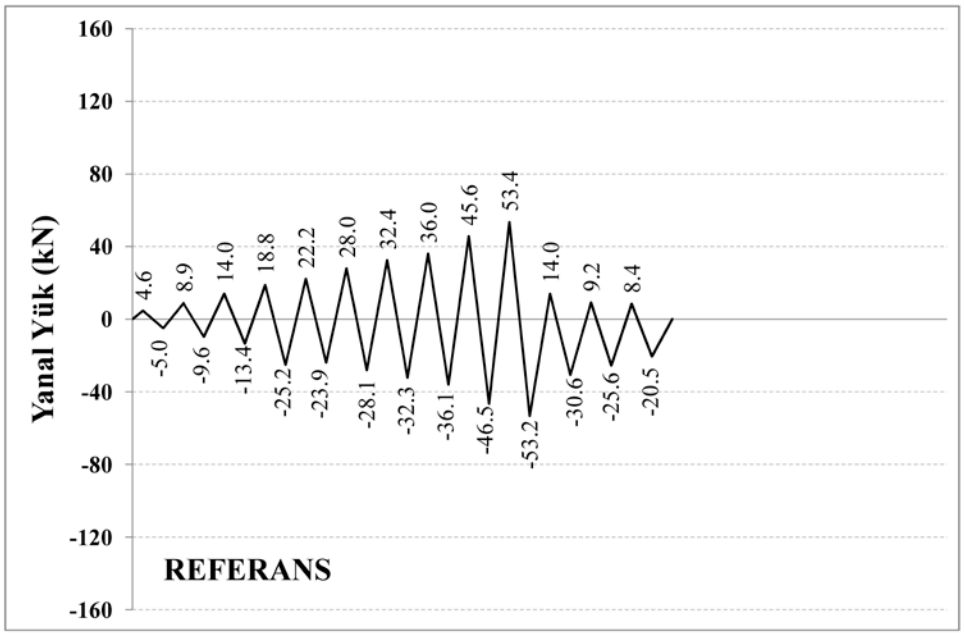
3.1.1. Referans Deney Elemanı, R

Beton/BA plakalarla güçlendirme yönteminin etkinliğinin araştırılması amacıyla, referans elemanı olarak güçlendirilmemiş R elemanı düzenlenmiş (Şekil 2.11) ve tersinir tekrarlanır yanal yükler altında test edilmiştir.

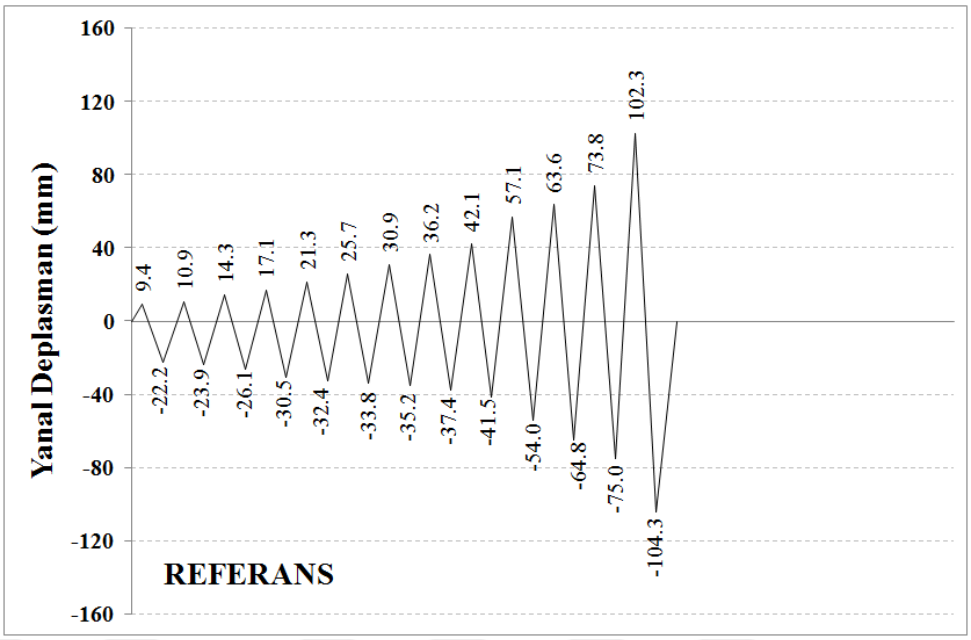
Deney sırasında referans eleman üzerinde ilk deformasyon +25 kN yükleme seviyesinde, yük doğrultusundaki köşelerde hafif ezilmeler şeklinde ortaya çıkmıştır. Deney elamanı üzerinde +50 kN'a kadar yüklemelerde köşe betonlarında ezilmeler ilerlemiş ancak sıva kabarması söz konusu olmamıştır. Yaklaşık +50 kN yüklemede yük doğrultusundaki tuğlaların ezilmiş olduğu görülmüştür. Yaklaşık -53 kN ve -53 mm deplasmanda ters çapraz çatlak oluşmuştur. Oluşan çatlağın ortadaki yaklaşık 40 cm 'lik kısmı derzi takip etmiştir. Sözkonusu 40 cm'lik yatay çatlağın uçlarında 45^{o}'lik yaklaşık 10 mm çapında çatlaklar oluşmuştur. Bu esnada elemanın arka yüzeyinde sıvalar dökülmüş ve tuğlalar ortaya çıkmıştır. Açığa çıkan tuğlalarda çatlaklar ve kırılmalar görülmüştür. Yaklaşık +63 mm deplasmanda sıvada ani kabarmalar meydana gelmiştir. Oluşan ilk çapraz çatlağın bir kısmının tuğla

üzerinde, bir kısmının da derzi takip ettiği görülmüştür. Arka yüzde tuğlalar patlamış, LVDT 6 ve LVDT 7 iptal edilmiştir. Yaklaşık -63mm'de yüke ters doğrultudaki köşeler serbest kaldığı için tuğlalar dökülmüştür. Tepe deplasmanı -73 mm seviyesinde deney elemanın üst 2 tuğla sırası yatay hareket etmiştir. Tepe deplasmanı -100 mm seviyesine ulaştığında derzin yatay hareketi daha net görülmüştür. Bu esnada deneye son verilmiştir. Güçlendirilmemiş referans elemanı kendi düzleminde son derece gevrek bir şekilde kırılmıştır.

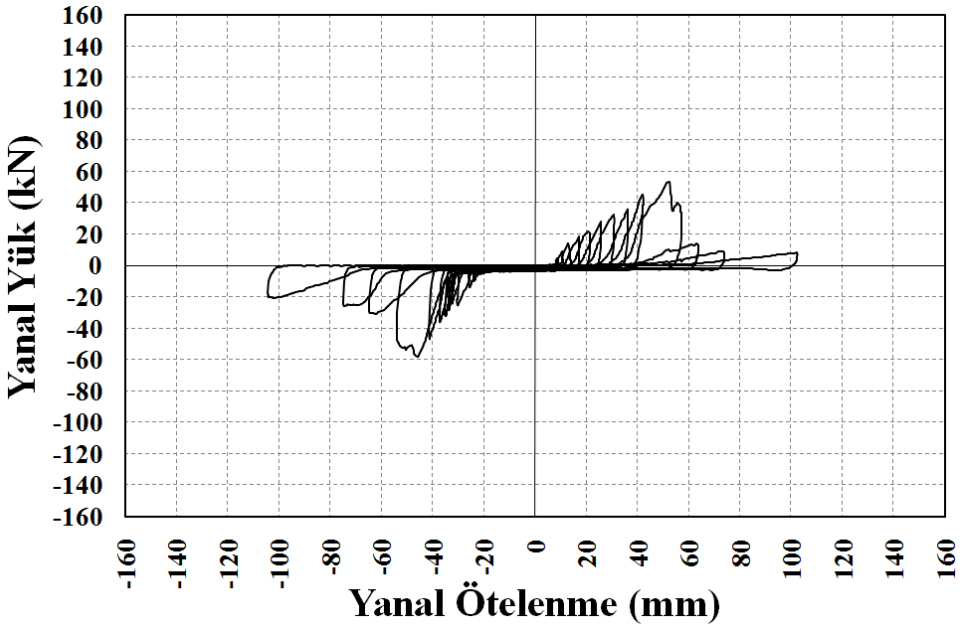
Referans deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +53.4 kN ve -53.2 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +57.1 mm ve -54.0 mm olarak kayıt edilmiştir. Referans deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.1'de, deplasman geçmişi Şekil 3.2'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.3'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.4'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



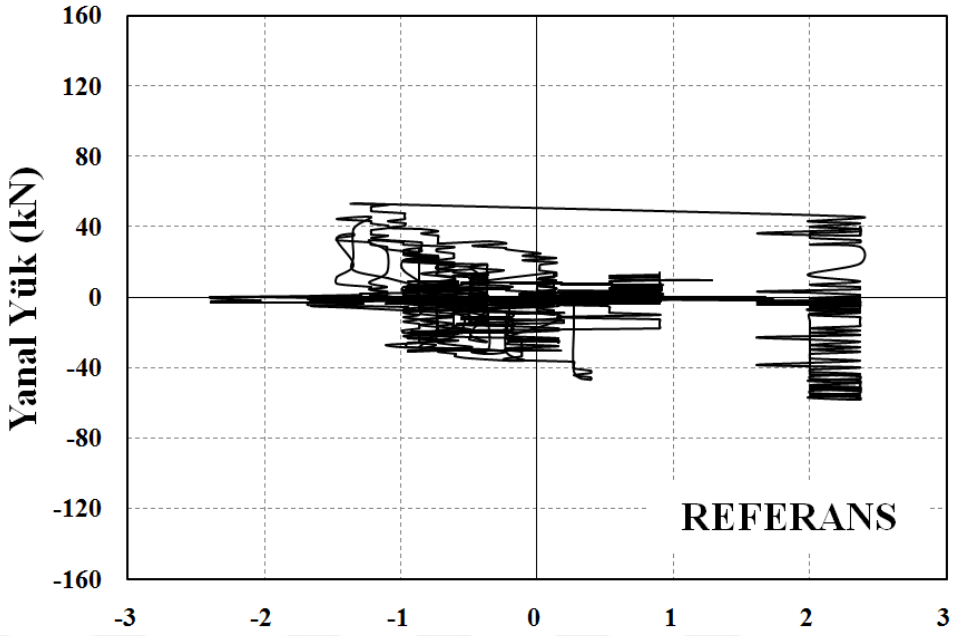
Şekil 3.1. Yük Geçmişi – Referans



Şekil 3.2. Deplasman Geçmişi – Referans



Şekil 3.3. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (Referans)



Şekil 3.4. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (Referans)



Şekil 3.5. Referans – Deney Öncesi



Şekil 3.6. Referans – Deney Sonrası

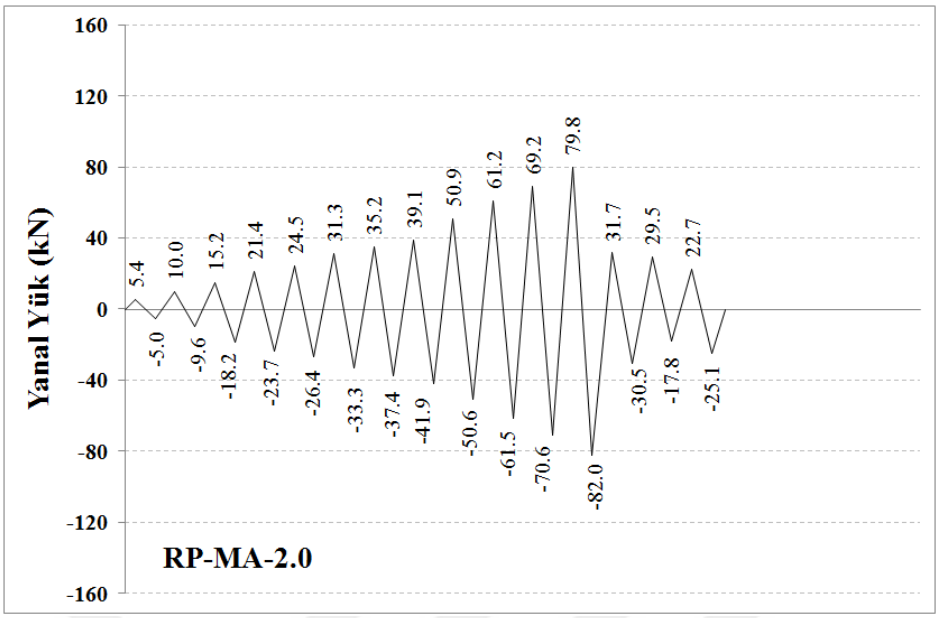
3.1.2. RP-MA-2.0 Deney Elemanı

RP-MA-2.0 deney elemanı dikdörtgen geometriye sahip beton plakalarla ve 4 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

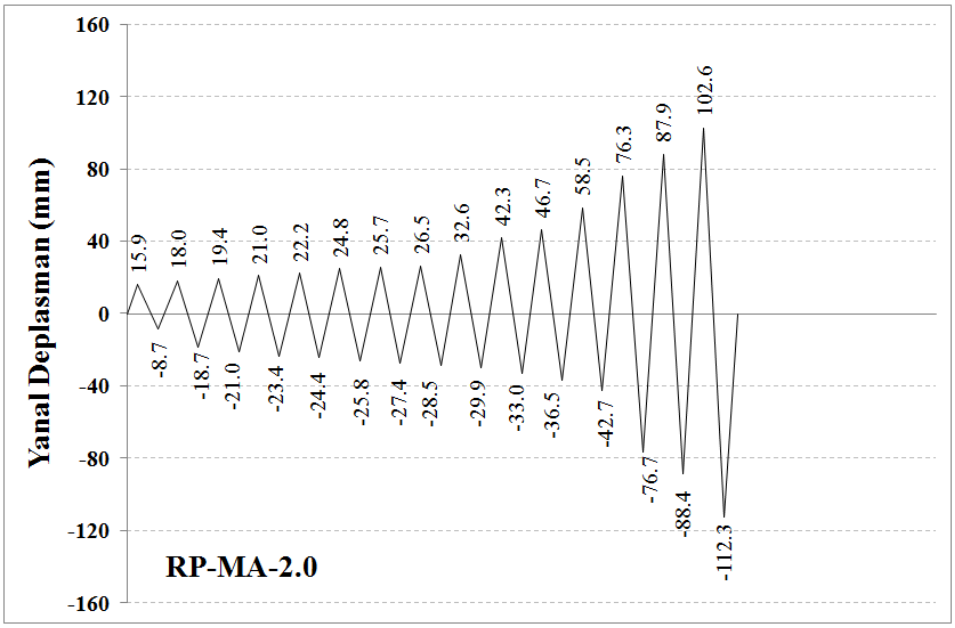
Yaklaşık +5 kN yük ve +16 mm deplasman seviyesinde plaka arası derzlerde kılcal çatlamalar oluşmuş, yükün boşaltılması esnasında sol üst köşe plakada ezilme gözlemlenmiştir. -5 kN yük ve -8 mm deplasman seviyesinde sol üst köşedeki ezilmeler netleşmiştir. Benzer bir ezilme de +10 kN yük ve +17 mm deplasman seviyesinde sağ alt köşede gelişmiştir. -10 kN yük ve -17 mm deplasman seviyesinde sağ üst köşede ezilme ve plakada düzlem dışı davranış gözlemlenmiştir. Deney elemanı +15 kN yük aldığında (+19 mm deplasman seviyesi) sol köşedeki ezilmenin 10 cm kadar aşağı indiği gözlemlenmiştir. +30 kN yük ve +24 mm deplasman seviyesinde sol üst köşedeki ezilme aşağıya doğru 15 cm ilerlemiştir. Bununla birlikte sağ alt köşede de yaklaşık 10 cm ezilme gözlemlenmiştir. +40 kN yük ve +26 mm deplasman seviyesinde sağ alt köşedeki ezilmenin biraz daha

ilerlediği gözlenmiştir. Bunun yanında sol üst köşedeki plakada ezilme bölgesinden başlayarak LVDT 6'ya paralel 45º eğimle devam eden ilk eğilme çatlağı gelişmiştir. -40 kN yük ve -27 mm deplasman seviyesinde sol alt köşeden büyük bir beton parçası ayrılmıştır. -50 kN yük ve -29 mm deplasman seviyesinde tüm köşelerde de hafif sıva kabarmaları gözlemlenmiştir. Deney elemanına +70 kN yük uygulandığında (+42 mm deplasmanda) sol üst köşe plaka çatlağının oluştuğu yerde plaka kabarması gözlemlenmiştir. -70 kN yük ve -36 mm deplasman seviyesinde sol alt köşede ezilme gözlemlenmiştir. +80 kN yük ve + 60 mm deplasman seviyesinde sol üst köşe plakada ezilmeden dolayı köşe kabarması gözlemlenmiştir. Bu noktadan itibaren deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. +50 kN yük ve +80 mm deplasman seviyesinde duvar, tam ortasından plaka derzinden ikiye ayrılmıştır. Arka bölgede de sıva kabarması gözlemlenmiştir. -80 mm deplasman seviyesinde ikinci sıra plakalarından biri düşmüştür. -100 mm deplasman seviyesinde deney sona erdirilmiştir.

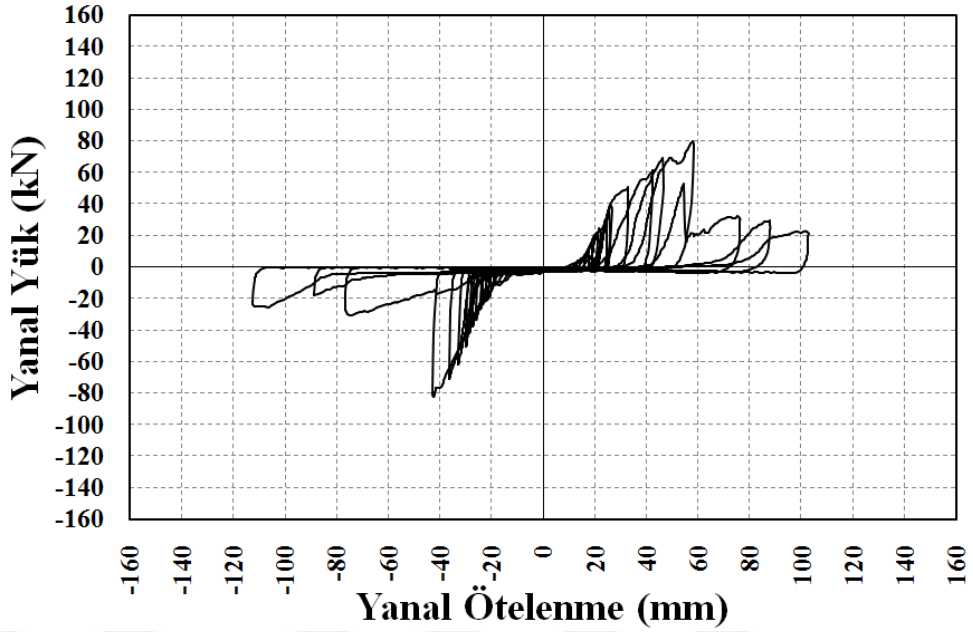
RP-MA-2.0 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +79.8 kN ve -82.0 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +58.5 mm ve -42.7 mm olarak kayıt edilmiştir. RP-MA-2.0 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.7'de, deplasman geçmişi Şekil 3.8'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.9'da, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.10'da, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.



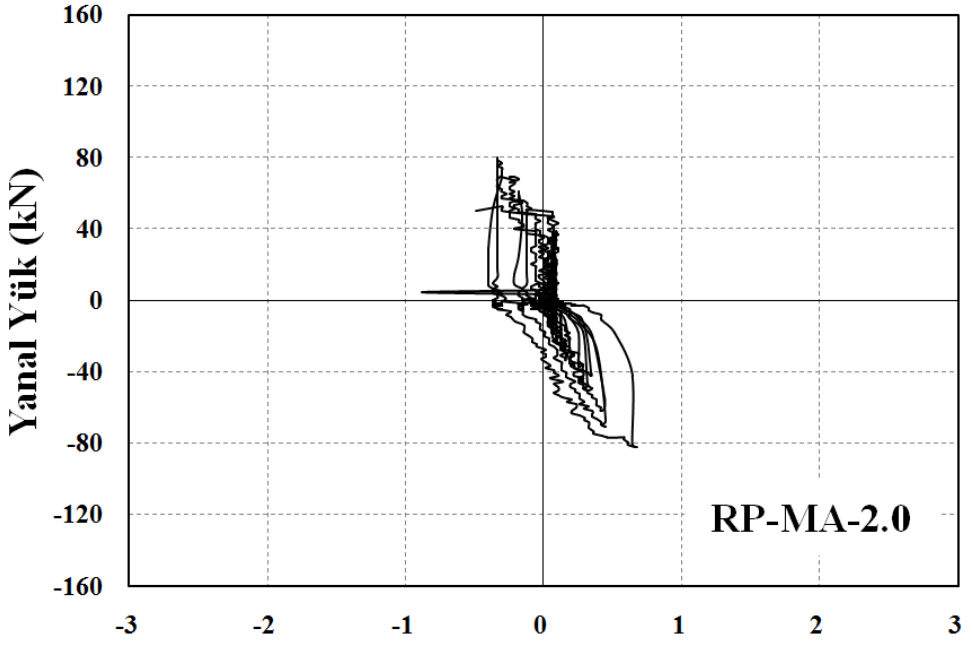
Şekil 3.7. Yük Geçmişi – RP-MA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.8. Deplasman Geçmişi – RP-MA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.9. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-MA-2.0)



Şekil 3.10. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-MA-2.0)



Şekil 3.11. RP-MA-2.0 – Deney Öncesi



Şekil 3.12. RP-MA-2.0 – Deney Sonrası

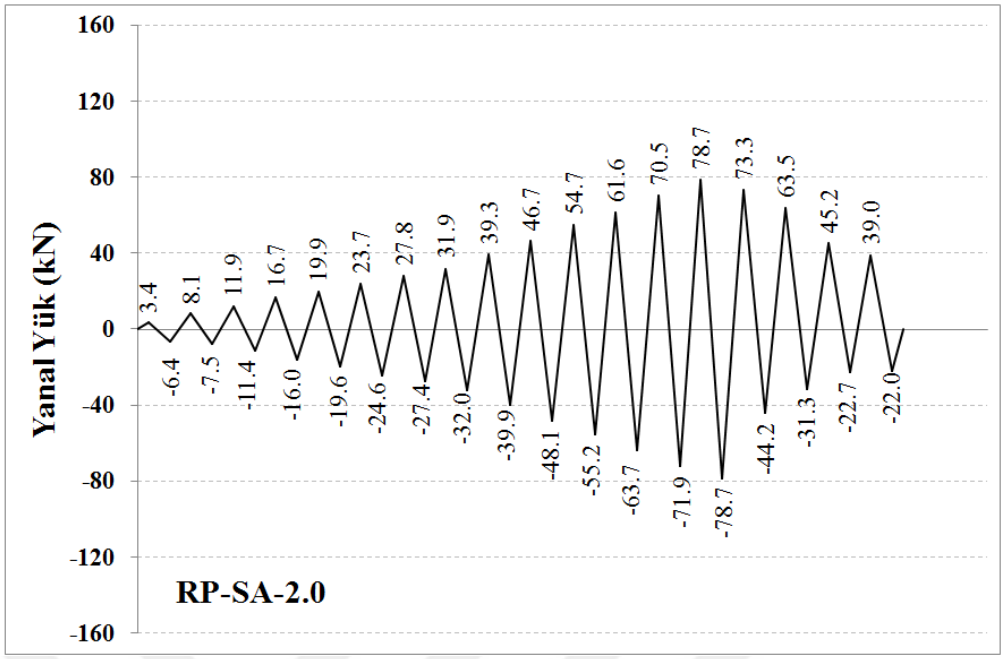
3.1.3. RP-SA-2.0 Deney Elemanı

RP-SA-2.0 deney elemanı dikdörtgen geometriye sahip beton plakalarla ve 24 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

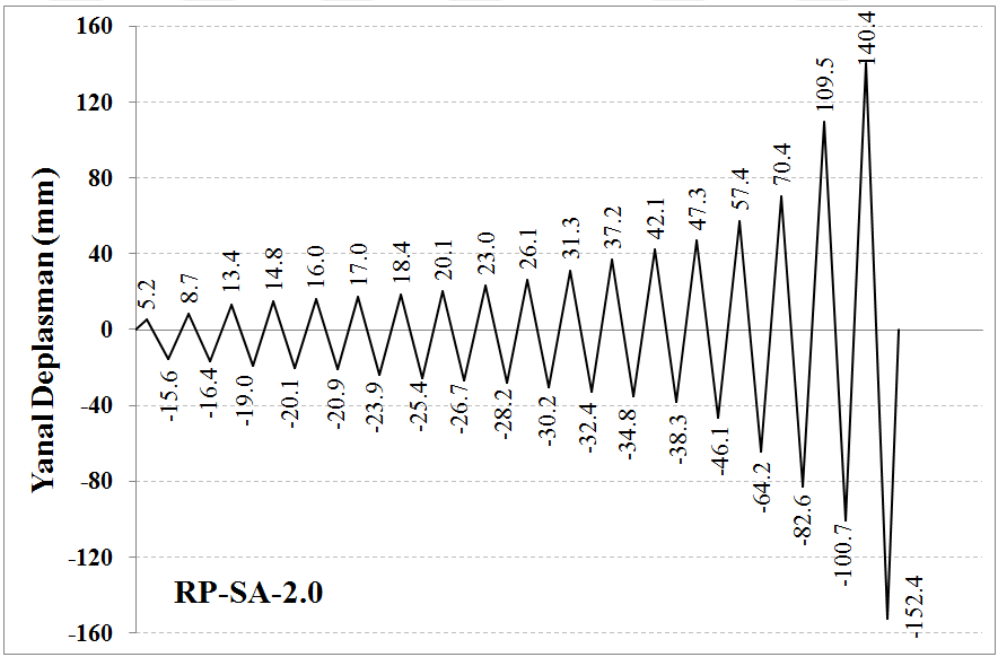
Yaklaşık -30 kN yük ve -23 mm deplasman seviyesinde sağ üst panelde yük doğrultusunda çatlak ve ezilme gözlemlenmiştir. +75 kN yük altında köşelerdeki ezilmeden dolayı taşıma kapasitesinde bir miktar kayıp olmuştur ancak deney elemanı kendini toparlamıştır. +80 kN yük ve +37 mm deplasman seviyesinde sağ alt köşede 20 cm x 15 cm boyutlarında, dik üçgen şeklinde ezilme gözlemlenmiştir.

Yaklaşık -80 kN yük ve -33 mm deplasman seviyesinde herhangi bir değişme gözlemlenmemiştir. +103 kN yük seviyesinde deney elemanı orta derzden ayrılmış, ön tarafta sıva yüzeyinde yaklaşık 30^{o} açıyla plaka derzinden ayrılma gözlemlenmiştir. Deney elemanı -40 kN yük ve -80 mm deplasman seviyesindeyken burkulmadan dolayı plakada kırılma gözlemlenmiş ve deneye son verilmiştir.

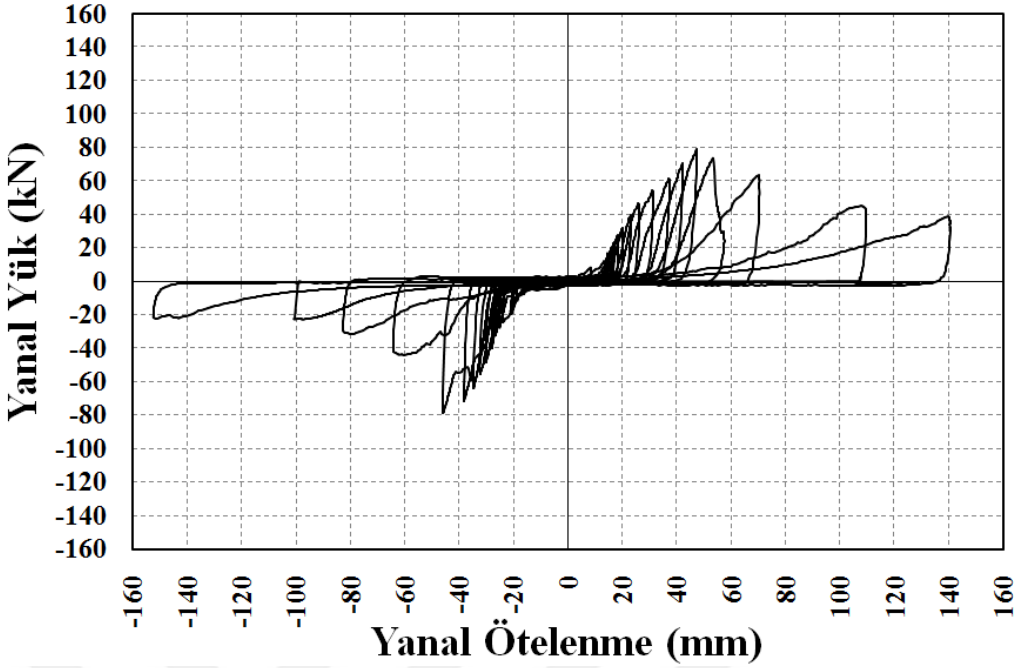
RP-SA-2.0 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +78.7 kN ve -78.7 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +47.3 mm ve -46.1 mm olarak kayıt edilmiştir. RP-SA-2.0 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.13'de, deplasman geçmişi Şekil 3.14'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.15'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.16'da, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'de verilmiştir.



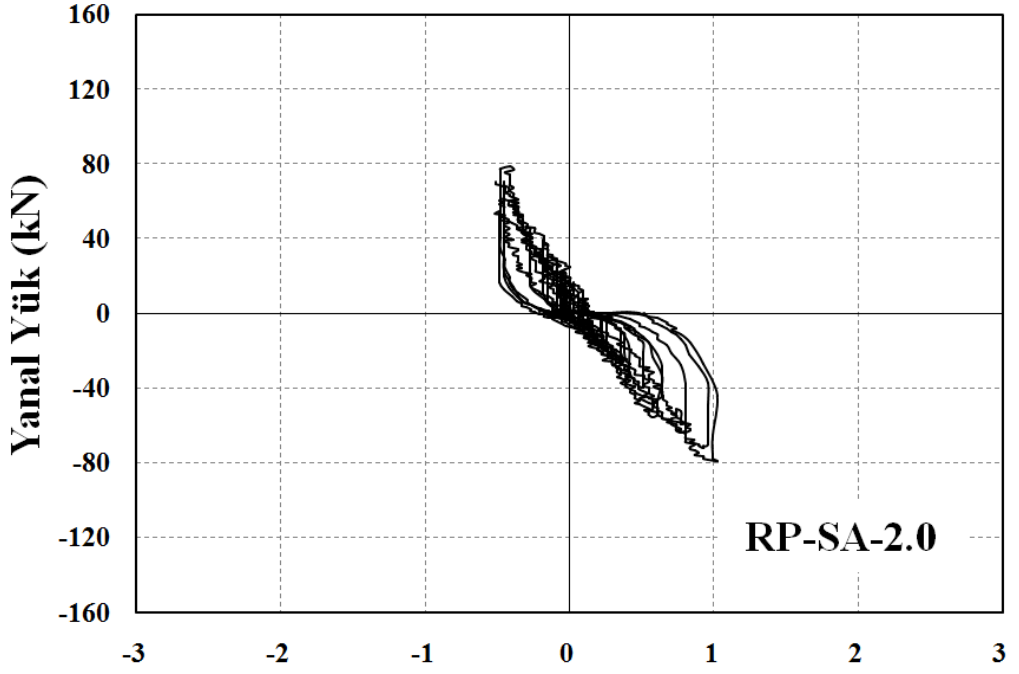
Şekil 3.13. Yük Geçmişi – RP-SA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.14. Deplasman Geçmişi – RP-SA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.15. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-SA-2.0)



Şekil 3.16. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-SA-2.0)



Şekil 3.17. RP-SA-2.0 – Deney Öncesi



Şekil 3.18. RP-SA-2.0 – Deney Sonrası

3.1.4. RP-SA-2.5 Deney Elemanı

RP-SA-2.5 deney elemanı dikdörtgen geometriye sahip beton plakalarla ve 24 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

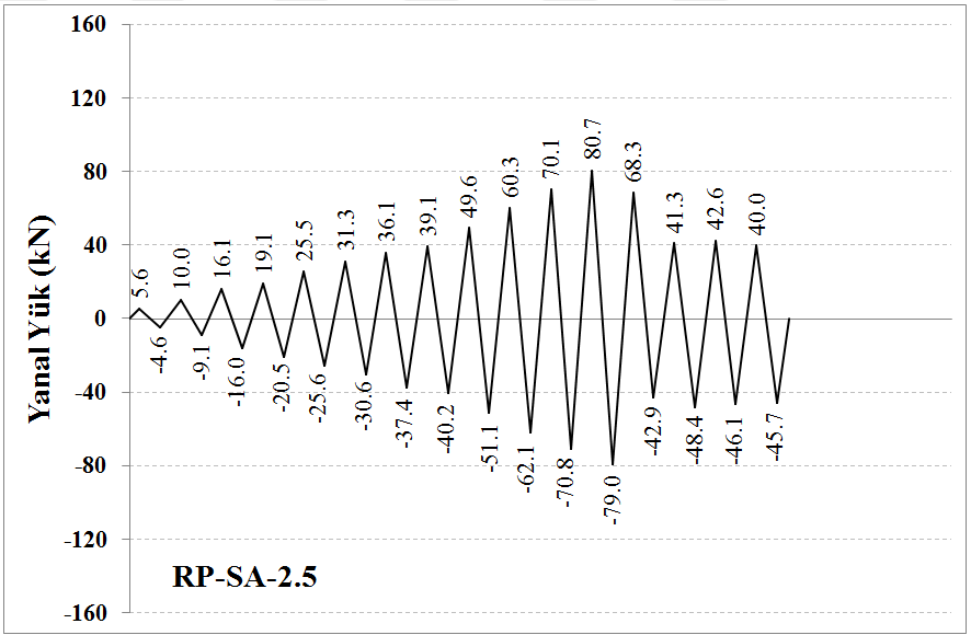
Deneyde, +30 kN yük seviyesine kadar belirgin bir hasar gözlenmemiştir. Yaklaşık -30 kN yük ve -28 mm deplasman seviyesinde sağ üst köşede hafif ezilme gözlemlenmiştir. -35 kN yük ve -30 mm deplasman seviyesinde deney elemanının sol üst köşe arkasında sıvada kırılma gözlemlenmiştir. -40 kN yük ve -30 mm deplasman seviyesinde sağ üst köşede hafif ezilme belirtisi görülmüştür. +50 kN yük ve +20 mm deplasman seviyesinde sol alt plakada kabarma gözlenmiş, 10 cm x 10 cm boyutlarında dik üçgen şeklinde çatlama oluşmuştur.

+60 kN yük ve +29 mm deplasman seviyesinde yük doğrultusundaki köşelerde hafif ezilmeler gelişmiştir. -60 kN yük ve -35 mm deplasman seviyesinde aynı şekilde yük doğrultusundaki köşelerde hafif ezilmeler gözlemlenmiştir. +70 kN yük ve +34 mm deplasman seviyesinde derzlerde çatlaklar belirginleşmiştir. -70 kN yük ve -38 mm deplasman seviyesinde yük doğrultusundaki köşelerde ezilmelerde artış gözlemlenmiştir. Ezilme plakanın yarısıyla sınırlı, 20 cm x 10 cm boyutlarında dik üçgen şeklinde olmuştur. +80 kN yük ve +40 mm deplasman seviyesinde oluşan ezilmenin bir önceki ezilmeyle benzer olduğu söylenmelidir. -80 kN yük ve -36 mm deplasman seviyesinde ezilme alanı sınırlı olmakla birlikte ezilme kalınlığında bir derinleşme gözlemlenmiştir. Ezilme kalınlığı plaka kalınlığına ulaşmıştır. +90 kN ileri çevrim yüklemesine gidilirken +70 kN yük ve +50 mm deplasman seviyesinde ortadaki derz ayrılmış ve sol üst köşe 2. plakada oluşan dik açılı çatlak derzi düşey olarak takip etmiştir.

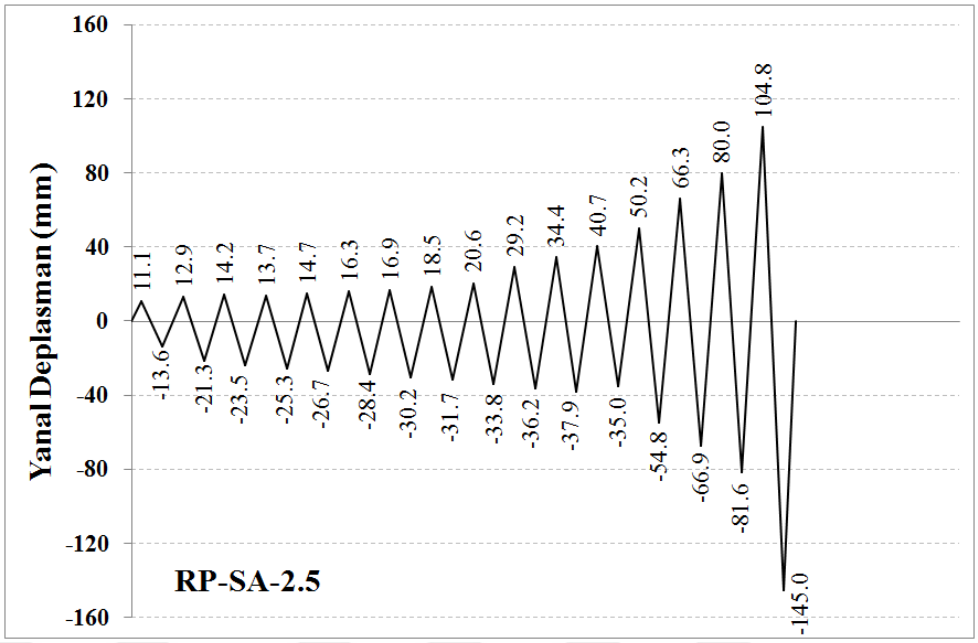
Bu noktadan itibaren deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. + 98 kN yük ve +60 mm deplasman seviyesinde çatlaklardan bazılarının tuğlalardan geçtiği gözlenmiştir. +43 kN yük ve +65 mm deplasman seviyesinde orta derz boydan boya yatay olarak ayrılmıştır. -42 kN yük ve -80 mm deplasman seviyesinde arka yüzde

tuğlalarda kırılmalar görülmüştür. -46 kN yük ve -100 mm deplasman seviyesinde LVDT 7 iptal edilmiştir. -65 kN yük ve -145 mm deplasman seviyesinde yük taşıma kapasitesinde deneye son verilmiştir.

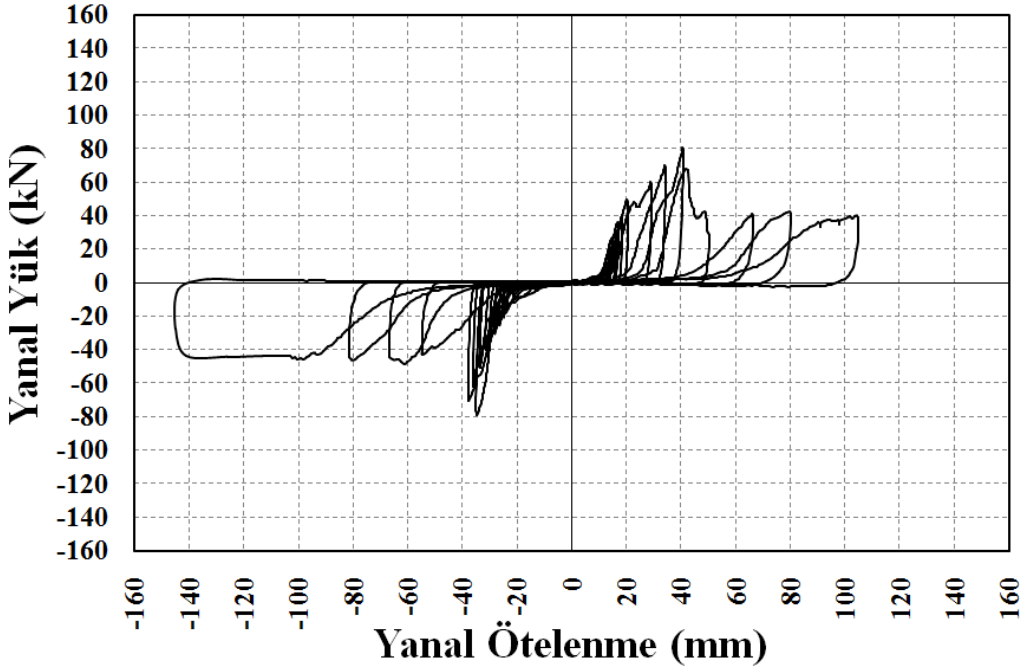
RP-SA-2.5 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +80.7 kN ve -79.0 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +40.7 mm ve -35.0 mm olarak kayıt edilmiştir. RP-SA-2.5 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.19'da, deplasman geçmişi Şekil 3.20'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.21'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.22'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'de verilmiştir.



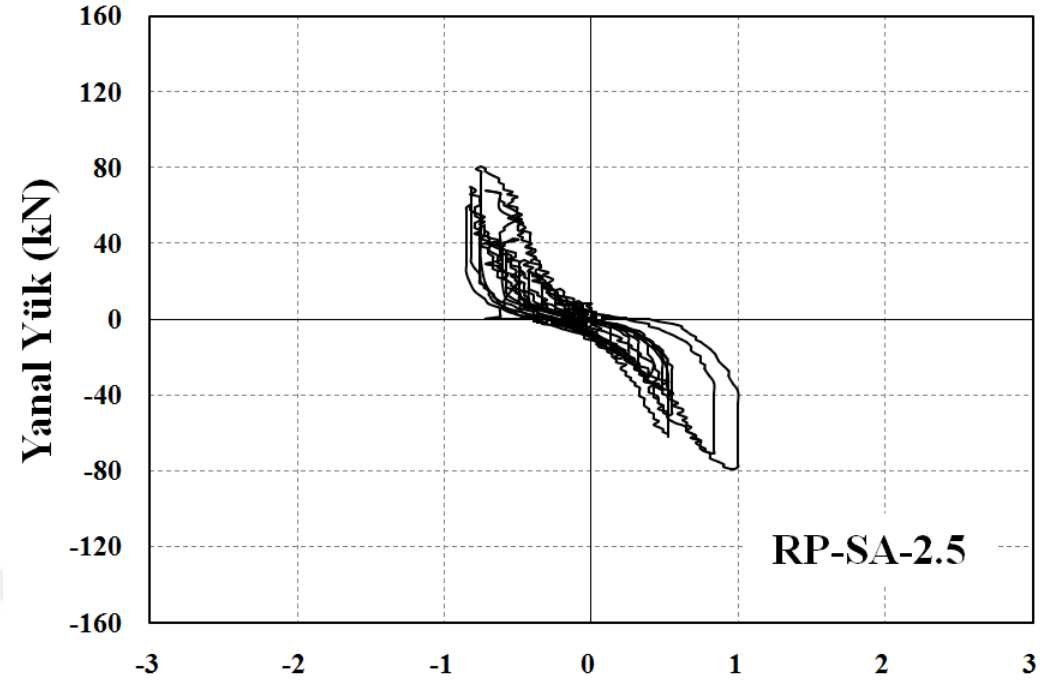
Şekil 3.19. Yük Geçmişi – RP-SA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.20. Deplasman Geçmişi – RP-SA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.21. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-SA-2.5)



Şekil 3.22. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-SA-2.5)



Şekil 3.23. RP-SA-2.5 – Deney Öncesi



Şekil 3.24. RP-SA-2.5 – Deney Sonrası

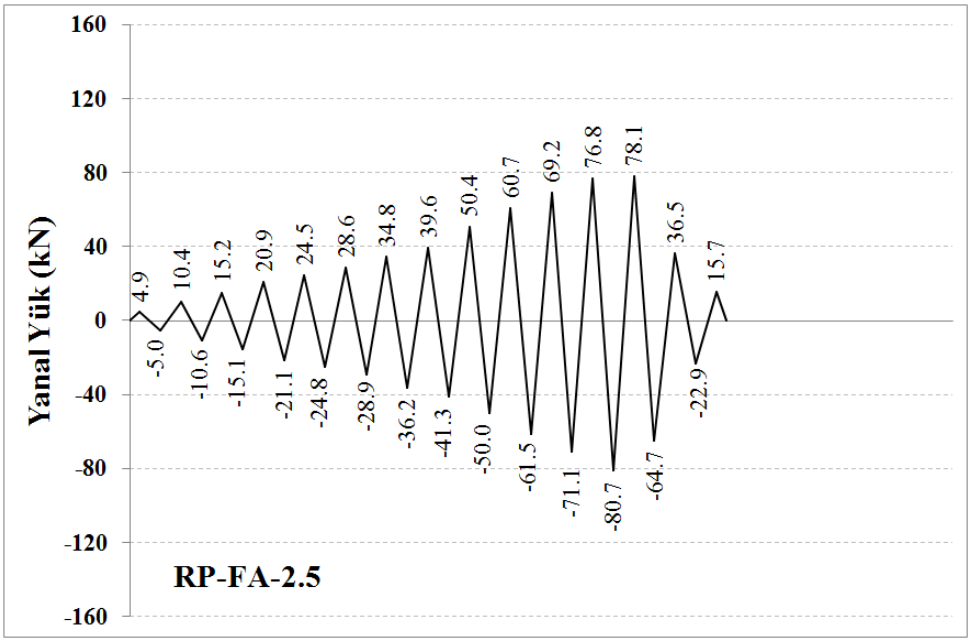
3.1.5. RP-FA-2.5 Deney Elemanı

RP-FA-2.5 deney elemanı dikdörtgen geometriye sahip beton plakalarla ve 20 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

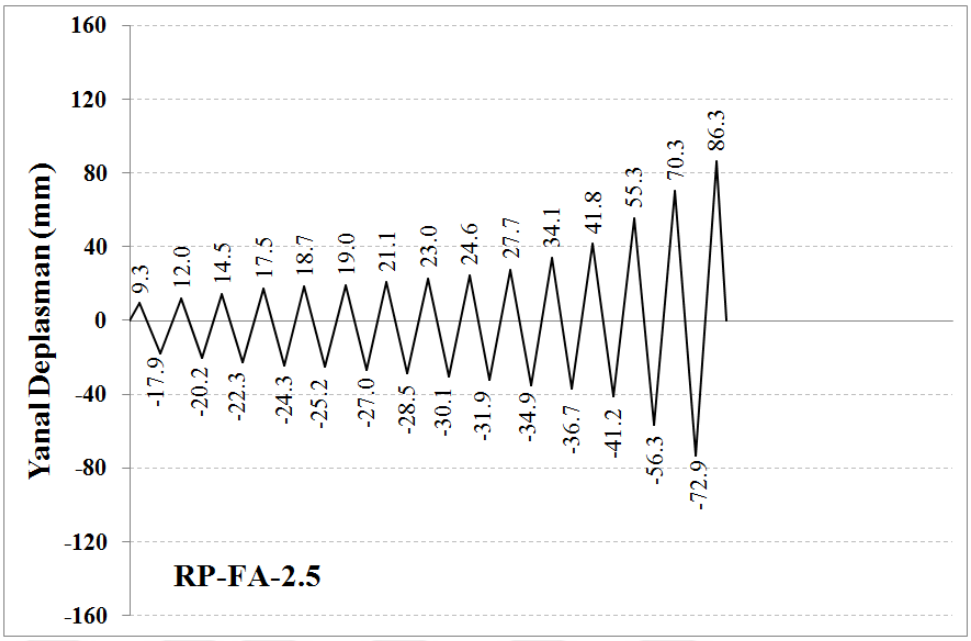
Deney elemanına 15 kN yük uygulanması esnasında sağ alt köşe plakada üçgen formlu bir kırılma meydana gelmiştir. Yaklaşık -20 kN yük altında deney elemanının arka yüzeyinde yük doğrultusunda üst köşede sıva dökülmesi gözlemlenmiştir. Yaklaşık -25kN yükleme sonrasında plakalar arasındaki bazı derzlerde çatlaklar oluşmuştur. -30 kN yanal yük seviyesinde, yük doğrultusundaki üst plakada köşe kırığı olmuştur. 35 kN yük uygulanması esnasında deney elemanının arka yüzey köşelerinde ezikler olmuştur. Yaklaşık 50 kN yük uygulanması esnasında sağ alt plakada oluşan dik üçgen şeklindeki kırık iyice belirginleşmiş ve ezilmiştir. -50 kN yük seviyesinde, yük doğrultusundaki üst köşe tuğlalarda kırılma meydana gelmiştir.

-60 kN yük seviyesinde sağ alt plakanın alt köşesinden 20 cm yukarıda plaka kabarması oluşmuştur. +80 kN yüklemeye gidildiği esnada 75 kN yük ve 50 mm deplasman seviyesinde sol üst 1. plakanın altında ikinci plakaya doğru uzanan ve bir alt plaka sırasına geçen bir derz çatlağı oluşmuştur. Bundan sonra deneye deformasyon kontrollü olarak devam edilmiştir. +65 mm deplasman altında yük +75 k N seviyesinde 10 mm çapında derzleri takip eden diyaganal derz çatlağı oluşmuş ve sağ alt plakanın kabaran kısmı dökülmüştür. Deney elemanının arka yüzeyinde sol alttan sağ üste giderken diyagonal çatlak oluşmuş ve sağ üst köşede sıva dökülmüştür. Ön tarafta plakalar iyice birbirinden ayrılmıştır. +80 mm deplasmanda arka yüzde sıva tamamen dökülmüştür. +90 mm deplasman seviyesinde tuğlalar kırılmış, sol üst tuğla tamamen düşmüş ve deneye son verilmiştir.

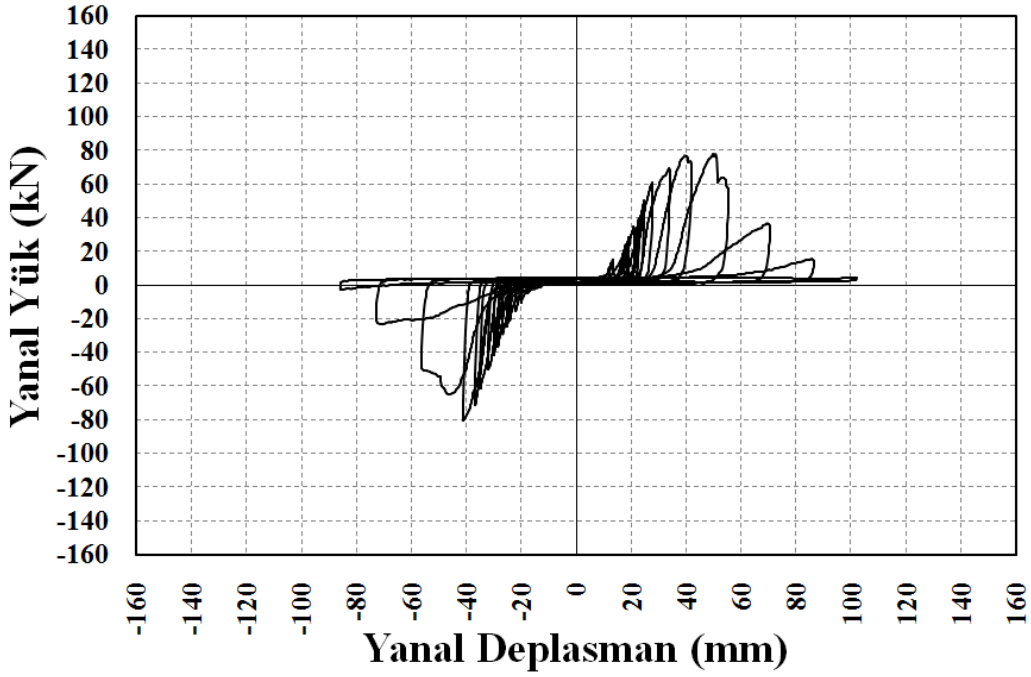
RP-FA-2.5 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +78.1 kN ve -80.7 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +55.3 mm ve -41.2 mm olarak kayıt edilmiştir. RP-FA-2.5 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.25'de, deplasman geçmişi Şekil 3.26'da, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.27'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.28'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da verilmiştir.



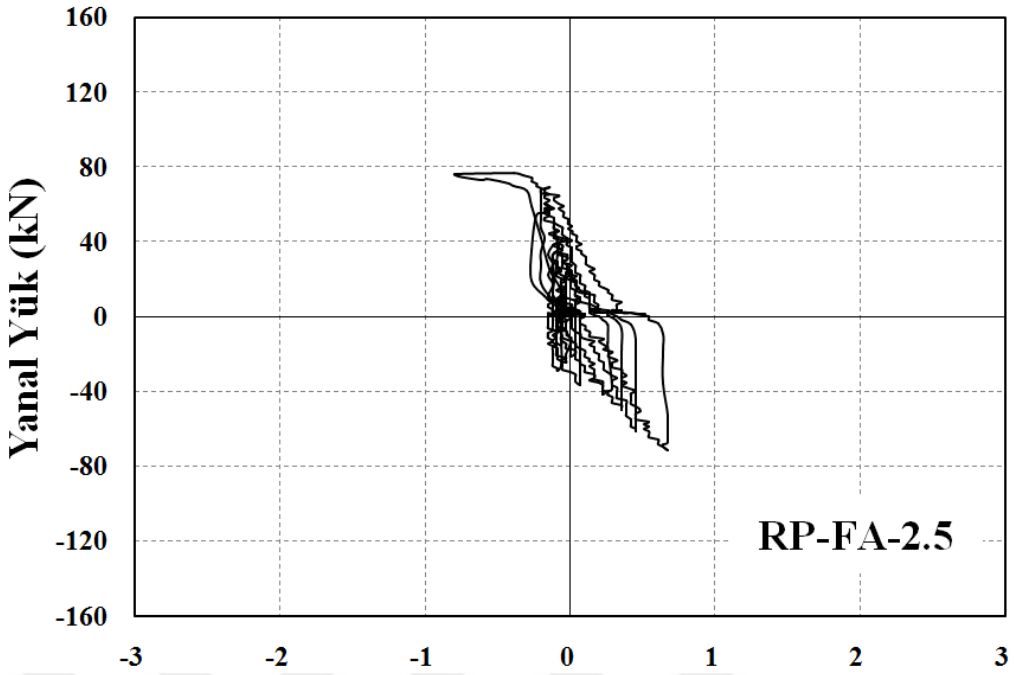
Şekil 3.25. Yük Geçmişi – RP-FA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.26. Deplasman Geçmişi – RP-FA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.27. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (RP-FA-2.5)



Şekil 3.28. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (RP-FA-2.5)



Şekil 3.29. RP-FA-2.5 – Deney Öncesi



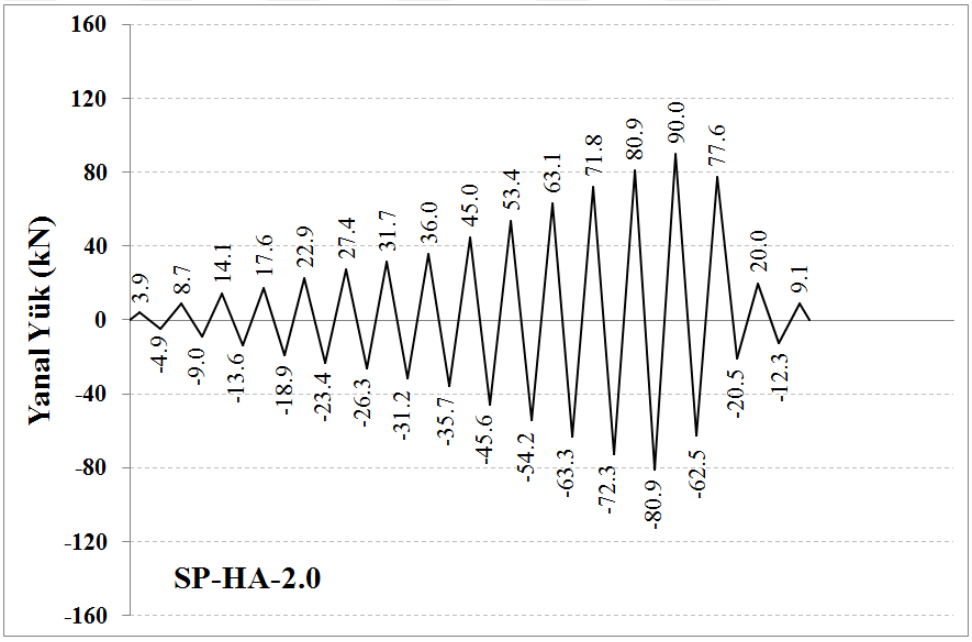
Şekil 3.30. RP-FA-2.5 – Deney Sonrası

3.1.6. SP-HA-2.0 Deney Elemanı

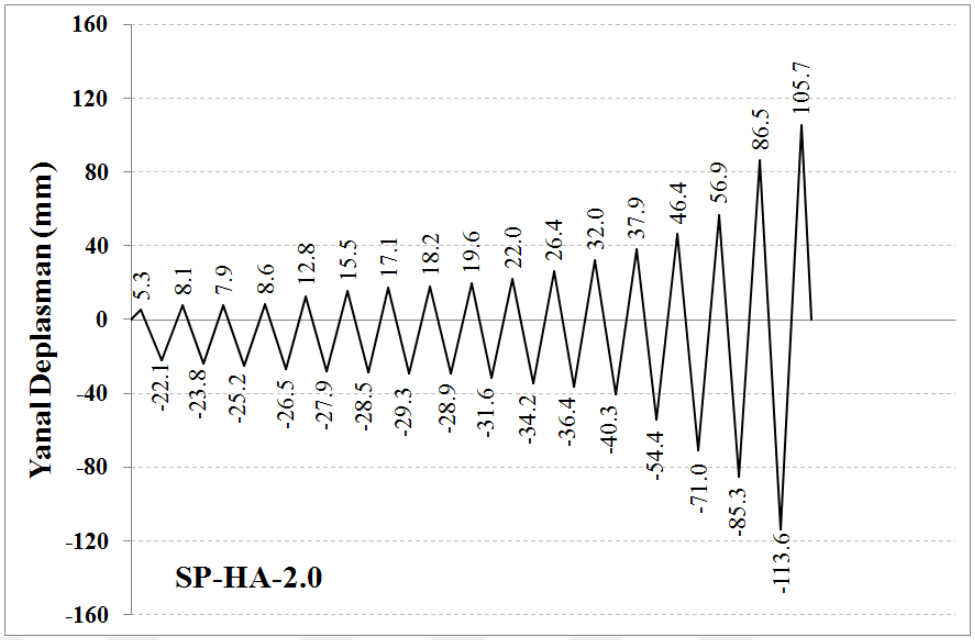
+80 kN yük ve +31 mm deplasman seviyesinde ankraja uzanan çatlağın devam ederek ikinci plakaya geçtiği görülmüştür. +90 kN yük ve +37 mm deplasman seviyesinde sol üst köşe plakanın tamamen döküldüğü gözlemlenmiştir. Deney elemanı -90 kN yük aldığında sağ üst plaka ezilmiş ve patlamış, sol alt panel de aynı şekilde patlamıştır. +100 kN yük altında sağ üst tarafta 30 cm uzunluğunda 3 plaka boyunca çatlak oluştuğu gözlenmiştir. -110 kN yükleme seviyesine gidilirken, -67 kN yük seviyesinde diyagonal bir çatlak gelişmiştir. Bu noktadan itibaren deneye deplasman kontrollü devam edilmiştir. +70 kN yük taşıma kapasitesinde ikinci bir diyagonal çatlak gelişmiştir. +45 kN yük ve +65 mm deplasman seviyesinde plakalar kabarmış ancak tuğlalarda hasar görülmemiştir. Plakalar yapıştırıcıdan ayrılmıştır. -- 85 mm deplasmana gidilirken bazı plaka derzlerinde ayrılmalar gözlemlenmiştir. -85 mm deplasman ve -18 kN yük taşıma kapasitesinde arka yüzeyde tuğlalar hasarlanmış, +85 mm deplasman ve +16 kN yük taşıma kapasitesinde kenarlara

yakın duvarlar patlamıştır. +100 mm deplasman ve +8.5 kN yük seviyesinde orta derzden tuğlalarda kayma gözlenmiş ve birçok tuğla sıva yüzeyinden ayrılmıştır. Bu aşamadan sonra deney sonlandırılmıştır.

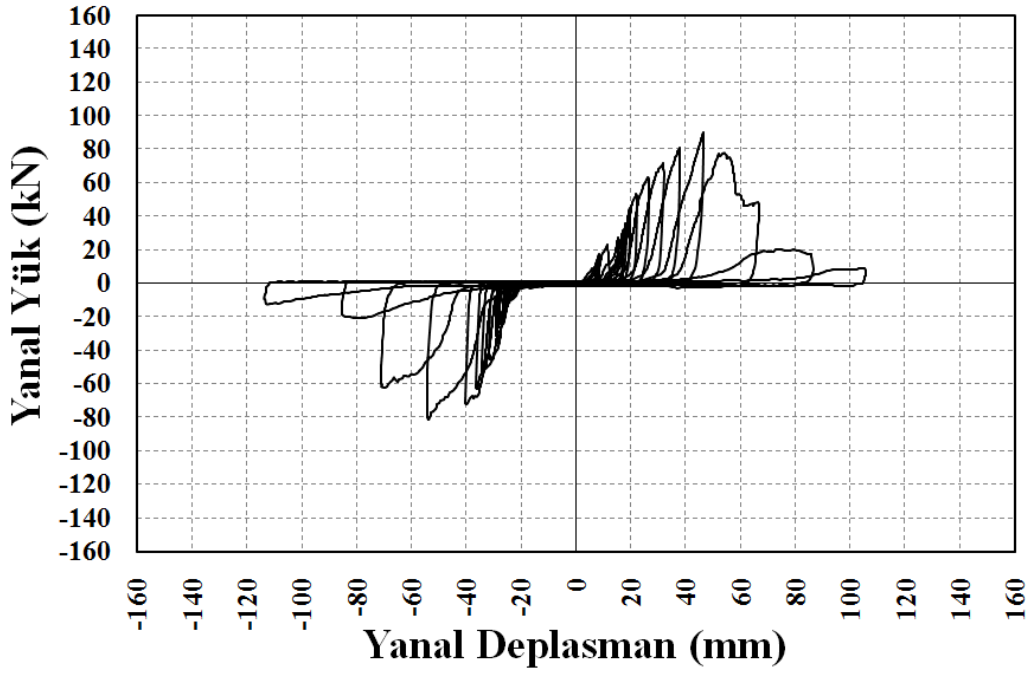
SP-HA-2.0 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +90.0 kN ve -80.9 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +46.4 mm ve -54.4 mm olarak kayıt edilmiştir. SP-HA-2.0 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.31'de, deplasman geçmişi Şekil 3.32'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.33'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.34'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da verilmiştir.



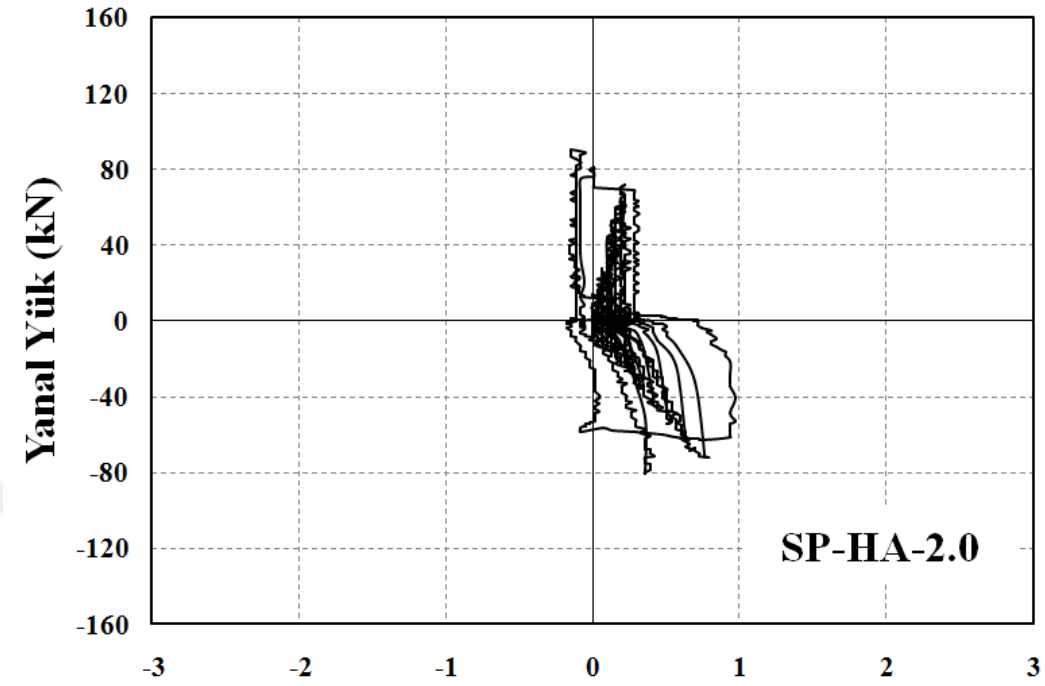
Şekil 3.31. Yük Geçmişi – SP-HA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.32. Deplasman Geçmişi – SP-HA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.33. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SP-HA-2.0)



Şekil 3.34. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SP-HA-2.0)



Şekil 3.35. SP-HA-2.0 – Deney Öncesi



Şekil 3.36. SP-HA-2.0 – Deney Sonrası

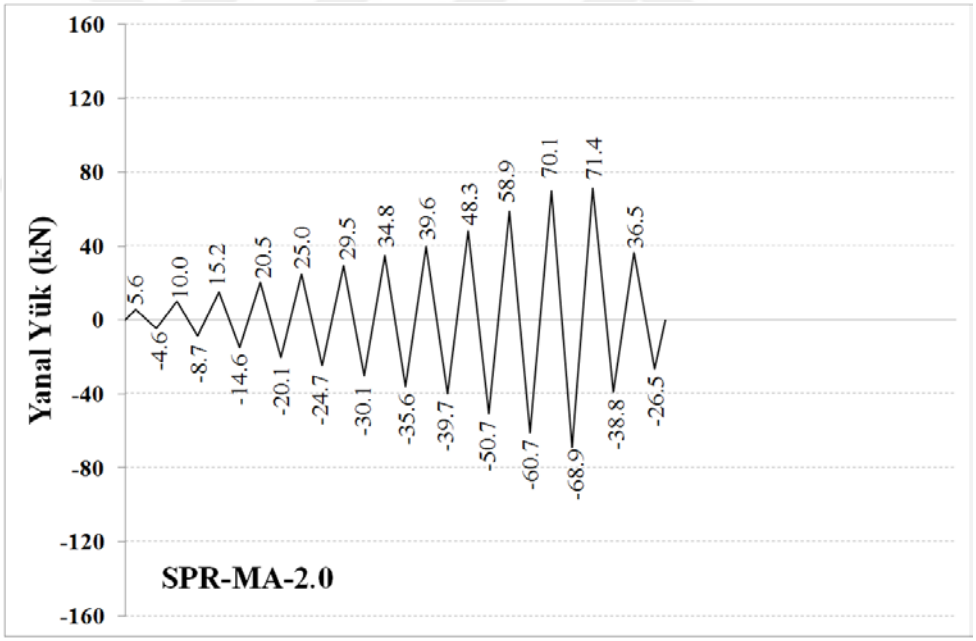
3.1.7. SPR-MA-2.0 Deney Elemanı

SPR-MA-2.0 deney elemanı şerit biçimindeki betonarme plakalarla ve 4 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

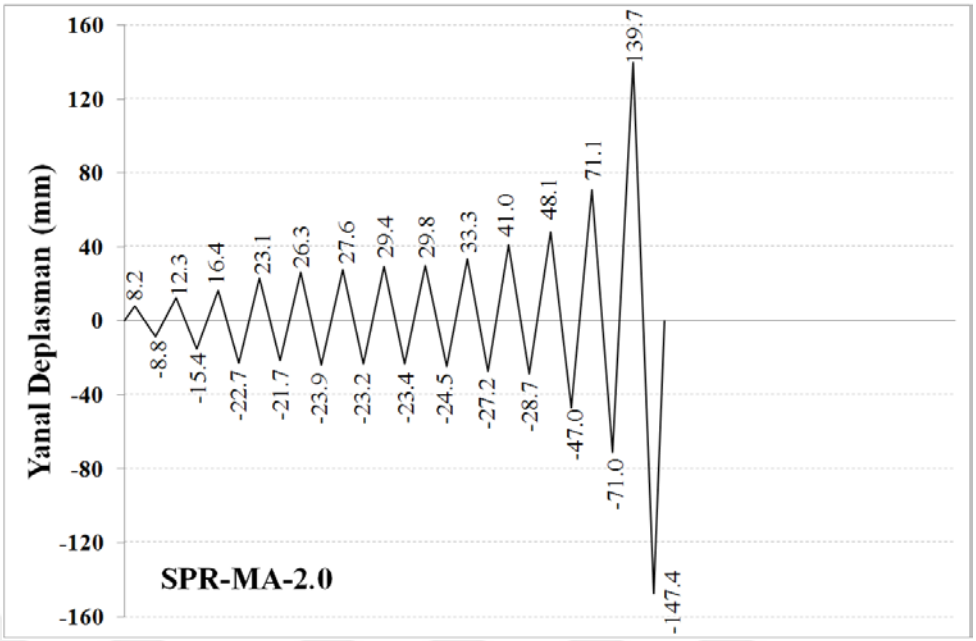
Deney elemanında, +15 kN yük ve +16 mm deplasman seviyesinde yük doğrultusundaki köşelerde plakalarda ezilme görülmüştür. + 60 kN yük ve +40 mm deplasman seviyesinde yük doğrultusundaki sağ alt köşede ezilme belirginleşmiştir. Yaklaşık -70 kN yük ve -46 mm deplasman seviyesinde sağ üst köşede ezilme ile birlikte plaka betonunda dökülme gözlemlenmiştir. +80 kN yüklemeye gidilirken arka yüzde ani diyagonal çatlak oluşması sebebiyle taşıma kapasitesinde azalma olmuş ve bu noktadan itibaren deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

+70 mm deplasman ve +46 kN yük taşıma kapasitesinde yatayla 20º derece eğimli çatlak oluşmuştur. Bu aşamadan sonra, deney elemanına maksimum deplasman olarak +138 mm tanımlanmış ve bu esnada ön yüzde kenar plakalar kabarmış, tuğlalar derzlerinden ayrılmış, arka yüzde çatlak boyunca devam eden sıva dökülmeleri gözlemlenmiş ve köşe tuğlalar parçalanmış ve deney sonlandırılmıştır.

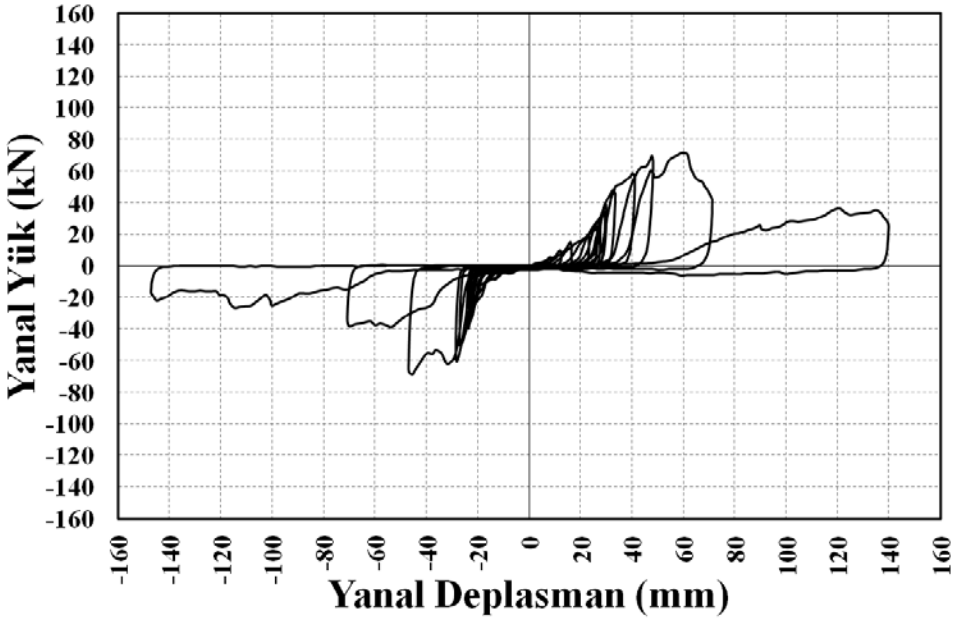
SPR-MA-2.0 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +71.4 kN ve -68.9 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +71.1 mm ve –47.0 mm olarak kayıt edilmiştir. SPR-MA-2.0 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.37'de, deplasman geçmişi Şekil 3.38'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.39'da, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.40'da, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de verilmiştir.



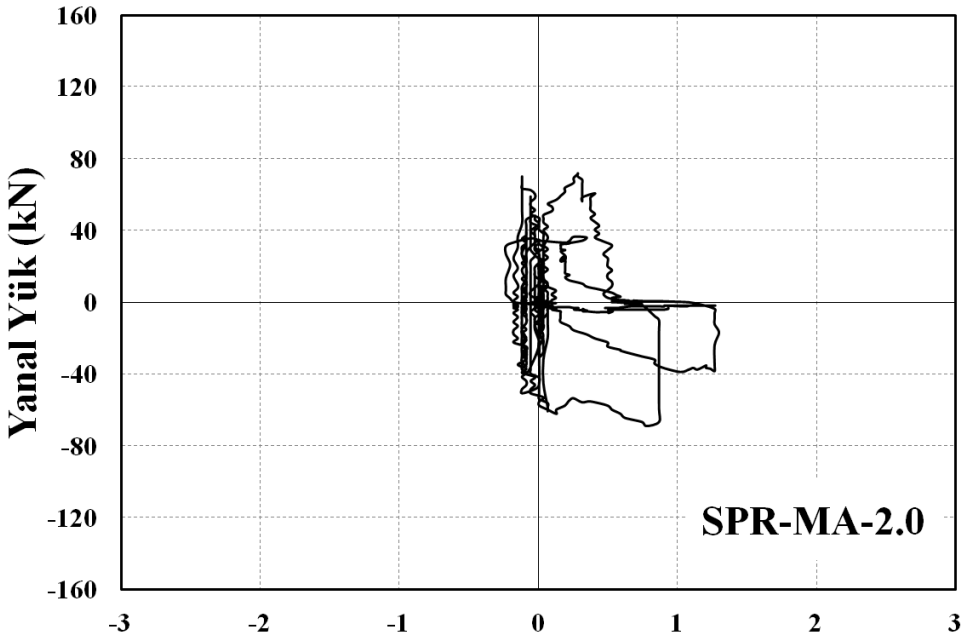
Şekil 3.37. Yük Geçmişi – SPR-MA-2.0 Deney Elemanı



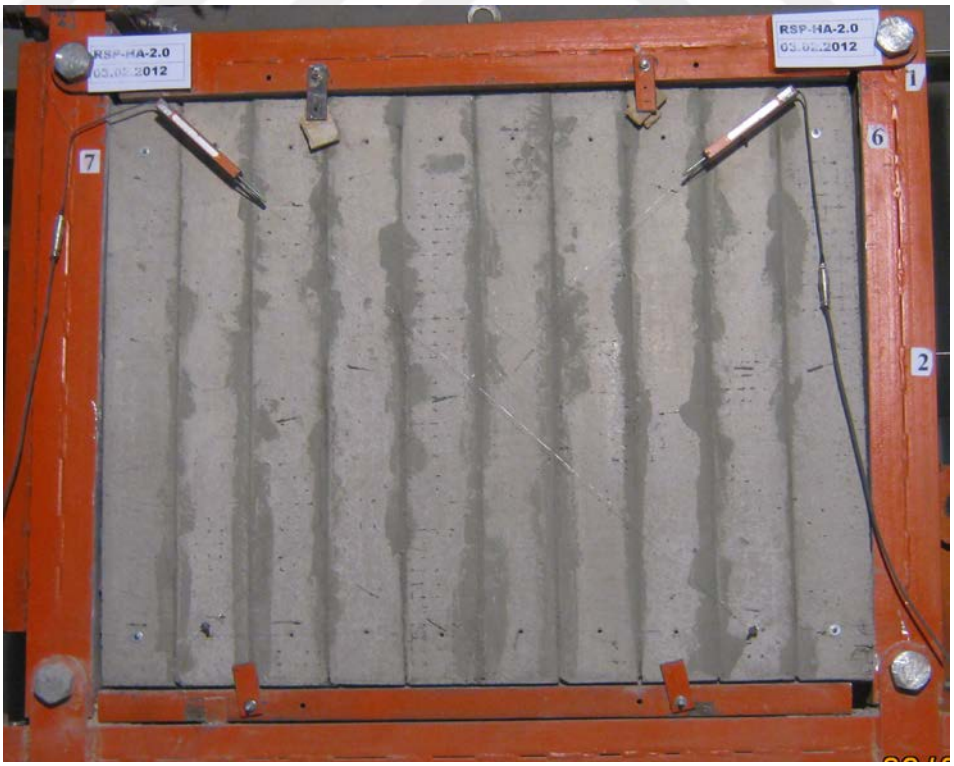
Şekil 3.38. Deplasman Geçmişi – SPR-MA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.39. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-MA-2.0)



Şekil 3.40. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-MA-2.0)



Şekil 3.41. SPR-MA-2.0 – Deney Öncesi



Şekil 3.42. SPR-MA-2.0 – Deney Sonrası

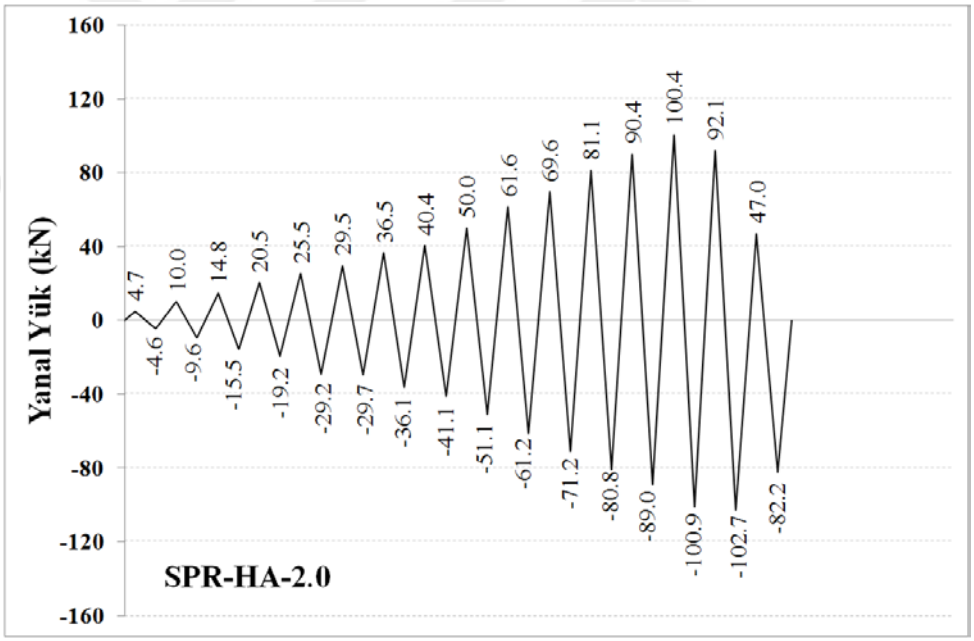
3.1.8. SPR-HA-2.0 Deney Elemanı

SPR-HA-2.0 deney elemanı şerit biçimindeki betonarme plakalarla ve 20 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

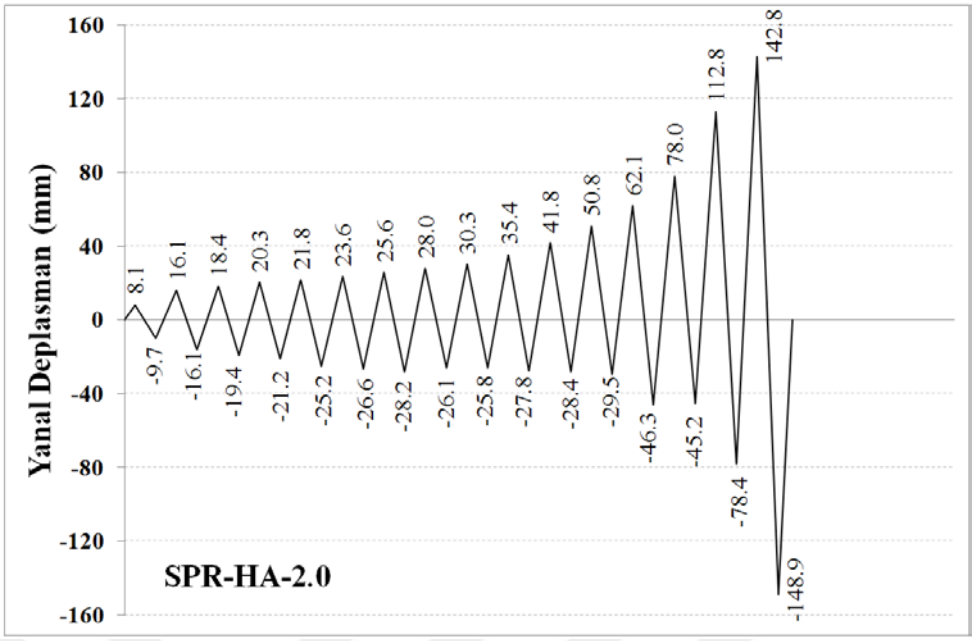
Deney elemanın, 15 kN yük ve 18 mm deplasman seviyesinde, sonradan sıvamadan dolayı arka yüzünde yük doğrultusunda üst köşedeki sıva düşmüştür. -25 kN yük ve -23 mm deplasman seviyesinde alt köşede ezilme meydana gelmiştir. +50 kN yük ve 30 mm deplasman seviyesinde yük doğrultusundaki köşelerde ezilmeler gelişmiştir. +70 kN yükleme ve +41 mm deplasman seviyesinde yüzde yük doğrultusunda sıva kabarmaları ve köşe tuğlalarda ezilmeler gözlemlenmiş, ancak ön yüzde plakalar hala iyi durumda kalmıştır. +90 kN yanal yük seviyesine giderken yaklaşık +88 kN yük altında arka yüzde diyagonal çatlak oluşup taşıma kapasitesinde azalma gerçekleşmiş ancak deney elemanı kendini toparlayabilmiştir.

Yanal yük olarak +110 kN uygulama seviyesi hedeflenirken dolgu duvarda +90 kN yük seviyesinde yük boşalması meydana gelmiştir. Bu aşamadan sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiş ve uygulanan yükleme ile yalnızca köşe tuğlalarda dökülme ve sol plakada kabarma meydana gelmiştir. Yaklaşık +140 mm deplasman ve +70 kN yük seviyesinde deney sonlandırılmıştır.

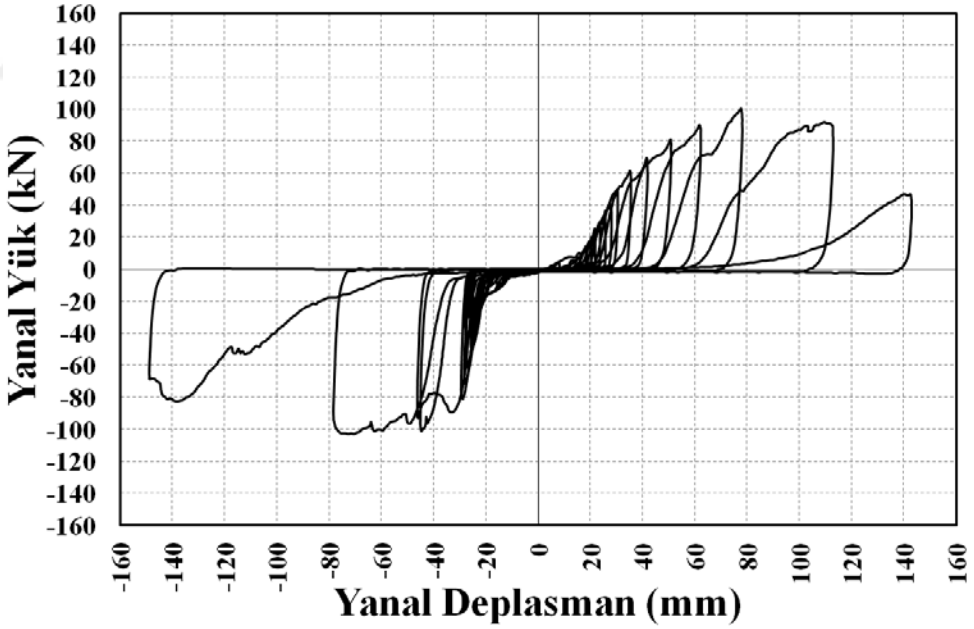
SPR-HA-2.0 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +100.5 kN ve -100.9 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +78.0 mm ve –45.2 mm olarak kayıt edilmiştir. SPR-HA-2.0 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.43'de, deplasman geçmişi Şekil 3.44'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.45'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.46'da, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.47 ve Şekil 3.48'de verilmiştir.



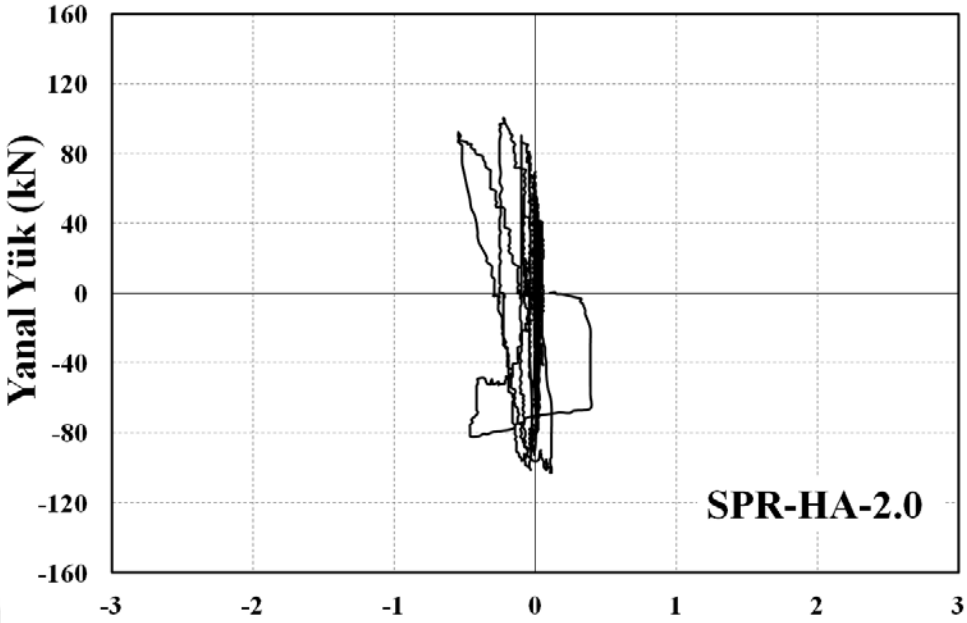
Şekil 3.43. Yük Geçmişi – SPR-HA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.44. Deplasman Geçmişi – SPR-HA-2.0 Deney Elemanı



Şekil 3.45. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-HA-2.0)



Şekil 3.46. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-HA-2.0)



Şekil 3.47. SPR-HA-2.0 – Deney Öncesi



Şekil 3.48. SPR-HA-2.0 – Deney Sonrası

3.1.9. SP-HA-2.5 Deney Elemanı

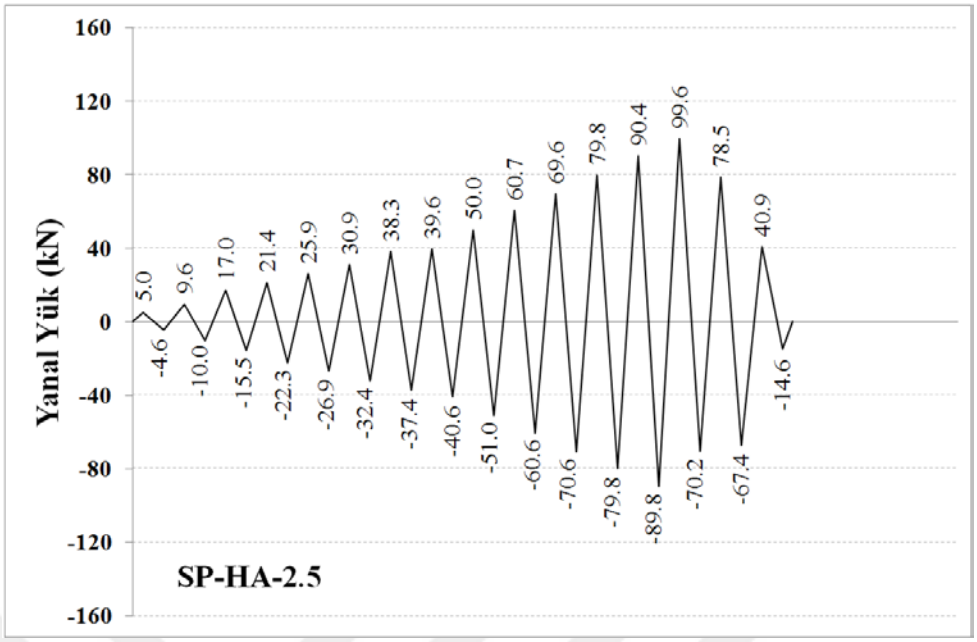
SP-HA-2.5 deney elemanı şerit biçimindeki beton plakalarla ve 22 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

Yaklaşık +35 kN yük seviyesine kadar deney elemanında çatlak ya da ezilme gözlemlenmemiştir.-35 kN yük ve -22 mm deplasman seviyesinde sağ üst köşede önemsenmeyecek düzeyde ezilme görülmüştür. -40 kN yük ve -23 mm deplasman seviyesinde, yüzeyden 10 mm derinlikte yaklaşık 25 cm^2 bir alanla sınırlı beton kavlaması görülmüştür. +50 kN yük ve 24 mm deplasman seviyesinde, yük doğrultusunda alt köşede sıva yüzeyine kadar 10 cm x 15 cm boyutlarında dik üçgen şeklinde ezilme gözlemlenmiştir.

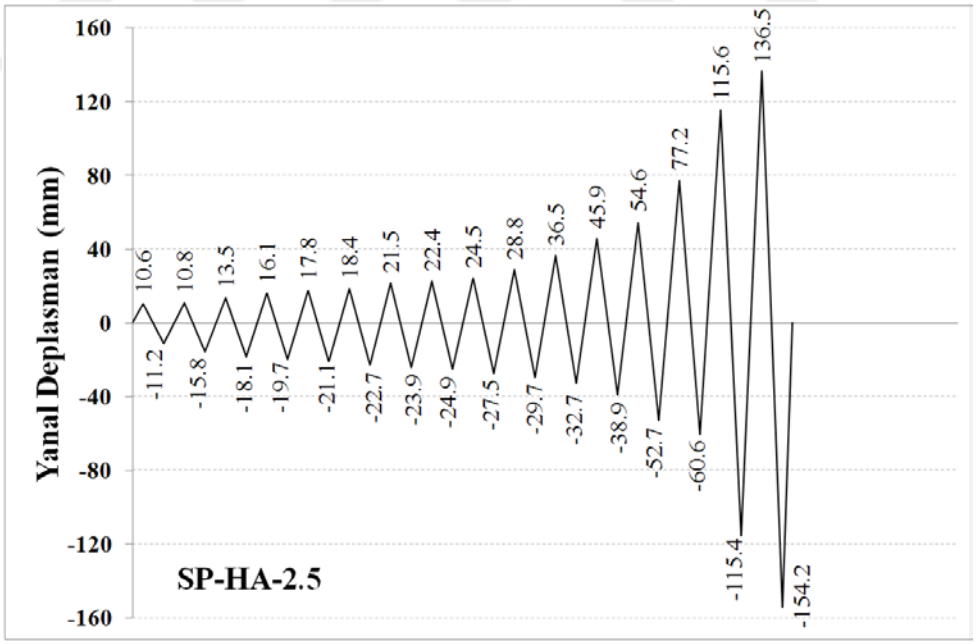
Deney elemanı -50 kN yük aldığında (-26 mm deplasman) sağ üst köşede yük doğrultusunda ezilme gelişmiştir. -80 kN yük ve -39 mm deplasman seviyesinde sağ

üst köşede 2 cm derinliğinde 300 cm^2 alanında bir parçanın kabardığı gözlemlenmiştir. +90 kN yük ve +53 mm deplasman seviyesinde dolgu duvarın arka yüzünün köşelerinde 400 cm^2 alanında sıva döküldüğü gözlemlenmiştir. Deney elemanı -90 kN yük aldığında (-53 mm deplasman) arka yüzün sağ üst köşesindeki tuğlada 400 cm^2 alanında bir ezilme gözlemlenmiş, bununla birlikte sağ üst köşede 28 cm^2 alanında bir ezilme görülmüştür. Benzer şekilde sol alt köşede 20 cm^2 alanında bir ezilme saptanmıştır. Deney elemanı +100 kN yük aldığında (+75 mm deplasman) sağ alt köşede 30 cm^2 alanında 50 mm derinliğinde bir ezilme oluşmuş, yaklaşık 40 cm x 40 cm boyutlarındaki bölgenin sıvası dökülmüştür. Bunun yanında sol alt köşeden 30 cm yukarda ve sağ üst köşeden 30 cm aşağıda diyagonal çatlak gelişmiştir. Benzer şekilde bu çatlağın 15 cm altında, 3mm genişliğinde, boyu 65 cm olan ikinci bir çatlak gelişmiştir. +70 kN yük altında (+84 mm deplasman) sol üst köşeden 30 cm aşağıda başlayıp 20^o eğimde duvar ortasını bulan 2.5 mm genişliğinde ilerleyen bir derz çatlağı oluşmuştur. Deney elemanına +73 kN yanal yük uygulandığında (+115 mm deplasman) arka yüzde ezilme ve tuğlalarda kırılma meydana gelmiş ve +136 mm deplasman (+3.8 kN yük) seviyesinde deney sonlandırılmıştır.

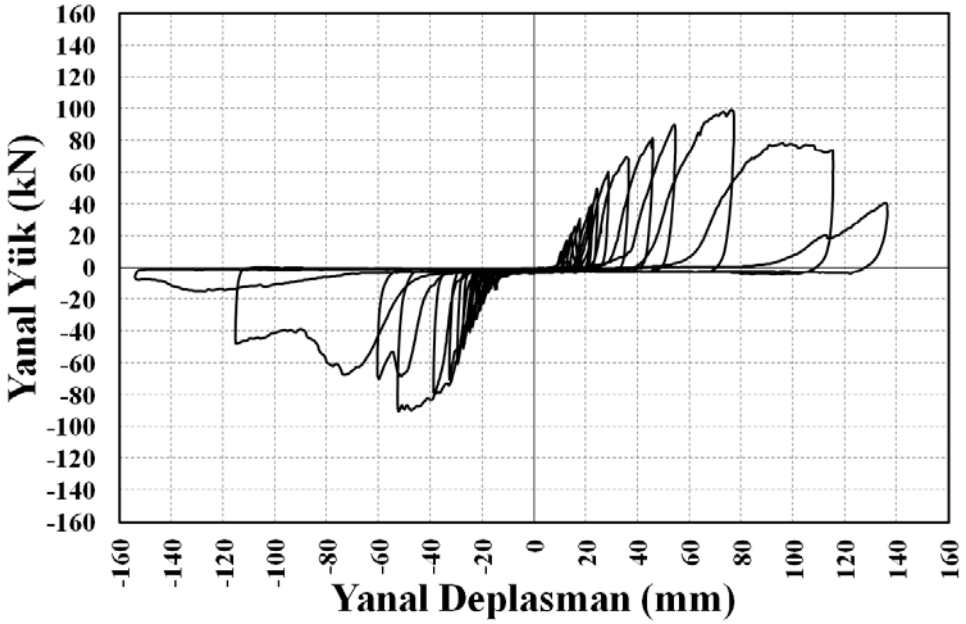
SP-HA-2.5 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +99.6 kN ve -89.8 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +77.2 mm ve –52.7 mm olarak kayıt edilmiştir. SP-HA-2.5 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.49'da, deplasman geçmişi Şekil 3.50'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.51'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.52'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.53 ve Şekil 3.54'de verilmiştir.



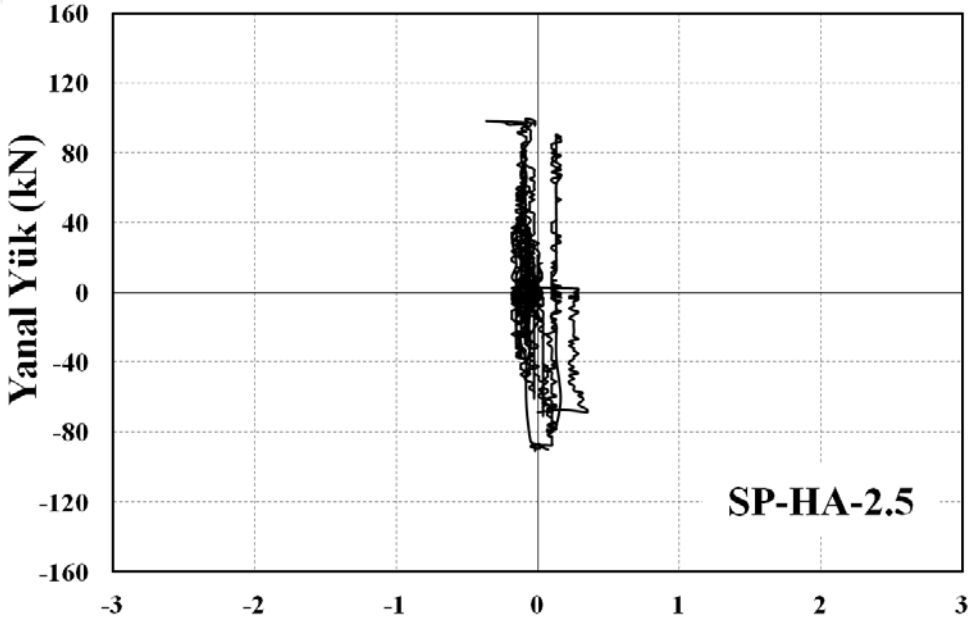
Şekil 3.49. Yük Geçmişi – SP-HA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.50. Deplasman Geçmişi – SP-HA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.51. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SP-HA-2.5)



Şekil 3.52. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SP-HA-2.5)



Şekil 3.53. SP-HA-2.5 – Deney Öncesi



Şekil 3.54. SP-HA-2.5 – Deney Sonrası

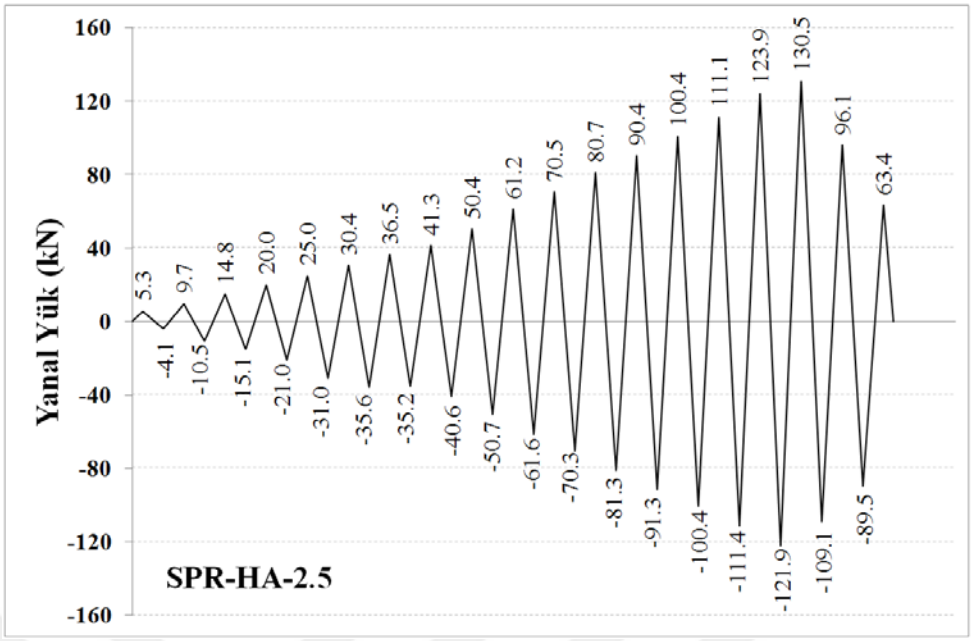
3.1.10. SPR-HA-2.5 Deney Elemanı

SPR-HA-2.5 deney elemanı şerit biçimindeki betonarme plakalarla ve 20 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

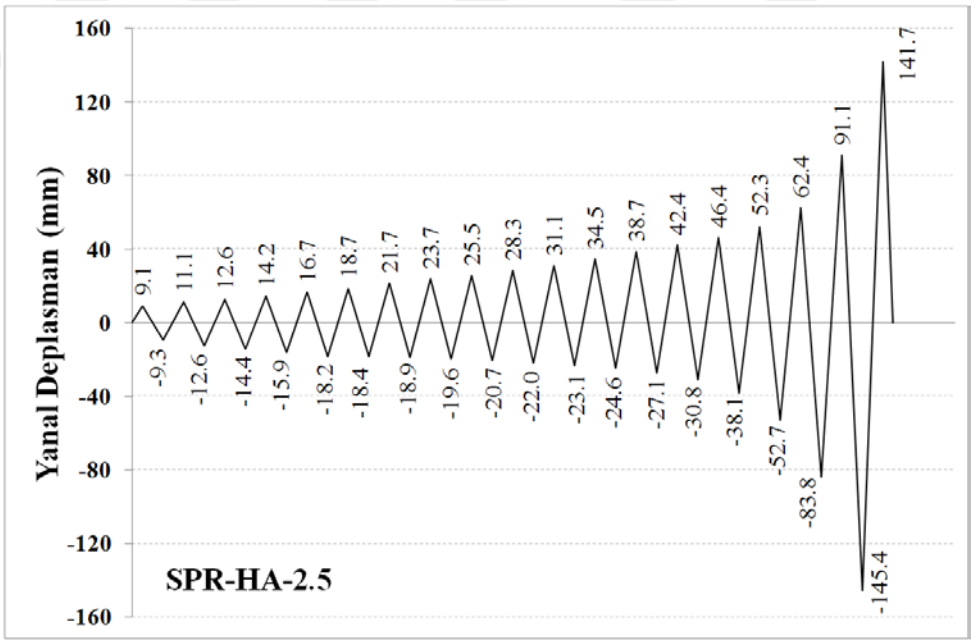
Deney elemanına -20 kN yük uygulandığı esnada (-15 mm deplasman) sağ üst köşede hafif bir çatlama meydana gelmiştir. +25 kN yük ve +15 mm deplasman seviyesinde sol üst köşede benzer şekilde hafif bir çatlama gözlemlenmiştir.

+70 kN yük ve +30 mm deplasman seviyesinde, yük doğrultusundaki köşe plakada ezilme belirtisi gözlemlenmiştir. +90 kN yük seviyesinde (+37 mm deplasman), yük doğrultusundaki köşelerde sınırlı bir ezilme gözlemlenmiştir. -90 kN yük ve -27 mm deplasman seviyesinde deney elemanının arka yüzeyinin oldukça hasarsız olduğu gözlemlenmiştir. Deney elemanına +100 kN yük uygulandığı esnada (+41 mm deplasman) yük doğrultusundaki köşelerde hafif ezilmeler gözlemlenmiştir. +110 kN yük ve +45 mm deplasman seviyesinde plaka eksenlerine dik doğrultularda çatlaklar gözlemlenmiştir. Bu esnada, tüm plakaların sağlam olduğu ve köşelerde hafif ezilmelerin olduğu görülmüştür. +120 kN yük ve -54 mm deplasman seviyesinde sağ üst köşe içerisindeki hasır donatıda burkulma meydana gelmiştir. -110 kN yük seviyesinde (-83 mm deplasman) deney elemanının arka yüzeyinde, yaklaşık orta bölgede yatayla 20^{o} açılı çatlak gelişmiştir. +90 kN yük ve +90 mm deplasman seviyesinde deney elemanının arka yüzeyinin sıvasının ve tuğlalarının hasar görmesinden dolayı dayanımda kayıp oluşmuş olup, plakalarda herhangi bir hasar görülmemiştir. Bu esnada deney sonlandırılmıştır.

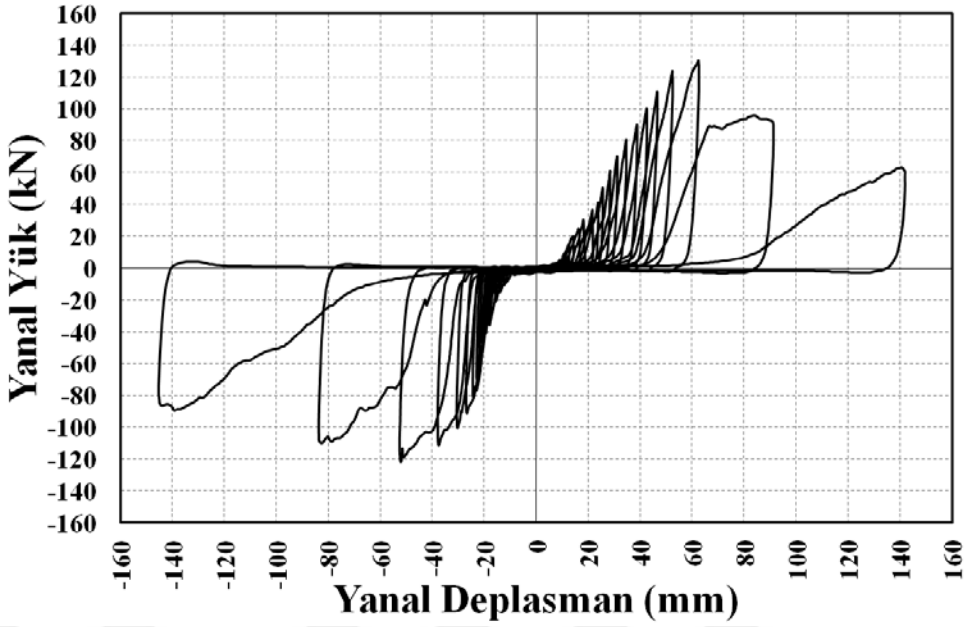
SPR-HA-2.5 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +130.5 kN ve -121.9 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +62.4 mm ve –52.7 mm olarak kayıt edilmiştir. SPR-HA-2.5 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.55'de, deplasman geçmişi Şekil 3.56'da, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.57'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.58'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.59 ve Şekil 3.60'da verilmiştir.



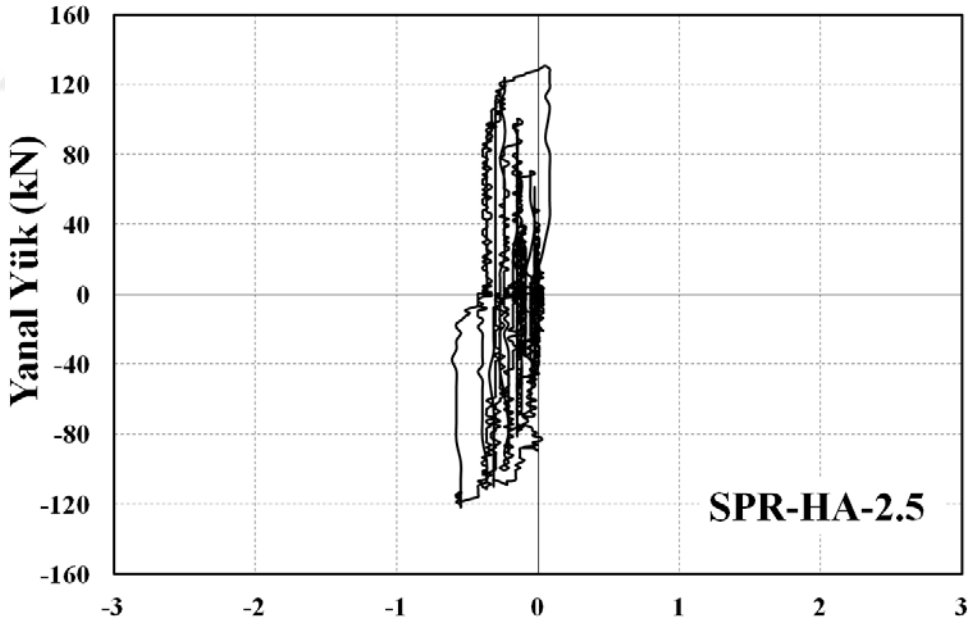
Şekil 3.55. Yük Geçmişi – SPR-HA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.56. Deplasman Geçmişi – SPR-HA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.57. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-HA-2.5)



Şekil 3.58. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-HA-2.5)



Şekil 3.59. SPR-HA-2.5 – Deney Öncesi



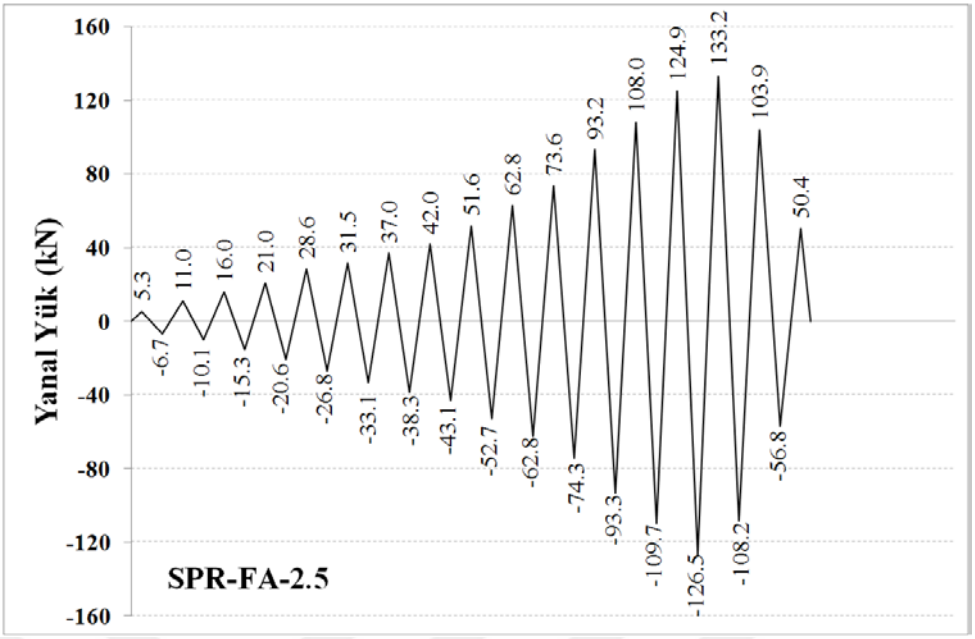
Şekil 3.60. SPR-HA-2.5 – Deney sonrası

3.1.11. SPR-FA-2.5 Deney Elemanı

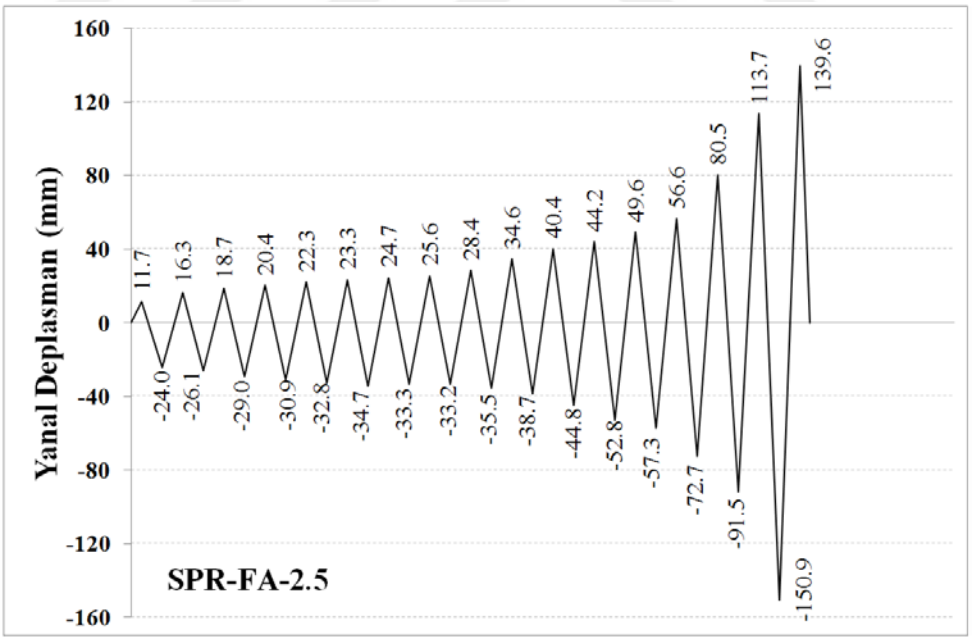
SPR-FA-2.5 deney elemanı şerit biçimindeki betonarme plakalarla ve 40 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

+25 kN yük ve 22 mm deplasman seviyesinde deney elemanının köşelerinde kabuk dökülmesi gözlemlenmiştir. -60 kN yük ve -38 mm deplasman seviyesinde elemanın arka yüzündeki köşelerde sıva kabarması sebebiyle yaklaşık 50 cm^2 alanda tuğlalar açığa çıkmıştır. -70 kN yük ve -45 mm deplasman seviyesinde yük doğrultusundaki köşelerde yaklaşık 50 cm^2 alanda ezilme meydana gelmiştir. -80 kN yük ve -52 mm deplasman seviyesinde köşe plakalardaki hasır donatıda burkulma meydana gelmiştir. +90 kN yük ve +49 mm deplasman seviyesinde en sağ plakanın sağ yüzü boyunca beton ve donatıda ezilme oluşmuştur. -100 kN yük ve -72 mm deplasman seviyesinde deney elemanının arka yüzeyindeki bazı tuğlalarda ezilmeler oluşmuştur. +110 kN ve 80 mm deplasman seviyesinde en sağ plakada ağır hasar meydana gelmiştir. Bu aşamadan sonra deneye deplasman kontrollü olarak devam edilmiş ve +67 kN yük ve +90 mm deplasman seviyesinde arka yüzeyde, alt sıradaki tuğlanın üst derzinden yatay şekilde ayrılma oluşmuştur. -90 kN yük ve -150 mm deplasman seviyesinde en sağ plaka tamamen düşmüş ve +140 mm deplasman seviyesinde deney sonlandırılmıştır.

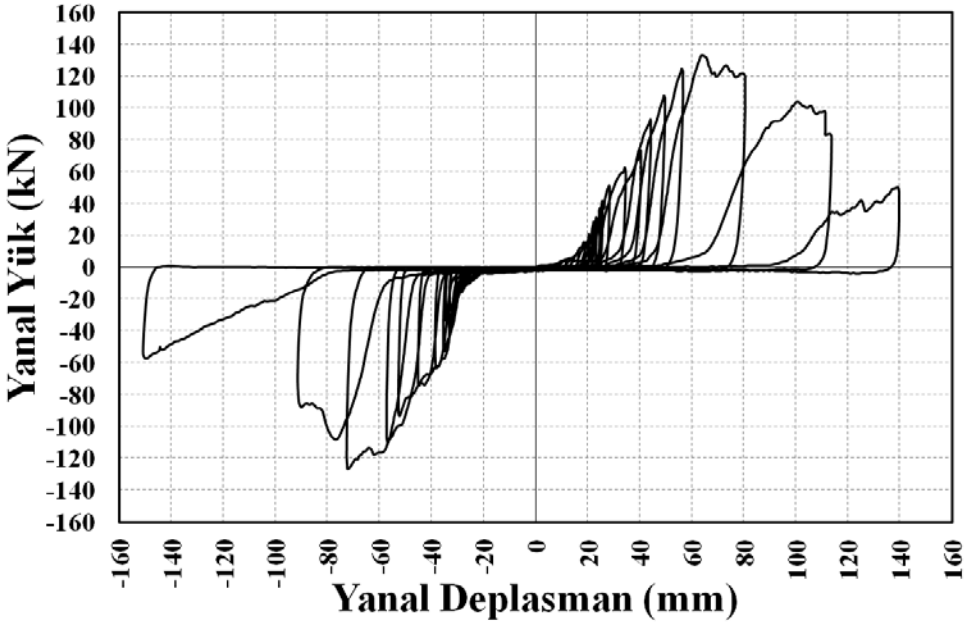
SPR-FA-2.5 deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +133.2 kN ve -126.5 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +80.5 mm ve –72.7 mm olarak kayıt edilmiştir. SPR-FA-2.5 deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.61'de, deplasman geçmişi Şekil 3.62'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.63'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.64'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.65 ve Şekil 3.66'da verilmiştir.



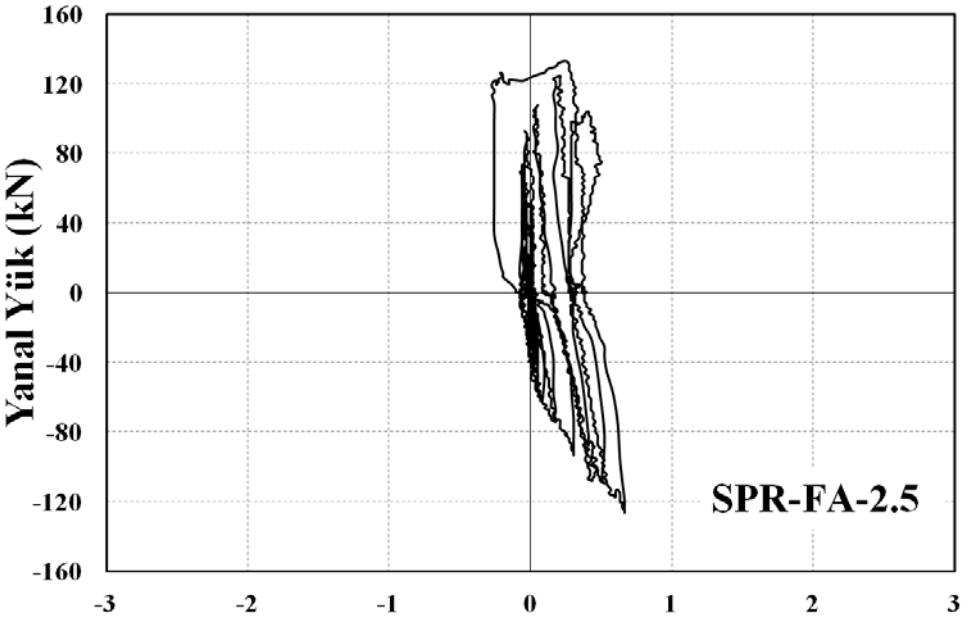
Şekil 3.61. Yük Geçmişi – SPR-FA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.62. Deplasman Geçmişi – SPR-FA-2.5 Deney Elemanı



Şekil 3.63. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-FA-2.5)



Şekil 3.64. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-FA-2.5)



Şekil 3.65. SPR-FA-2.5 – Deney Öncesi



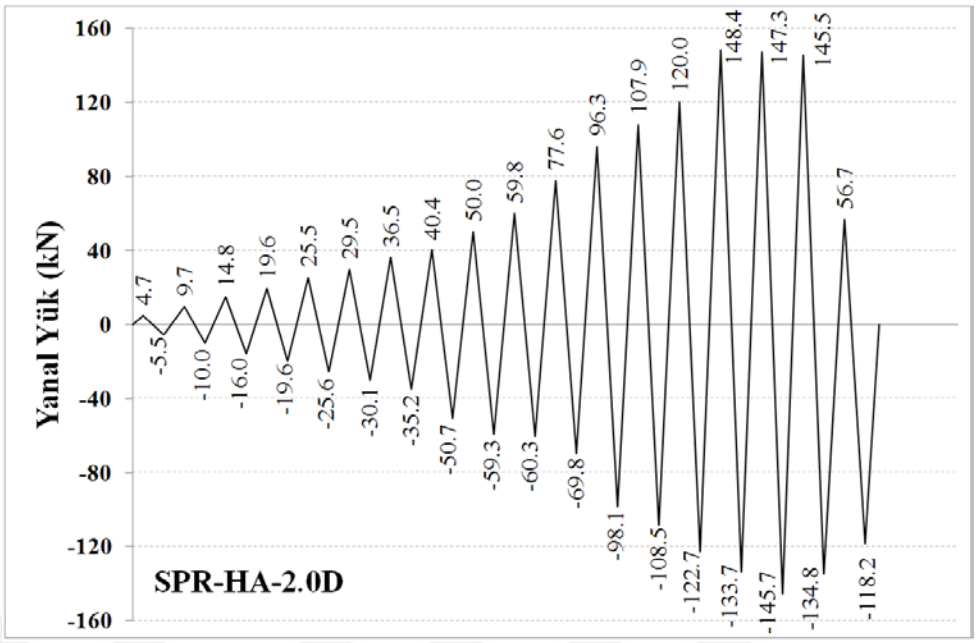
Şekil 3.66. SPR-FA-2.5 – Deney Sonrası

3.1.12. SPR-HA-2.0D Deney Elemanı

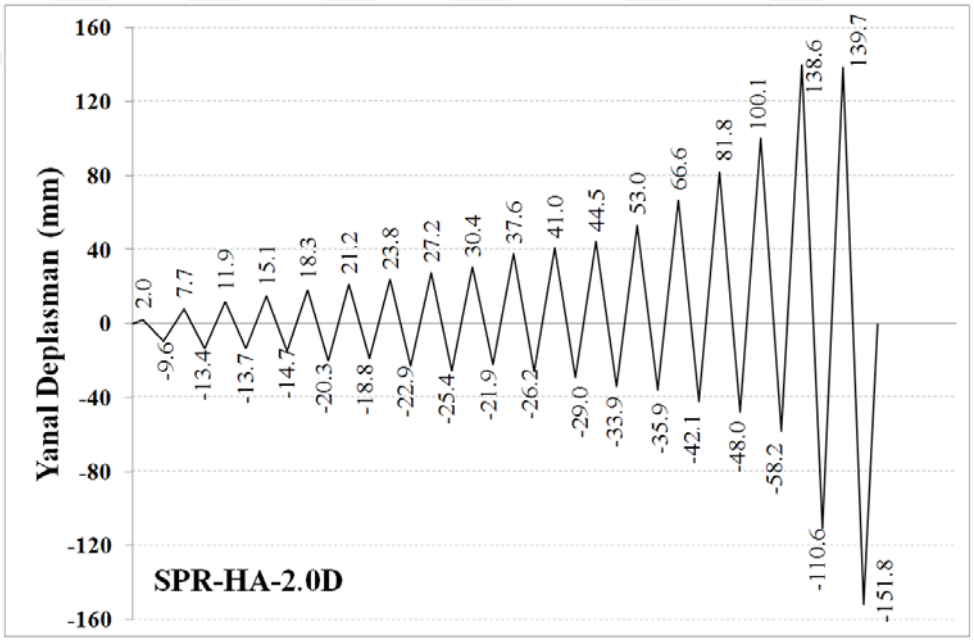
SPR-HA-2.0D deney elemanı, dolgu duvarın her iki tarafından yapıştırılan şerit biçimindeki betonarme plakalarla ve 20 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

Deneye 5 kN yük artırımıyla başlanmıştır. 40 kN'a kadar bu artışla devam edilmiştir. Deney elemanı +20 kN yük aldığında (+15 mm deplasman) sol üst köşedeki plakada kabuk dökülmesi gözlemlenmiştir. -35 kN yük ve -22 mm deplasman seviyesinde, sol üst köşedeki plakadaki ezilme yüzeyi genişlemiştir. +50 kN yük ve +30 mm deplasman seviyesinden itibaren çelik çerçeve, her iki tarafı da plakalarla güçlendirilmiş deney elemanından daha dar olduğu için, çelik çerçeve arka yüzeydeki plakalara yük aktaramamıştır. -80 kN yük ve -33 mm deplasman seviyesinde, köşe plakalarda ezilmeden dolayı beton kabuklarında dökülmeler gözlemlenmiştir. -90 kN yüke kadar hasar düzeyi oldukça sınırlı kalmış, yalnızca plaka köşelerinde önemsenmeyecek ezilmeler olmuştur. +120 kN yük ve +100 mm deplasman seviyesinde sol üst köşe plakada yaklaşık 40 cm^2 büyüklüğünde ezilme gözlemlenmiş, ancak hasır donatının hala çelik çerçeveye iyi bir direnç gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu esnada tüm plakalar derzlerinden ayrılmıştır. -120 kN yük ve -58 mm deplasman seviyesinde iç basınç etkisiyle sağ alt plakada dışa doğru kabarma oluşmuştur. Deney elemanı -32 kN yük aldığında elemanın oldukça başarılı olduğu, dayanımda kayıp olmadığı gözlemlenmiştir. Bu aşamadan sonra hidrolik krikonun piston boyu (strok) yeterli olmadığı için deney sonlandırılmıştır. Arka taraftan bakılınca bu yüzeyde 3 plaka boyunca yatay, sonraki 5 plaka boyunca yatayla 20^o yapan çatlaklar gözlemlenmiştir.

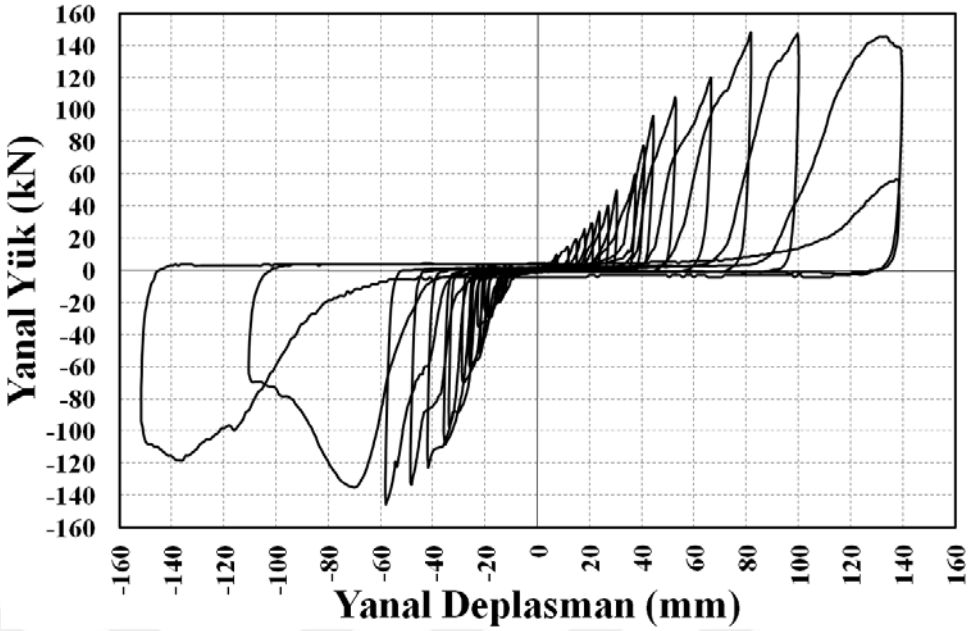
SPR-HA-2.0D deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +148.4 kN ve -145.7 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +81.8 mm ve –58.2 mm olarak kayıt edilmiştir. SPR-HA-2.0D deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.67'de, deplasman geçmişi Şekil 3.68'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.69'da, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.70'de, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.71 ve Şekil 3.72'de verilmiştir.



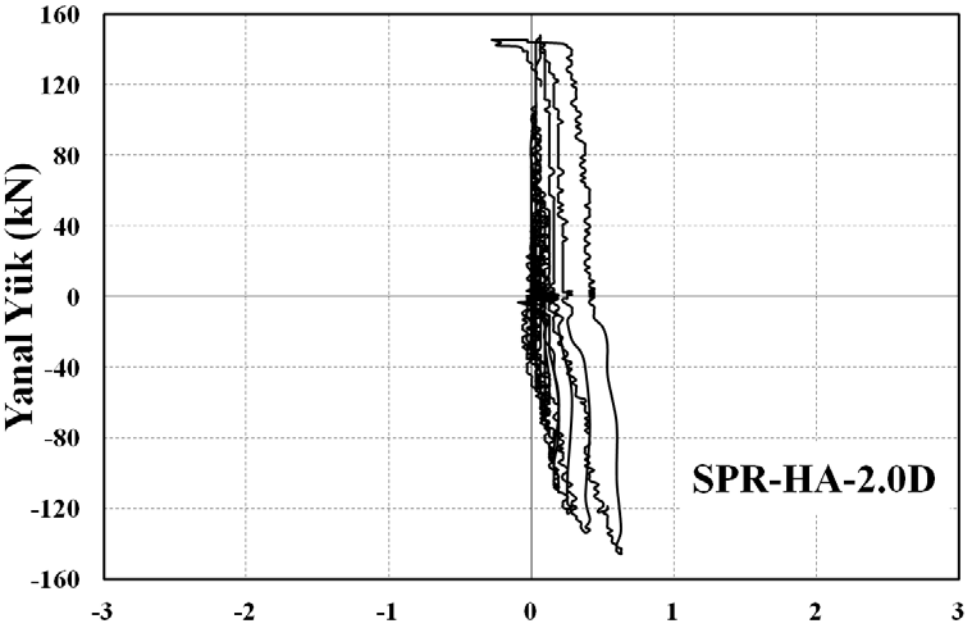
Şekil 3.67. Yük Geçmişi – SPR-HA-2.0D Deney Elemanı



Şekil 3.68. Deplasman Geçmişi – SPR-HA-2.0D Deney Elemanı



Şekil 3.69. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-HA-2.0D)



Şekil 3.70. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-HA-2.0D)



Şekil 3.71. SPR-HA-2.0D – Deney Öncesi



Şekil 3.72. SPR-HA-2.0D – Deney Sonrası

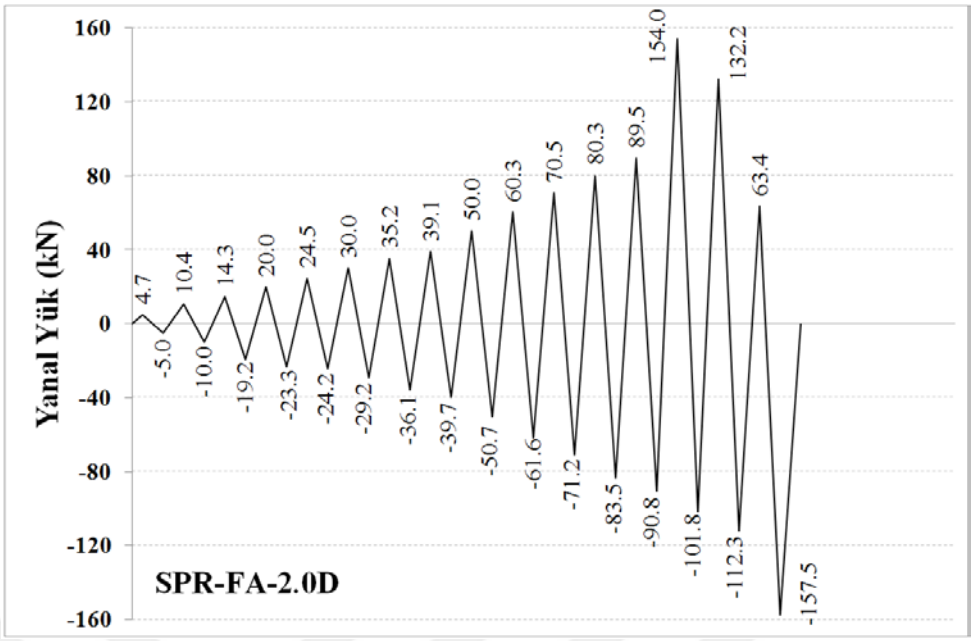
3.1.13. SPR-FA-2.0D Deney Elemanı

SPR-FA-2.0D deney elemanı, dolgu duvarın her iki tarafından yapıştırılan şerit biçimindeki betonarme plakalarla ve 40 adet Φ6 ankraj bulonu kullanılarak güçlendirilmiştir.

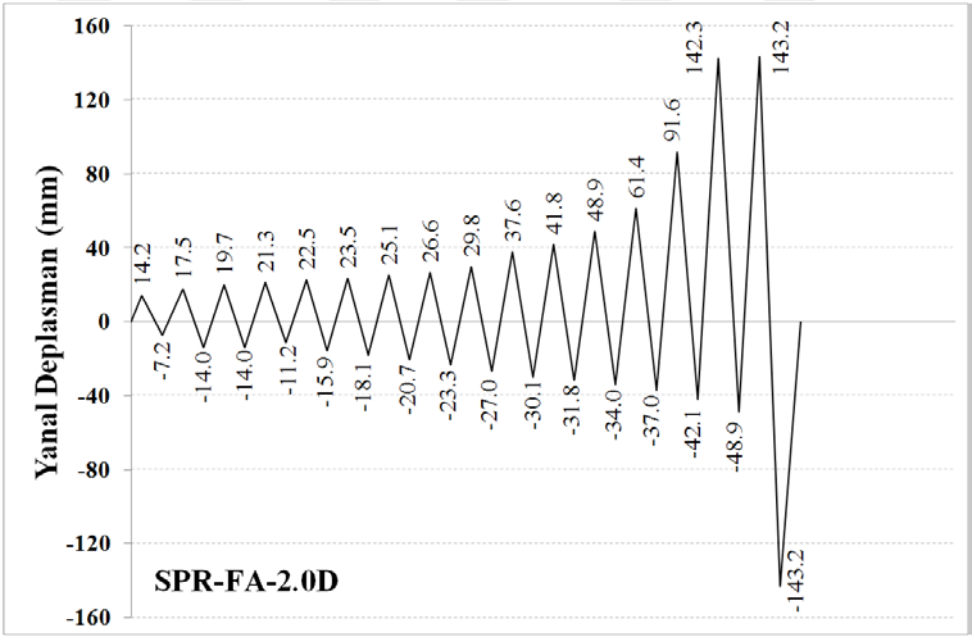
Deneye 5 kN yük artırımıyla başlanmıştır. 40 kN'a kadar bu artışla devam edilmiştir. Deney elemanı -10 kN yük aldığında (-11 mm deplasman) arka üst uçlarda bölgesel kırılmalar gözlemlenmiştir. -40 kN yük ve -23 mm deplasman seviyesinde arka yüzey sol üst köşede 5 cm^2 alanında bir bölgede beton kabuğu dökülmüştür. +80 kN yük ve +40 mm deplasman seviyesinde arka yüzey plaka köşelerinde büyüyen ezilmeler, yükleme doğrultusunda ön sağ plakanın alt köşesinde deformasyon miktarının fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Deneye +90 kN yükten itibaren deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. +142 mm deplasman ve +110 kN yük seviyesinde sağ alt köşedeki plakada 30 cm^2 alanda, düşeyde ezilme belirginleşmiştir. +142 mm deplasman ve +60 kN yük seviyesinde hidrolik krikonun piston boyu (strok) yeterli olmadığı için deney sonlandırılmıştır. Arka yüzeyde sağ üst köşedeki iki plakada hasar oluştuğu ve plakalardaki kabarmalardan dolayı somunların plakaları zımbaladığı gözlemlenmiştir.

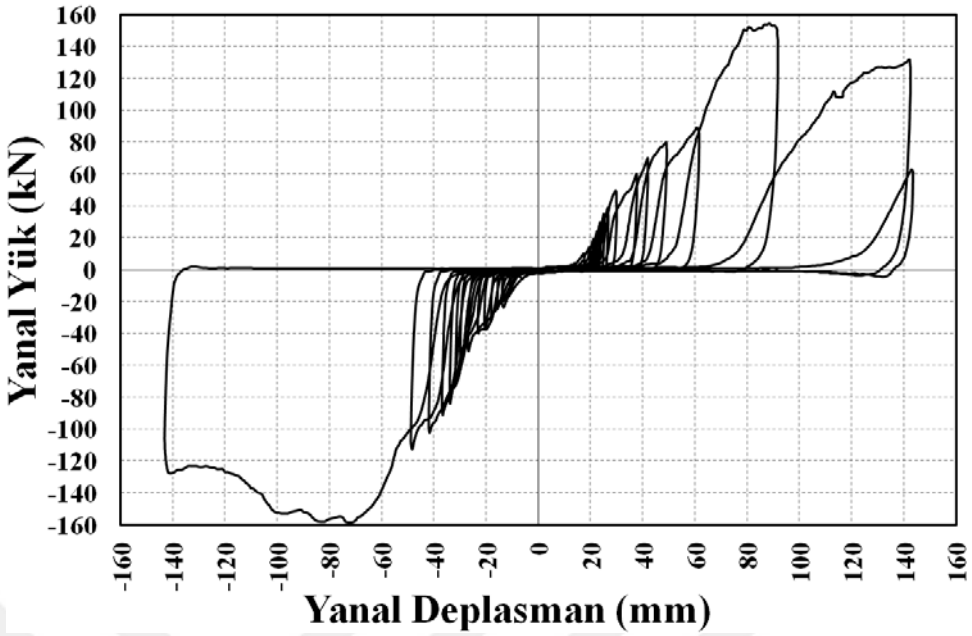
SPR-FA-2.0D deney elemanının taşıyabildiği maksimum yük, ileri ve geri çevrimde sırasıyla +154.0 kN ve -157.5 kN, ve bu yükteki deformasyonlar +91.6 mm ve – 143.2 mm olarak kayıt edilmiştir. SPR-FA-2.0D deney elemanının yük geçmişi Şekil 3.73'de, deplasman geçmişi Şekil 3.74'de, yanal yük – ötelenme grafiği Şekil 3.75'de, yanal yük – kayma deformasyonu grafiği Şekil 3.76'da, deney öncesi ve sonrası fotoğrafları da Şekil 3.77 ve Şekil 3.78'de verilmiştir.



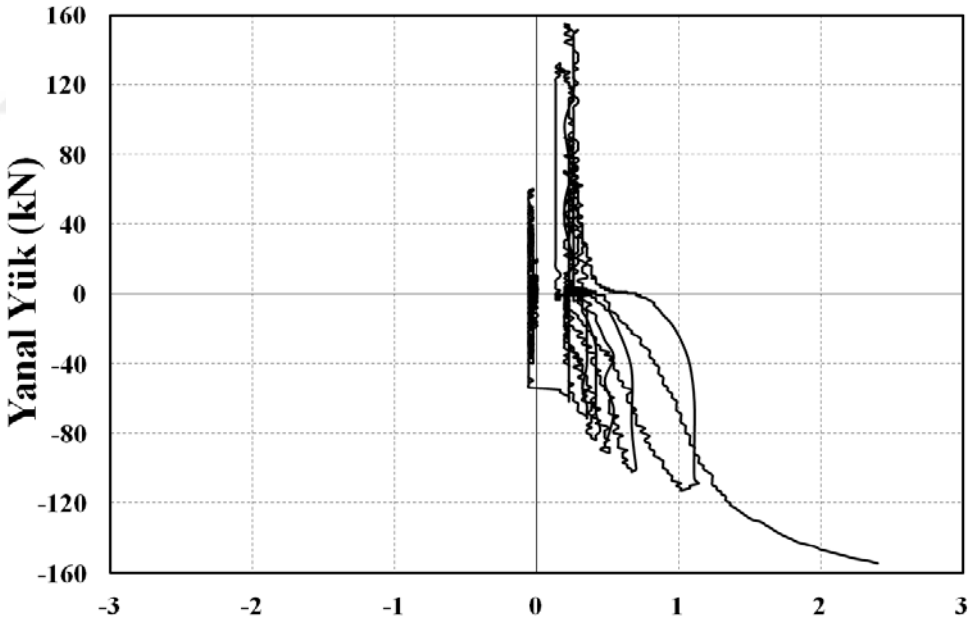
Şekil 3.73. Yük Geçmişi – SPR-FA-2.0D Deney Elemanı



Şekil 3.74. Deplasman Geçmişi – SPR-FA-2.0D Deney Elemanı



Şekil 3.75. Yanal Yük – Ötelenme Grafiği (SPR-FA-2.0D)



Şekil 3.76. Yanal Yük – Kayma Deformasyonu Grafiği (SPR-FA-2.0D)



Şekil 3.77. SPR-FA-2.0D – Deney Öncesi

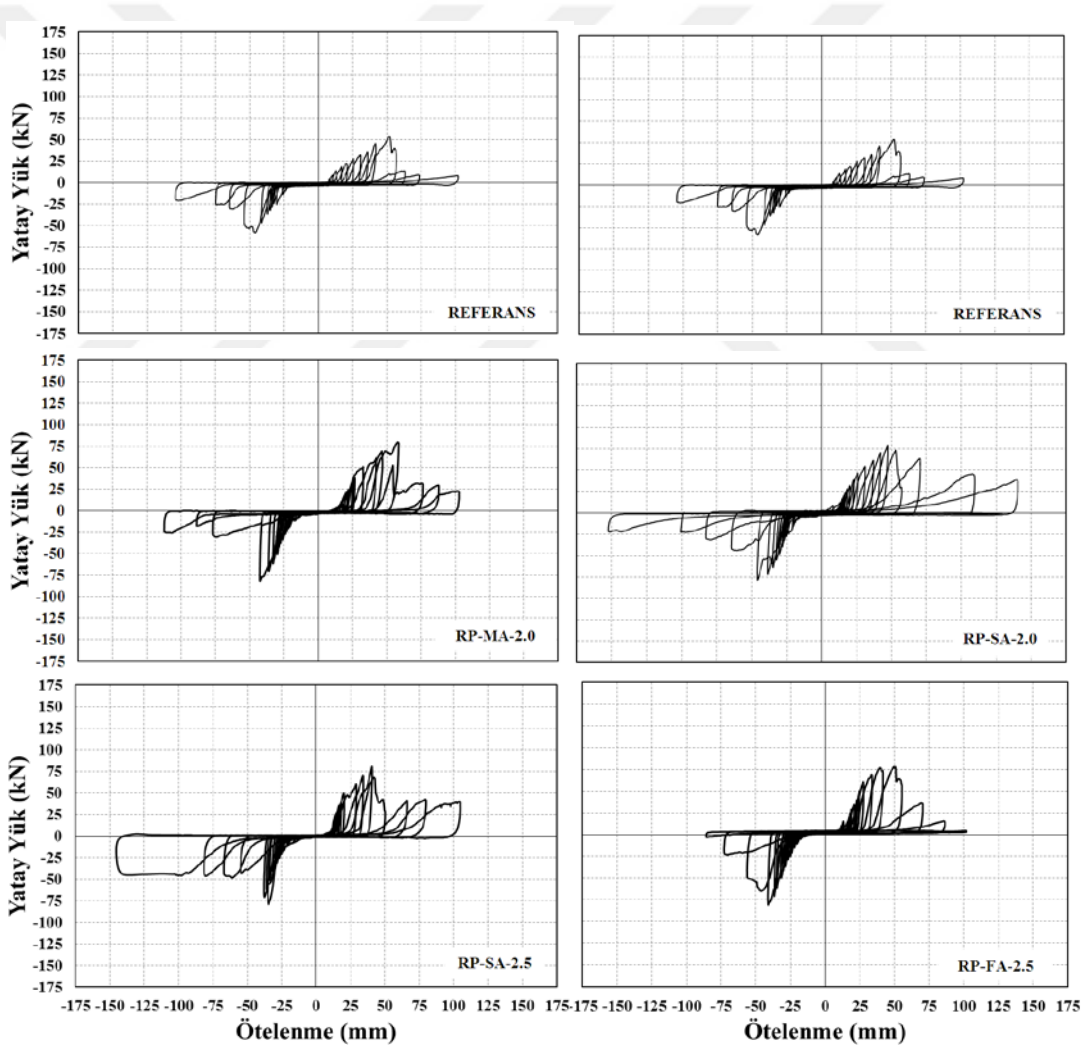


Şekil 3.78. SPR-HA-2.0D – Deney Sonrası

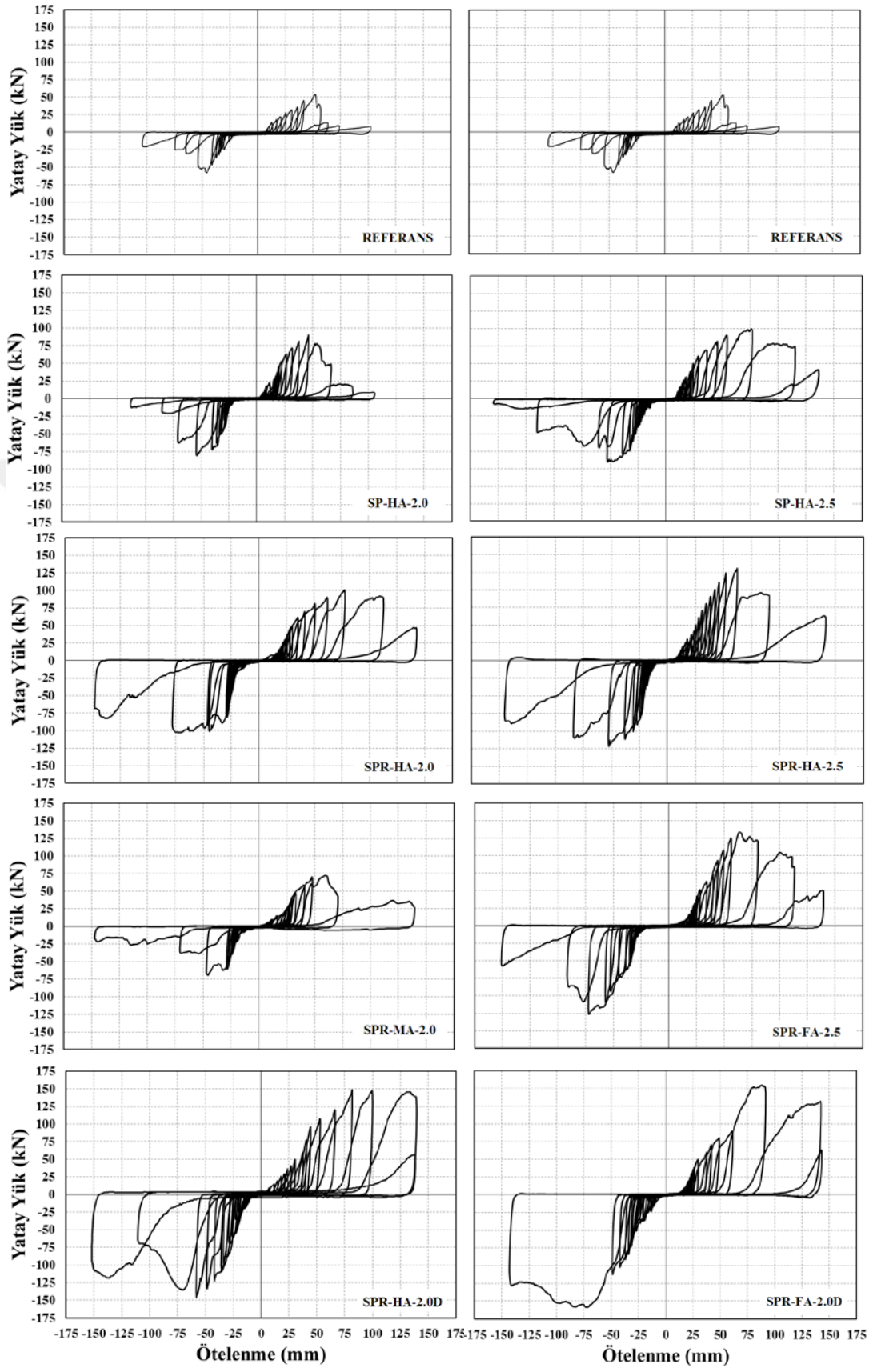
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

4. 1. Genel

Bu bölümde deney sonuçları yanal dayanım, rijitlik, enerji tüketme ve kat ötelenmesi değerleri açısından irdelenecektir. Tüm deney elemanlarının, deney sonuçlarının analizinden elde edilmiş yanal yük–tepe ötelenmesi grafikleri dikdörtgen ve şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanları için sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de, deney sonuçları da Çizelge 4.1'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Deney elemanlarının yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri (Dikdörtgen Plakalar)



Şekil 4.2. Deney elemanlarının yatay yük-tepe deplasmanı grafikleri (Şerit Plakalar)

Çizelge 4.1. Test Sonuçlarının Özetlenmesi

Deney Eleman	Harç ve Sıva Day. (MPa)	Plaka Geo.	Plaka Tipi	Plaka Kal. (mm)	Plaka Day. (MPa)	Plaka Donatısı	Φ6 Bulon Sayısı	İleri Yükleme		Geri Yükleme		İlk Rijitlik (kN/mm)	Toplam Dağ. Enerji (kN.m)	Süneklik
								Maks. Yük (kN)	1^{a}Kat Seviyesi Ötelenmesi (mm)	Maks. Yük (kN)	1^{a}Kat Seviyesi Ötelenmesi (mm)			
Referans	1.7	-	-	-	-	-	-	53.4	52.3	57.9	46.0	2.30	6.8	1.10
RP-MA-2.0	1.7	Dikd.	Tip1	20	21.0	-	4	79.8	57.9	82.0	42.5	2.55	10.8	1.30
RP-SA-2.0	2.3	Dikd.	Tip1	20	12.9	-	24	78.7	47.2	78.7	46.0	2.90	15.5	1.48
RP-SA-2.5	2.4	Dikd.	Tip1	25	17.2	-	24	80.7	40.6	79.0	34.6	3.00	14.3	1.27
RP-FA-2.5	2.5	Dikd.	Tip1	25	21.0	-	16	78.1	50.7	80.7	41.0	2.70	9.4	1.61
SP-HA-2.0	2.5	Şerit	Tip 2	20	12.9	-	22	90.0	46.3	80.9	53.9	2.50	11.5	1.51
SPR-MA-2.0	2.2	Şerit	Tip 3	20	14.6	Φ2/25	4	71.4	61.2	68.9	45.7	4.00	12.9	1.66
SPR-HA-2.0	1.8	Şerit	Tip 4	20	25.8	Φ2/25+2–Φ5	20	100.5	77.5	102.7	70.6	3.20	23.7	2.11
SP-HA-2.5	1.8	Şerit	Tip 2	25	17.2	-	22	99.6	76.2	90.7	52.3	3.70	19.5	1.81
SPR-HA-2.5	2.5	Şerit	Tip 3	25	23.4	Φ2/25	20	130.5	62.2	121.9	52.3	3.40	25.1	1.46
SPR-FA-2.5	2.6	Şerit	Tip 4	25	23.6	Φ2/25+2–Φ5	40	133.2	63.5	130.6	71.3	3.45	26.0	1.61
SPR-HA-2.0D	1.8	Şerit	Tip 3	20	22.1	Φ2/25	20	148.4	81.7	145.7	58.0	4.80	38.9	1.98
SPR-FA-2.0D	1.7	Şerit	Tip 3	20	23.7	Φ2/25	40	154.0	89.5	157.5	74.0	5.20	34.3	1.78

4. 1. 1. Zarf Eğrileri

Deney elemanlarının dayanım karakteristikleri ve özellikleri, oluşturulan zarf eğrilerinin yardımıyla değerlendirilmiştir. Zarf eğrileri deney elemanlarının tüm ileri ve geri çevrimlerinde ulaştıkları tepe noktalarının birleştirilmesiyle elde edilen yanal yük – tepe deplasmanı eğrileridir. Tüm deney elemanlarının zarf eğrileri Şekil 4.3'de sunulmuştur.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'den görülebildiği üzere, güçlendirilmiş deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasiteleri güçlendirilmemiş referans deney elemanına oranla daha fazla, genel davranışları da belirgin şekilde üstün durumdadır. Deney elemanlarından SP-HA-2.0, SP-HA-2.5 ve SPR-HA-2.5 hariç diğer tüm elemanlar hem ileri hem de denk gelen geri çevrimlerinde aynı yanal yük taşıma kapasitelerini yakalamışlardır. Yukarıda sıralanan bu üç deney elemanında da farklar %10'dan daha küçük kalmıştır. Bu şekilde, tüm deney elemanlarının ileri ve geri çevrimlerinde yakın davranış sergiledikleri kabul edilebilir.

Şekil 4.3'de sunulan grafikteki tüm deney elemanlarının zarf eğrileri incelendiğinde, dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasitelerindeki artış şerit plakalarla güçlendirilen elemanların kapasitelerindeki artışa oranla daha düşük seviyelerde kalmıştır. Tüm deney elemanları içinde, en fazla artış deney elemanı SPR-FA-2.0D'de gerçekleşirken en düşük artış deney elemanı RP-FA-2.5'da gerçekleşmiştir. Genellikle, deney elemanlarının yük taşıma kapasitelerindeki düşüşler dolgu duvarlarla birlikte plakalarda oluşan hasarlardan kaynaklanmıştır. Referans deney elemanı, güçlendirilmiş deney elemanlarına oranla daha erken çevrimlerde hasara uğramış, ve gevrek davranış sergileyerek ani bir şekilde hasara uğramıştır. Referans deney elemanı üzerindeki hasar dolgu duvarın köşelerinde ezilme ile birlikte diyagonal çatlağın oluşması şeklinde olmuştur. Deney sonlarında hasar köşelerde kırılma şeklinde yoğunlaşmıştır. Mevcut sıvanmış tuğla dolgu duvarının üzerine beton/BA plakaların yapıştırılarak ve bulonlar yardımıyla sabitlenerek güçlendirilmesi deney elemanlarının yapısının daha uzun süre monolitik

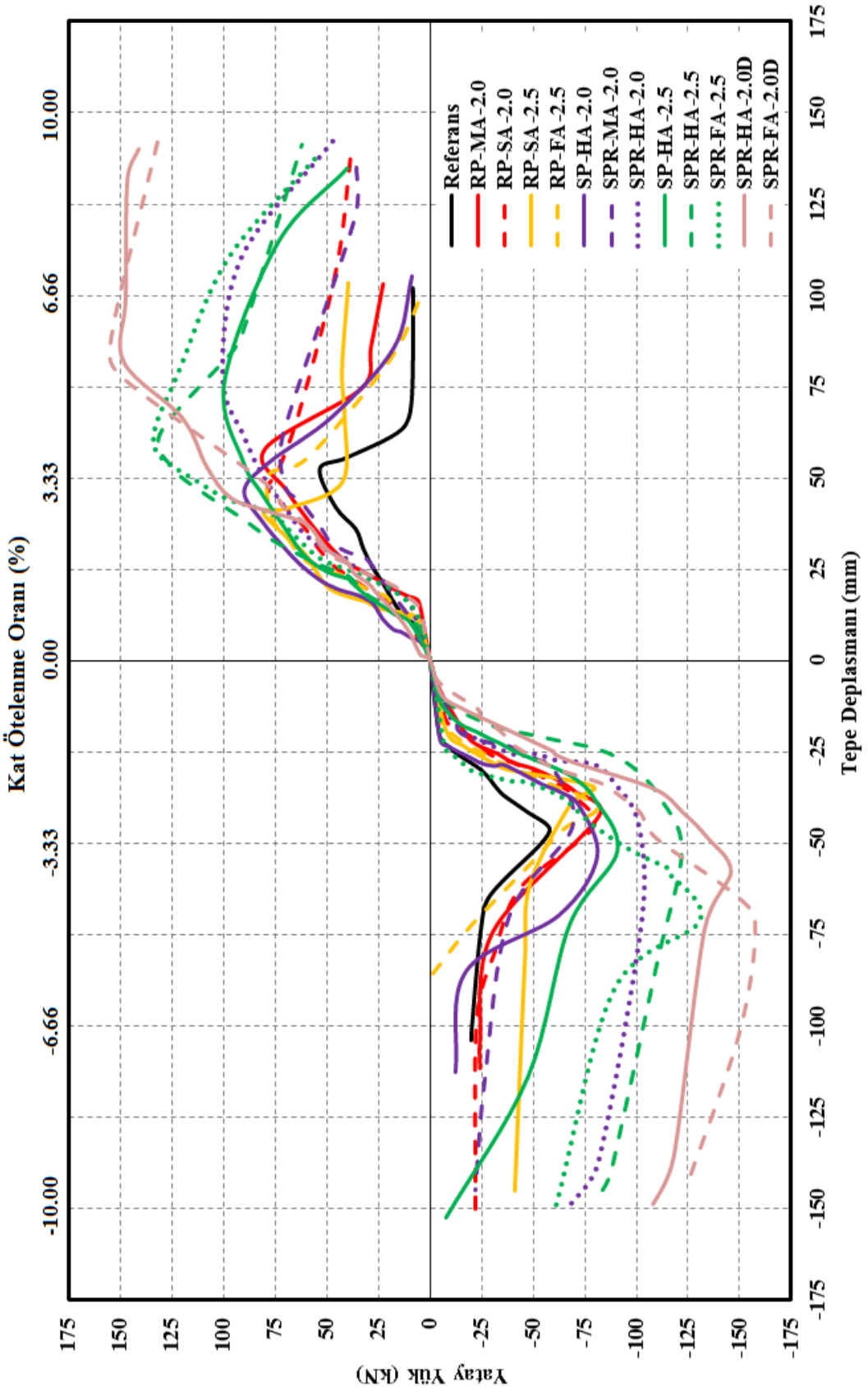
olarak kalmasını sağlamıştır ve bu yüzden güçlendirilmiş tüm deney elemanlarının testleri daha fazla ileri ve geri çevrimlere daha rahat ulaşmıştır, ki bu da güçlendirme yönteminin deney elemanlarının davranışını sünek hale getirdiği anlamına gelir. Üstelik güçlendirilmiş deney elemanlarının bazılarının köşelerinde plakaların içine ek donatılar yerleştirilmemesine rağmen testler esnasında köşelerde daha geç ezilme ve dökülme meydana gelmiştir. Bu testlerde dahi donatısız yalın plakalar köşelerde az da olsa sargılama etkisi yapmıştır.

Beton plakalarla güçlendirilmiş tüm deney elemanları daha yüksek kat ötelenmelerine ulaştıkları halde plakalar çatlayıp kırıldıktan sonra deney elemanları monolitik yapılarını kaybetmişler ve sıvanmış tuğla dolgu duvarlarla birlikte plakalar da dökülmüşlerdir. Donatılandırılmış şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında plaka kırılması ve duvarla birlikte dökülmesi çok daha az miktarda ve de geç meydana gelmiştir. Plaka donatıları plaka kırılmalarını engellemişlerdir. Köşe plakalarda hasır çelikle birlikte ekstra 2-Φ5 donatı kullanılan SPR-HA-2.0 ve SPR-FA-2.5, SPR-FA-2.5 ve çift taraflı plakalarla güçlendirilen SPR-HA-2.0D deney elemanlarında köşelerde minimum hasar gözlemlenmiştir. Ek donatılar köşelerin bütünlüğünü korumuş, çift taraflı plakaların köşeleri sargı etkisi ile bu elemanlar minimum hasar almıştır. Plakaların deney sonrası görüntüleri Şekil 4.2b'de gösterilmiştir.





Şekil 4.2b. Plakaların Deney Sonrası Görüntüleri



Şekil 4.3. Tüm Deney Elemanlarının Zarf Eğrileri

4. 1. 2. Dayanım ve Davranış

Bir rehabilitasyon yönteminin iyileştirme performansını belirleyen en önemli parametrelerden bir tanesi yanal yük taşıma kapasitesine sağladığı katkıdır. Dayanım özelliklerinin değerlendirilebilmesi için tüm deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasiteleri Çizelge 4.2'de verilmişlerdir.

Çizelge 4.2. Deney Elemanlarının Yanal Yük Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Deney Elemanı	**Maksimum Yük (İleri Çev.) (kN)**	**Referans Deney Elemanın Değerine Oranı**	**Maksimum Yük (Geri Çev.) (kN)**	**Referans Deney Elemanın Değerine Oranı**
Referans	53.4	***1.00***	57.9	***1.00***
RP-MA-2.0	79.8	***1.49***	82.0	***1.42***
RP-SA-2.0	78.7	***1.47***	78.7	***1.36***
RP-SA-2.5	80.7	***1.51***	79.0	***1.36***
RP-FA-2.5	78.1	***1.46***	80.7	***1.39***
SP-HA-2.0	90.0	***1.69***	80.9	***1.40***
SP-HA-2.5	99.6	***1.87***	90.7	***1.57***
SPR-MA-2.0	71.4	***1.34***	68.9	***1.19***
SPR-HA-2.0	100.5	***1.88***	102.7	***1.77***
SPR-HA-2.5	130.5	***2.44***	121.9	***2.11***
SPR-FA-2.5	133.2	***2.49***	130.6	***2.26***
SPR-HA-2.0D	148.4	***2.78***	145.7	***2.52***
SPR-FA-2.0D	154.0	***2.88***	157.5	***2.72***

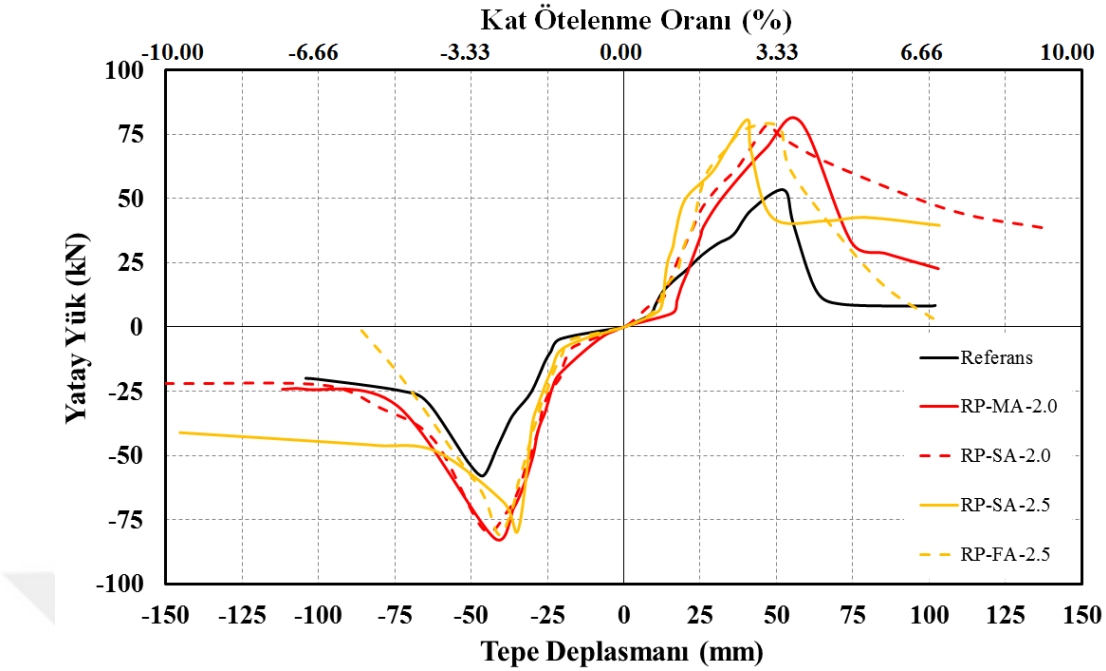
Tüm deney elemanlarının Tablo 4.2'de verilen yanal yük kapasiteleri (ileri ve geri çevrimler için) incelendiğinde mevcut sıvanmış tuğla dolgu duvarının üzerine beton/BA plakaların yapıştırılarak ve bulonlar yardımıyla sabitlenerek güçlendirildiği deney elemanları referans deney elemanına oranla 1.46 kat – 2.88 kat arasında

değişen oranlarda daha yüksek yanal yük taşımışlardır. Dikdörtgen plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında yanal yük taşıma kapasitesindeki artış Referans deney elemanına oranla, yaklaşık 1.50 kat olurken artış oranı şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında 1.34 kat – 2.88 kat arasında değişen oranlarda gerçekleşmiştir. Dayanım artırımında şerit plakaların dikdörtgen plakalara oranla daha etkili çalıştığı rahatça gözlemlenebilse de, en düşük dayanım artışı şerit plakalarla güçlendirilmiş SPR-MA-2.0 deney elemanında oluşmuştur. Bu durum dayanım artışında başlıca iki önemli etken olan ankraj bulonu sayısı ve plaka betonu basınç dayanımına bağlanabilir. SPR-MA-2.0 deney elemanındaki çok sayıda şerit plakanın özellikle sadece 4 adet ankraj bulonuyla sabitlenmesi deney elemanının yanal yük taşıma kapasitesindeki artışı oldukça sınırlandırmıştır. Şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasitesinin artmasında ankraj bulon sayısı çok önemli bir değişken iken bu durum dikdörtgen plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında fazla bir değişiklik yaratmamıştır. Çünkü dolgu duvar – plaka kompozit davranışında monolitiklik şerit plakalarla daha iyi yakalanmıştır. Dikdörtgen plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında plakalar arasında bulunan yatay derzlerin çatlayarak monolitik davranışın erken sonlanmasına neden olarak genel davranışı negatif etkilediği gözlemlenmiştir. Elbette ki fazla ankraj bulon sayısı yanal dayanım kapasitesinin olumlu etkilenmesinde en önemli değişkenlerden biri olsa da tek değişken değildir. Özellikle plaka kalınlığı ve plakanın donatılandırılması da önemli değişkenlerdir. Şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarından daha kalın veya çift taraflı plakalarla güçlendirilmiş elemanlar daha yüksek yanal dayanım kapasitelerine ulaşmışlardır. Ayrıca, şerit plakaların hasır çelikle donatılandırılıp özellikle her iki yanlarından boyuna donatı ile desteklenmesi plakaların ileri çevrim seviyelerinde çelik çerçeveye direnip aşırı ezilmelerini engellemiştir. Plaka kalınlığının artmasının eleman dayanımı üzerindeki olumlu etkisinin ancak plakalar duvara yeterli sayıda bulon aracılığıyla sabitlendiği zaman, yani plakalar ile dolgu duvar bir bütün olarak davrandığı zaman (kompozit etki) ortaya çıktığını göstermektedir. Eğer kalın plakalar yeterli olmayan sayıda ankraj bulonu ile sabitlenirse, plakaların duvardan daha çabuk ayrılması ve güçlendirme işleminin hedeflenen etkinliğe ulaşamayacağı düşünülmektedir.

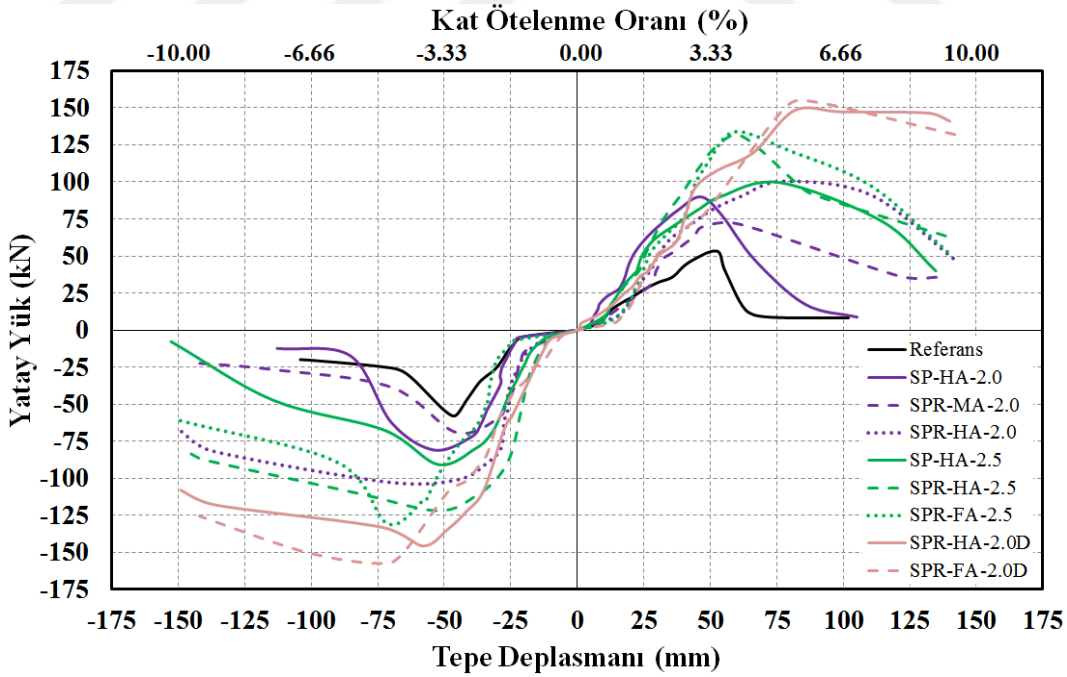
Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'den de görülebileceği üzere, güçlendirilmiş deney elemanlarının davranışı da, yanal yük taşıma kapasitesinin artışı yanında, olumlu etkilenmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının yük-deplasman grafiklerindeki çevrim alanları, referans deney elemanının alanlarına oranla, daha geniştir, ki bu durum da enerji tüketim kapasitesindeki artışla sonuçlanmaktadır.

Deney elemanlarının üzerlerine herhangi bir eksenel yük uygulanmaması, gerçekteki uygulamada sıvanmış tuğladan oluşan bölme duvarların üzerlerinde yük olmamasından dolayı uygulamayı daha gerçekçi yansıtacak ve bu durum deney sonuçlarının lehine olacaktır.

Bu çalışmada deney elemanları iki ayrı geometrik şekle sahip plakalarla güçlendirilmişlerdir; şerit ve dikdörtgen plakalar. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de bu iki tip plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının zarf eğrileri ayrı ayrı gruplar halinde verilmiştir. Şekil 4.4'de verilen zarf eğrileri ve Çizelge 4.2'deki değerler ayrıntılı incelendiğinde, tüm dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasiteleri hem ileri hem de geri çevrimlerde birbirlerine yakın çıkmışlardır. Daha fazla ankrajı bulonu ya da daha kalın plaka kullanımının yanal yük taşıma kapasitesi üzerinde, bu tip plaka ile güçlendirildiğinde, etkisi olmamıştır. Bu durum, dikdörtgen plakaların arasında yer alan derzlerdeki fayans yapıştırıcısının çatlayarak daha fazla yük taşıyamamasından kaynaklanan plaka göreli ötelenmelerinin fazla olmasına bağlanabilir. Dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarında, özellikle dikey olmak üzere her iki doğrultuda yer alan komşu plakalar arasında fazla miktarda göreli kayma ötelenmeleri oluşmuştur. Bu durum, dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının testlerinde bulon sayısı ve plaka kalınlığının yanal dayanım üzerinde fazla etkisinin olmamasının sebebi olarak açıklanabilir. Dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasiteleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4. 4. Deney Elemanlarının Zarf Eğrilerinin Karşılaştırılması (Dikdörtgen Plakalar)



Şekil 4. 5. Deney Elemanlarının Zarf Eğrilerinin Karşılaştırılması (Şerit Plakalar)

Çizelge 4. 3. Dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasiteleri

Deney Elemanı	Maksimum Yük (İleri Çev.) (kN)	Referans Deney Elemanın Değerine	Maksimum Yük (Geri Çev.) (kN)	Referans Deney Elemanın Değerine
Referans	53.4	***1.00***	57.9	***1.00***
RP-MA-2.0	79.8	***1.49***	82.0	***1.42***
RP-SA-2.0	78.7	***1.47***	78.7	***1.36***
RP-SA-2.5	80.7	***1.51***	79.0	***1.36***
RP-FA-2.5	78.1	***1.46***	80.7	***1.39***

Şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının zarf eğrileri ayrı bir grup olarak Şekil 4. 5'de verilmiştir. Grafikden de anlaşılabileceği üzere, şerit plaka yapıştırılmasının deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasiteleri üzerinde olumlu fakat değişken etkileri olmuştur. Yanal yük taşıma kapasitesindeki artış en fazla deney elemanı SPR-FA-2.0D'de gerçekleşirken, en düşük artış deney elemanı SP-HA-2.0'da gerçekleşmiştir. Bu tip plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında bulon sayısının ve plaka kalınlığının yanal yük taşıma kapasitesi üzerinde etkileri daha belirgindir. Daha kalın şerit plaka kullanımı yatay yük taşıma kapasitesini arttırmıştır. Plaka kalınlığının %25 oranında arttırılması, yani 20 mm'den 25 mm'ye çıkarılması yanal yük taşıma kapasitesini %30'a varan değerlerde arttırmıştır. Bu durum Çizelge 4. 4'de özetlenmektedir.

Her iki tip plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında, değişik sayıda Φ6'lık bulonlar kullanılmıştır. Deney elemanlarında kullanılan bulon sayısı ve yanal yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri Çizelge 4. 5'de verilmiştir.

Çizelge 4. 4. Plaka kalınlığının yanal yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi

İleri Yükleme					Geri Yükleme				
Deney Elemanı	**Maksimum Yük**	**Deney Elemanı**	**Maksimum Yük**	**Oran**	**Deney Elemanı**	**Maksimum Yük**	**Deney Elemanı**	**Maksimum Yük**	**Oran**
RP-SA-2.0	78.7	RP-SA-2.5	80.7	***1.03***	RP-SA-2.0	78.7	RP-SA-2.5	79.0	***1.00***
SP-HA-2.0	90.0	SP-HA-2.5	99.6	***1.11***	SP-HA-2.0	80.9	SP-HA-2.5	90.7	***1.12***
SPR-HA-2.0	100.5	SPR-HA-	130.5	***1.30***	SPR-HA-	102.7	SPR-HA-2.5	121.9	***1.19***

Çizelge 4. 5'de verilen değerler incelendiğinde, dikdörtgen plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının testlerinde bulon sayısının arttırılmasının yanal yük taşıma kapasitesi üzerinde fazlaca bir pozitif etkisinin olmadığı, hatta çok az bir negatif etkisinin olduğu gözlemlenebilir. Fakat, şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında bulon sayısının arttırılmasının etkisi biraz daha belirgin olmuştur. Yanal yükteki artış ortalama 1.45 kat değeriyle en fazla SPR-MA-2.0 & SPR-HA-2.0 çiftinde gözlemlenmiştir. Aslında, SPR-MA-2.0 deney elemanı kendisinden beklenenden daha düşük yanal yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bunun sebebi şerit plakaları sıvaya yapıştırdıktan sonra plakaların sabitlenmesinde çok az sayıda (4 adet) Φ6'lık bulonun kullanılması olarak gösterilebilir. Deneyde, az sayıda bulon kullanılmasından kaynaklı, köşelerde beklenenden erken plaka-sıva ayrılması oluşmuş, plakaları yerinde tutabilecek az sayıda bulon olmasından dolayı plakaların dökülmesinden sonra sıvanmış tuğlalar daha fazla yanal yük taşıyamamıştır. Söz konusu bu deney elemanı çiftindeki artış oranı bu yüzden fazlaca olmuştur. Bu sebeple, plakaların dolgu duvara yapıştırıldıktan sonra yeterli sayıda ankraj bulonu ile sabitlenmesi duvar – plaka kompozit davranışı için zorunlu olarak görünmektedir.

Çizelge 4. 5. Deney elemanlarında kullanılan bulon sayısının yanal yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi

İleri Yükleme					Geri Yükleme				
Deney Elemanı (Bulon Sayısı)	Maksimum Yük	Deney Elemanı & Bulon Sayısı	Maksimum Yük	Oran	Deney Elemanı (Bulon Sayısı)	Maksimum Yük	Deney Elemanı & Bulon Sayısı	Maksimum Yük	Oran
RP-MA-2.0 (4)	79.8	RP-SA-2.0 (24)	78.7	***0.99***	RP-MA-2.0 (4)	82.0	RP-SA-2.0 (24)	78.7	***0.96***
RP-FA-2.5 (16)	78.1	RP-SA-2.5 (24)	80.7	***1.03***	RP-FA-2.5 (16)	80.7	RP-SA-2.5 (24)	79.0	***0.98***
SPR-MA-2.0 (4)	71.4	SPR-HA-2.0 (20)	100.5	***1.41***	SPR-MA-2.0 (4)	68.9	SPR-HA-2.0 (20)	102.7	***1.49***
SPR-HA-2.5 (20)	130.5	SPR-FA-2.5 (40)	133.2	***1.02***	SPR-HA-2.5 (20)	121.9	SPR-FA-2.5 (40)	130.6	***1.07***
SPR-HA-2.0D (20)	148.4	SPR-FA-2.0D (40)	154.0	***1.04***	SPR-HA-2.0D (20)	145.7	SPR-FA-2.0D (40)	157.5	***1.08***

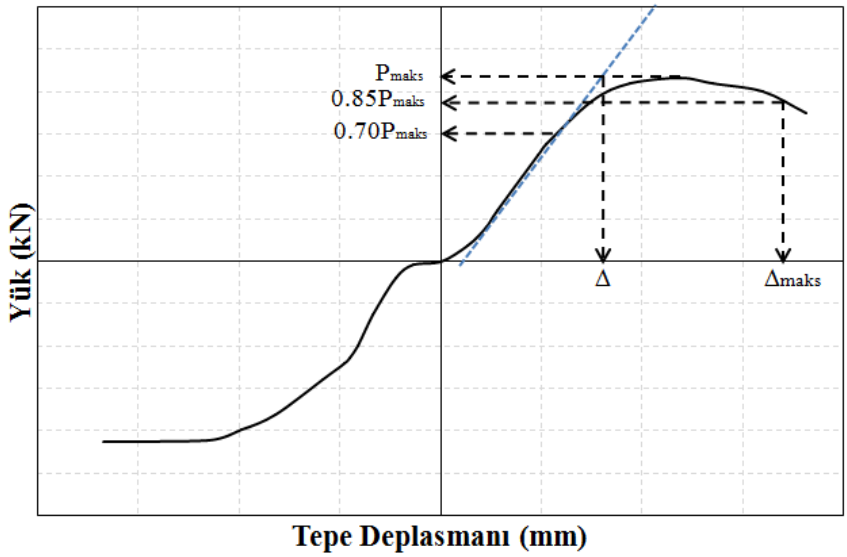
4. 1. 3. Süneklik

Süneklik basit olarak bir taşıyıcı elemanının yük kapasitesinde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Yapıların yer hareketleri altında sünek davranarak, yani aniden göçmeyerek insanlara yapıyı boşaltma zamanı tanıması açısından önem teşkil etmektedir. Bu sebepledir ki yapılarda gerçekleştirilen güçlendirme faaliyetlerinin yapının yük taşıma kapasitesiyle birlikte sünekliğini de arttırması beklenir.

Bu çalışmada önerilen güçlendirme tekniğinin, dolgu duvarların sünekliklerine iki yönlü katkı yapması hedeflenmiştir. Birinci olarak, betonarme plakaların duvarın çatlamasından sonra, çekme gerilmeleri altında ortaya çıkan deformasyonları kompanse ederek dolgu duvarın sünekliğini arttırması beklenir. Güçlendirmede, deformasyon yapabilme kapasitesini artıracağı tahmin edildiğinden deney

elemanlarında hem beton hem de betonarme plakalar kullanılarak güçlendirilmiş dolgu duvarın süneklik artışındaki değişim gözlemlenecektir. İkinci olarak da, plakaların sağlayacağı sargılama etkisi sonucu tuğlanın kendi sünekliğinde ortaya çıkacak olası artışların da dolgu duvarın sünekliğine önemli derecede katkı yapacağı düşünülmüştür. Bulonlara uygulanan ardgerme kuvvetinin ortaya çıkardığı yanal basınç, sıvanmış tuğla dolgunun gerime-birim deformasyon eğrisini etkileyecek ve malzemenin dayanımıyla beraber deformasyon kapasitesini de arttıracaktır. Ayrıca, beton/BA plakalar dolgu duvarların deney sonuna kadar bütünlüğünü koruyarak dağılmadan deforme olabilmesini sağlamaları, önerilen güçlendirme yönteminin dolgu duvarların davranışına yaptığı önemli katkılardan bir tanesi olarak ortaya çıkacaktır.

Deplasman sünekliği, en yüksek deplasmanın akma deplasmanına oranı olarak tanımlanmıştır. Avrupa Deprem Yönetmeliği Eurocode-8'de, en yüksek deplasman, Δ_{maks}, eleman maksimum yanal yük taşıma kapasitesinin %85 değerine düştüğü, tepe ötesinde yeralan noktadaki deplasman değeri olarak kabul edilmiştir [55]. Deney elemanlarının akma noktaları tam belirgin olmadığı için, akma deplasman değeri orijin noktasından başlayan ve eleman maksimum yanal yük taşıma kapasitesinin tepe öncesinde %70 değerine ulaştığı noktalar arasında çizilen sekant ile tanımlanmış ve bu sekant doğrusu ile maksimum yanal yük seviyesinden yatay olarak uzatılan doğrunun kesiştiği noktadaki tepe deplasmanı değeri akma deplasmanı olarak kabul edilmiştir [56]. Deney Elemanının yük-tepe deplasmanı grafiğindeki orijin noktası, deney düzeneğine yerleştirildikten sonra çelik çerçeve ile deney elemanı arasında bulunan boşluktan kaynaklı çok düşük rijitlikli deplasmanlar hesaba katılarak bulunmuştur. Yöntem Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Deplasman Sünekliği Yöntemi

Deney elemanlarının süneklik değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Değerler incelendiğinde, tüm güçlendirilmiş elemanlarının sünekliklerinin Referans deney elemanına oranla 1.18 kat – 1.80 kat arasında değişen değerlerde arttığı görülebilir. Dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının deplasman süneklik değerlerinin, şerit plakalarla güçlendirilen deney elemanlarına oranla daha az çıkmıştır. Donatılandırılmış plakalarla güçlendirilmiş deney elemanları, beklendiği üzere daha sünek davranış sergilemişlerdir. Ayrıca, daha ince plaka kullanımı süneklik lehine sonuçlar vermiştir. Her iki yüzden donatılandırılmış 20 mm kalınlığında plakalar yapıştırılarak güçlendirilen deney elemanlarının süneklik değerleri, beklendiği üzere, neredeyse en fazla oranda artmıştır.

Çizelge 4.6. Deney elemanlarının süneklik değerleri

Deney Elemanı	Deplasman Sünekliği	Göreceli Süneklik
Referans	1.10	***1.00***
RP-MA-2.0	1.30	***1.18***
RP-SA-2.0	1.48	***1.35***
RP-SA-2.5	1.27	***1.15***
RP-FA-2.5	1.61	***1.46***
SP-HA-2.0	1.51	***1.37***
SP-HA-2.5	1.66	***1.51***
SPR-MA-2.0	2.11	***1.92***
SPR-HA-2.0	1.81	***1.65***
SPR-HA-2.5	1.46	***1.33***
SPR-FA-2.5	1.61	***1.46***
SPR-HA-2.0D	1.98	***1.80***
SPR-FA-2.0D	1.78	***1.62***

Çizelge 4. 7'de dikdörtgen plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının deplasman sünekliği değerleri ayrıntılı incelendiğinde, tüm dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının süneklikleri 1.15 kat – 1.46 kat arasında değişen değerlerde artmıştır. RP-SA-2.5 deney elemanı kendisinden beklenen deplasman süneklik değerine ulaşamamıştır, fakat daha fazla bulon ya da daha kalın plaka kullanımı deplasman süneklik değerini pozitif olarak etkilemiştir. RP-SA-2.5 deney elemanının düşük deplasman süneklik değeri de dolgu – plaka ikilisinin kompozit davranışı yakalayamayıp erken çevrim (düşük deplasman) değerlerinde hasarlanmasına bağlanabilir.

Çizelge 4. 7. Dikdörtgen Plakalarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Süneklikleri

Deney Elemanı	Deplasman Sünekliği	Göreceli Süneklik
Referans	1.10	***1.00***
RP-MA-2.0	1.30	***1.18***
RP-SA-2.0	1.48	***1.35***
RP-SA-2.5	1.27	***1.15***
RP-FA-2.5	1.61	***1.46***

Çizelge 4. 8. Şerit Plakalarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Süneklikleri

Deney Elemanı	Deplasman Sünekliği	Göreceli Süneklik
Referans	1.10	***1.00***
SP-HA-2.0	1.51	***1.37***
SP-HA-2.5	1.66	***1.51***
SPR-MA-2.0	2.11	***1.92***
SPR-HA-2.0	1.81	***1.65***
SPR-HA-2.5	1.46	***1.33***
SPR-FA-2.5	1.61	***1.46***
SPR-HA-2.0D	1.98	***1.80***
SPR-FA-2.0D	1.78	***1.62***

Şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının deplasman süneklik değerleri Çizelge 4. 8'de verilmiştir. Tabloda sunulan değerlerin de gösterdiği üzere, şerit plaka yapıştırılması deney elemanlarının deplasman sünekliklerini düzensiz olarak arttırmıştır. Deplasman süneklik değerindeki en fazla artış SPR-MA-2.0 deney elemanında, en düşük artış da SPR-HA-2.5 deney elemanında yaşanmıştır .

Her iki tip plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında, iki değişik kalınlıkta plakalar kullanılmıştır. Plaka kalınlığının deplasman sünekliği üzerindeki etkileri Çizelge 4. 9'da verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde sünekliğin plaka

kalınlığıyla genel anlamda ters orantılı olduğu söylenebilir. Yani, deney elemanlarında kalın plaka ile güçlendirmenin sünekliği azaltıcı yönde etkisi vardır.

Çizelge 4. 9. Plaka Kalınlığının Deplasman Sünekliği Üzerindeki Etkileri

Deplasman Sünekliği				**Oran**
Deney Elemanı	**Deplasman Sünekliği**	**Deney Elemanı**	**Deplasman Sünekliği**	
RP-SA-20	1.48	**RP-SA-25**	1.27	***0.86***
SP-HA-20	1.51	**SP-HA-25**	1.66	***1.10***
SPR-HA-20	1.81	**SPR-HA-25**	1.46	***0.81***

Her iki tip plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında, değişik sayıda Φ6'lık bulonlar kullanılmıştır. Deney elemanlarında kullanılan ankraj bulonu sayısının deney elemanlarının süneklikleri üzerindeki etkileri Çizelge 4. 10'da verilmiştir. Değerler incelendiğinde, kullanılan ankraj bulonu sayısının artması ve etkili bir ankraj bulonu dağılımının sağlanması dikdörtgen plakalarla (plaka kalınlığından bağımsız olarak) güçlendirilmiş deney elemanlarının sünekliğini arttırmıştır. Ankraj bulonu sayısının artması 20 mm kalınlıkta plakaların kullanıldığı deney elemanlarında sünekliği azaltırken, 25 mm kalınlıktaki plakaların kullanıldığı deney elemanlarında sünekliği arttırmıştır.

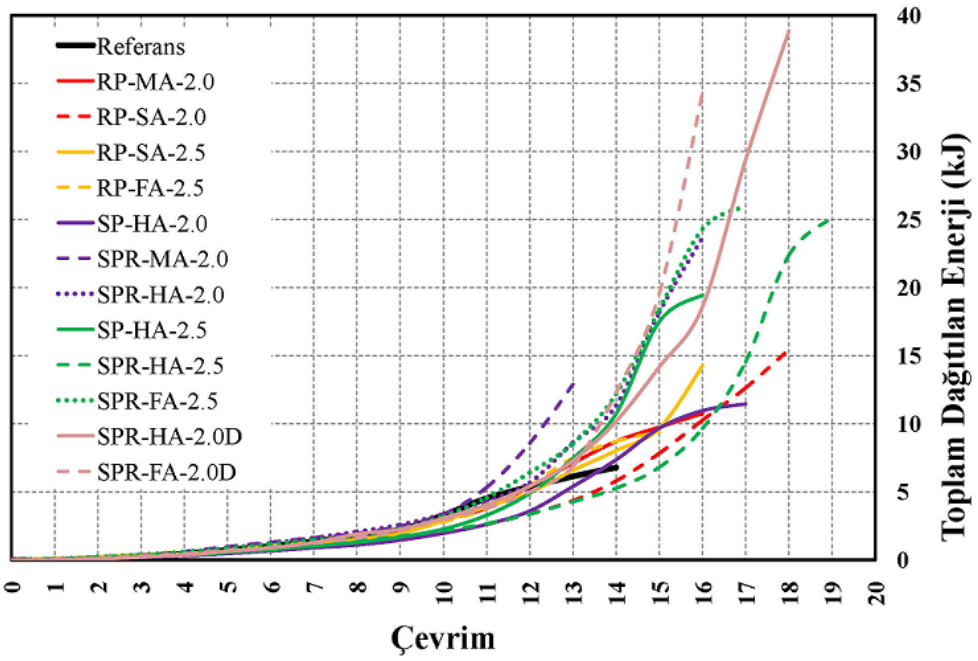
Çizelge 4. 10. Deney elemanlarında kullanılan bulon sayısının Deplasman Sünekliği Üzerindeki etkisi

Deplasman Sünekliği				**Oran**
Deney Elemanı (Bulon Sayısı)	**Deplasman Sünekliği**	**Deney Elemanı (Bulon Sayısı)**	**Deplasman Sünekliği**	
RP-MA-2.0 (4)	1.30	**RP-SA-2.0 (24)**	1.48	***1.14***
RP-FA-2.5 (16)	1.61	**RP-SA-2.5 (24)**	1.27	***0.79***
SPR-MA-2.0 (4)	2.11	**SPR-HA-2.0 (20)**	1.81	***0.86***
SPR-HA-2.5 (20)	1.46	**SPR-FA-2.5 (40)**	1.61	***1.10***
SPR-HA-2.0D (20)	1.98	**SPR-FA-2.0D (40)**	1.78	***0.90***

4. 1. 4. Enerji Sönümleme Özellikleri

Yapının depremde göçmeden ayakta kalabilmeleri, deprem esnasında yapıya aktarılan enerjiyi yapının sönümleyebilmesine bağlıdır. Yapı güçlendirmesinde temel ilkelerden bir tanesi de söz konusu yapının kalıcı deformasyonlara uğramadan uygulanan enerjiyi sönümleyebilmesinden ziyade göçme olmadan ayakta kalabilmesi olduğundan, deney elemanının tükettiği enerji, yanal yük-tepe ötelenmesi grafiğinin herbir ileri ve geri yükleme çevriminin altında kalan alanların toplanması ile elde edilmiştir. Herbir tam çevrimin yarısını teşkil eden yarı çevrimin yük-ötelenme grafiğinin alanı o yarı çevrimde sönümlenen enerjiyi vermekte, sonra hem ileri hem de geri yarı-çevrimlerin altındaki alanların toplamı söz konusu tam çevrimde toplam alanı vermektedir. En sonunda, bütün tam çevrimlerde sönümlenen enerjilerin toplamı bir deney elemanının sönümlediği toplam enerjiyi vermektedir.

Deney elemanlarının enerji sönümleme özellikleri deney elemanlarının yükleme geçmişlerine doğrudan bağlıdır. Tüm deney elemanlarının yükleme geçmişlerinin aynı olması için özen gösterilmişse de, deney elemanlarının davranışları lineer ötesi bölgeye geçtiği zaman, ileri ve geri çevrimleri çelik çerçeve elemanı kiriş düzeyindeki deplasmanlar ile kontrol edilmeye başlanmıştır. İleri ve geri çevrimler için aynı deplasmanlara gidilmeye çalışılmıştır. Tüm deney elemanlarının enerji sönümleme özellikleri aynı grafik üzerinde, Şekil 4.7'de verilmiştir. Tüm deney elemanlarının sönümlediği enerji değerleri Çizelge 4. 11'de verilmektedir.



Şekil 4.7. Deney Elemanlarının Enerji Sönümleme Özellikleri

Çizelge 4. 11. Deney Elemanlarının Sönümlediği Toplam Enerji Değerleri

Deney Elemanı	Toplam Sönümlenen Enerji (kiloJoule)	Göreceli Sönümlenen Enerji Oranı
Referans	6.8	***1.00***
RP-MA-2.0	10.8	***1.59***
RP-SA-2.0	15.5	***2.28***
RP-SA-2.5	14.3	***2.10***
RP-FA-2.5	9.4	***1.38***
SP-HA-2.0	11.5	***1.69***
SP-HA-2.5	19.5	***2.87***
SPR-MA-2.0	12.9	***1.90***
SPR-HA-2.0	23.7	***3.49***
SPR-HA-2.5	25.1	***3.69***
SPR-FA-2.5	26.0	***3.82***
SPR-HA-2.0D	38.9	***5.72***
SPR-FA-2.0D	34.3	***5.04***

Burada hatırlatılması gereken nokta, deney elemanlarından RP-MA-2.0, RP-FA-2.5, SP-HA-2.0 ve SPR-MA-2.0 deney elemanları diğer deney elemanlarına göre daha az enerji sönümlemişlerdir. Bu durumun muhtemel sebepleri arasında az sayıdaki yüksek deplasman değerlerine gidilmiş elastik ötesi çevrim ve/veya deney elemanlarının daha az yanal yük taşıma kapasitesi sayılabilir. Çizelge 4. 11'de verilen değerlerin de gösterdiği üzere, güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji sönümleme değerlerindeki artış, referans deney elemanının değerine oranla 1.38 kat – 5.72 kat arasında değişen değerlerde olmuştur, ki bu da önerilen güçlendirme tekniğinin deney elemanlarının enerji tüketme karakteristikleri üzerindeki etkisi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının tümünün referans elemana oranla daha yüksek enerji sönümleme kapasitelerine ulaşmış olması, bu güçlendirme tekniğinin dolgu duvarların ve dolayısıyla tüm yapının enerji sönümleme kapasitelerine yapacağı katkının büyüklüğünü göstermektedir. Güçlendirilmiş deney elemanlarından en az enerji sönümleyenin RP-FA-2.5 deney elemanı dahi referans elemanın yaklaşık 1.4 katı kadar enerji sönümlemiştir.

Çizelge 4. 12'de verilen değerler, dikdörtgen plaka kullanılmasının deney elemanlarının enerji sönümleme kapasitelerini 1.5 – 2 kat arasında değişen değerlerde arttırdığını göstermektedir. Bu grup deney elemanlarında plaka kalınlığı ya da ankraj bulonu sayısı deney elemanlarının enerji sönümleme kapasitesi üzerinde fazla etkisi olmadığını göstermektedir. İleri çevrimlerde yüksek deplasman değerlerine ve yüksek yanal yük taşıma kapasitelerine ulaşamamış olan RP-FA-2.5 deney elemanı kendisinden beklenen enerjiyi sönümleyememiştir. Fakat, dikdörtgen plakalar kullanılarak yapılan güçlendirme işlemi deney elemanlarının enerji tüketme kapasitelerinin iki kat arttırmıştır. Bu durum da dikdörtgen plakaların güçlendirme de şerit plakalar kadar etkili çalışmadığını göstermektedir. Bu sonuçta dikdörtgen plakaların beton olmasının da büyük payı vardır.

Şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji sönümleme kapasiteleri Çizelge 4. 13'de verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde, tüm şerit plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının enerji sönümleme kapasiteleri 1.69 kat – 5.72 kat arasında değişen değerlerde artmıştır. En az artış SP-HA-2.0 deney elemanında oluşmuştur. Bu durum deney elemanında kullanılan donatılandırılmamış plaka kullanımına ve az sayıda elastik ötesi çevrim sayısına atfedilebilir. Genel olarak, şerit plakalarla güçlendirilen deney elemanlarının enerji sönümleme kapasiteleri ortalama 2.50 kat artarken, çift taraflı plaka kullanımında artış ortalama 5.50 kat olmuştur.

Şerit plakalar kullanılarak güçlendirilen deney elemanlarında, süneklik oranlarından elde edilen çıkarımlara paralel olarak, bulon sıklığının azaltılmasının, plaka kalınlığının arttırılmasının, donatılı plaka kullanılmasının ve çift taraflı plaka kullanılmasının, elemanın enerji sönümleme kapasitesi üzerinde ayrı ayrı olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Deney sonuçları söz konusu değişkenlerden en etkililerinin plaka donatısı ve çift taraflı plaka kullanılmasının olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. 12. Dikdörtgen Plakalarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Enerji Sönümleme Kapasiteleri

Deney Elemanı	Enerji Sönümleme Kapasitesi (kiloJoule)	Göreceli Oran
Referans	6.8	***1.00***
RP-MA-2.0	10.8	***1.59***
RP-SA-2.0	15.5	***2.28***
RP-SA-2.5	14.3	***2.10***
RP-FA-2.5	9.4	***1.38***

Çizelge 4. 13. Şerit Plakalarla Güçlendirilen Deney Elemanlarının Enerji Sönümleme Kapasiteleri

Deney Elemanı	Enerji Sönümleme Kapasitesi (kiloJoule)	Göreceli Oran
Referans	6.8	***1.00***
SP-HA-2.0	11.5	***1.69***
SP-HA-2.5	19.5	***2.87***
SPR-MA-2.0	12.9	***1.90***
SPR-HA-2.0	23.7	***3.49***
SPR-HA-2.5	25.1	***3.69***
SPR-FA-2.5	26.0	***3.82***
SPR-HA-2.0D	38.9	***5.72***
SPR-FA-2.0D	34.3	***5.04***

Her iki tip plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında, iki değişik kalınlıkta plakalar kullanılmıştır. Plaka kalınlığının deney elemanlarının enerji sönümleme kapasitesi üzerindeki etkileri Çizelge 4. 14'de verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde enerji sönümleme kapasitesinin plaka kalınlığıyla doğru orantılı olduğu görülebilir, fakat bu durum RP-SA-2.5 deney elemanı için geçerli olmamıştır. Bu durum RP-SA-2.5 deney elemanının yanal yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra ani kapasite düşüşüne bağlanabilir. Bahsedilen ani düşüş de, kalın plakaların fazla sayıda fakat düzensiz dağılıma sahip ankraj bulonlarının yeterli sargılama ve kompozit davranışı sağlamadaki yetersizliğine atfedilebilir. Ayrıca, beklendiği üzere donatılandırılmış plakaların kullanıldığı deney elemanlarının enerji tüketme kapasiteleri zaten yüksek çıktığı için bu tip elemanlarda göreceli artış da az olmuştur.

Çizelge 4. 14. Plaka Kalınlığının Enerji Sönümleme Kapasitesi Üzerindeki Etkileri

Enerji Sönümleme Kapasitesi				**Oran**
Deney Elemanı	**Sönümlenen Enerji (kiloJoule)**	**Deney Elemanı**	**Sönümlenen Enerji (kiloJoule)**	
RP-SA-2.0	15.5	**RP-SA-2.5**	14.3	***0.92***
SP-HA-2.0	11.5	**SP-HA-2.5**	19.5	***1.70***
SPR-HA-2.0	23.7	**SPR-HA-2.5**	25.1	***1.06***

Her iki tip plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarında, değişik sayıda Φ6'lık bulonlar kullanılmıştır. Deney elemanlarında kullanılan ankraj bulonu sayısının deney elemanlarının enerji sönümleme kapasiteleri üzerindeki etkileri

Çizelge 4. 15'de verilmiştir. Değerler incelendiğinde, kullanılan ankraj bulonu sayısının artması dikdörtgen ve şerit plakalarla (plaka kalınlığından bağımsız olarak) güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji sönümleme kapasitelerini arttırmıştır. Bu durum çift taraflı plakaların kullanılarak güçlendirilen deney elemanları için geçerli

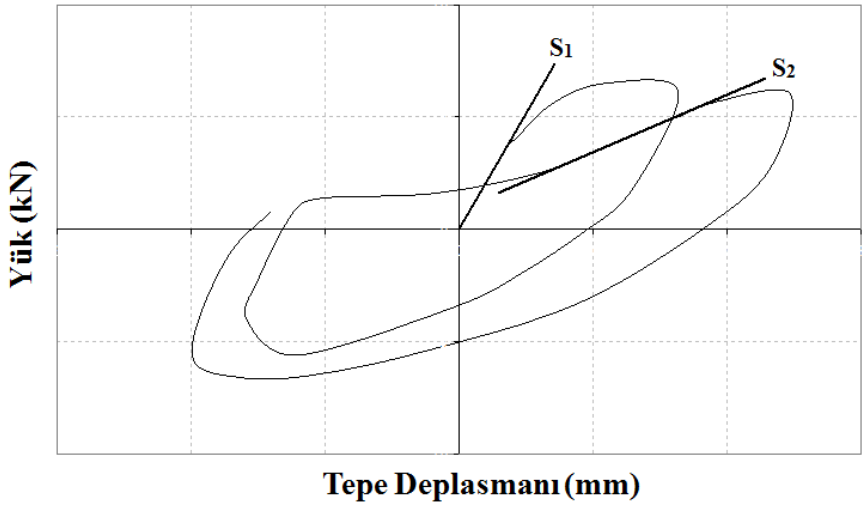
olmamıştır. Bu durum da SPR-HA-2.0D deney elemanının ileri çevrimlerde SPR-FA-2.0D deney elemanından biraz daha yüksek yanal yük seviyelerine ulaşmış olması gösterilebilir.

Çizelge 4. 15. Deney elemanlarında kullanılan bulon sayısının Enerji Sönümleme Kapasitesi üzerindeki etkisi

Enerji Sönümleme Kapasitesi				**Oran**
Deney Elemanı (Bulon Sayısı)	**Sönümlenen Enerji (kiloJoule)**	**Deney Elemanı (Bulon Sayısı)**	**Sönümlenen Enerji (kiloJoule)**	
RP-MA-2.0 (4)	10.8	**RP-SA-2.0 (24)**	15.5	***1.44***
RP-FA-2.5 (16)	9.4	**RP-SA-2.5 (24)**	14.3	***1.52***
SPR-MA-2.0 (4)	12.9	**SPR-HA-2.0 (20)**	23.7	***1.84***
SPR-HA-2.5 (20)	25.1	**SPR-FA-2.5 (40)**	26.0	***1.04***
SPR-HA-2.0D (20)	38.9	**SPR-FA-2.0D (40)**	34.3	***0.88***

4. 1. 5. Rijitlik

Rijitlik yapıların deformasyonlara karşı direncini tanımlayan bir terimdir. Basitçe, yük-deplasman eğrilerinin tanjant eğimleri rijitliğin göstergesi olarak kabul edilecektir ve bu durum Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Bu temsili çevrimlerin eğim değerleri deneysel yük-deplasman eğrilerinden hesaplanmıştır. Bu durum, gerçek rijitlik değerleri yerine mutlak değerler karşılaştırdığı için, kabul edilebilir bir yaklaşımdır []. Tüm deney elemanlarının rijitlik azalma eğrileri Şekil 4. 9'da verilmektedir.



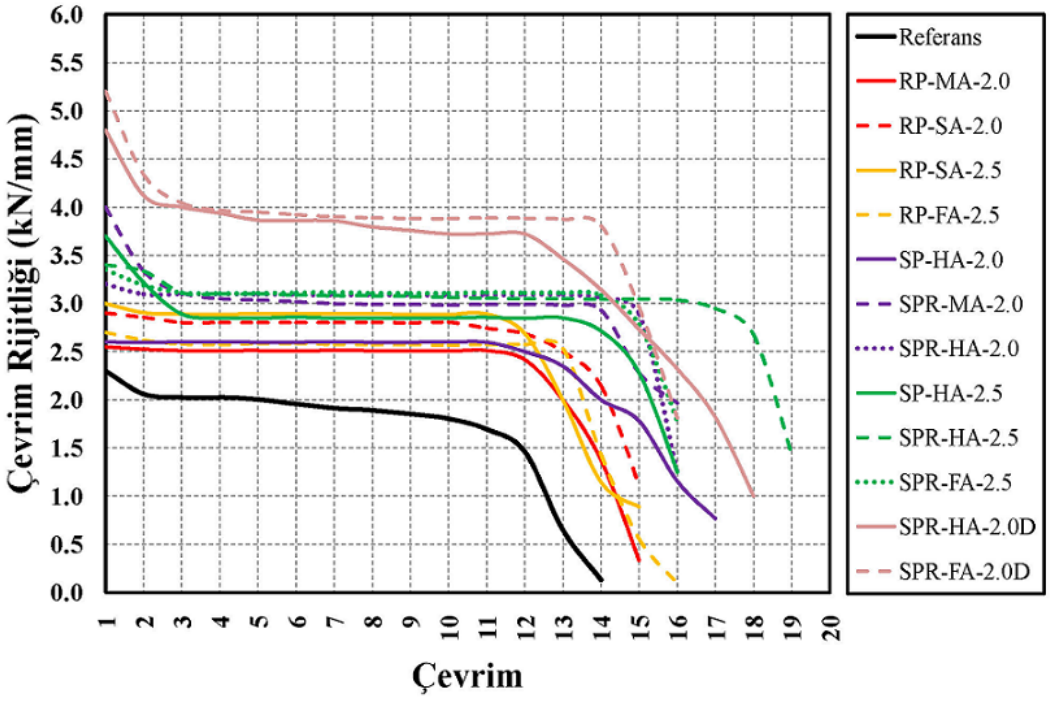
Şekil 4.8. Temsili Çevrim Eğimleri

İlk çevrimin rijitlik değeri ilk eğim olarak belirlenmiştir. Bu değer gerçek ilk rijitlik değerini yansıtmamakta ve bütün deney elemanlarının davranışlarını karşılaştırmak için kullanılacak olan bir değerdir. Tüm deney elemanlarının ilk eğim değerleri Tablo 3. 16'da verilmektedir. Tabloda verilen değerlerden de görülebildiği üzere, güçlendirilmiş deney elemanlarının ilk eğim değerlerindeki artış 1. 11 kat ile 2.26 kat arasında değişen değerlerde olmuştur. Şerit plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının ilk rijitlik değerlerindeki artış dikdörtgen plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarına oranla çok daha fazla olmuştur. Bu değerler önerilen güçlendirme tekniğinin, deney elemanlarının yanal rijitlik artışındaki etkisini göstermektedir. Süneklik ve enerji sönümleme oranlarından elde edilen çıkarımlara paralel olarak, özellikle şerit plakalarla yapılan güçlendirme işleminde, donatılandırılmış ve/veya kalın plaka kullanımından ziyade çift taraflı plaka ile yapılan güçlendirme işleminin deney elemanlarının ilk rijitlik değerlerini çok etkili biçimde arttırdığını ifade etmek gerekmektedir.

Deney elemanlarının rijitlik azalma eğrileri de Şekil 4.9'da verilmiştir. Şekilden de rahatlıkla görülebileceği üzere, önerilen yöntemle güçlendirilmiş deney elemanları daha yüksek çevrim rijitlik değerlerine sahip oldukları gibi çevrim rijitliklerini daha etkili biçimde yüksek deformasyon çevrimlerine kadar, referans deney elemanına oranla daha etkili biçimde korumayı başarmışlardır. Daha önce de belirtildiği üzere,

en etkili ilk rijitlik değerindeki artış ve yüksek çevrim rijitlik değerleri çift taraflı plakalar kullanılarak güçlendirilen deney elemanlarında oluşmuştur.

Burada hatırlatılması gereken önemli nokta deney elemanlarının ilk çevrim rijitlik değerlerinin boşluklu tuğla dolgu duvarın örülme, sıvanma ve güçlendirilme esnasındaki işçiliğin kalitesi ile doğrudan bağlantılı olduğudur.

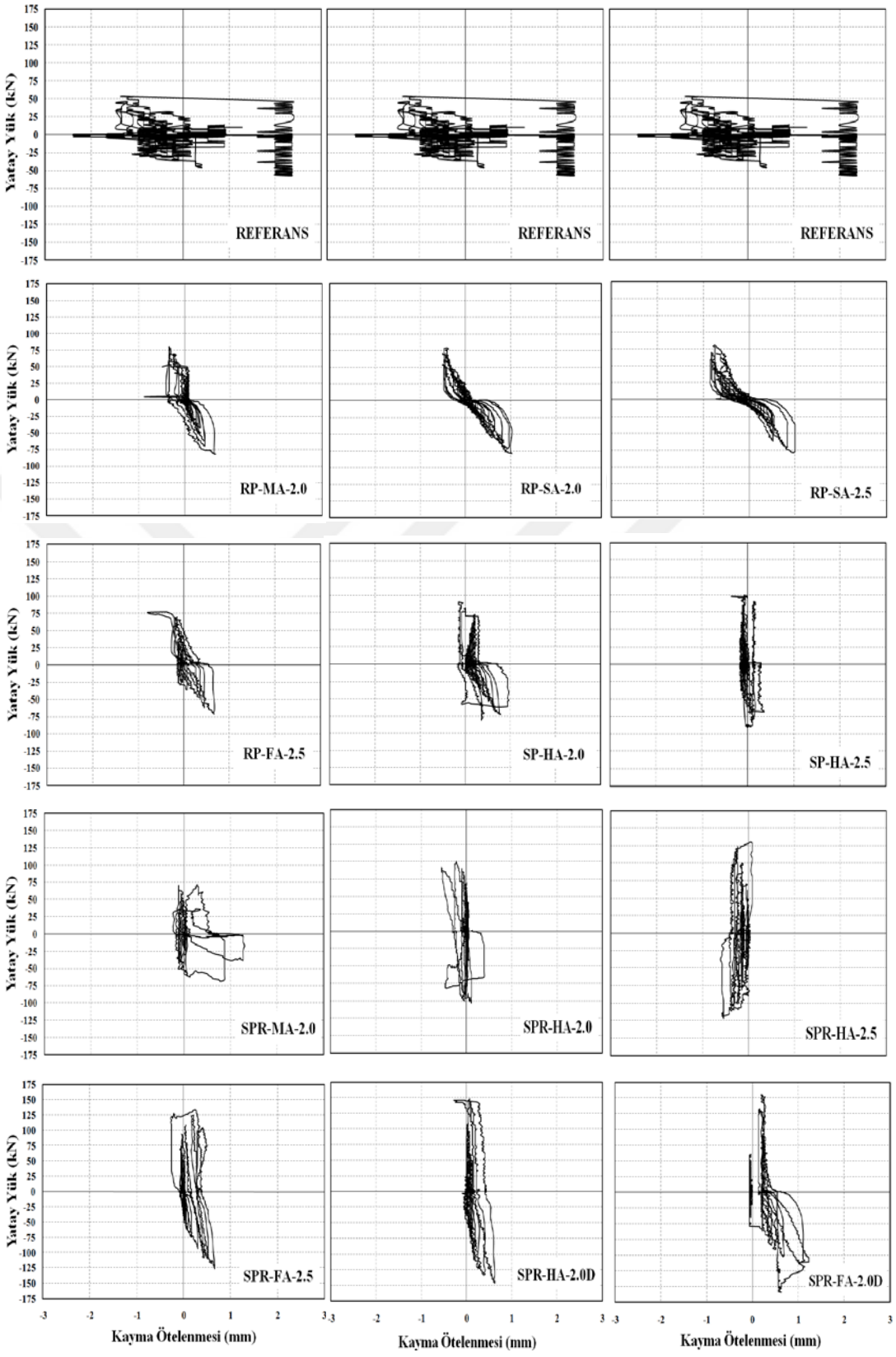


Şekil 4.9. Tüm deney elemanlarının rijitlik azalma eğrileri

4. 1. 6. Dolgu Duvarların Kayma Deformasyonları

Tüm deney elemanlarının yanal yük-kayma deplasmanı grafikleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Mevcut sıvanmış tuğla dolgu duvarının üzerine beton/BA plakaların yapıştırılması ve bulonlarla sabitlenmesi işlemleri deney elemanlarının kayma deformasyonlarına karşı direncini arttırmıştır. Şekilden de görülebildiği üzere, referans deney elemanında gözle görülebilir kayma deformasyonu mevcuttur. Güçlendirilmiş deney elemanlarında kullanılan beton/BA plakalar güçlendirilmiş dolgu duvarı daha rijit hale getirmişlerdir, öyle ki duvar üzerindeki kayma

deformasyonlarını azaltmışlardır. Şekil 4. 10'dan da gözlemlenebileceği gibi, dikdörtgen plakalarla güçlendirilen deney elemanlarında, referans elemanda oluşana oranla daha az kayma deformasyonları oluşmuşsa da donatılandırılmamış dikdörtgen plakalar kayma deformasyonlarını azaltmada şerit plakalar kadar etkili olamamışlardır. Özellikle kalın veya çift taraflı şerit plaka uygulanması deney elemanlarının dolgu duvarlarındaki kayma deformasyonlarını, daha yüksek yanal yük seviyelerine ulaşılmasına rağmen etkili biçimde azaltmıştır.



Şekil 4. 10. Deney Elemanlarının Dolgu Duvarlarındaki Kayma Deformasyonları

Çizelge 4. 16. Deney elemanlarının ilk rijitlik değerleri

Deney Elemanı	**İlk Eğim (kN/mm)**	**İlk Eğim Değerinin Referans Deney Elemanı Değerine Oranı**
Referans	2.30	***1.00***
RP-MA-2.0	2.55	***1.11***
RP-SA-2.0	2.90	***1.26***
RP-SA-2.5	3.00	***1.30***
RP-FA-2.5	2.70	***1.17***
SP-HA-2.0	2.60	***1.13***
SP-HA-2.5	3.70	***1.61***
SPR-MA-2.0	4.00	***1.74***
SPR-HA-2.0	3.20	***1.39***
SPR-HA-2.5	3.40	***1.48***
SPR-FA-2.5	3.35	***1.46***
SPR-HA-2.0D	4.80	***2.09***
SPR-FA-2.0D	5.20	***2.26***

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5. 1. Genel

Türkiye sismik hareketliliği yüksek bir ülkedir ve mevcut yapı stoğunun büyük bir çoğunluğunun yetersiz deprem dayanımından, deprem hasarlarından ve/veya yönetmelik değişimlerinden dolayı yapısal olarak zayıf olduğu bilinmekte ve acilen rehabilite edilmeleri gerekmektedir. Bu yüzden, yapıların sismik rehabilitasyonu, diğer deprem bölgelerinde bulunan ülkelerde de olduğu gibi, Türkiye'de de önemli ve dikkat çekici bir araştırma alanı haline gelmiştir.

Değişik ülkelerde yürütülen birçok araştırma programlarında, birkaç rehabilitasyon tekniği geliştirilmiştir ve mevcut yapılara başarıyla uygulanmaktadır. Sözkonusu bu çalışmalardaki ortak amaç ekonomik, hızlı, basit ve güvenilir sismik iyileştirme teknikleri geliştirmektir. Mevcut çalışma, Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuarında, Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimince desteklenen bir proje kapsamında geliştirilmiştir.

Mevcut çalışmada, toplam onüç adet 1/2 ölçeğe sahip sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvar, deprem yükünü benzeştirir tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmişlerdir. İki temel geometrik şekle ve iki farklı kalınlığa sahip beton/BA plakaların sıradan fayans yapıştırıcısı kullanılarak sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvarlar üzerine yapıştırılmışlar ve Φ6 ankraj bulonları kullanılarak sabitlenmişlerdir. Deney elemanları, gerçekteki uygulamayı yansıtması amacıyla, sıradan işçilikle örülmüş ve sıvanmışlardır. Deneylerdeki temel değişkenler; plaka kalınlığı, plakaları duvara sabitlemekte kullanılan Φ6 bulonların sayısı, yerleri ve plakalarda hasır donatı ve/veya köşe donatısı bulunmasıdır.

Test sonuçları, deney elemanlarının, dayanım, süneklik, enerji sönümleme ve rijitlik özellikleri değerlendirilerek irdelenmiştir.

5. 2. Sonuçlar

Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilen sınırlı sayıdaki bu deneylerden ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1. Yapıların sismik yüklere karşı güçlendirilmesi için geliştirilen kullanıcı dostu yöntem başarılı olmuştur. Sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvarların üzerine beton/BA plakaların yapıştırılarak ve Φ6'lık ankraj bulonları yardımıyla sabitlenerek güçlendirilmesi deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasitelerini, sünekliklerini ve rijitliğini arttırmış, aynı zamanda da deney elemanlarının davranışını iyileştirmiştir.

2. Güçlendirilmiş deney elemanlarının yanal yük taşıma kapasitesindeki artış referans deney elemanına oranla 1.19 kat ile 2.88 kat arasında değişmiş, birçok durumda referans deney elemanı dayanımı en az %40 aşılmıştır.

3. Özellikle donatılandırılmış plakalarla güçlendirilen duvarlar sünek bir davranış göstermiş, ince kalınlığa sahip plaka kullanımı sünekliğin daha da lehine sonuçlar vermiştir. Süneklikteki artış 1.15 ile 1.92 kat arasında değişen değerlerde olmuştur.

4. Deprem sırasında binaya iletilen enerjinin dönüştürülmesi veya sönümlenmesi vazgeçilmez derecede önemlidir. Önerilen güçlendirme tekniğinde elemanların enerji Sönümleme kapasitelerinin yaklaşık 6 kata varan oranlarda arttığı hesaplanmıştır.

5. Duvarların yanal rijitlikleri, kat deplasmanlarının sınırlanmasında önemli bir etkiye sahiptir. Yanal rijitlik değeri büyüdükçe kat deplasmanları azalmaktadır. Deneylerde duvar rijitlikleri, güçlendirmeden sonra ortalama 1.5 kat artmıştır. Daha da önemlisi

çevrim sayısı artsa bile oldukça uzunca bir süre duvar çevrim rijitliklerinin yaklaşık sabit kaldığı belirlenmiştir.

6. Önerilen teknikle güçlendirilmiş deney elemanları, göreli kat ötelenme değerleri Türk Deprem Yönetmeliğinde [57] tanımlanan göçme bölgesi sınır değerlerine ulaştığı halde, etkinliklerini sürdürmüşlerdir. Beton/BA plaka yapıştırılması duvarların düzlem dışında devrilmesini veya ezilmesini başarılı bir şekilde geciktirmektedir.

7. Bazı şerit plakaların köşelerine hasır donatı haricinde ekstradan boyuna donatı yerleştirilmesi, köşelerin erken ezilmesini önlemek açısından, etkili olmuştur.

8. İki değişik kalınlıkta plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarından beklenildiği üzere, yüksek dayanım kalın plaka kullanılmış elemanlar tarafından sergilenmiştir. Uygulamada, kusurlu çerçeveler güçlendirileceği için ve dayanımın belirlenmesinde çerçeve davranışı baskın olacağı için plaka kalınlığının hesaplarla bulunacak optimum bir değeri aşmaması uygun olacaktır.

9. Plakaları sıvaya sabitlemekte kullanılan bulon sayısının optimize edilmesi gereklidir çünkü az sayıda bulon kullanılması işçiliğin azaltılması yönünden avantajlı gibi görünse de deneylerde boşluklu tuğlalar az sayıda bulondan dolayı erken dökülmüş, çok sayıda bulon kullanılması da işçiliği arttırdığı gibi yanal dayanıma ekstra bir katkı getirmemiştir. Aslında çok sayıda bulon, zaten zayıf olan ve sıradan işçilikle üretilmiş duvarların daha da zayıflamasına sebep olmuştur. Dikdörtgen plaka kullanılan deneylerde çerçeve elemanları ile komşu olan plakaların ortasında bir adet ve şerit plaka kullanılan deneyler için plaka sayısının iki katı (bir alt bir de üst olmak üzere iki noktadan sabitlenmesi) sayıda bulon kullanmak ideal gibi gözükmektedir.

10. Kullanılan malzemeler ve işçilik yerli üretimdir ve her yerde bulunabilmektedir, ki bu da önerilen güçlendirme tekniğini alternatifleri arasında oldukça pratik ve ekonomik kılacaktır.

11. Daha önce gerçekleştirilen çalışmalarda plakalar sıvanmış tuğla duvara çok etkili fakat bir o kadar da pahalı ve her yerde bulunmayan ithal bir yapıştırıcı kullanılarak yapıştırılmışlardır. Her ne kadar bu çalışmada kullanılan fayans yapıştırıcısı yüksek performans göstermese de fiyatı ve piyasada bulunabilirliği önerilen yöntemin daha da ekonomik olmasını sağlayacaktır. Ucuz yapıştırıcının bu yöndeki dezavantajı, yapıda fazladan birkaç duvar daha güçlendirilerek kompanse edilebilecektir.

12. Önerilen güçlendirme tekniğinin uygulanması esnasında yapının boşaltılmasının gerekmeyeceği ve binada yaşayanları fazla rahatsız etmeden uygulanabileceği öngörülmektedir.

5. 3. Gelecek Çalışmalar için Tavsiyeler

İleride bu konu üzerinde çalışma yapmak isteyen araştırmacılar için bazı tavsiyeler;

- Gerçek boyutlara (1:1 ölçekli) sahip deney elemanlarının üretilip test edilmesi,
- Gerçek uygulamadaki gibi BA çerçeve içinde yer alacak güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların test edilmesi,
- BA çerçeve içinde yer alacak güçlendirilmiş tuğla dolgu duvarların BA çerçeve elemanları ile bağlantılarının nasıl yapılacağı hakkında deneyler yapılması,
- Beton/BA plakaların hafif betondan üretilmesi,
- Boşluklu tuğla malzeme haricinde daha değişik malzemelerden (gaz beton, yığma yapı tuğlası vb.) üretilmiş dolgu duvarların güçlendirilip test edilmesi,

- Ekonomik olmak kaydıyla bu çalışmada kullanılan Kalekim marka fayans yapıştırıcısı haricinde başka marka yapıştırıcıların kullanılması,

şeklinde sıralanabilir.

KAYNAKLAR

1. FEMA-356, "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", Federal Emergency Management Agency, November 2000.

2. Polyakov, S. V., "On the Interaction Between Masonry Filler Walls and Enclosing Frame When Loaded in the Plane of the Wall", Translation in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, San Francisco, pp 36-42, 1956.

3. Holmes, M., "Steel Frames with Brickwork and Concrete Infillings", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 19:473-478, 1961.

4. Holmes, M., "Combined Loading on Infilled Frames", Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 25:31-38, 1963.

5. Smith, B., S., "Lateral Stiffness of Infilled Frames", Journal of the Structural Division, Proceedings of ASCE, 88: 182-197, 1962.

6. Smith, B., S., "Behaviour of Square Infilled Frames", Journal of the Structural Division, Proceedings of ASCE 92, ST. 1, 1966.

7. Smith, B. S., "Behaviour of Square Infilled Frames", Journal of the Structural Division, Proceedings of ASCE, Building Science, Vol. 91, pp. 381-403, 1966b.

8. Smith, B. S., "Methods for Predicting the Lateral Stiffness and Strength of Multi-Storey Infilled Frames". Building Science, 2: 247-257, 1967.

9. Smith, B. S., “Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Specimens”, ACI Journal, pp. 618-624, August 1968.

10. Smith, B.S., and Carter, C. A., “Method of Analysis for Infilled Frames”, Proc. ICE., pp. 44: 31-48, 1969.

11. Ockleston, A., “Load Tests on a Three Story Reinforced Concrete Building in Johannessburg”, The Structural Engineer, Vol. 33(10), pp. 304-322, 1955.

12. Thomas, F., “The Strength of The Brickwork”, The Structural Engineer, Vol. 31, pp. 35-41, 1955.

13. Benjamin, J.R., and Williams, H.A.., “The Behaviour of One Storey Reinforced Concrete Shear Walls”, Journal of the Structural Division, ST 3, Vol. 83, pp. 1-49, 1957.

14. Wood, R. H., “The Stability of Tall Buildings”, Proceedings of Institutions of Civil Engineers, 11:69-102, 1958.

15. Ersoy U., and Uzsoy S., “The Behaviour and Strength of Infilled Frame”, TUBITAK MAG-205 report. Ankara ,Turkey, 95 pages, 1971. (Türkçe)

16. Mallick, D. V., and Garg, R. P., “Effect of Openings on the Lateral Stiffness of Infilled Frames”, Proceedings Instution of Civil Engineers, Struct. Build., 49, pp. 193–209, 1971.

17. Dawe, J., and Seah, C. K., “Behaviour of Masonry Infilled Steel Frames”, Canadanian Journal of Civil Engineering, Vol. 16, pp. 865-876, 1989.

18. Klingner, R. E., and Bertero, V. V., “Earthquake Resistance of Infilled Frames”, Journal of Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 104, No. ST6, June 1976.

19. Kligner, R. E., and Bertero, V. V., “Earthquake Resistance of Infilled Frames”, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 104, No.ST6, pp. 973-989, June 1978.

20. Makino, M., Kawano, A., and Kurobane, Y., “An Investigation for the Design of Framed Structures with Infill Walls”, Proceedings of the 7th WCEE, Vol.4, Istanbul, Turkey, pp. 369-372, September 1980.

21. Govindan, P., Lakshmipathy, M. And Santhakumar, A., R., “Ductility of Infilled Frames”, ACI Journal, Technical Paper, Title No:83-50, pp. 567 – 576, 1986.

22. Caccese, V., and Harris, H. G., “Earthquake Simulation Testing of Small-Scale Reinforced Concrete Structures”, ACI Structural Journal, Vol. 87, No. 1, pp. 72-80, January-February 1990.

23. Armin B. M., Shing, P.B., Schuller, M. P., and Noland, J. L., “Experimental Evaluation of Masonry Infilled Frames”, Journal of Structural Engineering, pp. 228-237, March 1996.

24. Mosalam, K. M., White, R. M. and Gergely, P., “Static Response of Infilled Frames Using Quasi-Static Experimentation”, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 11, pp. 1462-1469, November 1997.

25. Dukuze, A., “Behaviour of Reinforced Concrete Frames Infilled With Brick Masonry Panels”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, University of Alberta, Alberta, Canada, 2000.

26. Asteris., P.G., “Lateral Stiffness of Brick Masonry Infilled Plane Frames”, Journal of Structural Engineering, ASCE, pp. 1071-1079, August 2003.

27. Dönmez, S., “Deprem Etkisinde Betonarme Binalarda Hasarın Oluşmasında Dolgu Duvarların Modellenmesi ve Taşıyıcı Sisteme Katkısı”, A Master of Science Thesis in Civil Engineering, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey, 2006. (Türkçe)

28. Akın, L.A., “Behaviour of Reinforced Concrete Frames with Masonry Infills in Seismic Regions”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana, U.S.A., 2006.

29. Benjamin, J. R., and Williams, H.A., “The Behaviour of One Storey Brick Shear Walls”, Proceedings of ASCE, v. 84, ST4, pp. 1723-1-1723-30, July1958.

30. Fiorato, A.C., Sözen, M.A., and Gamble, W., “An Investigation of the Interaction of Concrete Frames with Masonry Filler Walls”, Structural Research Series Report No. 370, University of Illinois, Urbana, November 1970.

31. Kahn, L., F., “Reinforced Concrete Infilled Shear Walls for Aseismic Strengthening”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, University of Michigan, Michigan, U.S.A. 1976.

32. Kahn, L.F., and Hanson, R.D. “Infilled Walls for Earthquake Strengthening”, Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, Vol. 105, No. ST2, February 1979.

33. Yüzügüllü, O., “Repair of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Precast Panels”, TUBITAK Report, No. MAG-494, Nov, 1979. (In Turkish)

34. Yoichi, H., Toneo, E., Masamichi, O., “Experimental Study on Strengthening Reinforced Concrete Structure by Adding Shear Wall”, Proceedings of the 7th WCEE, Vol.6, Istanbul, Turkey, pp. 263-270, September 1980.

35. Bertero, V., and Brokken, S., “Infills in Seismic Resistant Building”, Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 6, June 1983.

36. Higashi, Y., Endo, T., Shimizu, Y., “Experimental Studies on Retrofitting of Reinforced Concrete Building Frames”, 8th World Conference on Earthquake Engineering, Vol.1, pp. 477-484, San Francisco CA, 1984.

37. Altın, S., “Strengthening of Reinforced Concrete Specimens with Reinforced Concrete Infills”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1990.

38. Altin, S., Ersoy, U, and Tankut, T., “Hysteretic Response of Reinforced Concrete Infilled Frames”, Journal of Structural Engineering, Vol. 118, No 8, August 1992.

39. Frosch, R.J., “Panel Connections for Precast Concrete Infill Walls”, ACI Structural Journal, Vol. 96, No. 4, July-August 1999.

40. Canbay, E., “Contribution of Reinforced Concrete Infills to the Seismic Behaviour of Structural Systems”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2001.

41. Anıl, Ö., “Strengthening of Reinforced Concrete Frames by Reinforced Concrete Infill with Openings”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Gazi University, Ankara, Turkey, 2002. (Türkçe)

42. Sonuvar, M., O., Özcebe, G., and Ersoy, U., “Rehabilitation of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Infills”, ACI Structural Journal, V.101, No.4, pp. 494-500, July-August 2004.

43. Keskin, R.S.O., “Behaviour of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened by CFRP Reinforcement: Phase I”, A Master of Science Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2002.

44. Erduran, E., “Behaviour of Reinforced Concrete Frames Strengthened CFRP Reinforcement: Phase II”, A Master of Science Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2002**.**

45. Mertol, H.C., “Carbon Fibre Reinforced Masonry Infilled Reinforced Concrete Frame Behaviour”, A Master of Science Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2002.

46. Erdem, İ.**, “**Strengthening of Existing Reinforced Concrete Frames”, A Master of Science Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2003.

47. Akın, E., “Strengthening of Brick Infilled RC Frames with CFRP Reinforcement – General Principles”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering., Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2011.

48. Binici, B., Özcebe, G., “Analysis of Infilled Reinforced Concrete Frames Strengthened with FRPs”, Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Reduction, Wasti, S.T., Özcebe, G. (Editors), Springer Publications, The Netherlands, 2006.

49. Sevil, T., “Seismic Strengthening of Masonry Infilled R/C Frames with Steel Fiber Reinforcement”, A Doctor of Philosophy Thesis in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 2010.

50. Özcebe, G. ve diğerleri, “Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, NATO SfP 977231, 2005.

51. Süsoy, M., **"**Seismic Strengthening of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames with Precast Concrete Panels", A Master of Science Thesis in Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 2004.

52. Baran, M., "Precast Concrete Panel Reinforced Infill Walls for Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Framed Structures", A Doctor of Philosophy Thesis in CivilEngineering, Middle East Technical University, Ankara, 2005.

53. Okuyucu, D., and Tankut, T., "Effect of Panel Concrete Strength on Seismic Performance of RC Frames Strengthened by Precast Concrete Panels", WCCE-ECCETCCE Joint Conference: Earthquake& Tsunami, Istanbul, Turkey, IMO Publication Nr.: E/09/03, June 2009.

54. Sikadur-31 SBA Type S-07, 7.2001, Segmental Bridge Adhesive, Product Data Sheet

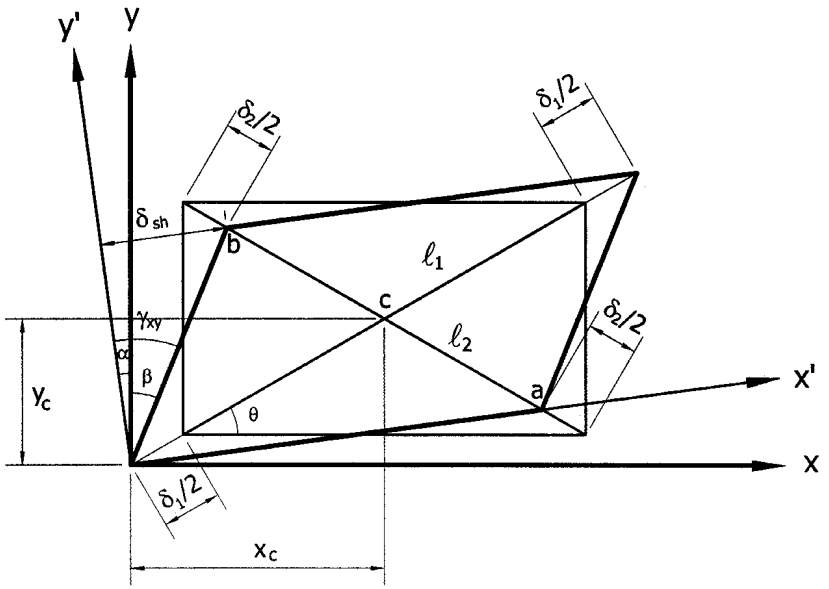
55. Eurocode 8 (2004): design provisions of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. Part 2: bridges. Final drafts pr EN1998-1 and -2. European Committee for Standardization, Brussels.

56. Baran. M., Aykaç. S., Aktaş. M. 'Sıvanmış Tuğla Dolgu duvarların Şerit Beton/Betonarme panellerle güçlendirilmesi' Gazi Üniversitesi İnşaat Anabilim Dalı, 2013

EKLER

Ek 1. Kayma Deformasyonlarının Hesaplanması

Ek 1 kısmında kayma deformasyonlarının hesaplanması gösterilecektir. Dolgu duvar ve plakalar üzerindeki kayma deformasyonları diyagonal olarak yerleştirilmiş LVDT'ler arayıcılığıyla okunmuştur. Diyagonal olarak iki adet deformasyon ölçümü yapıldığından, dolgu duvarın deforme şeklini belirlemek mümkündür. Plakanın yaklaşık deforme olmuş durumu Şekil A12de verilmektedir.



Şekil A.1 Çarpıtılmış Dikdörtgen Şekil

Yukarıda gösterilen geometriye istinaden, kayma deformasyonları yaklaşık olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$\theta = \arctan\left(h/w\right)$

h : dikdörtgenin yüksekliği

w : dikdörtgenin genişliği

$\ell_1' = \ell_1 + \delta_1 = \ell_1(1+\varepsilon_1)$

$\ell_2' = \ell_2 + \delta_2 = \ell_2(1+\varepsilon_2)$

ℓ_1 diyagonal 1'in uzunluğu

ℓ_2 diyagonal 2'nin uzunluğu

ℓ'_1 deformasyon sonrası diyagonal 1'in uzunluğu

ℓ'_2 deformasyon sonrası diyagonal 2'nin uzunluğu

ε_1 diyagonal 1 yönündeki birim deformasyon

ε_2 diyagonal 2 yönündeki birim deformasyon

δ_1 diyagonal 1 yönündeki toplam uzama

δ_2 diyagonal 2 yönündeki toplam uzama

$$x_c = \frac{\ell'_1}{2}\cos(\theta)$$

$$y_c = \frac{\ell'_1}{2}\sin(\theta)$$

$$x_a = x_c + \frac{\ell'_2}{2}\cos(\theta) = \left(\frac{\ell'_1 + \ell'_2}{2}\right)\cos(\theta)$$

$$y_a = y_c - \frac{\ell'_2}{2}\sin(\theta) = \left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{2}\right)\sin(\theta)$$

$$x_b = x_c - \frac{\ell'_2}{2}\cos(\theta) = \left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{2}\right)\cos(\theta)$$

$$y_b = y_c + \frac{\ell'_2}{2}\sin(\theta) = \left(\frac{\ell'_1 + \ell'_2}{2}\right)\sin(\theta)$$

Kayma deformasyonu γ_{xy} , Şekil A1'de gösterilen α ve β açılarının toplamına eşittir. α ve β açıları aşağıdaki denklemlerden kolayca elde edilebilirler:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_a}{x_a}\right) = \arctan\left(\frac{\left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{2}\right)\sin(\theta)}{\left(\frac{\ell'_1 + \ell'_2}{2}\right)\cos(\theta)}\right) = \arctan\left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{\ell'_1 + \ell'_2}\tan(\theta)\right)$$

$$= \arctan\left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{\ell'_1 + \ell'_2}\left(h/w\right)\right) = \arctan\left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2}\left(h/w\right)\right)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{x_b}{y_b}\right) = \arctan\left(\frac{\left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{2}\right)\cos(\theta)}{\left(\frac{\ell'_1 + \ell'_2}{2}\right)\sin(\theta)}\right) = \arctan\left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{\ell'_1 + \ell'_2}\cot(\theta)\right)$$

$$= \arctan\left(\frac{\ell'_1 - \ell'_2}{\ell'_1 + \ell'_2}\left(w/h\right)\right) = \arctan\left(\frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2}\left(w/h\right)\right)$$

$$\gamma_{xy} = \alpha + \beta$$

Şekil A.1'de gösterilen δ_{sh}, geometri kuralları ile kolayca elde edilebilir. Bu durumda, kayma deformasyonu değerleri aşağıdaki denklemden elde edilebilir:

$$\delta_{sh} = \gamma_{xy} \cdot h$$

Her bir kat için ölçülen kayma deformasyon değeri (δ_{sh}) o katın kayma deformasyon değerini verecektir. Toplam kayma deformasyonu eğrisi her bir katın değerlerinin toplanması kaydıyla hesaplanabilir.

Burada hatırlatılması gereken nokta, deney düzeneğindeki ölçüm cihazlarının yerleştirilmesi ve hassaslığı çok ince plaka kayma deformasyonlarının ölçülebilmesi için yeterli olmamıştır. Ayrıca, plakalardaki çatlaklar ve kırılmalardan kaynaklanan belirsizlikler hassas kayma deformasyon ölçümleri yapılmasını zorlaştırmaktadır.